

SBORNÍK PŘEDNÁŠEK



56. SLÉVÁRENSKÉ DNY
12.-13. 11. 2019
Brno

Sborník přednášek z 56. slévárenských dnů[®]

Blok A – Blok F

Blok A - Sekce technologická

Blok B - Sekce neželezných kovů a slitin, ekologie

Blok C - Sekce metalurgie oceli na odlitky a ingoty

Blok D - Sekce metalurgie litin

Blok E - Sekce ekonomická

Blok F - Sekce formovací materiály



Česká slévárenská společnost, z.s.
Brno

Název publikace: **Sborník přednášek z 56. slévárenských dnů® – Blok A – Blok F**
Blok A - Sekce technologická
Blok B - Sekce neželezných kovů a slitin, ekologie
Blok C - Sekce metalurgie oceli na odlitky a ingoty
Blok D - Sekce metalurgie litin
Blok E - Sekce ekonomická
Blok F - Sekce formovací materiál

Autoři: Kolektiv autorů
Vydavatel: Česká slévárenská společnost, z.s., člen ČSVTS Praha
Adresa: Divadelní 6
P. O. Box 134
657 34 Brno

Rok vydání: 2019
Vydání: 1. vydání na **Internetu** (pdf)
Poznámka: neprošlo jazykovou úpravou

ISBN 978-80-02-02882-6

OBSAH

SEKCE TECHNOLOGICKÁ

Technologie odlévání ocelových odlitků stínící trubici - Shroud HRABINA, D., FILIP, P.	8
Kompletní řada pyrometrů Endurance KELLER, L.	21
Progresivní workflow pro výrobu odlitků do keramických forem KRUTIŠ, V., DOSTÁL, M., CILEČEK, J.	26
To nejzajímavější z techniky tryskání ve slévárenských provozech KUBELKOVÁ, I.	36
Vize Komise pro informatiku a automatizaci a její přínos pro české slévárství ŠPIČKA, I., FRIDRICH, M.,	40
Odbornost, empatická inteligence a především kreativita technologů může slévárnu ochránit před nastupující krizí KRÁL, Z.	44
Odlitky na veteránu Buick model 10 z roku 1908 BRYKSÍ STUNOVÁ, B., STUNA, Z.	56

SEKCE NEŽELEZNÝCH KOVŮ A SLITIN, EKOLOGIE

Vplyv vtokovej sústavy na vznik reoxidačných procesov BRUNA, M., REMIŠOVÁ, A.	59
Štúdium náchylnosti na vznik trhlín pri rôznom pomere primárnej a sekundárnej zliatiny AlSi9Cu3 MATEJKA, M., BOLIBRUCHOVÁ, D., KURIŠ, M.	65
Řešení neshod u hliníkových odlitků vyráběných do kovových forem KROUPOVÁ, I., LICHÝ, P., NGUYENOVÁ, I., DOSTÁL, M.	74
Slévárna a cirkulární ekonomika BLÁHA, V.	80
Technológia semisolid squeeze casting PASTIRČÁK, R., MARTINEC, D.	82
Porovnání filtrace taveniny u Al odlitků vyrobených nízkotlakým litím HUGO, M., LUŇÁK, M., HORKÝ, K., SVOBODOVÁ, J.	89
Měrná elektrická vodivost a mikroodpor slitin hliníku, mědi a litin ve vztahu k mechanickým vlastnostem kovových pěn LÁNA, I., KAŇA, V., LICHÝ, P., PTÁČEK, J.	95
Vliv obsahu modifikačních a očkovacích prvků na proces výroby tekutého kovu pro odlévání slitin hliníku LÁNA, I., RAUR, L., KAŇA, V., LUŇÁK, M., HUGO, M., PTÁČEK, J.	101
Případová studie – I tenkostěnný odlitek z Al slitiny lze odlít nízkým tlakem LUŇÁK, M., VRÁBEL, P., ŠMEJKAL, L.	111

SEKCE METALURGIE OCELI NA ODLITKY A INGOTY

Využití nástrojů cloud computingu ve virtuálních slévárnách	120
FRIDRICH, M., ŠPIČKA, I.	
Pokročilé metody přípravy vzorků TRIP ocelí a jejich zobrazování moderními technikami rastrovacího elektronového mikroskopu	125
AMBROŽ, O., MIKMEKOVÁ, Š.	
Historie simulace nestacionárního teplotního pole tuhoucích kovů při změně fáze a struktury	132
KAVIČKA, F., KATOLICKÝ, J., ŠTĚTINA, J., MAUDER, T., KLIMEŠ, L.	
Numerical analysis of the influence of thermophysical properties on calculation accuracy of solidification processes	145
KAVIČKA, F., KATOLICKÝ, J., ŠTĚTINA, J., MAUDER, T., KLIMEŠ, L.	
Význam rychlosti odlévání při výrobě odlitků z žáruvzdorných slitin	154
DULAVA, M.	
Informační systém slévárny VÚHŽ	159
MILATA, P., BÁR, V.	
Vliv tepelného zpracování na vlastnosti martenzitických korozivzdorných ocelí na odlitky	170
ČAMEK, L., KAŇA, V., ZÁDĚRA, A., MYŠKA, M.	

SEKCE METALURGIE LITIN

Povrchové laserové kalení litiny s kuličkovým grafitem s různými výchozími strukturami	179
MORES, A., HORNÍK, J., ODEHNAL, J., SKRBK B., NĚMEC M., KRČIL J.	
Rozšířené využití zkušebních tyčí atestů odlitků	192
MRÁZ, J., SKRBK, B.	
Technická přejímka důležitých odlitků produktu	195
MRÁZ, J., SKRBK, B.	
Slévárenská napětí v odlitcích ze slitin železa	203
HAMPL, J., VÁLEK, T., ZDAŘIL, L.	
Litina s kuličkovým grafitem – tepelné zpracování k získání specifických vlastností	209
SÝKORA, P.	
Výroba a vlastnosti legovaných litin	216
KAŇA, V., ZÁDĚRA, A., PERNICA, V., MOKRÝ, J.	
Verifikace modifikačního zpracování tvárné litiny injektáží směsi FeSiMg plněným profilem	223
LÁNA, I.	

SEKCE EKONOMICKÁ

Teorie omezení ve slévárenské výrobě KYNCL, N.	228
Třetí země jako zdroj nové pracovní síly pro slévárny (HAMAG, spol. s r.o.) ZÁVRBSKÁ, M.	236
Ako znížit' důležité osobné prekážky v práci ČERVENŤ, R.	244
Poslání ředitele slévárny v podmínkách českého tržního hospodářství CILEČEK, J.	247
Praktické poznatky z implementace kontinuálního zlepšování ve slévárnách GRZINČIČ, M.	251
Problematika motivace pracovníků a nákladovosti tekutého kovu (Projekt XIX) SÝKORA, M. a kol.	257
Zhodnocení změn po prvním roce působení ve funkci ředitele firmy KOVOLIT ČESKÁ spol. s r.o. VÍTÁMVÁS, R.	267
Firemní kultura a motivace pracovníků ve vyspělých zemích a její uplatnění v ČR ŠPATENKA, R.	277

SEKCE FORMOVACÍCH MATERIÁLŮ

Aplikace nekřemenných ostřiv při výrobě ocelových odlitků BAJER, T., RYTKY, I., ŘEZÁČ, P., LEIBNER, J., BĚHAL, P., BEŇO, J.	284
5. cyklus zpracování přehledu parametrů jednotných formovacích směsí NEUDERT, A.	287
Penetrace kovu do bentonitových formovacích směsí při odlévání litinových odlitků PTÁČEK, T.	294
Zkouška ztráta žiháním PAZDERKA, J.	301
Výroba jader metodou termošok VAŇKOVÁ, A.	305
Komplexní řešení produktivity a ekologie při výrobě jader LENZEN, F., KOCH, CH., YILMAZ, I., VONDRÁČEK, R.	314

SBORNÍK PŘEDNÁŠEK



sekce
technologická

56. SLÉVÁRENSKÉ DNY
12.-13. 11. 2019
Brno

Technologie odlévání ocelových odlitků stínící trubici – Shroud

Hrabina, D.¹⁾, Filip, P.¹⁾

¹⁾ VESUVIUS Moravia – Třinec, ²⁾ UNEX - Uničov

Abstrakt

Slévárny nevěnují ochraně kovu odlévaného z pánve do formy dostatečnou pozornost. Povrch tekutého kovu reaguje se vzdušným kyslíkem a vzniklý film se turbulencemi trhá a mísí s odlévaným kovem, přičemž takto obnažený povrch je ihned pokryt nově utvořeným filmem. Tyto filmy se v odlitcích vyskytují jako bifilmy, inicializují mnohé vady a degradují výsledné mechanické vlastnosti. Hutě s kontilitím pečlivě chrání proud odlévaného kovu již desítky let. Slévárny dnes dostávají možnost využít této technologie k dosažení srovnatelné kvality a čistoty kovu. Tento článek popisuje novou technologii odlévání, která je aplikována ve slévárnách ocelových odlitků. Shroud je instalován ve formě tak, že jeho spodní část je zasunuta do filtrační komůrky zaformované pod odlitkem. Jakmile je pánve na jeřábu v lící pozici, shroud je mechanicky vysunut tak, aby došlo k jeho spojení a dokonalému utěsnění s výlevkou, přičemž jeho spodní část je stále u dna filtrační komůrky. Takto se odlévaný kov přivede z pánve do filtrační komůrky a dále do vtokové soustavy ochráněn před jeho oxidací a zahlcováním vzduchu. Slévárna UNEX nyní využívá tuto technologii k odlévání náročných odlitků s nejpřísnějšími požadavky na jejich kvalitu. Touto ochranou kovu před oxidací a tvorbou bifilmů během odlévání bylo dosaženo významného zvýšení kvality a produktivity. Spolu s vysokou povrchovou kvalitou odlitků prověřenou MPI bylo dosaženo výrazného snížení RTG a UZ detekovaných vad a současně vyšších hodnot vrubové houževnatosti.

1. ÚVOD

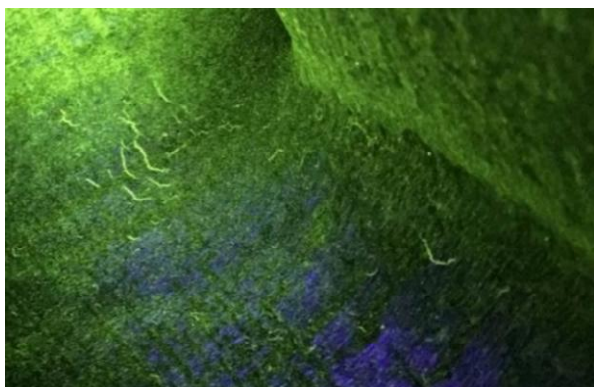
Povrch tekutého kovu se při kontaktu s atmosférou ihned pokrývá filmem oxidů, které jej chrání před další oxidací a kontaminací atmosférickými plyny, avšak tyto oxidické filmy jsou křehké, snadno se trhají a při liti jsou strhávány a vmíseny do tekutého kovu. Teplota tavení většiny oxidických filmů je výrazně vyšší než lící teplota odlévaného kovu, takže jakmile se zformují, zůstanou v tavenině v pevném skupenství. Tyto oxidické filmy mají tendenci vyplouvat díky jejich nižší specifické hustotě, tento proces je však velmi zdoluhavý, což je způsobeno jejich extrémně malým objemem. (Mají poměrně velký povrch, ale vzhledem k síle jen několika nanometrů nemají téměř žádný objem). Oxidické bifilmy zformované během konvenčního odlévání odlitků nemají dostatek času vyplavat a během odlévání se v odlitku rozbalují a díky své povrchové aktivitě se shlukují do rostoucích aglomerací a tento proces pokračuje i během tuhnutí. Slévárny se tento problém snaží řešit zvýšením lící teploty a spoléhají, že zahlcený plyn a související nečistoty vyplavou na povrch odlitku. Vyšší lící teplota však negativně ovlivňuje povrchovou kvalitu, vnitřní homogenitu odlitků a zejména jejich výsledné mechanické vlastnosti.

2. NOVÉ TRENDY V OPTIMALIZACI ODLITKŮ A JEJICH KVALITATIVNÍCH POŽADAVKŮ

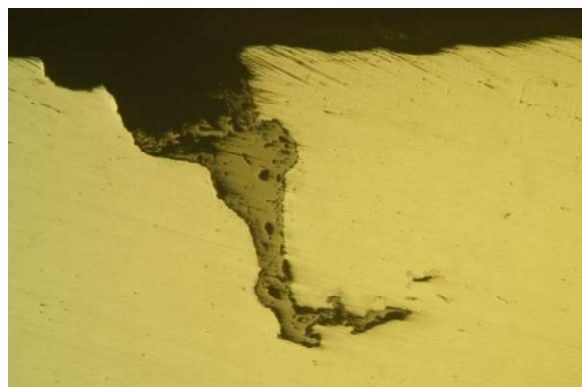
Konstruktéři při navrhování odlitků využívají sofistikovaných programů k výpočtům napěťových stavů při optimalizaci jejich tvaru a minimalizaci výsledné hmotnosti. Jejich cílem je dosažení maximálních pevností v kritických zónách při minimálních tloušťkách, což vede k neustále se zvyšujícím požadavkům na kvalitu odlitků mnohdy až na hranici současných technologických možností sléváren. Slévárna UNEX vyrábí špičkové odlitky pro největší světové výrobce v oblasti těžební techniky. Kritické zóny těchto náročných odlitků byly vždy pečlivě kontrolovány magnetickou zkouškou (MPI), rentgenem (RTG) i ultrazvukem (UZ). Nejnovější trendy v oblasti kvalitativních požadavků zákazníků např. RTG všech kritických zón ve třídě kvality 1 a zbytku odlitku ve třídě kvality 2 na pěti po sobě jdoucích odlitcích o hmotnosti několika

tun z vysokopevnostních nízkolegovaných ocelí bez možnosti oprav vnitřních vad. Tento požadavek bývá podmínkou získání certifikace k jejich sériové výrobě. Nejvyšší požadavky na povrchovou kvalitu, zejména na “vlasové trhliny” **Obr. 1a a Obr. 1b**, detekované MPI–DC a limitované přípustnou délkou vad max 2 mm na litém povrchu jsou při konvenčním odlévání téměř nedosažitelné a vyžadují zdlouhavé opravy v několikrát opakovaných cyklech, dokud nejsou všechny tyto indikace opraveny. Tento proces je velmi nákladný a časově náročný, jelikož po opravě zavařováním se objevují nové indikace vyžadující opravy a následnou reinspekci a výrazně tak snižují výrobní kapacitu slévárny.

Za účelem výzkumu MPI detekovaných lineárních vad nazývaných “vlasovými trhlinami” byly provedeny rozsáhlé metalografické zkoušky vadných míst elektronovým skenovacím mikroskopem (SEM). Původ těchto vad byl identifikován jako bifilm.



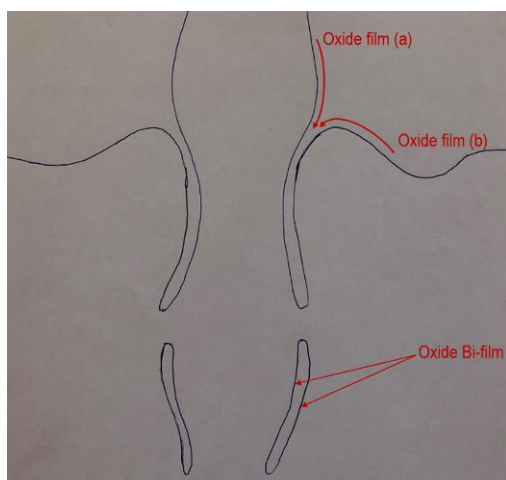
Obr. 1a. “Vlasové trhliny” na odlítku



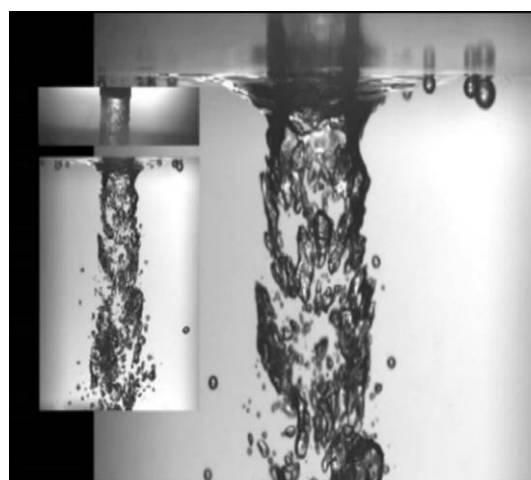
Obr. 1b. Řez “vlasovou trhlinou”

3. PRINCIP UTVÁŘENÍ BIFILMŮ

Povrchové napětí odlévané uhlíkové a nízkolegované oceli je přibližně 20 – 25x vyšší než povrchové napětí vody a je ovlivněno mnoha parametry jako chemickým složením, lící teplotou a podobně. Viskozita odlévané uhlíkové a nízkolegované oceli je srovnatelná s viskozitou vody při pokojové teplotě. Z tohoto důvodu se voda používá k simulacím proudění tekutého kovu ve výzkumných laboratořích po celém světě. Princip zahlcování vzduchu do odlévaného kovu a formování bifilmů je ovlivněno především povrchovým napětím daného kovu a jeho rychlostí proudění. Povrch kovu odlévaného výlevkou je pokryt oxidickým filmem stejně jako povrch kovu v nálevce. Vzduch z menisku mezi oběma oxidy je zahlcován do odlévaného kovu čímž vznikají z povrchových filmů filmy dvojité takzvané „bifilmy“ jak je znázorněno na **Obr. 2a**. Detailně tento proces ukazuje simulace proudění vody v laboratoři **Obr. 2b**. [1].



Obr. 2a. Princip zahlcování vzduchu a tvorba bifilmů



Obr. 2b. Mechanismus zahlcování vzduchu [1]

Výše popsáný princip zahlcování vzduchu a tvorba bifilmů probíhá rovněž při přelévání kovu z tavicí pece do lící pánve. **Obr. 2c.** zachycuje odpich kovu z obloukové pece a **Obr. 2d.** zobrazuje simulaci tohoto procesu a objem zahlceného vzduchu. Dmýchání argonu přes porézní kámen instalovaný na dně lící pánve urychluje vyplavávání bifilmů – vměstků a současně homogenizuje teplotu kovu v pánvi. Efektivnější způsob rafinace kovu v pánvi může být dalším stupněm k dosažení vyšší mikročistoty odlitků, avšak tento článek je dále zaměřen výhradně na proces ochrany tekutého kovu během odlévání do formy.



Obr. 2c. *Zahlčení plynu a formace bifilmů během odpichu*



Obr. 2d. *Vodní model simulace přelévání kovu*

4. VLIV ZAHLCENÉHO VZDUCHU A BIFILMŮ NA KVALITU ODLITKŮ

Zahlčený vzduch je stlačitelný a mění svůj objem v závislosti na teplotě a tlaku uvnitř dutiny odlitku. Rozhraní bublin zahlceného vzduchu a tekutého kovu tvoří oxidický film s nulovou tažností, který je při vyplouvání a současně expanzi těchto bublin nad nimi neustále trhán a zanecháván za nimi. Kyslík obsažený uvnitř těchto bublin neustále reaguje s aktivními prvky jako Ca, Al, Ti, Si, Mn v tekutém kovu. Tímto „obnovuje“ roztrženou a splavenou vrstvu oxidického filmu na jejich rozhraní a zanechává za sebou stopy bifilmů kontaminující tekutý kov. Tento jev byl podrobně popsán profesorem Johnem Campbellem [2] **Obr. 3a.** Voda používaná k simulacím proudění v laboratořích se vzduchem nereaguje, a proto nelze tyto procesy vizualizovat.

Bifilmy se postupně rozbíhají a díky jejich povrchové aktivitě se shlukují do aglomerací. Během tuhnutí odlitku jsou vytlačeny rostoucími dendrity na hranice zrn, kde postupně segregují a oddělují tím od sebe jednotlivá zrna primární matrice. Výrazně tím snižují výsledné mechanické vlastnosti odlitků. Bifilmy inicializují trhliny během tuhnutí odlitků a působí jako zárodky pro segregaci a precipitaci povrchově aktivních prvků po hranicích zrn jako je síra, antimon, cín, olovo a další včetně kyslíku ve formě komplexních oxidických vměstků. Toto narušení kovalentní vazby v primární kovové matici výrazně snižuje schopnost odolávat zvýšenému povrchovému napětí během tuhnutí a tepelného zpracování. Bifilmy také obsahují dutiny vyplněné zbytkovými atmosférickými plyny, které expandují během závěrečné podtlakové fáze tuhnutí odlitků. Rostoucí dendrity omezují dosazovací vzdálenosti a tím způsobují vznik porezity a mikroporezity. **Obr. 3b.** Prostupnost ultrazvukových vln přes takto ovlivněná osová pásma je výrazně snížena a během oprav těchto „neprozvukitelných zón“ nejsou často vizuálně pozorovatelné žádné vady jako staženiny ani porezita.

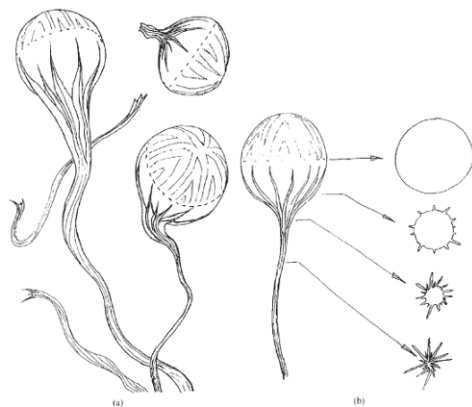
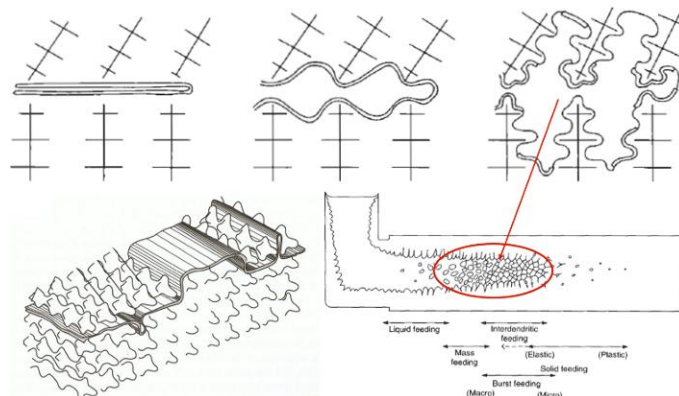


Figure 2.32 (a) Schematic illustrations of rising bubbles and associated trails; (b) cross-sections illustrating the progressive collapse of the bubble trail.

Obr. 3a. Vyplovající bubliny a stopy bifilmů



Obr. 3b. Bifilmy na hranici primárních zrn a vznik porezity [1]

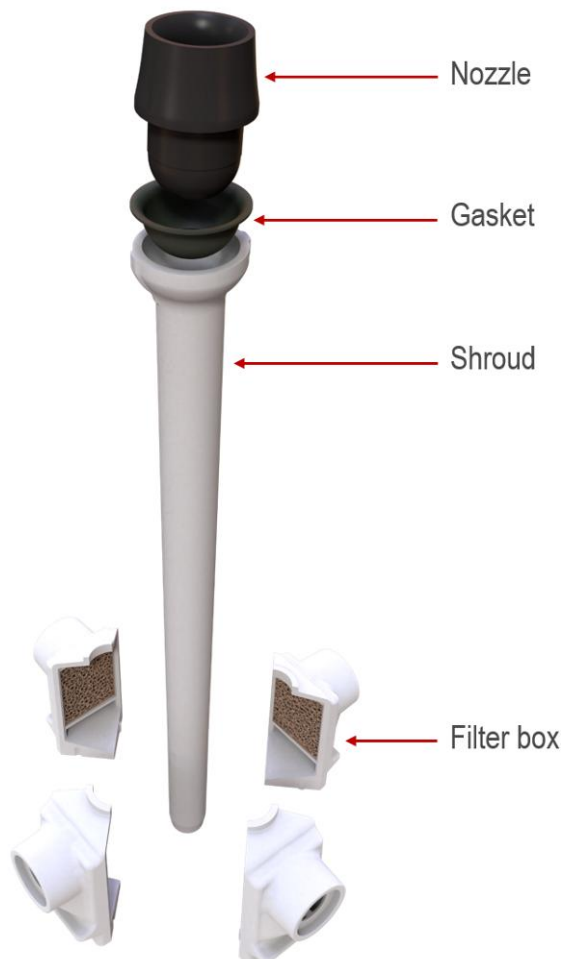
5. OCHRANA PROUDU ODLÉVANÉHO KOVU SHROUDEM PRO VYŠŠÍ KVALITU ODLITKŮ

Shroud byl vyvinut pro ochranu odlévaného kovu před zahlcováním vzduchu a tvorbou bifilmů během lití kovu do formy a tím dosažení nejvyšších kvalitativních požadavků odlitků, maximálního zkrácení doby výroby. Tato nová technologie využití shroudu ve slévárnách splňuje nejpřísnější požadavky bezpečnosti práce a zásadně se liší od použití shroudu při kontilitě v ocelárnách, kde jsou tyto instalovány pod licí pánve roboty. Ve slévárnách je většinou odléváno více forem z pánve. Použití shroudu napevno instalovaného s výlevkou by neumožnilo snadnou manipulaci s licí pánví během odlévání, z tohoto důvodu je shroud pro slévárny instalován ve formě. Jeho spojení s výlevkou v licí pánvi probíhá mechanickým pootočením jednoduchého bajonetového zdvihacího zařízení instalovaného na vršku formy.

6. INSTALACE LICÍHO SYSTÉMU SHROUD A PRINCIP JEHO POUŽITÍ VE SLÉVÁRNÁCH

Licí systém shroud **Obr. 4a** a **Obr. 4b** se skládá z výlevky s půlkulovou výstupní stranou, bezešvým těsnicím-gasketem a licím shroudem zasunutým ve filtrační komůrce. Příprava formy začíná nasazením filtrační komůrky na středící trn a napojením komponentů šamotové vtokové soustavy **Obr. 5a**. Vršková část formy obsahuje model k předformování otvoru pro shroud s drážkou pro usazení a vystředění zvedacího zařízení. Zvedací zařízení je vloženo do předformované drážky ve vršku formy **Obr. 5b**. Shroud s těsnicím gasketem je zasunut až po složení formy skrze zdvihací zařízení na dno filtrační komůrky **Obr. 6a**. Bajonetové zdvihací zařízení se pootáčí ocelovými trubkami kolem vertikální osy a tím dojde k vyzdvižení shroudu ze dna filtrační komůrky. Jeho utěsnění s výlevkou je zajištěno gasketem. Zdvihací zařízení je samosvorné, takže po jeho dotažení a spojení shroudu s výlevkou již není nutná přítomnost obsluhy v blízkosti pánve během odlévání **Obr. 6b**. Výlevka s půlkulovým výstupem je navržena tak, aby byla samostředná a zajišťuje dokonalé spojení se shroudem i v případě, že osa výlevky není přesně nad osou shroudu. Licí shroud poskytuje ochranu odlévaného kovu před kontaminací vzduchem a tvorbou bifilmu po celou dobu lití **Obr. 7a**. Filtrační komůrka je navržena tak, aby minimalizovala rozstřík tekutého kovu, zejména na počátku lití a odfiltrovala vměstky pěno-keramickými filtry STELEX ZR ULTRA. Filtry zároveň pohlcují turbulentní energii před vstupem kovu do šamotové vtokové soustavy **Obr. 7b**. Shroud je kónický se zužujícím se výstupním otvorem pro udržení přetlaku v celém sloupci odlévaného kovu.

Navržený licí systém shroud byl nejdříve odzkoušen ve slévárně centrálního vývojového R&D centra FOSECO v Enschede v Holandsku pod dohledem inspektorů bezpečnosti práce. Těmito zkouškami byla prověřena funkčnost, spolehlivost a bezpodmínečné splnění nejvyšších standardů bezpečnosti práce s tekutým kovem. Následně bylo přistoupeno k provozním zkouškám ve slévárně UNEX, která se tak stala celosvětově první komerční slévárnou, která jej začala využívat k výrobě odlitků.



Obr. 4a. Shroud – sestava komponentů



Obr. 4b. Instalace shroudu do filtrační komůrky



Obr. 5a. Sestavení filtrační komůrky a vtokové soustavy



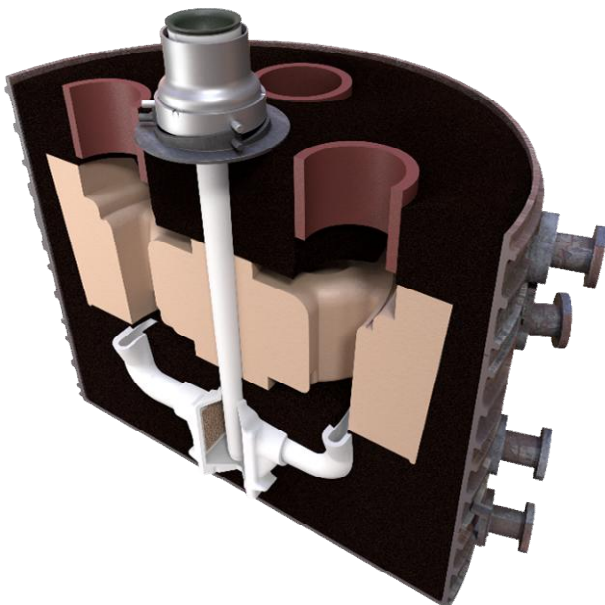
Obr. 5b. Bajonetové zdvihací zařízení na formě



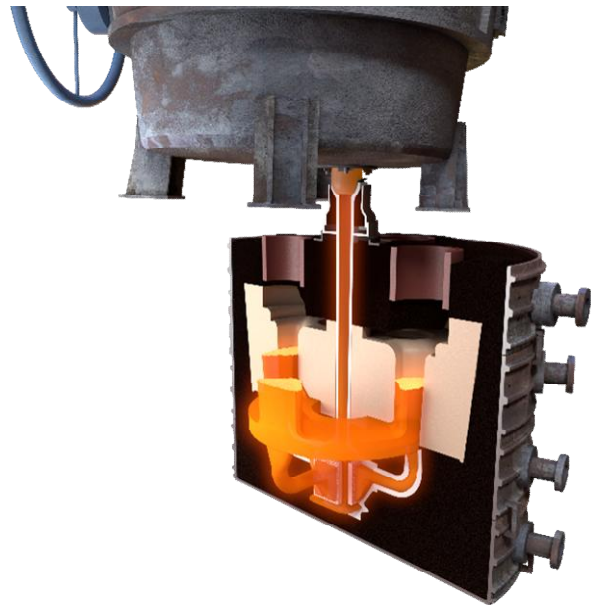
Obr. 6a. Instalace shroudu do složené formy



Obr. 6b. Odlévání kovu shroudem

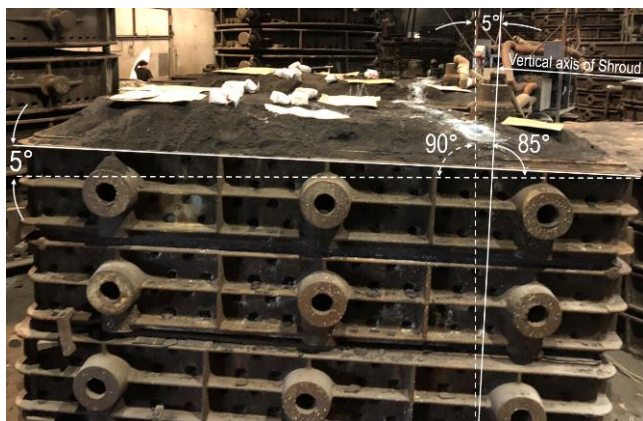


Obr. 7a. Řez formou se shroudem



Obr. 7b. Lící systém shroud během odlévání

Utěsnění lícího systému je spolehlivé i při uložení forem na nerovné podlaze, případně při jejich odlévání na sklon. Díky půlkulovému spojení shroudu s výlevkou je vždy zajištěno jejich dokonalé napojení, a to i tehdy, pokud je toto spojení pod úhlem, nebo pokud pánev není výlevkou přesně nad osou shroudu ve formě **Obr. 8a** a **Obr. 8b**.



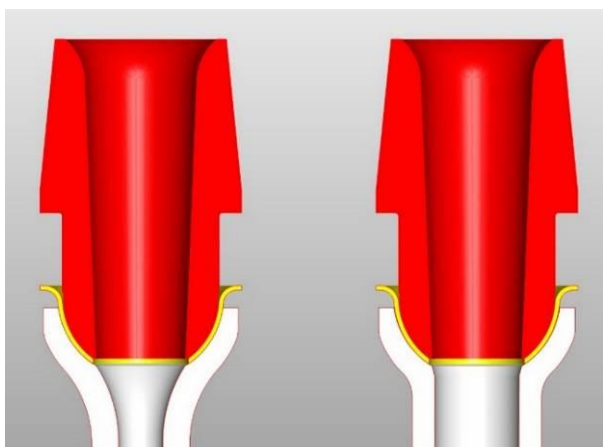
Obr. 8a. Shroud umožňuje i odlévání forem na sklon



Obr. 8b. Pánev nad shroudem před spojením a utěsněním pootočením zdvihacího zařízení

6.1 Příkladová studie: Vysokorychlostní unašeč

Unašeč planetové převodovky z nízkolegované vysokopevnostní oceli (G 42CrMo4 QT) o hrubé hmotnosti 750 kg byl vybrán pro první zkoušku licího systému shroud ve slévárně UNEX. Vršková strana dolní příruby (tloušťka 16 mm) vykazovala vady nazývané “vlasové trhliny” které se shlukují v oblastech s omezenou dostupností pro opravy zavařováním. Tavba byla provedena na středofrekvenční indukční peci o kapacitě 4 t. Odléváno 5 ks odlitků z pánve se zátkovou tyčí o kapacitě 5 t. Licí čas v rozmezí 20–24 s v závislosti na zbytkové výšce kovu v pánvi. Výlevka měla výstupní průměr 80 mm a shroud 35 mm. Shroud umožňuje použití univerzální výlevky bez ohledu na hmotnost a tvar odlitku. Hmotnostní výtok kovu z pánve není řízen průměrem výlevky, ale průměrem použitého shroudu **Obr. 9a** a **Obr. 9b**. Licím systémem shroud je tedy možné odlévat malé i velké odlitky z jedné licí pánve a požadovaná rychlost plnění je určena použitým průměrem Shroudu.



Obr. 9a. Univerzální výlevka pro různé průměry shroudu



Obr. 9b. Výlevka instalována v pánvi a připravená k lití

Vady detekované MPI u odlitků odlitých shroudem byly ve srovnání s výsledky konvenčního lití téměř eliminovány **Obr. 10a** a **Obr. 10b** a vyhověly RTG i UZ zkoušce ve třídě kvality 1.

Vzorek vady z konvenčně litého odlitku byl odebrán pro SEM analýzu ve spolupráci s univerzitou v Saarbrückenu v Německu. Formace primární ale i sekundární strusky sbalené v oxidických filmech pod povrchem odlitku byly nalezeny v tomto vzorku **Obr. 10c** a **Obr. 10d**. Z analýzy prvků obsažených ve vměstcích lze usuzovat jejich původ. V tomto případě vměstky vznikly v průběhu tavení, jelikož neobsahovaly prvky použité k dezoxidaci kovu v pánvi. Některé vady byly spojeny s povrchem, avšak jiné se nacházely několik milimetrů pod povrchem, což neumožňuje jejich detekci MPI. Tyto vady jsou obvykle odkryty až po tepelném zpracování. Vlivem bifilmů, které výrazně snižují pevnost v tahu po hranicích primárních zrn, dochází

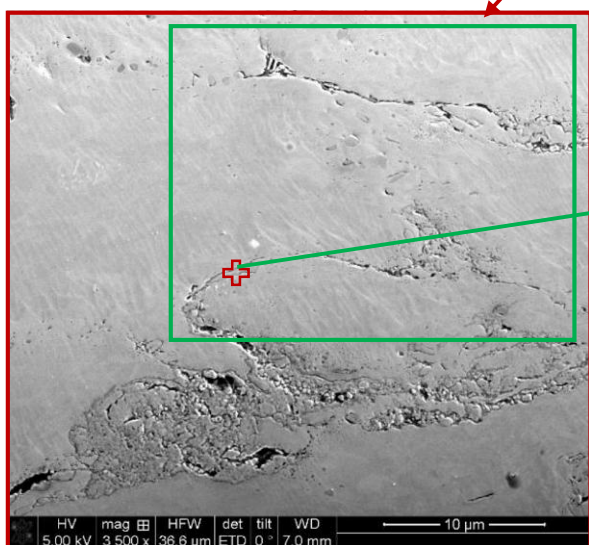
v průběhu oprav zavařováním k inicializaci nových indikací, které vedou k opakovaným cyklům oprav zavařování, popuštění a nutnosti opakování zkoušek MPI.



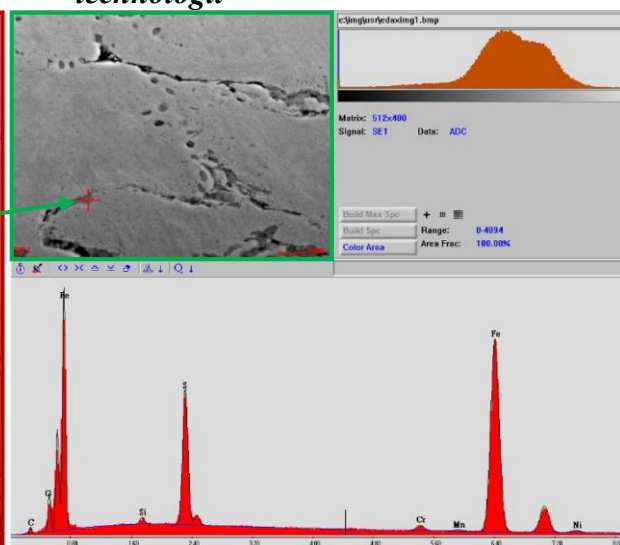
Obr. 10a. Povrch odlitku litého shroudem



Obr. 10b. Povrch odlitku litého klasickou technologií



Obr. 10c. SEM "vlasové trhliny" – Saarbrücken univ



Obr. 10d. EDX - O, Fe, Ni, Si, S, Cr, Mn, ale žádný Al & Ca

6.2 Příkladová studie: Nízkorychlostní unašeč

Díky úspěšnému odstranění lineárních vad vlasových trhlin shroudem na vysokorychlostním unašeči bylo rozhodnuto odzkoušet tuto technologii na mnohem náročnějších odlitcích nízkorychlostních unašečů ze stejného materiálu o hrubé hmotnosti 2500 kg. Tyto odlitky mají násobně silnější stěny a tím exponenciálně delší dobu tuhnutí, během které se bifilmové rozbalují, shlukují a vyplavávají pod natuhující vrstvou kovu. Zasahují tak až do hloubky 5–12 mm pod povrchem odlitku. Tepelné zpracování odlitků vyvolává tahová napětí, která porušují strukturu po hranicích zrn oddělených během krystalizace keramickou vrstvou bifilmů. Výsledkem těchto procesů jsou nevyhovující zkoušky MPI.

Tavba probíhala na elektrické obloukové peci EOP a odlévání z 8.5 t pánve se spodní výpustí a zátkovou tyčí. Provozní praxe v UNEXU zahrnuje i čišťení kovu a jeho tepelnou homogenizaci v pánvi dmýcháním argonu přes porézní kámen instalovaný na dně lící pánve. Lící teplota se neměří při odlévání, ale během dmýchání argonu. Tento proces probíhá, dokud teplota kovu nedosáhne požadované hodnoty a poté je lící pánve převezena na lící pole, kde začíná odlévání asi 5–6 minut po odpojení argonu. Požadovaná teplota pro ukončení dmýchání argonu byla pro tyto odlitky při konvenčním lití přes pěno-keramické filtry 1575–1580 °C.

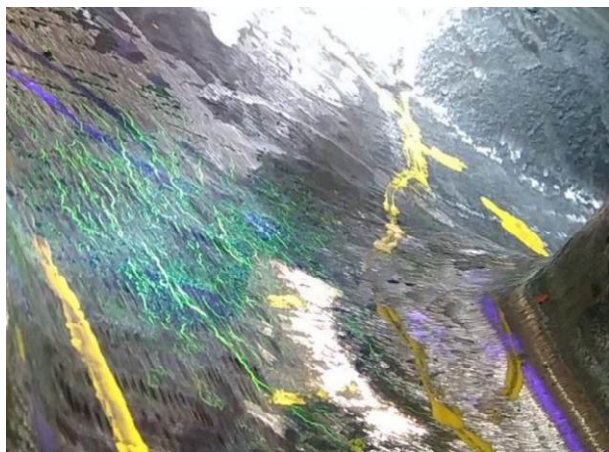
První zkouška lití těchto odlitků shroudem proběhla ze stejné lící teploty. Lící čas dosahoval hodnot 20–24 s, což bylo neporovnatelně rychlejší, než konvenční lití (40–60s výlevkou o průměru 90 mm). Nejpravděpodobnějším důvodem tak dlouhých časů u konvenčního lití bylo škrcení výlevky pánvařem během odlévání, aby nedošlo k rozstříku odlévaného kovu a případnému zranění popálením. První zkouška lití tohoto odlitku shroudem přinesla zvýšení bezpečnosti lící čtyř a

konstantní dobu lití díky plně otevřené výlevce po celou dobu odlévání. Následná magnetická zkouška MPI však nepřinesla očekávané snížení výskytu vlasových trhlin **Obr. 11a**. Příliš rychlé a turbulentní plnění vytvářející fontánový efekt nad vtoky byl pravděpodobně příčinou oxidace kovu během plnění dutiny formy a znehodnocení poskytnuté ochrany kovu při lití shroudem.

Za účelem eliminace reoxidace tekutého kovu turbulentním plněním formy byl do formy foukán nálitkem argon o čistotě 5.0. Obsah kyslíku byl v dutině formy měřen přístrojem Greisinger GOX 100. Jeho obsah byl snížen z atmosférických 20,9 % na 0,3 % před začátkem lití. Již 2 s od začátku lití byl naměřen obsah kyslíku 15,8 %, a to i přes to, že byly nálitky uzavřeny papírovými kryty. Tento test probíhal opakovaně, ale vždy se stejným výsledkem. Vlivem ztrát argonu ve formě ihned po otevření výlevky byly tyto zkoušky neúspěšné. Výsledky MPI nevykazovaly výrazné snížení výskytu vlasových trhlin v porovnání s konvenčním litím.

Řešením bylo snížení výtokové rychlosti, což bylo dosaženo zúžením výstupního otvoru shroudu z původních 70 mm na 45 mm. Snížením výtokové rychlosti a udržení licího systému pod tlakem během odlévání byly sníženy turbulence kovu ve vtokové soustavě, zejména na začátku plnění formy. Teplota kovu v pánvi na konci dmýchání argonu byla snížena na 1550 °C a dosažené licí časy byly v intervalu 40–45 s. Při lití nebyl pozorován žádný problém s průtokem kovu přes zirkonové filtry ve filtrační komůrce. Magnetická zkouška MPI ukázala většinu lineárních vad v limitu přípustnosti do 2 mm **Obr. 11b** a následná RTG a UZ zkouška byla vyhovující dle třídy kvality 1. Na základě těchto výsledků bylo pokračováno ve větší sérii zkoušek, během kterých byla teplota kovu v pánvi dále snížena až na 1530 °C. Snížením licí teploty byly minimalizovány trhliny vznikající během tuhnutí odlitků. Takto nízké licí teploty nebylo konvenčním litím možné dosáhnout z důvodu zavalenin a nezaběhnutí. Odlitky lité shroudem tyto vady nevykazovaly. Při napojení výlevky na shroud nedochází k natuhování kovu na stěně výlevky během lití, nicméně odlévání samostatně litých zkušebních bloků nebylo takto nízkou teplotou možné. Řešením bylo lití zkušebních bloků společně s odlitky. Vzhledem k dosaženým výsledkům byl shroud zaveden do sériové výroby těchto unášeců a dnes již stovky takto vyrobených odlitků stabilně vykazují vyhovující výsledky RTG a UZ zkoušky s minimem opravovaných lineárních vad detekovaných MPI zkouškou.

Licí systém shroud byl úspěšně nasazen na tyto unášče až do hrubé hmotnosti 3500 kg, které jsou v současné době nejtěžšími vyráběnými v UNEXU.



Obr. 11a. *Vlasové trhliny při turbulentním plnění formy*



Obr. 11b. *Povrch při lití kónickým shroudem se zmenšeným průměrem výstupního otvoru*

6.3 Příkladová studie: Malý náboj kola

Materiál odlitku GS-22 NiMoCr 56. Hrubá hmotnost 1200 kg. Tavba na EOP. Dmýchání argonu v licí pánvi přes porézní kámen po dobu 5–6 minut. Použitý Shroud s výstupním otvorem o průměru 35 mm. Teplota kovu v pánvi po odpojení argonu 1560–1570 °C a licí čas v intervalu 35–40 s. Odlito 6 forem z jedné pánve každá samostatným shroudem. **Obr. 12a** a **Obr. 12b**. Všechny odlitky lité shroudem vyhověly UZ zkoušce a zkouškou MPI nebyly detekovány téměř žádné

lineární indikace, což výrazně snížilo termín dodání a dodatečné výrobní náklady spojené s opravami zavařováním **Obr. 12c** a **Obr. 12d**.



Obr. 12a. Náboj kola a shroud s filtrační komůrkou



Obr. 12b. Povrch vršku odlitku po otryskání



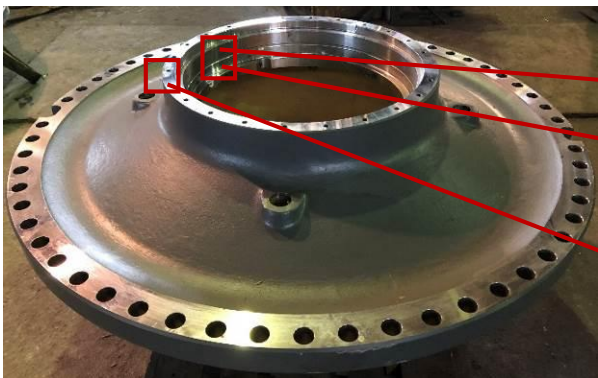
Obr. 12c. zkouška MPI po TZ vyhověla



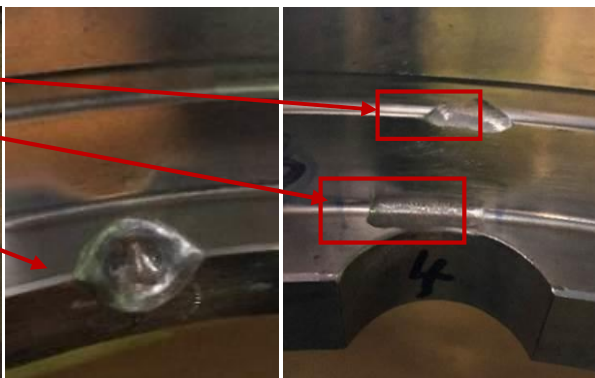
Obr. 12d. Vršek odlitku po zkoušce UZ a MPI

6.4 Příkladová studie: Velký náboj kola

Materiál odlitku GS-22 NiMoCr 56, Hrubá hmotnost 3000 kg. Konvenčně lité odlitky vykazovaly velké plochy rozplaveného písku a bublin detekovaných MPI zkouškou ve vrškové ploše a na povrchu pod vnitřním jádrem. Odstranění těchto vad vyžadovalo náročné zavařování a opakovanou MPI kontrolu. Nejkritičtější byly drobné vady odkryté během finálního opracování, které vedly k vyřazení kompletně opracovaných odlitků u konečného zákazníka **Obr. 14a** a **Obr. 14b**. Shroud s výstupním otvorem o průměru 45 mm byl použit pro odlití 5 odlitků **Obr. 14c**. Tavba na EOP. Dmýchání argonu v lici pánvi přes porézní kámen po dobu 10 minut. Teplota v pánvi po odpojení argonu byla 1550–1560 °C a lici čas v intervalu 45–50 s. Provedená zkouška MPI nevykazovala žádný výskyt rozplaveného písku ani bublin. Identifikovány byly pouze malé lineární vady, které vycházely ze staženin v oblasti napojení nábojů. Tyto byly následně řešeny nálitkováním **Obr. 14d**.



Obr. 14a. Vady po finálním opracování



Obr. 14b. Vybroušení odkrytých vad při opracování



Obr. 14c. Odlitky lité shroudem



Obr. 14d. Odlitek po zkoušce MPI a UZ

6.5 Příkladová studie: Špice výložníku

Materiál odlitku GS-24 Mn 6, Hrubá hmotnost 5000 kg. Tyto tvarově náročné rozlehlé odlitky jsou v kombinaci tenkých a silných stěn spolu s trhlinami vysoce náchylné na výskyt povrchových vad a plynových kanálků ve vršku **Obr. 15a** a **Obr. 15b**. U těchto odlitků bylo opakovaně zkoušeno několik technologických úprav za účelem odstranění uvedených vad. Žádná z nich však nevedla k jejich významnému snížení.

Shroud s výstupním otvorem 45 mm byl použit pro odlití 2 zkušebních odlitků z pánve o kapacitě 10.5 t. Tavba na EOP. Dmýchání argonu v lici pánvi přes porézní kámen po dobu 5–6 minut. Teplota v pánvi po odpojení argonu byla 1550 °C a lici čas prvního odlitku 72s a druhého 90 s vlivem nižšího metalostatického tlaku kovu v pánvi. Vtoková soustava byla zaústěna do spodku odlitku šterbinovými zářezy k minimalizaci tepelného uzlu v oblasti jejich napojení **Obr. 16a** a **Obr. 16b**. Následná MPI zkouška nedetekovala přítomnost strusky, rozplaveného písku ani žádné bubliny nebo plynové kanálky **Obr. 17a** a **Obr. 17b**. Bylo dosaženo výrazného snížení času potřebného na průchod odlitků cídírnou, jelikož opravy zavařováním byly hlavním limitujícím faktorem těchto náročných odlitků a tím bylo dosaženo výrazného zvýšení výrobní kapacity slévárny.



Obr. 15a. Bubliny a plynové kanálky ve vršku odlitku



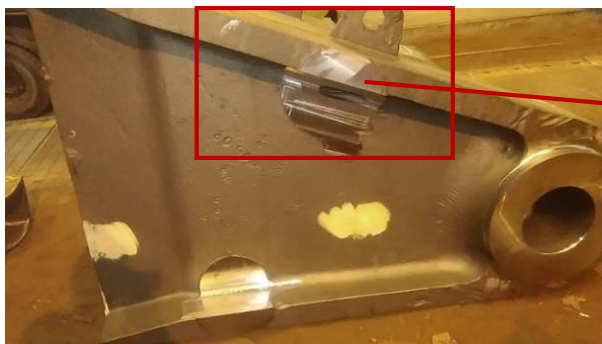
Obr. 15b. Písek a vměstky ve vršku odlitku



Obr. 16a. Sestavená vtoková soustava s filtrační komůrkou



Obr. 16b. Odlitek se Shroudem po vytlučení a otryskání



Obr. 17a. Povrch vršku odlitku odlitého Shroudem



Obr. 17b. Bez rozplaveného písku a bublin

7. SHRUTÍ

Licí systém shroud je inovativní technologií, která chrání proud kovu odlévaného do formy před oxidací a kontaminací atmosférickými plyny. Umožňuje slévárnám splnit nejnovější trendy v oblasti požadované kvality odlitků a významně zvýšit jejich mechanické vlastnosti zejména v kritických oblastech. Výroba odlitků s minimálním výskytem NDT vad umožňuje kratší výrobní čas ve srovnání s konvenční výrobou a vyšší stabilitu výrobního procesu. Zavedení shroudů do sériové výroby přineslo výrazné snížení reklamací u konečného odběratele, což zvyšuje finanční stabilitu slévárny a předvídatelnost nákladů. Splnění nejvyšších kvalitativních požadavků vyráběných odlitků v požadovaném termínu dává slévárnám rozhodující konkurenční výhodu stát se spolehlivým dodavatelem nebo dokonce partnerem svých klíčových zákazníků a získat více zakázek do budoucna.

Nejdůležitější výhody liciho systému Shroud:

- Chrání odlévaný kov před zahlcováním vzduchu a tvorbou bifilmů
- Snížení vad nevyhovujících RTG, UZ a MPI zkouškám
- Snížení oprav odlitků zavařováním
- Minimum reklamací u konečného zákazníka
- Stabilizuje výrobní proces (kvalitu odlitku)
- Zkrácení času potřebného k výrobě odlitků
- Snížení lici teploty
- Zvýšení mechanických vlastností
- Poskytuje vyšší ochranu zdraví při práci, jelikož eliminuje přístup k odlévanému proudu kovu
- Snížení zátěže na životní prostředí

LITERATURA

- [1] KIGER, K.T., & DUNCAN, J.H. Air Entrainment Mechanism in Plunging Jets and Breaking Waves. *Annual Review of Fluid Mechanics*, Vol. 44, pp. 563-596 (2012).
- [2] CAMPBELL, J. Complete Casting Handbook: Metal Casting Processes, Metallurgy, Techniques and Design (2nd ed.). Oxford, UK: Elsevier (2015).

Kompletní řada pyrometrů Endurance

Keller, L. ¹⁾

¹⁾TSI System s.r.o. Mariánské nám. 1, 617 00 Brno, ČR, lkeller@tsisystem.cz

Klíčová slova

Endurance, teplota, pyrometr, poměrový pyrometr.

Abstrakt

Fluke Process Instruments nabízí a dodává kompletní řadu infračervených pyrometrů Endurance pro vysoké teploty ve dvou modelových provedeních: integrované pyrometry Endurance a pyrometry Endurance Fiber-Optic. Pyrometry pracují s teplotním rozsahem od 50 °C do 3200 °C a s optickým rozlišením (až 300:1 pro integrované pyrometry a až 100:1 pro pyrometry s optickým vláknem). Pyrometry Endurance mají pouzdro z nerezové oceli s krytím IP65 a odolávají teplotám okolního prostředí až do 65 °C (integrovaný pyrometr bez chlazení) nebo až do 315 °C (integrovaný s chladicím příslušenstvím a pyrometr s optickým vláknem bez chlazení). Mají galvanicky oddělené vstupy a výstupy. Hlavice pyrometru s optickým vláknem může pracovat v oblastech s vysokými intenzitami elektromagnetického pole. Pyrometry Endurance mají rozhraní RS485 a Ethernet s napájením (PoE) a komunikační protokoly Profinet a EtherNet IP. Ovládací panel pyrometru usnadňuje nastavení. Program Endurance pro nastavení a monitorování na PC zjednodušuje konfiguraci a nasazení. Vestavěný webový server umožňuje archivaci naměřených dat pro následnou analýzu, řešení problémů a vzdálený dohled nad výrobní technologií.

1. INTEGROVANÉ PYROMETRY ENDURANCE

Integrované pyrometry Endurance jsou kompaktní jednotky zahrnující objektiv, senzor, vyhodnocovací elektroniku, ovládací panel s displejem a přípojovací konektory v jednom kovovém pouzdru. Mají velký měřicí rozsah od 50 °C do 3200 °C, který pokrývá většinu průmyslových vysokoteplotních aplikací. Poměrový režim umožňuje měření v obtížných podmínkách, kdy je měřený objekt malý nebo tvarově proměnný anebo když není stabilně v zorném poli pyrometru. V poměrovém režimu je také možné přesně měřit i v případě až 95 % zastínění zorného pole mechanickými překážkami, prachovými částicemi nebo vodní párou.

Integrované pyrometry Endurance jsou k dispozici v pěti modelech. Dva poměrové modely 1R a 2R pracují na vlnových délkách kolem 1,0 μm a 1,6 μm. Model 1R může měřit jak v poměrovém, tak v absolutním režimu. Předností modelu 2R je poměrový režim již od nízké teploty 250 °C. Modely 1M, 2M a 3M pracují na vlnových délkách 1,0 μm, 1,6 μm a 2,4 μm. Vynikají optickou charakteristikou až 300:1, která umožní měřit malé cíle ve velké vzdálenosti. Jsou také vhodné pro měření rychlých procesů, protože jejich odezva na změnu teploty je 2 ms. Podstatnou výhodou modelu 3M je rozšířená dolní hranice měřicího rozsahu od 50 °C, která umožní sledování širokorozsahových teplotních procesů.

Zaměřování integrovaných pyrometrů Endurance má několik variant. Všechny modely je v základním provedení možné zaměřovat průhledovým hledáčkem. Dále je pro zaměřování možné zvolit vestavěný osový laser nebo je možné použít světelné zaměřování, které využívá vestavěnou výkonnou světelnou diodu, osvětlující měřenou plochu přes objektiv pyrometru. Nejpokročilejší možností je video zaměřování prostřednictvím vestavěné kamery, která umožňuje navíc sledovat výrobní proces.



Obr. 1. Integrované provedení pyrometru Endurance

Tabulka 1. Modelová řada integrovaných pyrometrů Endurance

Model	1R	2R	1M	2M	3M
Rozsah	550 až 3200°C	250 až 1200°C	400 až 3000°C	250 až 2250°C	50 až 1800°C
Režim	Poměrový	Poměrový	Absolutní	Absolutní	Absolutní
Optika	150/100:1	75:1	300/160:1	300/160:1	300/100:1
Spektrum	1,0 μm	1,6 μm	1,0 μm	1,6 μm	2,4 μm
Odezva	10 ms	20 ms	2 ms	2 ms	20 ms

Integrované pyrometry Endurance jsou robustní díky nerezovému pouzdru. Odolávají okolní teplotě do 65 °C bez přídavného chlazení. Základní pouzdro může být vybaveno chladicím pláštěm, který zajistí teplotní odolnost do 120 °C při vzduchovém chlazení a do 175 °C při vodním chlazení. Pokud je potřeba umístit pyrometr do prostředí o ještě vyšší teplotě, je k dispozici speciální termoplášť, který zajistí ochranu pyrometru při teplotě okolí do 315 °C. Pro termoplášť jsou k dispozici různé montážní prvky a také ochranné zaměřovací trubice. Integrované pyrometry Endurance mají krytí IP65.



Obr. 2. Integrovaný pyrometr Endurance v termoplášti

2. PYROMETRY ENDURANCE FIBER-OPTIC

Pyrometry Endurance Fiber-Optic mají samostatný objektiv oddělený od vyhodnocovací elektroniky optickým kabelem. Hlavice s objektivem je pasivní prvek a infračervené záření se přenáší optickým kabelem, který může být dlouhý od 1 m až do 22 m, na senzor umístěný ve skříňce s vyhodnocovací elektronikou, která obsahuje ovládací panel s displejem a přípojevacími konektory. Měřicí rozsah pyrometrů Endurance Fiber-Optic je od 250 °C do 3200 °C.



Obr. 3. Provedení pyrometru Endurance Fiber-Optic

Pyrometry Endurance Fiber-Optic jsou k dispozici ve čtyřech modelech. Poměrové modely F1R a F2R pracují na vlnových délkách kolem 1,0 μm a 1,6 μm a mají optickou charakteristiku od 20:1 do 65:1 podle teplotního rozsahu. Model F2R umožňuje v poměrovém režimu měřit již od teploty 275 °C. Absolutní modely měří na vlnových délkách 1,0 μm a 1,6 μm a v nejvyšším teplotním rozsahu mají optickou charakteristiku 100:1. Odezva na změnu teploty je 10 ms, jen model F2R má odezvu 20 ms. Pro zaměřování hlavice je možné využít vestavěného laseru.

Tabulka 2. Modelová řada pyrometrů Endurance Fiber-Optic

Model	F1R	F2R	F1M	F2M
Rozsah	550 až 3200°C	275 až 1300°C	475 až 3000°C	250 až 1700°C
Režim	Poměrový	Poměrový	Absolutní	Absolutní
Optika	20/40/65:1	20/40:1	20/100:1	20/40:1
Spektrum	1,0 μm	1,6 μm	1,0 μm	1,6 μm
Odezva	10 ms	20 ms	10 ms	10 ms

Výhodou pyrometrů Endurance s optickým kabelem je, že již samotná hlavice s objektivem má vysokou teplotní odolnost. Ve standardním provedení snese hlavice s optickým kabelem okolní teplotu až 200 °C, ve vysokoteplotním provedení může být okolní teplota až 315 °C. Pro umístění hlavice v extrémních teplotních podmínkách je k dispozici speciální chladicí a ofukovací jednotka, která zajistí funkci hlavice do teploty 450 °C. Jednotka vyhodnocovací elektroniky má standardní pracovní teplotu do 60 °C, při použití vodního chladicího příslušenství odolává teplotě až 150 °C. Všechny části pyrometru Endurance Fiber-Optic mají krytí IP65.

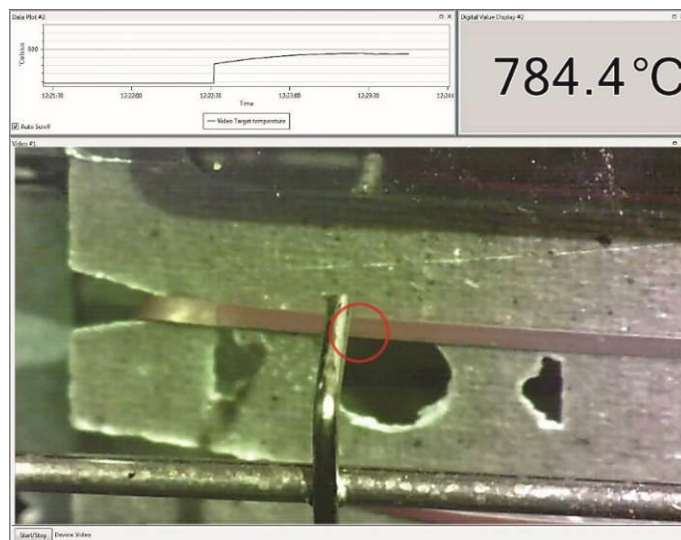
Hlavní využití pyrometrů Endurance s optickým kabelem je při instalaci měření teploty ve stísněných prostorových podmínkách. Velkou výhodou této modelové řady je odolnost vůči elektromagnetickému rušení.

3. KONEKTIVITA PYROMETRŮ ENDURANCE

Pyrometry Endurance obou provedení lze zařadit do libovolného systémového uspořádání díky jejich variabilní konektivitě. Nezbytným základem je standardní analogový výstup 0/4 – 20 mA, který je opticky oddělený a má přesnost v 16 bitovém rozlišení. K dispozici je také signalizační kontakt vestavěného relé. Výchozí sériové rozhraní má protokol RS485 s dvoudrátovým připojením.

Pro potřeby integrace pyrometrů Endurance do moderních průmyslových komunikačních systémů je k dispozici rozhraní Ethernet. Naměřená data jsou tak přístupná prostřednictvím programového vybavení Endurance nebo, díky vestavěnému serveru, pomocí libovolného internetového prohlížeče.

Pyrometry Endurance nabízí také možnost protokolu Profinet, který je určený zejména pro komunikaci s PLC. Nově je do pyrometrů Endurance implementován protokol EtherNet IP, který umožňuje přenos velkých objemů dat vysokou přenosovou rychlostí.



Obr. 4. Program Endurance s vizuálním kanálem

Napájení pyrometrů Endurance je běžným průmyslovým zdrojem stejnosměrného napětí od 18 do 42 V nebo prostřednictvím moderní technologie PoE (Power over Ethernet), která umožní napájení a přenos dat po jednom kabelu.

4. VYUŽITÍ PYROMETRŮ ENDURANCE

Pyrometry Endurance nahrazují předchozí modelové řady Marathon a díky plné mechanické i elektrické kompatibilitě je výměna za dosluhující přístroje jednoduchá. Jejich vlastnosti, jako je flexibilita nasazení, odolnost vůči okolnímu prostředí, snadnost nastavení a provozování a variabilita konektivity, je předurčují do moderních měřicích systémů. Pyrometry Endurance jsou díky svým vynikajícím metrologickým parametrům a vysoké odolnosti vůči okolnímu prostředí široce použitelné v celé řadě průmyslových odvětví. V hutním a zpracovatelském průmyslu kovů je to zejména při výrobě oceli, ve slévárnách, v kovárnách, ve válcovnách, při indukčním ohřevu a při tepelném zpracování kovů.

LITERATURA

[1] Firemní literatura Fluke Process Instruments, 2017-2019.



- Pěnové keramické filtry
- Žárovzdorné keramické tvarovky
- Lisované nálevky
- Mazací a separační prostředky pro tlakové lití
- Keramická jádra
- Tavicí a udržovací kelímky



Progresivní workflow pro výrobu odlitků do keramických forem

Krutiš, V.¹⁾, Dostál, M.¹⁾, Cileček, J.²⁾

¹⁾ VUT FSI v Brně, www.fme.vutbr.cz, krutis@fme.vutbr.cz, 200529@vutbr.cz

²⁾ AluCAST s.r.o., www.alucast.cz, jarmil.cilecek@alucast.cz

Klíčová slova

Keramická forma, 3D tisk, virtuální inženýrství, optimalizace

Abstrakt

Slévárnictví čelí novým výzvám, které jsou vyvolány rapidním rozvojem zejména aditivních technologií. Tyto technologie jsou doprovázeny nejen požadavky na rychlost a kvalitu dodání prototypů nebo prvních odlitků, ale rovněž změnou v přístupu ke konstrukci vlastních strojních součástí. Techniky topologické optimalizace a generativního designu uvolnili hráze fantazie konstruktérů natolik, že v řadě případů je zcela opomíjeno propojení tvaru součásti a jeho vyrobitelnosti z hlediska konvenčních technologií. Budeme si muset zvykat na pojem „hybridní technologie“, která vyžaduje nasazení 3D tisku a pro některé tvary bude možné použít pouze plný 3D tisk kovů a to nejen pro prototypovou výrobu. Abychom vyhověli vzrůstajícím požadavkům na odlitky, bude nezbytné pracovat se všemi dostupnými nástroji virtuálního inženýringu, který bude červenou nití od koncepce odlitku, přes jeho optimalizaci a virtuální výrobu až po kontrolu požadovaných vlastností. Tento článek prezentuje praktické propojení nástrojů virtuálního inženýringu s aditivními technologiemi výroby modelu a následné výroby keramické skořepiny rychlým prototypováním pro odlitek držáku volantu.

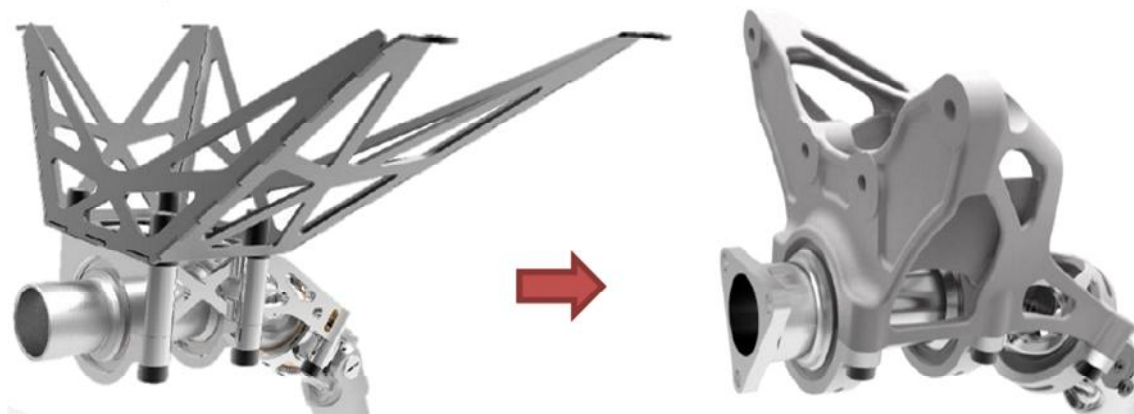
1. ÚVOD

Ještě nedávno byly tvary odlitků navrhovány tak, aby splňovaly alespoň základní požadavky na technologičnost konstrukce. Jedná se o přizpůsobení konstrukce dílu způsobu výroby a vlastnostem materiálů s cílem zajistit efektivní a kvalitní výrobu. Technologičnost konstrukce se zaměřovala na způsob dělení modelu s ohledem na předem zvolenou výrobní technologii, soustřeďovala se na eliminaci tepelných uzlů pomocí ideálního napojení a přechodu stěn a v řadě případů reagovala na potřebu usměrněného tuhnutí s ohledem na eliminaci slévárenských vad. Z uvedených důvodů byly tvary odlitků spíše konzervativní, tak aby vyhovovali zejména požadavkům na funkčnost a zvolenou výrobní technologii. Rozvoj nových optimalizačních metod v 3D konstruování (včetně cloudových řešení) mezi které patří například topologická optimalizace či generativní design a rozvoj metod 3D tisku, posunul návrhy tvarů součástí až do oblastí, která v minulosti náležela pouze uměleckým odlitkům. Tyto metody dokážou z několika tisíců možných návrhů vybrat ten, který nejlépe vyhovuje zadaným vstupním parametrům, které si uživatel zvolí. Vznikají tak opravdu impozantní a inovativní tvary, pro které je však nutné následně zvolit vhodnou technologii výroby pro daný konstrukční materiál a požadovaný počet dílů. Velmi progresivní technologií pro tvarově náročné odlitky včetně rychlé výroby prototypů je technologie investment casting. V běžné sériové výrobě je používána kovová matečná forma pro výrobu voskových modelů, nicméně složitost tvarů a rozvoj 3D tisku včetně jeho rychlosti, použitých materiálů, přesnosti a povrchové kvality otevřelo novou cestu k výrobě modelů.

2. NÁVRH TVARU ODLITKU

Vyráběný odlitek vznikl na základě požadavků týmu konstruktérů Formule student, který se zabýval návrhem odlitků pro novou formuli pod označením Dragon 9. Jedná se o odlitek držáku volantu z materiálu AlSi7Mg0.3, který byl v předchozí verzi formule vyráběn jako sestava ocelového svařence a hliníkového obrobku – **Obr. 1**. Požadavky na držák volantu byly následující:

- Snížení váhy držáku
- Zvýšení tuhosti
- Zkrácení výrobního času



Obr. 1. Změna technologie výroby držáku volantu (svařenec-->odlitek)

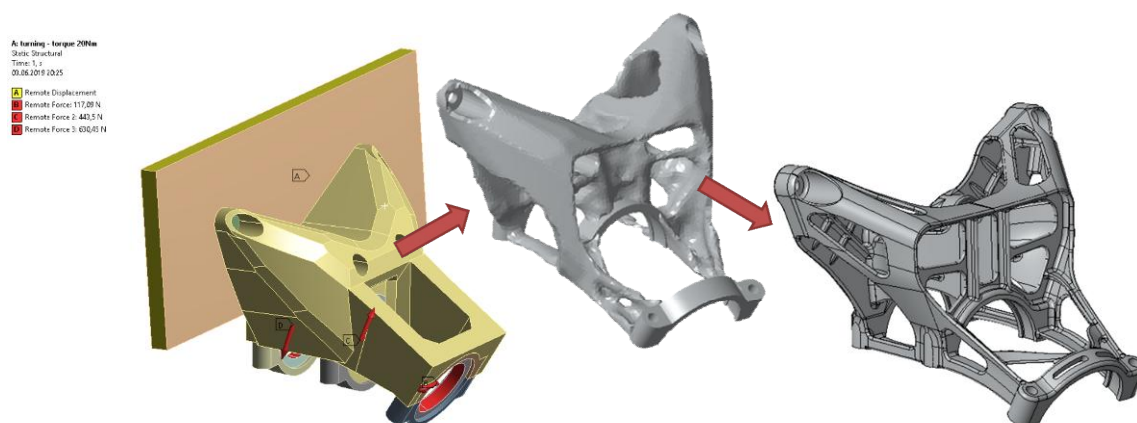
Návrh odlitku vychází z topologické optimalizace, jejíž cílem je stanovení optimálního rozložení materiálu v návrhovém prostoru. Tento postup nahrazuje tradiční přístup manuálního redesignu anebo parametrickou optimalizaci. Výhodou topologické optimalizace je nezávislost na konstrukčních rozměrech. Během procesu optimalizace se odebírá materiál z celkového objemu konstrukčního dílu při dodržení předem stanovených ohraničení, například:

- Vnější hranice dílu
- Omezení pevnosti dílu
- Zachování propojovacích oblastí [1]

Topologická optimalizace tohoto dílu byla provedena v programu ANSYS Workbench 18.1 pro tyto okrajové podmínky:

- Točivý moment 20Nm
- 700N zavěšených na volantu
- Tlak 150N na stranu volantu
- Tlak 200N na obě strany volantu

Na **Obr. 2** můžeme vlevo vidět vstupní model pro topologickou optimalizaci, tzv. pracovní prostor, ve kterém se optimalizovaný díl musí nacházet. Z tohoto prostoru bylo výpočtem odebráno 70% materiálu. Uprostřed je již výsledek topologické optimalizace a vpravo konečný CAD model.

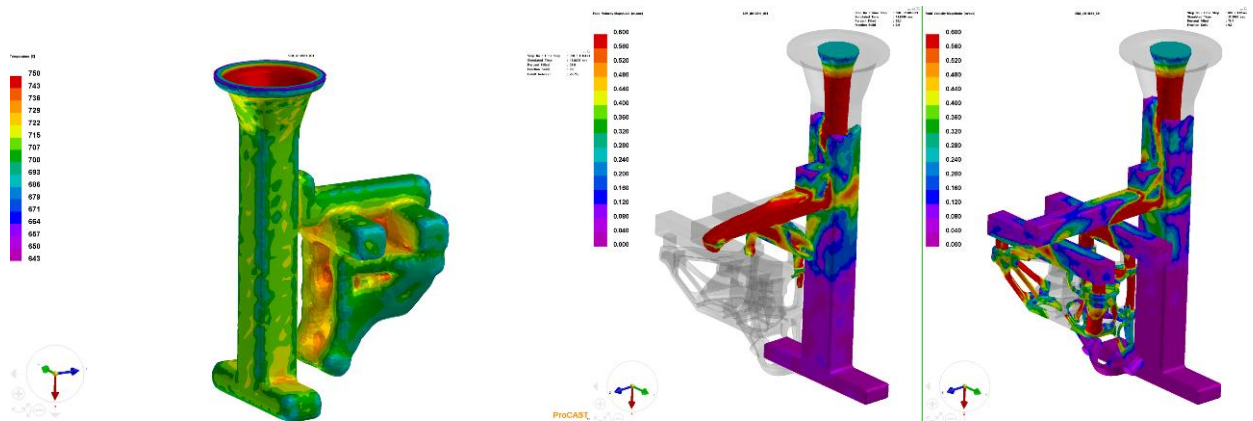


Obr. 2. Topologická optimalizace tvaru odlitku

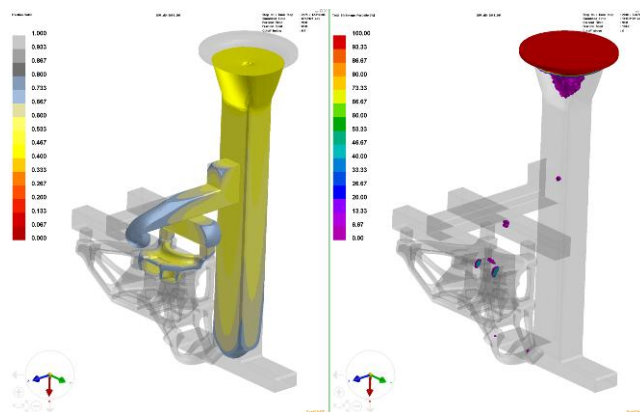
3. VIRTUÁLNÍ VÝROBA

Další nepostradatelnou částí virtuálního inženýringu je virtuální výroba (Virtual Manufacturing – VM). Metody CAE spojené s optimalizačními metodami přinášejí výrobu do virtuálního prostoru, který nám umožňuje libovolné testování zvolené technologie s cílem výroby odlitku na první odlití.

Abychom eliminovali výskyt slévárenských vad u odlitku držáku během výroby, byly provedeny numerické analýzy v programu ProCAST, které ověřovaly a optimalizovaly procesní parametry, funkci vtokového systému, vlastního tuhnutí odlitku včetně ochlazování skořepiny během chladnutí skořepiny – **Obr. 5**. Byla provedena rovněž predikce vzniku vad typu staženiny a řediny v odlitku – **Obr. 6**.



Obr. 5. Rozložení teplotního pole skořepiny před odléváním/ simulace plnění skořepiny

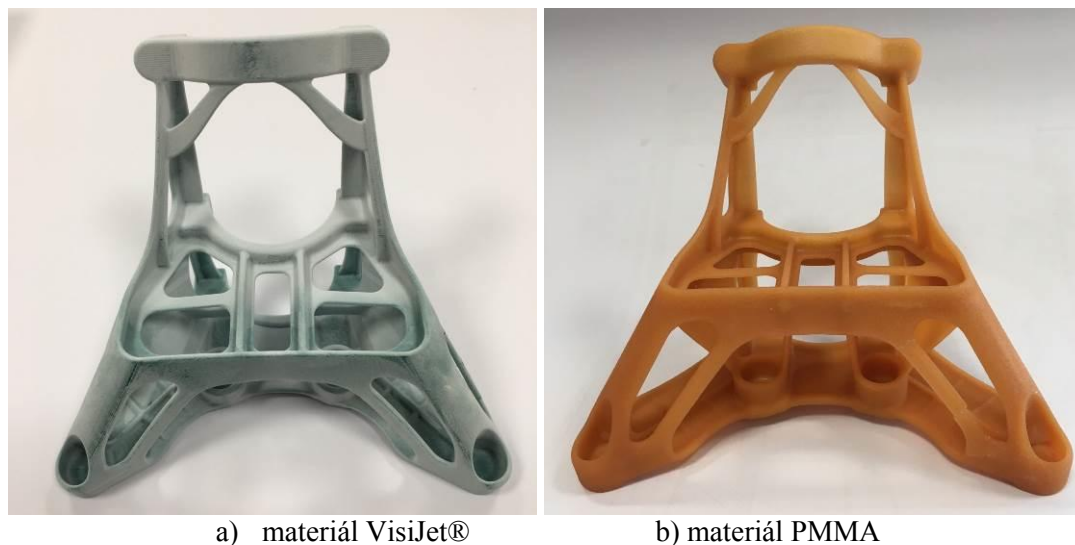


Obr. 6. Výpočet tuhnutí včetně predikce vzniku ředin v odlitku

Možnosti VM u simulace plnění a tuhnutí nekončí. V případě výroby větší série odlitků, a tedy výroby matečné formy, je možné simulovat vstřikování voskové směsi a optimalizovat tak pozici odvodu vzduchu a procesní parametry vstřikovacího lisu. Po tuhnutí odlitku následuje chladnutí odlitku, a tedy možnosti termo-mechanických výpočtů zaměřených na deformace odlitku případně vznik trhlin a prasklin v odlitku. Odlitky leteckého průmyslu často požadují i přesně definovanou velikost a orientaci zrn. Díky kombinaci mikro a makro modelování a s využitím teorie buněčných automatů (např. metoda CAFE), je možné počítat nukleaci a růst zrn pro dané podmínky ochlazování a použité slitiny. Rovněž predikce mechanických vlastností a finální struktury odlitku je možnou součástí virtuálního testování.

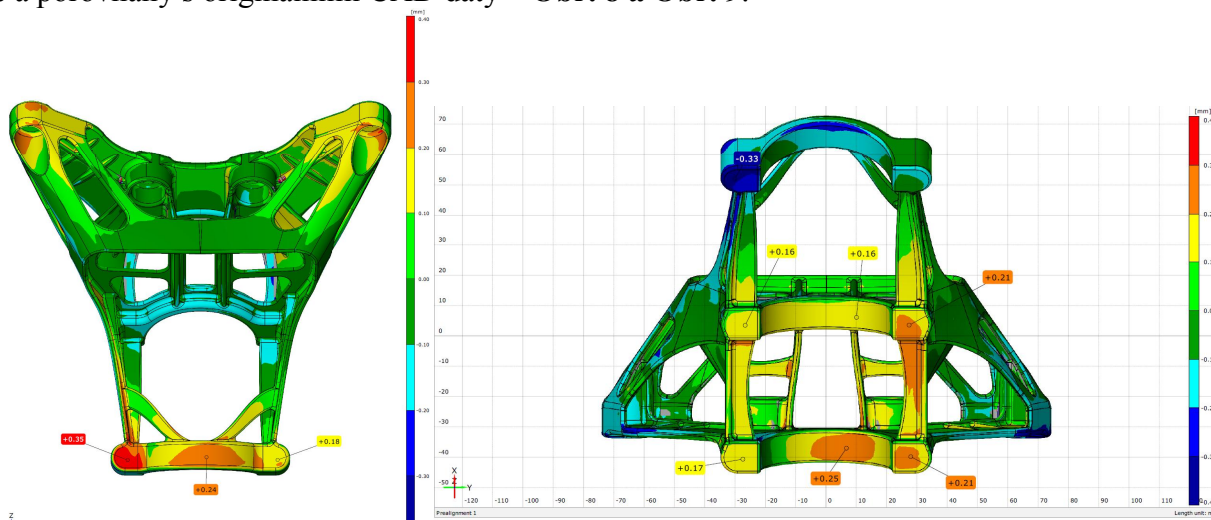
4. ADITIVNÍ VÝROBA MODELU

Aditivní výroba a možnosti 3D tisku se vyvíjí raketovým tempem. U technologie odlévání na vytavitelný model její uplatnění nalézáme zejména u výroby modelů, ale možný je rovněž přímý tisk keramické formy, případně keramických jader. V projektu byly využity dvě metody tisku modelu. První testovanou metodou byla technologie MJP (material jetting printing) která dokáže tisknout přímo voskové modely. Byla využita tiskárna ProJet MJP 2500 IC a vosk pod označením VisiJet® M2 ICast RealWax™. Druhou výrobní metodou bylo BJ (binder jetting) na zařízení VX1000 s využitím materiálu PMMA s finální voskovou úpravou povrchu modelu. Na **Obr. 7** jsou znázorněny tištěné modely oběma metodami. Oba modely vykazovaly velmi dobrou povrchovou kvalitu, nicméně nebyly podrobněji hodnoceny a porovnávány co se týče drsnosti a kvality povrchu. Modely nebyly následně nijak povrchově upravovány a bylo přímo přistoupeno k obalování keramickou suspenzí.

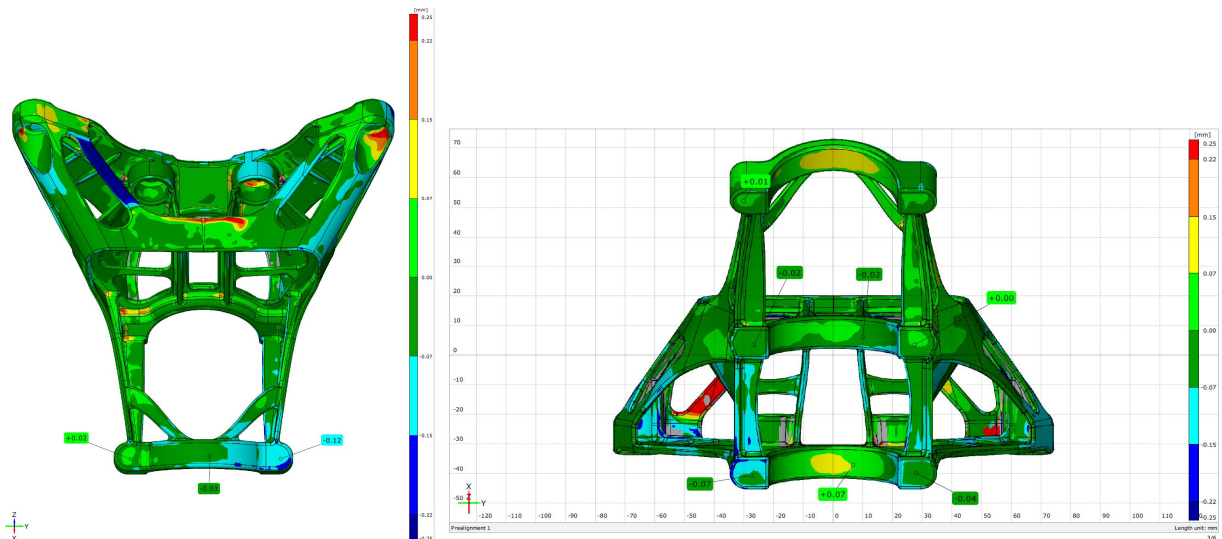


Obr. 7. 3D tištěné modely držáku

Na modely odlitků pro technologii vytavitelného modelu je kladena řada požadavků. Mimo povrchovou kvalitu, minimální množství popelovin po vytavení, nízké teplotní roztažnosti je velmi důležitým aspektem rozměrová přesnost. Při výrobě pomocí klasických vosků a výroby za použití matečné formy je vždy na model aplikováno určité smrštění. U tištěných modelů se běžně toto smrštění nezadává. Je kalkulováno pouze se smrštěním odlévaného materiálu, případně s rozměrovou změnou skořepiny. Oba vyrobené modely byly proto skenovány v systému ATOS Core a porovnány s originálními CAD daty – **Obr. 8 a Obr. 9**.



Obr. 8. Grafické hodnocení rozměrových tolerancí pro materiál VisiJet®



Obr. 9. Grafické hodnocení rozměrových tolerancí pro materiál PMMA

Z vyhodnocení rozměrových tolerancí vyplývá, že model z materiálu VisiJet® vykazoval maximální úchylku vůči CAD datům do 0,4 mm a u materiálu PMMA do 0,25 mm a to pouze u části modelu, která byla opravována po prasknutí, které bylo způsobeno transportem modelu.

5. VÝROBA SKOŘEPINY

Pro výrobu skořepiny byly použity dva výrobní postupy. První postup (Metoda A) byl založen na klasické výrobě skořepiny ve výrobním závodě AluCAST, s.r.o. Jako primární obal byla použita keramická suspenze založená na pojivu PrimeCoat a moučka Zirkon (-200) a posypovém materiálu Molochit (50–80). Zesilovací obal byl tvořen stejným pojivem, ale molochitovou moučkou a posypem Molochit (16-30). Skořepina je znázorněná na **Obr. 10** a skládala se z 6 obalů. Doby sušení mezi jednotlivými vrstvami jsou uvedeny v **Tab. 1**.

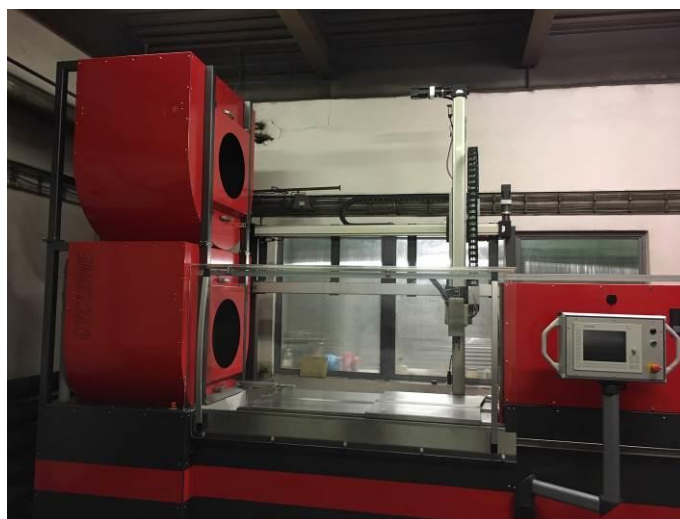


Obr. 10. Příprava stroměčku a výroba keramické skořepiny

Druhým způsobem výroby (Metoda B) bylo použití zařízení Cyklon – **Obr. 11**, které se používá pro rychlou výrobu prototypů. Toto zařízení urychluje výrobu skořepin z několika dnů na několik hodin. Systém sušení je založen na rychlém a turbulentním proudění vzduchu, který odvádí vlhkost. Infračervené světlo vyvažuje ochlazování a udržuje teplotu skořepiny stabilní při $\pm 1^\circ \text{C}$. Zrcadlo

uvnitř komory odráží infračervené světlo, aby rovnoměrně působilo ve všech částech skořepiny. Kontinuální rotace stromečku zajišťuje velmi jemné a rovnoměrné zasychání, čemuž napomáhá i předsušený vzduch, který proces ještě urychluje.

Na výrobu skořepiny byla využita keramická suspenze založená na pojivu PrimeCoat a taveném SiO₂ (-200mesh). Jako první posyp byl využit zirkonový písek a pro zesilovací obaly byl využit mullit (30–80). **Tab. 1** níže srovnává časy potřebné pro výrobu skořepiny z obou metod.



Obr. 11. Příprava stromečku a výroba keramické skořepiny v zařízení Cyclone

Tabulka 1. Porovnání časové náročnosti výroby skořepiny

	Počet obalů	Doba sušení	Celková doba výroby skořepiny
Metoda A	6	1.–3. obal 12 h 4.–6. obal 24 h	4 dny
Metoda B	8*	1.–3. obal 20 min 3.–8. obal 30 min	4 h

* Rozdílný počet obalů byl zvolen s ohledem na odlišný materiál a zrnitost posypového materiálu

Po výrobě keramické skořepiny následovalo vytavení voskových vtoků a vypálení tištěných modelů. Po prvním stupni v bojlerklávu následovalo vypálení v žihací peci při teplotě 800°C. Po zchladnutí skořepiny následovalo propláchnutí modelu, tak aby došlo k vyčistění skořepiny od všech zbytků po použitém modelu, zejména od zbytkových popelovin.

Jak je zmíněno výše, tak zařízení Cyclone je přímo určeno do procesu rychlého prototypování a používá se pro kusovou výrobu, kde výroba skořepiny je zkrácena do úrovně několika hodin. Nicméně obě zvolené výrobní metody lze řadit do kategorie Rapid Prototyping.

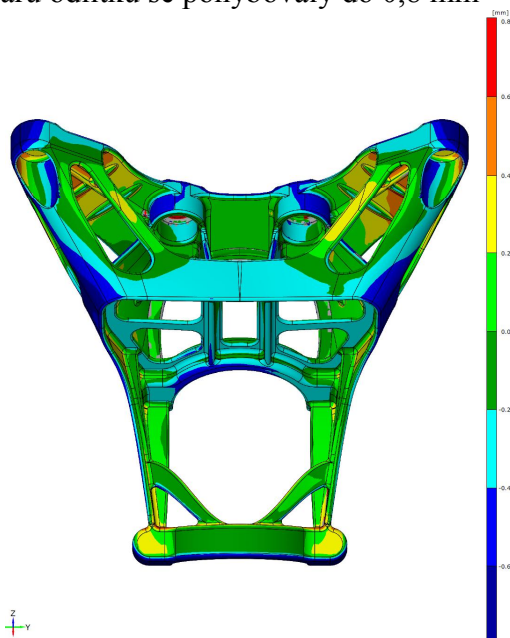
6. ODLITÍ SKOŘEPIN A FINÁLNÍ ÚPRAVA ODLITKU

Skořepiny byly odlity ve slévárně AluCAST s.r.o. z teploty 720 °C. Skořepina byla temperována na teplotu 750 °C. Tato teplota byla vyšší, než je obvyklá teplota skořepiny pro Al odlitky a to z důvodu zajištění zaběhnutí kovu do všech tenkých profilů s ohledem na výrobu pouze jednoho dílu, který bylo nutné odlít „na poprvé“. Čas lití byl 5 s. Na odlitku bylo provedeno tepelné zpracování T6. Jelikož odlitek musel splňovat zejména mechanické vlastnosti, byly na přílitých zkušebních vzorcích provedeny tahové zkoušky.



Obr. 12. Finální odlitek po tryskání

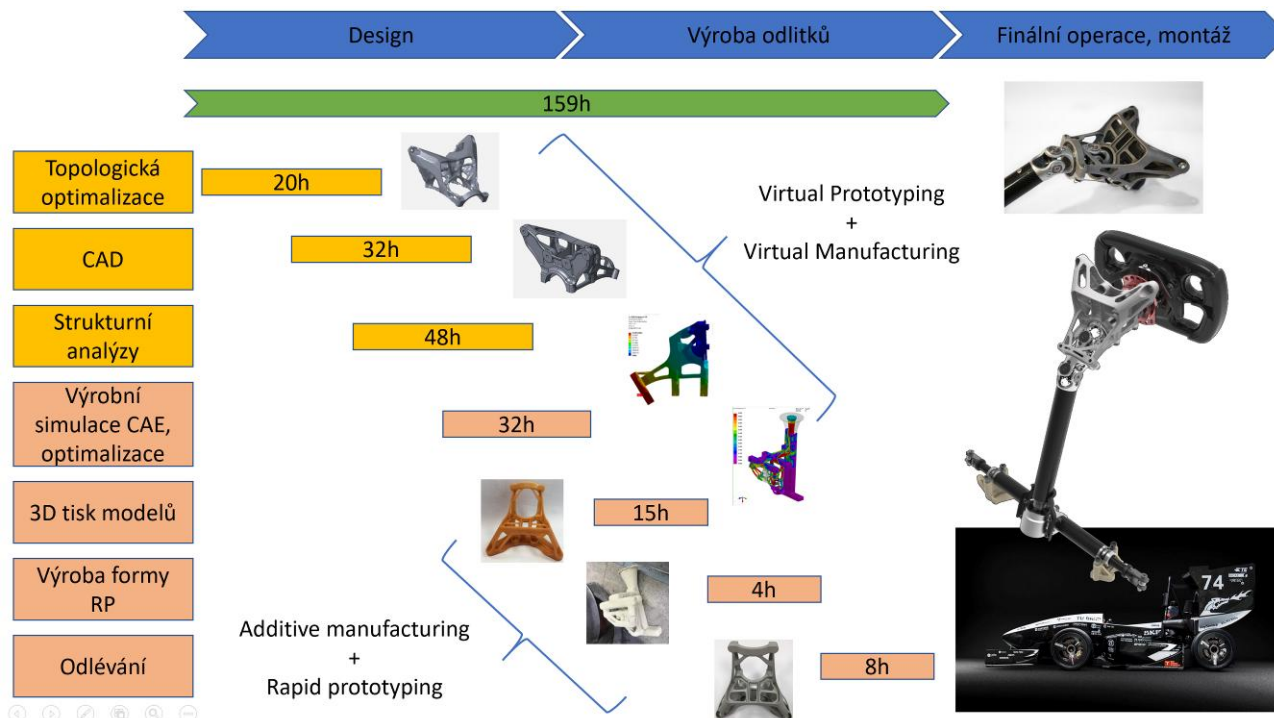
Pro ověření rozměrových přesností byl odlitek **Obr. 12** skenován a porovnán s CAD daty. Maximální zjištěné odchylky tvaru odlitku se pohybovaly do 0,8 mm – **Obr. 13**.



Obr. 13. Porovnání výsledného tvaru odlitku s CAD daty

7. ZÁVĚR

Zpracovaný projekt prokázal benefity vyplývající z otevřené spolupráce mezi konstruktéry a technologií na projektu držáku volantu. Tento styl spolupráce zapadá do konceptu, který bývá označován jako simultánní inženýrství. S ohledem na vyžadovaný časový rámec dodání odlitku bylo využito různých nástrojů a metod rychlého prototypování. **Obr. 14** představuje přibližné workflow použité pro návrh a výrobu odlitku. Odlitek byl úspěšně otestován během jarní části závodů Formule student a tým VUT v Brně, obsadil páté místo v celosvětovém klání konstrukčních týmů.



Obr. 14. Tok jednotlivých fází vývoje a výroby odlitků (uvedeny jsou pouze čisté časy na danou operaci)

Na podrobnějším vyhodnocení jednotlivých etap se nadále pracuje. Velké poděkování patří zejména firmě AluCAST s.r.o. za podporu při řešení tohoto projektu a rovněž firmám GoldAtelier s.r.o. a Daniel Adam Enterprise 3D, a. s. za spolupráci při tisku modelů. Poděkování patří rovněž firmě Chropyňská strojírna, a.s., která provedla obrobení funkčních ploch.

Tato práce byla realizována za podpory projektu specifického výzkumu VUT FSI v Brně, ev. č. FSI-S-19-5981 Výzkum v oblasti rychlého prototypování za pomoci technologie investment casting.

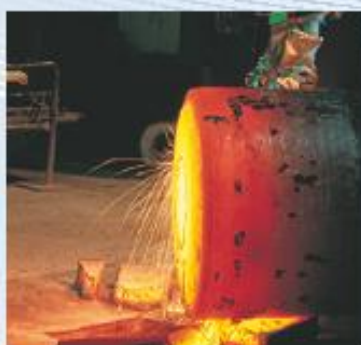
LITERATURA

[1] Topologická optimalizace pomáhá snížit hmotnost automobilu [online]. 2018 [vid. 2019-09-02] Dostupné z: <https://www.svsfem.cz/blog/topologicka-optimalizace-pomaha-snit-hmotnost-automobilu>

esi
get it right®

PROCAST / QUIKCAST

numerická simulace
slévarenských procesů

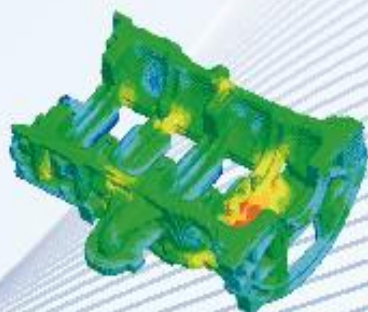
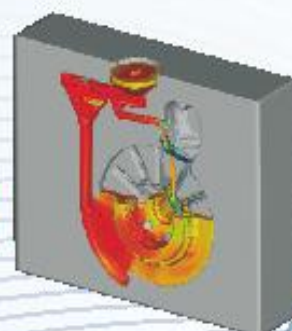


PŘESNÉ LITÍ

se souhlasem HOWMET S.A.S.

GRAVITAČNÍ LITÍ

se souhlasem Italo Lanfredi

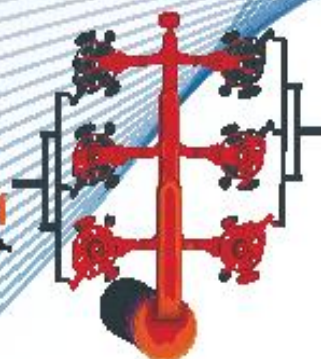


NÍZKOTLAKÉ LITÍ

se souhlasem Montupet

VYSOKOTLAKÉ LITÍ

se souhlasem Kovollu Hechlinger, a. s.



MECAS ESI s.r.o.

Brojova 2113/16, Plzeň 326 00

tel.: +420 377 432 931

fax: +420 377 432 930

info@mecasesi.cz

www.esi-group.com/cz/

To nejzajímavější z techniky tryskání ve slévárenských provozech

Kubelková, I.¹⁾

¹⁾ Rösler Oberflächentechnik GmbH (zastoupení Laempe + Panáčková s.r.o.)
Osadní 12a, 170 00 Praha 7, ČR, kubelkova@laempe.cz

Klíčová slova

Tryskání odlitků, odpískování, odstranění otřepů, sjednocení povrchu, dokončovací operace

Abstrakt

Slévárenská výroba je bezpochyby náročné průmyslové odvětví. Tak není divu, že se zde často setkáváme speciálními nároky sléváren na technologii tryskání. V tomto příspěvku je na konkrétních příkladech z praxe ukázáno, jak si s těmito specifickými požadavky poradili u firmy Rösler a třeba zde naleznete inspiraci i pro Váš provoz.

1. RODINNÁ TRADICE PO 3. GENERACE

Firma Rösler Oberflächentechnik GmbH působí více než 80 let v oblasti povrchových úprav pomocí technologie tryskání a omílání. Nabízí nejkomplexnější portfolio vybavení, procesů a služeb v dané oblasti. Skupina Rösler má se svými 15 pobočkami a více než 150 zastoupeními celosvětovou síť, která Vám bude ráda k dispozici nejen pro oblast sléváren a typické procesy jako je odpískování, odhrotování a sjednocení povrchu odlitků, ale i v dalších odvětvích jako jsou například ocelové konstrukce, opracování plastů, letectví, automobilů a mnoho dalších.

2. ZAJÍMAVÉ APLIKACE

Tryskací stroje patří mezi standardní vybavení sléváren. Jak ale řešit některé požadavky na tryskače, které standardní nejsou? S tím se nechte seznámit v této kapitole.

2.1 Průběžné tryskací zařízení s drátěným pásem RDGE: Zvýšení výkonnosti, ekonomičnosti a ergonomie cídirny

V roce 1996 bratři Olaf a Oliver Cordt převzali slévárnu Marsberger Metallgießerei Erger a od té doby se firma stále rozšiřuje a rozvíjí. Dnes zahrnuje portfolio firmy vedle množství linek pro lití různých hliníkových slitin, také gravitační lití a obrábění těchto součástí na nejmodernějších obráběcích centrech a soustruzích. V souvislosti s rozšířením kapacity, byla cídirna v MMG Marsberger Metallguss Gebr. Cordt oHG kompletně přestavena a přizpůsobena aktuálním požadavkům s ohledem na výkon, kvalitu a ergonomii. Podnik se tak rozhodl investovat do nového průběžného tryskacího zařízení s drátěným pásem, modernizace stávajících tryskacích systémů, dvou filtračních zařízení a ruční tryskací kabiny od firmy Rösler.

Nový tryskací stroj na odpískování musel nejen splnit vysoké požadavky na kvalitu tryskání, výkon a použitelnost, ale musel být i obsluhujícím personálem snadno ovladatelný. V souladu s těmito požadavky společnost Rösler vyvinula slévárenskou verzi tryskacího stroje RDGE 1250-4-F s děleným korečkovým výtahem tak, aby se vešel do haly s výškou stropu 5 m. Zvláštní pozornost byla věnována optimální ochraně proti opotřebením, kdy tryskací komora je vyrobena z manganové ocele a navíc vyložena přídatnými vyměnitelnými deskami z otěruvzdorného materiálu. Drátěný pás pro transport dílů je rovněž vyroben z otěruvzdorného materiálu a zároveň byl na přání zákazníka upraven na zatížení 250 kg na běžný metr

V tryskací komoře se čtyři turbíny Gamma 400 G, každá o výkonu 15 kW, starají o to, aby i extrémně složité odlitky byly dokonale očištěny. Ve srovnání s konvenčními metacemi koly jsou tyto vysoce výkonné turbíny Rösler vybavené zakřivenými metacemi lopatkami v provedení Y a tím vytvářejí až o 20 % vyšší výkon při nižší spotřebě energie. Mimo to se mohou metací lopatky otočit a použít z obou stran. Výměna je snadná a díky rychlovýměnnému systému možná i na přímo

zabudované turbíně. Výsledkem je pak minimálně dvojnásobná životnost metacích lopatek. Turbíny Gamma 400-G byly dále použity i pro modernizaci stávajících tryskačů.



Obr. 1. Průběžné tryskací zařízení Rösler s drátěným pásem RDGE 1250-4-F

Nové tryskací zařízení je dále vybaveno zařízení pro rozpoznávání dílů. Díky tomu stroj tryská, pouze pokud se v něm nacházejí díly, jinak automaticky přejde do režimu stand-by. To také přispívá ke snížení opotřebení a úspoře energie. Objem tryskacího média na max. 200 kg/ min na metací kolo a stejně tak rychlost transportního pásu jsou nastavitelné a uložené v ovládaní zařízení. Obsluha může jednoduše jeden z uložených tryskacích programů přizpůsobit tryskaným dílům. Díky integrovanému snímači výšky obrobku se automaticky nastaví ofukovací jednotka umístěná na výstupu ze stroje. To umožňuje to nejlepší odstranění zbytků tryskacího média z dílů. Příprava tryskacího média je pak vybavena vysoce výkonným magnetickým separátorem. Filtrační systém je, kvůli tryskání dílům ze slitin hliníku, v protivýbušném provedení a aby se ušetřilo místo ve výrobě, tak je umístěn mimo halu.

2.2 Průběžné závěsné tryskací zařízení RHBD 22/27-F

Již více než 90 let vyrábí společnost Tomsk Vakhrushev Electromechanical Plant, JSC (TEMZ) důlní zařízení a stroje pro různá průmyslová odvětví. Jejich produktové portfolio zahrnuje ventilátory, zdvihací zařízení, pneumatické a hydraulické nástroje, stejně jako elektrické vrtačky a pily. Společnost v sibiřském Tomsku vyrábí tyto součásti zařízení, mimo jiné, ze slitin železa a hliníku. Významným požadavkem zákazníků na novou technologii ve slévárně TEMZ bylo, že nový tryskací stoj musí být schopen zvládnout širokou škálu různých odlitků. Dalšími požadavky byla vysoká efektivita a využitelnost, stejně tak atraktivní poměr ceny a výkonu. Evgeny Laza, vedoucí technologie společnosti TEMZ, vysvětluje: „Velmi důležité pro nás také bylo to, že dodavatel měl alespoň 15 let zkušeností s výrobou tryskacích zařízení, údržbou a servisem včetně náhradních dílů v Ruské federaci, má prokázanou zkušenost s tímto typem zařízení a je inovátorem v oblasti tryskání“. Navíc muselo být nové tryskací zařízení integrováno do výrobního toku ve slévárně, která díky složitým prostorovým podmínkám představovala pro inženýry společnosti Rösler významnou výzvu.



Obr. 2. Speciální vyložení tryskací komory

Promyšlený koncept zařízení v odolném slévárenském provedení - To, že se Rösler prosadil s průběžným závěsným tryskacím zařízením RHBD 22/27-F mezi ostatními dodavateli, záviselo na jedné straně na speciálně koncipovaném slévárenském provedení s optimální ochranou proti opotřebením. K té patří například sériově vyráběná tryskací komora z manganové oceli, která je v oblastech hot-spotu vyložena vyměnitelnými litými a tvrzenými ochrannými deskami. Další části tryskací komory jsou vyloženy vyměnitelnými manganovými deskami. Na druhé straně zákazníka zaujala flexibilita firmy Rösler, která přizpůsobila tryskací stroj specifickým prostorovým požadavkům u společnosti TEMZ. „Pokud jde o vývoj řešení a zpracování technických požadavků, reagovala společnost Rösler podstatně rychleji než ostatní výrobci zařízení. Vše přesně odpovídalo našim požadavkům.“, shrnuje Evgeny Laza důvody rozhodnutí.

Průběžné tryskací zařízení je vybaveno transportním systémem pro díly/ šarže s hmotností až sedm tun. Díly mohou být nakládány z obou stran. K tryskání se díly od vytloukačích roštů dopravují transportním vozíkem, kde jsou zavěšeny na speciálním závěsu a zvednuty nahoru. Jakmile obsluha dle dílu zadá odpovídající tryskací program, zaveze obsluha díly do zařízení.

Na obrobek, který se během procesu v tryskací komoře otáčí, tryskají metací kola Gamma 400 G, jež jsou umístěna ve čtyřech řadách, každá s výkonem 22 kW. Maximální množství tryskacího média až 290 kg/min na metací kolo a může být přizpůsobeno zpracovávaným dílům díky automaticky nastavitelným mušlovým šoupátkům. Stejně tak se dle dílů může frekvenčními měniči regulovat rychlost otáčení turbín a transportního systému. Do programu lze také integrovat funkci zastavení před vykládací stanicí, aby bylo možné otryskané díly manuálně očistit stlačeným vzduchem. Zadané procesní parametry do tryskacího programu zaručují, že například odlitky ze slitin hliníku se budou tryskat nižší intenzitou než odlitky ze slitin železa. V ovládání lze uložit kolem 30 receptur pro různé odlitky a cíle tryskání, např. tryskání po tepelném zpracování.

Mimo jiné je zde uložen speciální program pro odstranění jader, při kterém se turbíny postupně zapínají, takže písek je odstraňován ve vrstvách a zabraňuje tak přetížení systému recyklace tryskacího média.

Vysoce efektivní čištění tryskacího média bylo navrženo tak, aby se minimalizovalo opotřebením. Médium nejprve projde přes vibrační třídící žlab, kde se odstraní hrubé nečistoty a hroudy písku. Následně prochází přes magnetický separátor. Zde se rovnoměrně rozdělí směs média a písku po celé šířce bubny, čímž vznikne extrémně tenká clona písku a média. To v kombinaci s velkou přitažlivou silou elektromagnetů, které jsou integrovány v bubnu, zajišťuje účinnost separace až

99,7 procent. Doplnování tryskacího média je automatické. Snímač v zásobníku médií sleduje jeho úroveň. Jakmile klesne pod definovanou hodnotu, tak se médium po malých dávkách doplní. Tento postup zajišťuje homogenní provozní směs tryskacího média a konzistentní, opakovatelné výsledky tryskání.

Na závěr společnost TEMZ u zařízení rovněž soustředila pozornost na snadnou údržbu a tím vysokou provozuschopnost. Prostorná platforma pro údržbu umožňuje snadný přístup ke všem komponentám vyžadující pravidelnou údržbu. Pro rychlou pomoc v případě poruchy, nutnosti náhlé podpory programátora či změny programu, se mohou servisní pracovníci Rösler připojit na dálku. Evgeny Laza uzavírá: „Společnost Rösler nejenže rychle a profesionálně zvládla všechny požadavky, ale také poskytovala optimální podporu našim lidem. To vedlo k bezproblémovému provozu tryskacích strojů v naší společnosti již více než 5 let.“

3. ZÁVĚR

V našich moderně vybavených zkušebních střediscích jsme schopni realisticky simulovat veškeré procesy omílání a tryskání. Nejmodernější fyzikální a chemické měřicí přístroje nás podporují při vývoji a optimalizaci procesů. Více než 190 inženýrů a techniků denně pracuje v našich odděleních konstrukce a vývoje na individuálních systémových řešeních. Jedinečná šíře nabídky firmy Rösler, zkušební střediska po celém světě a naše moderně vybavená laboratoř v hlavním závodě v Untermerzbachu vytváří předpoklady pro ekonomický a inovativní vývoj a optimalizaci tryskání.

Veškeré komponenty vyvíjíme a vyrábíme sami: od provozních materiálů přes stroje a vibrační pohony až po filtrační zařízení nebo odstředivky technologické vody a propojovací prvky výrobních linek, jako jsou sušičky a pnicí zařízení. Tento široký záběr výroby je v našem oboru jedinečný.

Mimořádnost systémů Rösler spočívá v komplexním přístupu. Zařízení a procesy se přizpůsobují individuálně jak příslušným požadavkům opracování, tak také jeho optimálnímu integrování do výrobního procesu. Mnoho poboček skupiny Rösler disponuje vlastními zkušebními středisky s nejmodernějším vybavením. Pro získání dat příslušného procesu opracování se ve zkušebních střediscích obrobky daného zákazníka nejdříve podrobí vzorovému opracování. Přitom se rozhodne, jaký postup opracování bude aplikován, a jaké periferie přitom budou použity. Od opracování vzorků přes koncepci technologie až po strojně-technickou realizaci a kompetentní poprodejní servis získáte komplexní řešení z jedné ruky.

Vize Komise pro informatiku a automatizaci a její přínos pro české slévárství

Špička I.¹⁾, Fridrich, M.²⁾

¹⁾VŠB-TU Ostrava, 17. listopadu 15 Ostrava ivo.spicka@vsb.cz

²⁾VŠB-TU Ostrava, 17. listopadu 15 Ostrava michal.fridrich@sadyzivotice.cz

Klíčová slova

Odborná komise, informatika, automatizace, Průmysl 4.0, vize.

Abstrakt

V příspěvku se autoři věnují okruhům témat, které jsou v oblasti automatizace a informačních systémů důležité pro podniky v České republice. Jednotlivé okruhy vycházejí z koncepce Průmyslu 4.0 s cílem zapojení jednotlivých sléváren do práce Komise pro informatiku a automatizaci. Vize mise a historie komise byla uveřejněna v časopise Slévárství.

1. PŘÍSPĚVEK K PROBLEMATICE ZAVÁDĚNÍ KONCEPTU PRŮMYSL 4.0 DO PRŮMYSLOVÝCH PODNIKŮ V ČESKÉ REPUBLICĚ

V současnosti asi nenajdeme člověka, který by neslyšel z médií nebo z iniciativ ve vlastním podniku o pojmu v 4.0. Mediální kampaně seznámily širokou odbornou i laickou veřejnost s koncepcí Průmysl 4.0 a také s veškerými dalšími pojmy, které představují jednotlivé části této koncepce (Práce 4.0, Vzdělání 4.0 atd.).

Problematice Průmyslu 4.0 bylo rovněž věnováno samostatné číslo časopisu Slévárství, které se zabývalo vybranými aspekty této problematiky v oblasti sléváren. [1], [2]

1.1 Co je pro průmyslové podniky v ČR zásadní

Zásadní pro podniky v České republice je podle našeho názoru autorů [3] implementační pohled na celou problematiku v podmínkách ČR. S ohledem na čas a s přihlédnutím k příbuznostem a opakovatelnosti mnoha úloh v celém spektru výrobních technologií se dnes z mnoha hledisek ukazuje, že jako jeden z efektivních přístupů se jeví cesta pilotních projektů a jejich následného přizpůsobení pro technologicky příbuzné výrobní procesy, a to díky aktivnímu zapojení techniků i mimo rámec nadnárodních korporátních skupin.

1.2 Definice konceptu Průmysl 4.0

„Koncept Průmysl 4.0 vychází z dokumentu, který byl představen na veletrhu v Hannoveru v roce 2013. Podle této myšlenky vzniknou „chytré továrny“, které budou využívat kyberneticko-fyzikální systémy. Ty převezmou opakující se a jednoduché činnosti, které do té doby vykonávali lidé. Zavádět se bude pomocí metod strojového vnímání, autokonfigurace a autodiagnostiky a s počítačovým spojením strojů a dílů. Produkty i stroje dostanou čipy, pomocí nichž je bude možné kontrolovat a obsluhovat přes internet. Dále se budou využívat cloudová úložiště, 3D tisk, datová centra, automatické hlášení problémů či „chytré sklady“, které samy informují o docházejících zásobách. Pomocí metod a nástrojů průmyslu 4.0 by mělo dojít k úsporám času a peněz a zvýšení flexibility firem.“ [4]

Co je však v přístupu Průmysl 4.0 nejdůležitější, je jejich kompletní implementace v jedné entitě, kterou lze shrnout do pojmu „chytrá továrna“ (smart factory). Znamená to, že implementace Průmysl 4.0 musí probíhat výhradně na základě komplexního přístupu k zavádění moderních automatizačních a informačních systémů do výroby.

1.3 Zásadní problém implementace Průmysl 4.0: nutnost zasáhnout do běžícího provozu

Většina výroby na našem území je nějakým způsobem automatizována nebo používá relativně pokročilé výrobní technologie. Tyto technologie byly dodány a automatizovány v průběhu minulých přibližně 20 až 25 let. V těchto technologiích se používá široké spektrum relativně nestejnorodých automatizačních, komunikačních a databázových prostředků, a to hlavně proto, že byly nasazovány postupně, průběžně financované jednotlivými investičními záměry a v závislosti na aktuální ekonomické výkonnosti firem. V současnosti jsou tyto technologie bez ohledu na charakter průmyslu díky ekonomické konjunktuře v provozu nepřetržitě.

Tato výchozí situace však do značné míry komplikuje přístup k zavádění principů Průmysl 4.0. Při výstavbě podniku tzv. na zelené louce by bylo možné současně navrhnout celkové řešení automatizace a informatiky konformní s přístupy Průmysl 4.0 a toto řešení implementovat. Problém ale nastává, když je třeba zasáhnout do běžícího podniku s určitou výrobní, automatizační a informatickou infrastrukturou, často právě poplatnou době své instalace, a takovouto výrobu na dobu nezbytnou pro realizaci potřebných adaptačních, migračních, modernizačních úprav (či jak budeme takovéto implementační kroky nazývat) opakovaně přerušit či odstavit. Domníváme se, že co se týče zavádění principů Průmysl 4.0, je zejména toto v podmínkách průmyslu v ČR hlavním diskusním tématem.

Které okruhy otázek musí podniky řešit?

V následujícím výčtu si nečiníme nárok, že je úplný:

- síťová infrastrukturou a integrace řídicích systémů v prostředí současných výrob,
- bezpečností průmyslových komunikačních sítí propojujících na jednotné platformě vše od komponent I/O přes PLC a HMI/SCADA až po systémy MES,
- jednotného rozhraní řídicích systémů pro vertikální a horizontální vazby,
- virtualizace prostředků řízení do jednotných výpočetních center s technologií vzdálených klientů,
- koncept lokálních a cloudových datových úložišť,
- aspekty ukládání real-time dat a
- úlohy virtuálního zprovoznování a simulace.

Současně bychom však neměli opomenout ani některé podstatné netechnické souvislosti implementace, a to zvláště právní a hospodářsko-smluvní aspekty integrace řídicích systémů do jednotné sítě, úlohu lidských zdrojů při zavádění Průmysl 4.0, a to na straně jak managementu, tak i obslužného a provozního personálu.

1.4 Vize, mise a cíle Odborné komise pro informatiku a automatizaci

Na základě výše uvedených skutečností byla založena (možno také říci obnovena) při České slévárenské společnosti, z.s. Odborná komise pro informatiku a automatizaci (OK 15). Ustavující schůze proběhla dne 4. 5.2017 v areálu VSB — TU Ostrava za účasti zájemců o participaci na činnosti nové komise. V rámci CSS se oblastí informačních a řídicích systémů a automatizací nezabývá žádná odborná komise. Mohutný rozvoj informačních technologií v oblasti řízení ve světě přináší zvýšené nároky na konkurenceschopnost českého slévárenství. Aby si české slévárenství udrželo konkurenční potenciál, bude nuceno výrazněji využívat možností, které moderní informační a řídicí systémy v praxi poskytují. Komise si klade za cíl shromážďovat, vyhodnocovat a šířit nejlepší praktické zkušenosti jak z provozu jednotlivých sléváren, tak i moderní vědecké poznatky z akademické sféry.

1.5 Vize

Komise zastřešující a rozvíjející problematiku automatizace a informačních technologií v oblasti slévárenství s důra zem na informační společnost a koncept Průmyslu 4.0.

1.6 Mise

Sledování vývoje v oblasti řídicích a informačních systémů a jejich využití v oblasti sléváren. V současné době je nutno zachytit přechod od izolovaně využívané počítačové a robotické podpory

výrobních či administrativních úloh k jejich soustavnému a promyšlenému využívání. Základním posláním OK pro informatiku a automatizaci by mělo být:

- zmapování stávajícího stavu slévárenského průmyslu z hlediska předložené vize;
- porovnání úrovně informatizace a automatizace s okolními zeměmi/ /světem; rozpoznání silných a slabých míst českého slévárenství v oblasti informatizace, automatizace a Průmyslu 4.0;
- vymezení společných problémů;
- zprostředkování a sdílení zkušeností v rámci CSS;
- OP PIK by se měl stát klíčovým finančním nástrojem pro rozjezd aplikací Průmyslu 4.0 v příštích šesti letech.

1.7 Diskuze k cílům OK 15

Z diskuze, která proběhla na ustavující schůzi OK 15, je patrné, že problematika informatiky a automatizace je ve slévárenství velmi důležitá, ale v mnoha ohledech je upozaděna, resp. její potenciál ještě není plně doceněn. Tento závěr nelze považovat za obecně platný, neboť již nyní existují slévárny, které v automatizaci a rozvoji informačních systémů potenciál vidí a investují do této oblasti úsilí a finanční prostředky. Pro udržení konkurenceschopnosti českého slévárenství je však nutné se v rámci práce komise zaměřit na tyto hlavní oblasti:

- testování připravenosti sléváren na vývoj prosazující se pod názvem Průmysl 4.0. Na základě tohoto testování by jednotlivé slévárny mohly být schopny formulovat svou strategii a taktiku v oblasti informatizace a automatizace tak, aby neztratily své specifické konkurenční výhody procesů ještě před jejich nasazením v provozu.
- publikační činnost — mimo výše uvedeného je nezbytné práci komise komunikovat i navenek. Z tohoto pohledu je nutné, aby se jednotliví členové komise aktivně zapojili a za jímavé výsledky své práce a svých výzkumů publikovali na konferencích a v odborných časopisech, jako na příklad Slévárenství apod.

Mimo ustavující schůzi proběhly akce pořádané OK 15. S výraznou podporou a přispěním Ing. et Ing. Petra Kuchyňky a dalších zástupců slévárny KASI, proběhl v uvedené společnosti workshop, kde byla diskutována témata jako například problematika brousicích automatů, logistika, informační systém podniku (jeho úrovně a jejich propojenost), vizualizace provozních informací, zpracování dat a data mining (tzn. nástroje pro sběr, zpracování, archivaci a další využití dat — například pro účely hledání závislostí apod.). Bylo řešeno také 3D skenování a možnosti nedestruktivní defektoskopie, aditivní technologie — zvláště 3D tisk a 3D skenování; oblast vzdělávání a rozvoje lidských zdrojů; osvěta v oblasti zavádění nových informačních a automatizačních technologií. Zde může konkrétní slévárna například operativně uspořádat workshop, jehož cílem by bylo seznámit ostatní účastníky se zaváděnými technologiemi, ale zároveň také sdílet zkušenosti a získat názor od účastníků, kteří už s danou problematikou mají praktické zkušenosti; virtuální slévárna práce komise by měla směřovat k vytvoření modelu slévárny (ve virtuálním prostoru), který by umožnil nejen simulaci běžného provozu, ale zejména testování chodu jednotlivých agregátů a efektivity.

Předpokládali jsme, že podobné akce budou probíhat čtvrtletně.

Druhé setkání komise se uskutečnilo ve společnosti BENEŠ a LÁT, a. s. ve spolupráci s Ing. Milanem Luňákem. Na tomto mítinku byly prezentovány výsledky, kterých v oblasti automatizace a informačních technologiích společnost dosáhla. Třetí setkání se uskutečnilo za vydatné podpory ing. Bryksiho v KOVOLIS HEDVIKOV a.s.

Ukazuje se, že slévárny nezelezných kovů, respektive slévárny využívající středotlakového a vysokotlakového lití jsou v jisté míře popředu v oblasti automatizace před ostatními slévárnami.

2. ZÁVĚR

Z pohledu předsedy OK15 vidím nutnost širokého zapojení sléváren do činnosti komise. I v programovém prohlášení Svazu sléváren věnují této oblasti patřičnou pozornost. Lze ocitovat z Programového prohlášení Svazu sléváren České republiky na léta 2017 až 2021, v bodě strategické záměry se uvádí:

“Evropská politika udržitelnosti oboru na kontinentu (EU legislativa a její ekologické dopady – OZE, IPPC, CO2 povolenky, sociální dialog, ...)”.

Na druhém místě pak „Průmysl 4.0 ve slévárenství se všemi dopady na ekonomiku a rozvoj odvětví (digitalizace, 3d tisk, budování kybernetických uzlů, bezobslužných provozů...)“.

Kontakt: doc. Ing. Ivo Špička, Ph.D., předseda OK 15, VŠB TU Ostrava, +420 597 323 581, ivo.spicka@vsb.cz

LITERATURA

- [1] ŠPIČKA, I., TYKVA, T., FRIDRICH. M.: Mění se požadavky na kompetence zaměstnanců v hutním průmyslu v souvislosti s trendem Průmysl 4.0. *Slévárenství*. nedatováno, **LXVI**(7–8). ISSN 0037-6825.
- [2] ŠPIČKA, I., TYKVA, T.: Vstříc výzvam Průmyslu 4,0. *Slévárenství*. nedatováno, **LXVI**(7–8). ISSN 0037-6825.
- [3] DUB, M., NOVOTNÝ, R.: Příspěvek k problematice zavádění konceptu Industry 4.0 do průmyslových podniků v České republice. *Automa*. 2017, **2017**(8,9). ISSN 1210-9592.
- [4] *Průmysl 4.0* [online]. 2019 [vid. 2019-09-21]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Pr%C5%AFmysl_4.0&oldid=17624511

Odbornost, empatická inteligence a především kreativita technologů může slévárnu ochránit před nastupující krizí

Král, Z. ¹⁾

¹⁾ REX, s.r.o., Podnásepní 1h, CZ - 602 00 Brno, ČR, www.rexsro.cz, kral@rexsro.cz

Abstrakt

Příspěvek na Slévárenských dnech má za cíl motivovat zaměstnance sléváren a především technology ke zvýšení konkurenceschopnosti slévárny. Upozorňuje na blížící se krizi, která se již dnes projevuje prvními příznaky v některých slévárnách. Uvádí příčiny krize a boje s jejími projevy. Hodnotí úroveň zaměstnanců slévárny s důrazem na práci technologů.

Upozorňuje na nutnost aplikace manažerského myšlení na všech úrovních. Zaměřuje se nejen na odborné znalosti, ale vysvětluje nutnost rozvíjet empatickou a kreativní inteligenci. Navrhuje konkrétní kroky, které by mohly zmírnit krizové situace se zaměřením na personalistiku ve slévárnách.

1. HODNOCENÍ VÝVOJE SLÉVÁREN PO ROCE 1989

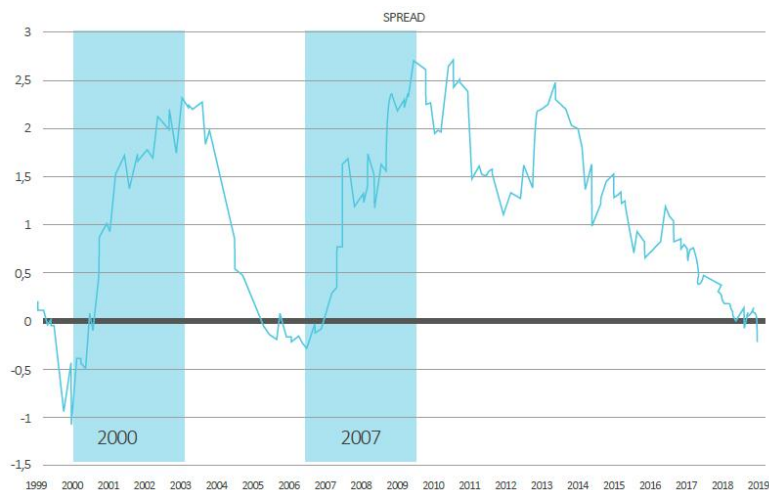
Již v roce 2003 jsem na Slévárenských dnech přednášel na téma „Aktivní, vzdělaný, odpovědný a motivovaný zaměstnanec – základ úspěchu slévárny“ [1].

V roce 2003 jsem předpokládal krizi jako následek spotřebního šílenství v USA, což se potvrdilo hypoteční krizí v letech 2007 až 2009 s následným dozníváním v mnoha zemích světa až do roku 2015. V době konjunktury před krizí jsme se potýkali ve slévárnách s absolutním nedostatkem pracovníků a navíc s všeobecnou nechotou ke vzdělávání v našem oboru. V přednášce jsem se zabýval, mimo jiné, analýzou temperamentních vlastností zaměstnanců sléváren, metodami řízení sléváren, tendencemi k aktivitě zaměstnanců a řídicích pracovníků. Zde uvedu pouze závěr přednášky, kde upozorňuji na toleranci záporných tendencí k aktivitě zaměstnanců, nebo managementu.

Bohužel, v rámci krize se nepodařilo v řadě sléváren překonat tyto tendence a řada sléváren byla krizí významně poškozena. Došlo k řadě bankrotů, nebo změně vlastníků s následným poklesem nabízených objemů odlitků na trhu s našimi výrobky. Napočítal jsem následně zastavení produkce cca padesáti sléváren litin s lupínkovým a kuličkovým grafitem a oceli. Analýza příčin ukončení výroby odlitků v těchto slévárnách je dnes nemožná, ale podle svých dat získaných z podnikání ve slévárenském oboru od r. 1989 a po studiu svého archivu jsem napočítal cca 80 různých příčin. Z toho je cca 70% personálních. Tím se potvrzuje konstatování uvedené v tomto příspěvku v bodě 4.8. Po roce 2015 opět začala konjunktura a poptávka po odlitcích velice narostla. [2]. Toto období však nebylo využito k výrazným inovačním a investičním změnám a to z důvodu pokračujícího nedostatku pracovních sil v předvýrobních složkách sléváren a stagnaci jejich přístupů v řešení inovací a investic.

2. KRIZE

Od začátku roku 2019 se opět setkávám, jako odběratel odlitků, s výrazně kratší dodací lhůtou v dodávkách odlitků ze sléváren, což svědčí o opětovném nástupu krizových situací na trhu s odlitky. Ostatní obory jsou na tom podobně. V Německu již dnes hlásí zavádění tzv. „Kurzarbeitu“ sedm průmyslových odvětví. Na trhu amerických dluhopisů v posledních měsících došlo k otočení spreadu mezi výnosem 10letého a 2letého dluhopisu do záporných hodnot (**obr. 1**).



Obr. 1. Poměr výnosů 2letých a 10letých dluhopisů v USA

Pokles spreadu mezi 2y a 10y dluhopisem v podstatě neříká nic jiného než to, že trhy se bojí držet 2leté dluhopisy více než 10leté, neboť očekávají v nejbližších dvou letech problémy. Před rokem 2000 byla tímto ukazatelem předznamenána krize způsobená splasknutím tzv. com bubble, v roce 2007 pak tento ukazatel poměrně jasně ukázal na blížící se hypoteční krizi a z ní vzniklou finanční krizi. [3].

Vzhledem k tomu, že spolupracujeme s řadou zahraničních sléváren, podobné tendence jako u nás zaznamenáváme i u zahraničních sléváren. Nejvíce se tento trend projevuje u sléváren nabízejících sériově vyráběné odlitky. U tohoto typu výroby je jednoduché vzhledem k transportním nákladům, možné výrobě na sklad, srovnatelné kvalitě dané omezením lidského faktoru pomocí strojního formování a dokončovacích operací, přesouvat výrobu do cenově výhodných teritorií (na východ). Nabídka ručně vyráběných odlitků (zvláště z litiny s kuličkovým grafitem), kde poptávka ještě nedávno převyšovala nabídku, se postupně vyrovnává s poptávkou po tomto typu odlitků. Stále budou chybět manuální pracovníci (slévači), kterých již bude v České republice stálý nedostatek z důvodů absence učňovského školství v našem oboru a blokace dovozu zahraničních pracovníků. Příčinou blokace je politika odborů, ČSSD a netransparentnost v poskytování víz na ambasádě České republiky ve Lvově a Kyjevě. Současně je administrativní bariérou Zákon č. 326/1999 Sb. - zákon o pobytu cizinců na území České republiky.

Abych ale nebyl pouze pesimistický, musím konstatovat, že existují i některé úspěšné projekty českých, německých, nebo švédských slévárenských skupin. Nemohu je jmenovat, aby toto nebylo považováno za skrytou reklamu.

V současné době přichází obměna polistopadové podnikatelské generace. Nástupci se musí velice učit od těch, kteří svoji odbornost získali ještě za socialismu, kdy byl náš obor ještě preferován.

Teoretickou část své přednášky se pokusím doplnit o řadu příkladů ze své 45. leté činnosti v oboru slévárenství. Po roční zkušenosti ve slévárně Zetor Brno, kde jsem vyráběl CT směs pro tehdy jednu z nemodernějších jaderen v Československu, jsem 5 let studoval na VUT – FS. Patnáct let jsem bojoval jako technolog, vedoucí přípravy výroby a technický ředitel za úspěch jedné z nejlepších sléváren v tehdejším Československu. Jako jedna z prvních sléváren jsme dokázali již za hlubokého socialismu vyvážet odlitky na „Západ“ do Německa, Rakouska a Švýcarska. Samozřejmě pod dohledem StB.

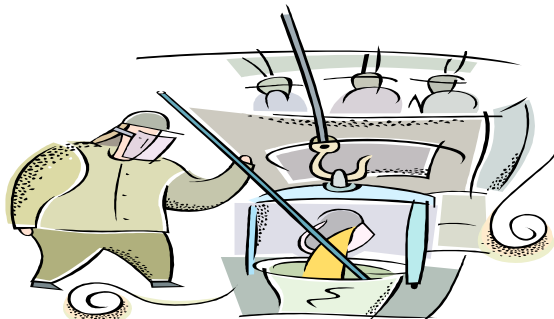
Nebyla to lehká doba, ale byla to velká škola podnikání ve slévárenství i v podmínkách státního společenského vlastnictví slévárny.

3. JAK SE TEDY VYPOŘÁDÁT S HROZÍCÍ KRIZÍ

Nutné je okamžitě nastartovat u všech zaměstnanců manažerský přístup k řešení všech činností.

3.1 Vnímání procesů musí být smyslové, ne intuitivní.

Výroba odlitků a podnikání ve slévárnství je složitý proces, který se skládá z „milionu“ činností vzájemně se ovlivňujících, a to jak v oblasti technické, tak ekonomické i personální (obr. 2.)



Obr. 2. Slévárna – složitá množina jednotlivých procesů

Veškeré procesy je nutné vždy co nejlépe změřit (analyzovat), zjistit souvislosti (příčiny a následky) a pokud možno maximálně matematicky popsat. Toto je základ použití budoucí umělé inteligence ve slévárnství. Již před padesáti roky jsem se jako student katedry slévárnství na FS VUT učil to, co dnes by mohl být základ umělé inteligence ve slévárnství. A to nejen v oblasti vytváření strojů, ale především při stavbě systémů, kde by umělá inteligence nahrazovala v našem oboru stále nedokonalejšího člověka - zaměstnance slévárny.

Jeden z mnoha praktických příkladů realizace umělé inteligence již odzkoušených ve slévárněnské praxi je výsledek práce finské univerzity v řízení kvality formovací směsi [4].

Stále více se ale v našich slévárnách setkávám s přístupy typu verbálně projevovaných:

„já jsem si myslel, možná, asi to tak bylo atd.“ Tomu se říká *intuitivní vnímání*. Tento přístup je cesta do pekla. Největším intuitou byl Hitler, který v r. 1934 prohlásil „dejte mi Německo a za 10 let ho nepoznáte“. Ano – svět Německo nepoznal, ale v opačném „gardu“, než si to Hitler představoval.

Špatná intuice v nejvyšším rozhodování, bez důsledného projektového managementu vedla k největšímu počtu bankrotujících sléváren po r. 1989.

Jedna z mnoha definic umělé inteligence je v literatuře uvedena: „*Umělá inteligence se zabývá problematikou postupu zpracování poznatků - osvojováním a způsobem použití poznatků při řešení problému.*“ [5]. Jsem smutný, že se tohoto procesu v českém slévárnství nedožiji.

Jen na základě *smyslových a matematických analýz podnikání a všech procesů ve slévárnství lze:*

3.2 Racionálně rozhodovat

Toto rozhodování vyžaduje zkušenost, přehled nad všemi souvislostmi v oboru, ale i umění řídit zaměstnance. Rozhodování je nejtěžší manažerská práce ve slévárnství. Slévárněnský obor vyžaduje vysoké kapitálové náklady, technicky vyspělé zaměstnance v předvýrobních složkách a obchodní um.

Racionální rozhodování nesmí být nikdy ovlivněno sociabilním přístupem rozhodovatelů. Sociabilní přístup managementu k zaměstnancům vedl v řadě případů ke ztrátě zisků, zápornému Cash flow, platební neschopnosti a následným bankrotům. Ještě horší bylo sociabilní rozhodování vlastních majitelů firem, jemuž se v česku říká „tunelování“. I těchto případů je v naší historii celá řada.

3.3 Dotahování do konce

Po racionálním rozhodnutí musí být rozhodovací procesy dotaženy do konce. Bez tohoto kroku nedojde i při dobré vůli managementu k realizaci patřičných technických, organizačních a personálních opatření, jež jsou základem veškerých pozitivních změn vedoucích k prosperitě slévárny.

4. CO ROZHODUJE O ÚSPĚCHU SLÉVÁRNY

4.1 Suroviny - většina slévárenských surovin jsou komodity, jejichž cenu určuje světový trh.

Jsou to jak kovy, tak energetické suroviny. Znamená to, že všechny slévárny mají rovný přístup a stejné ceny surovin. (obr. 3 a 4)

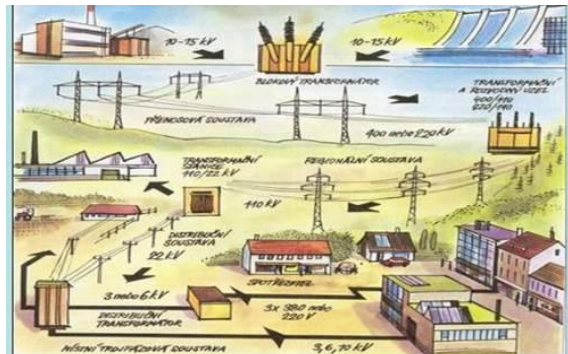


Obr. 3. Suroviny



Obr. 4. Největší ložiska železné rudy v Rusku

4.2 Trh s elektrickou energií řídí OTE, a.s. (obr. 5 a 6) – Operátor trhu s energií. I v této oblasti nelze získat významnou konkurenční výhodu.



Obr. 5. Energie

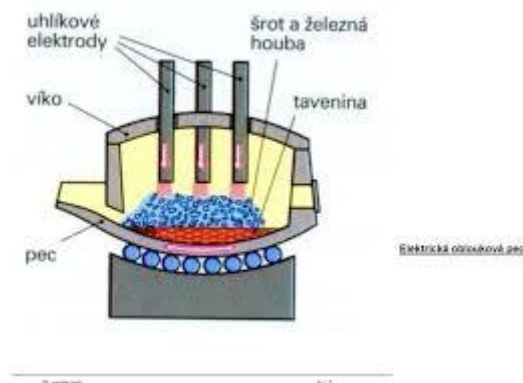


Obr. 6. Energie – obnovitelné zdroje

4.3 Stroje a zařízení (obr. 7 a 8) - tento trh je absolutně deregulovaný a tím neviditelná ruka trhu nedovolí získat výhody jednotlivých subjektů trhu. Efektivnost investic je tedy pouze v rukou managementu sléváren.



Obr. 7. Stroje a zařízení



Obr. 8. Stroje a zařízení

Informace (obr. 9) - v době internetu a neregulovaném obchodu s informacemi je taktéž obtížné získat konkurenční výhodu. Samozřejmě s výjimkou dobré právní ochrany technických řešení a obchodních tajemství.



Obr. 9. Globalizace a digitalizace informací

4.5 Know-how Zde je potíž s asijskou konkurencí, kde nefunguje vymahatelnost práva. Ale při hodnocení vývoje našich sléváren po r. 1989 jsem se setkal s minimem krádeže duševního vlastnictví. Daleko častější je problém u finálních výrobků, kde jsem se potkal s kopií i ojeté pneumatiky na dopravním prostředku.

4.6 Tržní bariéry. V dnešním globalizovaném světě bez bariér v Evropě je šance rovná pro všechny. Cla na trhy neevropské nejsou tak velké, aby se staly překážkou pro možnost vývozu do jakéhokoli místa na světě. Problém může nastat při realizaci brexitu, který může ovlivnit exportní výkonnost našich odběratelů na britský trh.

4.7 Finance. K problémům financí se nechci vyjadřovat, neboť nejsem odborník. Současný stav záporných úrokových sazeb a dokonce i u řeckých dluhopisů (prodej za 487,5 milionu eur v záporném úroku) je nanejvýš stavem podivným.

4.8 Z výše uvedeného vyplývá, že rozhodujícím faktorem přinášejícím konkurenční výhodu slévárně je pracovní síla – její inteligence a nasazení. (obr. 10)



Obr. 10. Zaměstnanec je rozhodující faktor ve slévárně

5. ÚROVEŇ MANAGEMENTU A ZAMĚSTNANCŮ JE TEDY HLAVNÍ FAKTOR KONKURENCESCHOPNOSTI SLÉVÁRNY

Hodnota člověka (přínos zaměstnance slévárny) se dá zjednodušeně vyjádřit rovnicí:

$$\text{Hodnota} = \text{ZI} + \text{EI}^2 + \text{KI}^3$$

ZI..... základní inteligence – nejlepší znalost v daném oboru, vědět jak, umět

EI..... emoční inteligence – schopnost vcítit se do potřeb, přání a tužeb, umění komunikovat a poslouchat

KI..... kreativní inteligence – schopnost myslet jinak, bez hranic, přinášet nové věci, řešení, hodnoty a mít zcela nový pohled na věci, mít odvahu je uvést do života, umět inovovat !!!

Dříve: znalosti (tak ještě dodnes funguje naše školství)

Dnes: empatie a zvláště kreativita nabývají mnohem větší význam.

Spojení všech tří složek společně s týmovou prací je základním předpokladem posunu věci dopředu.

Příklad: Ukrajina – zapečené odlitky, 10% vody v bentonitové směsi.

Když jsem přijel do jedné slévárny na Ukrajině, již z dálky jsem viděl před slévárnou haldu vysoce zapečených odlitků. Ptal jsem se, proč do bentonitové směsi přidávají 8-10% vody? Odpověď zněla: jinak bychom nemohli modely vytáhnout z forem. Šel jsem se podívat ke kolovému mísiči a s hrůzou jsem zaznamenal, že mísič nemá hnětací kola. Zeptal jsem se, jak je to možné. Odpověď zněla: „Máme polámaný hřídel a ten by kola neunesl. Tak aspoň mísíme lopatkami.“ Když jsem vysvětlil princip hnětání bentonitu, odpověď zněla: „No my na nový hřídel nemáme finance“. Zkusil jsem vysvětlit: „Když ze svých mezd management zabezpečí financování opravy hřídele, budou se vyrábět lepší – více konkurenceschopné odlitky. To se rychle vrátí ve větším prodeji s lepšími cenami odlitků a sníží se pracnost čistírenských operací.“ Vše pochopili. Když jsem přijel za 2 měsíce znovu - vše bylo při starém.

Odbornost získali, empaticky informace pochopili, ale kreativita byla u nich nulová. Nedošlo k dotažení do konce a tím k žádnému zlepšení, žádné inovaci a žádnému vylepšení stavu.

6. BOJ S KRIZÍ

Slévárenský obor, jako obor dodávek komponentů na především evropský trh, je daleko více ohrožen, než tuzemské velké firmy, které byly a vždy budou podporovány státem. Zvláště se to projevilo při řízení státem levicovými stranami. Vzpomínám na povzdech bývalého prezidenta Svazu průmyslu a dopravy, kdy při soukromém jednání konstatoval, že my slévači jsme pro nejvyšší představitele státu politicky nezajímavým oborem. Dnes je toto ohrožení v rukou populistických stran. Nikdy již nečekejme plošnou podporu. Nebezpečí pro obor hrozí z obchodní války mezi Čínou a USA, z Brexitu, ale největší katastrofou by byla obchodní válka mezi USA a EU s následnou mohutnou recesí Německa.

Je tedy nutné:

6.1 Snižování nákladů. Nečekat - investovat do jakýchkoliv inovace. Tyto výdaje jsou realizovatelnější v době růstu a zisků, než v krizi, kdy se už zdroje tenčí.

6.2 Diverzifikovat zákaznické portfolio. Nikdy neuspokojovat pouze jednoho, nebo dva zákazníky v odběratelském oboru. Nikdy nevíte, který zákazník padne do krize a sníží zakázky na minimum anebo skončí se svým podnikáním. Zajímejte se o snížení teritoriálního snížení rizika. Evropa se bude potkávat úplně s jinou krizí než např. Asie. Otevřené Německo bude jiné, než Polsko. Je okamžitě nutné rozšířit portfolio zákazníků a žádnou zakázku neodmítat.

6.3 Stabilizovat Cash-flow. Rychle redukovat veškeré pohledávky a upřednostňovat rychle platící zákazníky.

6.4. Projednat s úvěrovými společnostmi **akční plán při řešení krizových situací.**

6.5 U dodavatelů ihned řešit prodlužování splatnosti faktur a hledat lepší dodavatele (kvalita i cena), včetně zahraničních. Velkou rezervou ve slévárnách je omezení tržních nákupních aktivit pouze na tuzemsko, což je dáno především jazykovými schopnostmi zaměstnanců. U komodit dovážených z drahých teritorií se pokuste nahrazovat tuzemskými dodavateli, nebo dovozem z levnějšího „východu“.

6.6 Začněte hrát fair play se zaměstnanci. Sdělte, že krize přijde. Budete snižovat náklady.

Dotkne se to určitě i mezd a možná i pracovních míst. Motivujte nikoliv strachem, ale pozitivními opatřeními (viz dále). Vytvořte množinu klíčových zaměstnanců a ty preferujte. Ti pomohou zvládnout nejsložitější úkoly postavené před management a předvýrobní složky.

7. PERSONALISTIKA VE SLÉVÁRENSKÝCH PROVOZECH:

Životodárné prameny pro rozhodovací cestu: Nutno učit nejen odbornost, ale i empatii s celým pracovním kolektivem a kreativitu jednotlivců.

7.1 Odbornost: vliv škol, celoživotního vzdělávání, Slévárenská společnost, Svaz sléváren, vnímání praktických poznatků, jejich archivace, umělá inteligence ve slévárenství
Praktické příklady:

Př. 1 V mnoha slévárnách je zapomenuto, co je to očkování litin. Dokonce v řadě případů si i nejvyšší odborníci pletou modifikaci u tvárné litiny s očkováním. I šéfové sléváren odmítají očkovat do proudu kovu a obětují kvalitu litin na základě sociabilního přístupu k zaměstnanci (ono je u toho proudu kovu horko). Například dle obrázku z jedné anglické slévárny v Sheffieldu je očkování do proudu kovu striktně 100 % vyžadováno (**obr. 11**). Když jsem navštívil jednu slévárnu v Číně, ptal jsem se 25letého vedoucího slévárny a jednoho odlévače, jak litinu očkují. Rozuměl jsem si česko-čínsky, rukama, nohama, daleko lépe než s mnohým šéfem slévárny v tuzemsku. (**obr. 12**)



Obr. 11. Očkování litiny



Obr. 12. Komunikace o očkování litiny s čínským odlévačem

Mnoho zahraničních odběratelů vyžaduje při opracování litiny bez výskytu cementitu. Škody napočítané nedokonalým očkovaním jsou v korunách, ztrátě image a obchodů nevyčísitelné! Přitom se jedná o jednoduchou odbornost a empatii k požadavkům zákazníků.

Př. 2 Spousta rezerv je v tom, že technolog podceňuje schopnost vlastní slévárny a svých osobních schopností nabízet na trhu výrobky (ne pouze odlitky) s podstatně vyšší přidanou hodnotou. Bazíruje na postupech a procesech doposud nabízených slévárnou. Například u rovinných deskovitých odlitků se ale dá docílit až dvoj(troj) násobných cenových hladin odlitků. Tyto cenové hladiny umožňuje požadovaná vysoká přesnost odlitků, kterou běžné slévárny odmítají zabezpečovat. Tuto přesnost docílíme při dnešních kvalitách formovacích směsí, úrovni digitalizace dat, v kombinaci s 3D tiskem modelů, následnou aktualizací úprav dat pro výrobu modelů, v kombinaci s jednoduchými následnými technologickými opatřeními. Moderní konstrukční pracoviště umožňující rychlou tvorbu CAD dat by měly být dnes součástí předvýrobních složek každé slévárny. Absence kreativních přístupů technologů se silně projevuje v efektivnosti slévárny, v nerozšíření portfolia odběratelů i ve vyčerpání kapacit slévárny. Existuje dostatek poznatků schopnosti docílovat rovinnosti odlitků z litiny s kuličkovým grafitem do 1 mm, při délce odlitků větších než 1000 mm o tloušťce odlitku 20 mm (**obr. 13,14**)



Obr. 13. Rovinnost plotny v toleranci 1mm



Obr. 14. na délce 1000 mm

7.2 Empatická spolupráce technologa a jeho okolí: věčný antagonistický vztah jednotlivých předvýrobních profesí ve slévárnách namísto spolupráce v docilování úspěšných řešení (za vše může vtoková soustava).

7.3 Kreativita technologů: kontinuální inovační myšlení, odvaha, ekonomický nadhled nad inovativními realizacemi.

Zde musí technolog hrát rozhodující roli v prosazování odbornosti na všech úrovních pracovního procesu. Znovu konkrétní příklad:

Na mnoha zdech okolo sléváren, na prospektech, nástěnkách, [www.stránkách](#) apod. se setkávám s hesly typu: „Tradice, zkušenost, kvalita.“

V řadě těchto sléváren se setkávám s tradicí: „Vysoko tavit, nízko lít“. Přeloženo: „Vysoká teplota tavení, únik plynů z kovu, odlévat z nízkých teplot - zabránění staženin a zvýšení kvality povrchu odlitků.“ Teoreticky toto funguje, ale pozor na současnou slévářenskou praxi. Dnes se dostáváme z litin stupně sycení 1, které se odlévaly před 100 roky, do jiných oblastí – kvalitnějších litin pro převážně automobilový průmysl. Pokud se odlévá z nízkých teplot, litina těsně nad teplotou krystalizace okamžitě začíná krystalizovat a často se setkávám ve slévárnách s „epidemií“ bublin. Samozřejmě zde hraje roli spousta dalších faktorů, v tomto případě hraje hlavní roli kreativní přístup technologa k určení správné teploty lití. Někdy je obtížné odporovat tvrzení - „vždyť vždycky jsme to tak dělali“. Toto je jeden z antikreativních přístupů zaměstnanců, který přináší slévárnám významné škody a problémy. Já jsem se setkal s nutností kontroly tisíců odlitků v zahraničí při objevování uzavřených bublin v odlitcích. Škoda v řádech milionů Kč.

8. ADMINISTRATIVA A ARCHIVACE VÝSLEDKŮ INOVATIVNÍCH ŘEŠENÍ, JEJICH VYHODNOCOVÁNÍ A NÁVRHŮ NOVÝCH OPATŘENÍ

Zde upozorňuji pouze na to, že informace jsou dnes jedním z nejdůležitějších zboží. Velkou chybou bylo po listopadu 1989, že spousta archivů, písemných dat, katalogů, výzkumných zpráv, kartoték bylo nenávratně ztraceno a zničeno. Dnes v digitální době to máme jednodušší než naši slévárenští předkové. Važme si této skutečnosti a pokusme se neztrácet data. Jednou bude nutné je použít pro umělou inteligenci ve slévárnictví, aby naši potomci naplnili nadsázku přednesenou na jednom slévárenském kongresu ve 20. století: „V budoucnosti bude ve slévárně zaměstnán pouze 1 člověk a pes. Pes bude hlídat člověka, aby neudělal nějakou blbost.“

Je nutné realizovat bod 3.3. – dotažení do konce. Všechny poznatky je bezpodmínečně nutné zaznamenávat v archívech technologických předpisů a důležité je tyto informace zachovat i při změnách majitelů firem.

Velice špatnou zkušenost z praxe jsem zažil osobně. Když jsem odcházel z tehdy státního podniku do soukromého sektoru, můj nástupce (kterého jsem nevybral) mi sdělil, že si mám vyklidit svoji kancelář a nenechat tam ani jeden papír. Tento katastrofální amatérský přístup nové generace manažerů poškodil nejen můj bývalý podnik, ale jistě spousta sléváren po r. 1989.

9. VLIV PODNIKATELSKÉHO A KOMUNIKATIVNÍHO PROSTŘEDÍ NA EFEKTIVNOST PRÁCE TECHNOLOGA

Nedávno jsem se zúčastnil setkání spolužáků z gymnázia. Jedna spolužačka přijela z Rakouska. Nechci se dotknout českých spolužaček, ale rozdíl byl markantní. Stejně tak vidím rozdíl u svých zákazníků v Německu, pokud porovnávám „odlitky z východu a západu“. Ovšem odlitky z Vietnamu se dnes vyrovnají spoustě odlitků z východní Evropy a dokonce v řadě případů jsou kvalitnější.

10. VÝZNAMNÝ VLIV MOTIVAČNÍCH FAKTORŮ NA ÚROVEŇ PRÁCE TECHNOLOGA.

Jak již bylo uvedeno v úvodu, na téma motivace zaměstnanců jsem přednášel na slévárenských dnech v roce 2003.

Každé ráno chodí do práce jak naši zaměstnanci z Brna a okolí, tak zaměstnanci z Ukrajiny. Ukrajinci už mají trvalý pobyt, neboť pracují v naší firmě již více jak 20 roků. Obměním citát Adama Smithe: „Proč chodí do práce? Milují mne? NE!!! „Jejich motivací je pouze zabezpečit určitou úroveň života jich samotných a jejich rodiny. Trošku jiná je situace u absolventů a bezdětných zaměstnanců. Zvláštní je tedy rozdíl mezi motivací občanů ČR a cizinců. Já mám zkušenosti pouze se zahraničními pracovníky z Ukrajiny. Stav zabezpečení českých občanů, kteří mají zdroje jiné než mzdu (zdravotní a sociální pojištění, školství, relativní bezúplatkové obstarávání výhod, příspěvky na bydlení, podpory v nezaměstnanosti a řada dalších podpor oproti zahraničním pracovníkům z východu), silně rozevírá nůžky mezi motivací Čechů a cizinců. Veliká škoda je, že cizinecká politika při stávající katastrofické vzdělávací politice ČR je postavena dále na netransparentní vízové politice na Ukrajině, Vietnamu a jiných zemí. Hned by byla úroveň a úspěch sléváren úplně na jiné úrovni.

Přítom motivace zaměstnanců je jediná cesta k úspěchu sléváren. Bez pochopení principů motivací nemůže nastat ve slévárně pozitivní pohyb a změny. Bohužel sociální stát (EU) zničil motivaci pracovníků v porovnání s východoevropskou nabídkou pracovní síly a východoasijskou konkurencí.

A podnikání? Zisk pro podnikatele je největší motivátor. Jiný smysl podnikání nemá. Pouze způsob, jak k tomu zisku dojít se v čase mění. Hlavní definice kapitalistického podnikání za socialismu byla: „**Maximalizace zisku**“. Baťa se proslavil svým sloganem: „**Zákazník – náš pán**“. V současné době je populární: „**Vše pro zákazníka – zisk už přijde sám**“.

Nejefektivnější v Evropě jsou firmy v jihozápadním Německu, kde je nejsilnější rodinná tradice podnikání v Evropě.

Tam by krach rodinné firmy byla ostuda a proto pro rozvoj a udržitelnost firmy je zisk nutností. Jiná motivace je v Japonsku a Jižní Koreji. Tam je motivací osobní odpovědnost k podniku a

zadanému úkolu. Dlouhá kapitola by byla o motivaci čínských, indických, vietnamských a ostatních občanů jihovýchodní Asie v porovnání s motivací občanů EU a zvláště občanů bývalých zemí východní Evropy.

11. OSOBNOSTNÍ VLASTNOSTI SLÉVÁRENSKÝCH ZAMĚSTNANCŮ A OPTIMALIZACE VYUŽITELNOSTI TĚCHTO VLASTNOSTÍ

Dominik kardinál Duka OP arcibiskup pražský: Víte, kde viděl „jádro pudla“? „Největší brzdou jsou průměrní dobráci, kteří jsou stavěni na vynikající místa proto, že nejsou osobnosti, protože se zdá, že žádnou lampu sice nerozsvítí, ale také žádnou nerozbijí, že budou milí ke svým stoupencům a že budou mít zejména smysl pro lidské slabůstky svých bližních. Je to velký omyl.“

Pouze malé praktické personální doporučení: pokud je v oddělení několik zaměstnanců, kombinujte a posaďte vedle sebe extroverty a introverty. Extroverti budou vnímat a rozhodovat, introverti budou dotahovat do konce. A takto přesně vyžadujte plnění kompetencí a povinností!!!! Extroverty nepenalizujte za občasně chyby, ale vyžadujte nadšení a kreativitu. Introverty využívejte na poctivou analytickou práci, práci s daty a perfektní administraci všech činností.

12. TECHNOLOG A ZÁKAZNÍK (KOMUNIKACE)

V současné době převažuje praxe, že se zákazníci sléváren komunikují především obchodníci, kteří jsou sice většinou jazykově vybaveni, ale taky většinou nerozumí široké komplexní problematice slévárenské technologie. Zvláště chci upozornit na citlivý problém nákladů na modelová zařízení. Zákazník ze soukromého sektoru a malé firmy je v úplně jiné pozici než zákazník velké firmy a navíc navázané na státní finance. Motivace v obchodním vztahu je totálně rozdílná a málokterý obchodník a technolog dokáže motivace těchto zákazníků rozeznat. Technolog má motivaci ušetřit své vlastní náklady související s optimalizací kvality modelu a vyžaduje většinou zbytečně nákladově nevhodné požadavky na modelová zařízení.

Obchodník problémům nerozumí a přebírá informace technologa, dochází k rozporu se zákazníkem a k obchodu nedochází. Důležitá je komunikace: zákazník, obchodník, technolog a pochopení funkce odlitku technologem. Ve světě se tomu říká pochopení filozofie odlitku.

Příklady:

1. využití stejných jaderníků pro různá modelová zařízení. Požadavek technologa – co model to nový jaderník, (ale úplně stejný jako u dalších 30 modelů) je ekonomicky neprůchodný.

2. požadavek na pouze kovové jaderníky i při malých požadovaných sériích nemůže zákazník nikdy akceptovat. Lze řešit jednoduchými technologickými opatřeními. Technolog ale musí volit kreativní opatření, místo trvání na tradicích.

13. ORIENTACE ZAMĚSTNANCŮ SLÉVÁRNY NA VÝSLEDEK (PRIORITY, FAKTOR ČASU...)

Zkuste se prosím zeptat vašich zaměstnanců, kdo jim dává jejich výplaty. Setkáte se většinou s odpovědí, že jim posílá peníze na jejich účty přece mzdová účtárna.

Těžko budete vysvětlovat, že jejich výplatu majitel (majitelé) firem pouze přeposílá z přijatých peněz od konečného zákazníka, který dostává finální výrobek, jehož součástí jsou odlitky vyrobené ve slévárně.

Tento konečný zákazník má svoje příjmy, které posílá všem při utrácení těchto příjmů. Vlastník a management slévárny pouze přeposílá finance, které mu dojdou na účet slévárny od všech jeho zákazníků. Ti taktéž přijímají tyto zdroje od celého řetězce zákazníků mezi odlitkem a např. automobilem. Složitě se vysvětluje zaměstnancům, že jim dávají výplatu především němečtí důchodci a zaměstnanci. Proto je důležitá motivace na výsledek. Dobrý výsledek není pouze dobrý odlitek. Zákazník ještě více potřebuje mít odlitek včas a mít záruku za požadovanou kvalitu. V dnešním velice rychlém chaotickém světě je největším pozitivem zákazníka vyhnutí se stresu. V našem nejednoduchém oboru, kdy na odlitky je stále více kladen požadavek na přesnost, obrobitelnost, mechanické hodnoty, ale hlavně dodávku v dohodnutém časovém prostoru je velice důležité, aby se tohoto procesu zúčastnil každý zaměstnanec slévárny a uvědomoval si svoji zodpovědnost. Při komunikaci na Radě starších slévačů jsem zaznamenal povzdych jednoho

kolegy, který informoval o tom, že šéf slévárny byl často nešťastný z toho, že mu zaměstnanci v době sklizně hroznů, výrobě vína a pálení slivovice nechodili do práce. Jiní ale nebyli k dispozici. Pochopitelně musela tato situace vést k ukončení činnosti slévárny. Majitel měl smůlu, že zprivatizoval slévárnu ve vinném kraji.

14. ŠKOLSTVÍ

Nikdy neseženeme slévače, pokud bude na středních školách převyšovat nabídka židlí v oborech s maturitou nad počtem žáků vycházejících ze základních škol. Nikdy neseženeme dobré absolventy s maturitou, pokud na vysokých školách bude místo pro všechny maturanty, kteří se přihlásí ke studiu na vysoké škole. Co na to lobbyistické organizace podnikatelů, v našem případě Svaz sléváren???

Velkým omylem a podvodem jsou konstatování vysokoškolských lobbyistů, že máme málo kapacit na vysokých školách. Konstatování, že jsme na tom s vysokoškoláky na 23. místě z evropské osmadvacítky je zavádějící údaj. Ano s 23,9% vysokoškolsky vzdělaného obyvatelstva v ČR zaostáváme za průměrem EU s 31% vysokoškoláků. Ale problém je v tom, že 23,9 % je ve věkové kategorii 25-64 let. Před 30 roky ale studovalo na vysoké škole pouze 10% a méně občanů. Až naše generace vymře, pak budeme mít čísla daleko lepší než EU.

15. DUNNING-KRUGERŮV EFEKT: PROČ HLUPÁK ZŮSTÁVÁ HLUPÁKEM

Na závěr jedna domácí úloha: Jedním z velkých problémů ve slévárnách je v personalistice nepochopení efektu přeceňování svých schopností u méně kompetentních spolupracovníků a naopak sebepodceňování se u lidí s velkými schopnostmi a vzděláním. Tento jev popisován v literatuře jako Dunning-Krugerův efekt. Zkuste si k tomuto najít informace na internetu a položte si otázku, co s tímto fenoménem budete ve slévárně dělat?

16. JÁ SE ŘÍDÍM 2000 LET STARÝM TUNISKÝM PŘÍSLOVÍM:

Existují 4 základní typy lidí:

- ví a ví, že ví – toho se držte
- ví a neví, že ví – toho probud'te
- neví a ví, že neví - tomu pomozte
- neví a neví, že neví - toho pošlete do

17. MOJE MOTTO, KTERÉ JSEM POSLAL SVÝM ZAMĚSTNANCŮM V ROCE 2017:

"Jednou z nejlepších věcí, která může člověka v práci a životě potkat, jsou chytří a dobří lidé okolo něho. Nedívejte se na tyto kolegy a přátele jako na konkurenci, protože ti lidé jsou vám prospěšní. **Pomáhají vám soustředit se na váš cíl, nutí vás zlepšovat se, udržují vaši sílu a vytrvalost.** Bez takovýchto osobností kolem by byl i váš progres o mnoho pomalejší. A váš životní progres má hlavní vliv na vaši výplatu a životní úroveň. Proto se snažte být v okolí těchto lidí co nejvíce."

LITERATURA

[1] KRÁL, Z. Aktivní, vzdělaný, odpovědný a motivovaný zaměstnanec – základ úspěchu slévárny Slévárenství, 2003, č. 6, str. 214-216

[2] SAB Finance, upozornění podnikatelům 8/2019

[3] <https://www.strojirenstvi.cz/tuzemskym-slevarnam-se-dari-destihaji-zakazky-z-nedostatku-zamestnancu>

[4] https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4471-0509-1_52

[5] https://wikisofia.cz/wiki/Um%C4%9B1%C3%A1_intelligence



Horská 139, 542 01 Žacléř – CZECH REPUBLIC
Tel.: +420 499 739 711 Fax: +420 499 876 140
sales@keramtech.cz www.keramtech.cz

A photograph showing a rectangular ceramic filter with a grid of small holes, glowing orange and yellow from heat. The filter is positioned in a furnace, with bright flames and molten material visible below it.

KERAMICKÉ FILTRY
HLINÍK ◦ LITINA ◦ OCEL

Odlitky na veteránu Buick model 10 z roku 1908

Bryksí Stunová, B.¹⁾, Stuna, Z.¹⁾

¹⁾ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav strojírenské technologie – skupina slévání, Technická 4, Praha, barbora.stunova@fs.cvut.cz

²⁾Golem, Slepá 796, Hradec Králové, stuna.golem@gmail.com

Příspěvek se zabývá technickým řešením automobilu Buick 10 z roku 1908, zejména pak z pohledu odlitků. Buick byl vedle Fordu významným hráčem a byla na něm aplikována konstrukční a technologická řešení, která se u evropských automobilek uplatnila až daleko později. Je zde přiblíženo a zdokumentováno několik odlitků, z nichž některé i v dnešní technicky pokročilé době budí respekt. U vybraných odlitků byla provedena metalografická analýza, bylo změřeno chemické složení a tvrdost.



HACZ

HÜTTENES-ALBERTUS CZ

Základ našeho úspěchu - solidní, dobře udržovaná a výkonná technika a motivovaný disciplinovaný výrobní tým.



SBORNÍK PŘEDNÁŠEK



sekce
neželezných kovů a slitin, ekologie

56. SLÉVÁRENSKÉ DNY
12.-13. 11. 2019
Brno

Vplyv vtokovej sústavy na vznik reoxidačných procesov

Brúna, M.¹⁾, Remišová, A.²⁾

¹⁾ ŽU Žilina, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, SR, marek.bruna@fstroj.uniza.sk

²⁾ ŽU Žilina, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, SR, anna.remisova@fstroj.uniza.sk

Kľúčová slova

Vtoková sústava, reoxidácia, numerická simulácia

Abstrakt

Príspevok je zameraný na reoxidačné procesy prebiehajúce pri odlievaní hliníkových zliatin. Predložené výsledky sú zamerané na analýzu numerickej simulácie pomocou počítačového softvéru ProCAST. Porovnávané sú štyri typy vtokových sústav a ich vplyv na priebeh a výskyt reoxidačných procesov vo vtokovej sústave počas plnenia dutiny zlievarenskej formy. Porovnávané sú systémy podtlakového vtokového systému a tzv. prirodzene pretlakového vtokového systému.

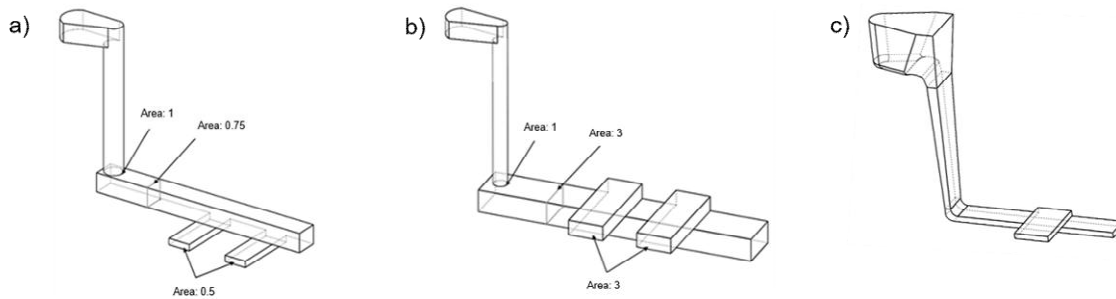
1. ÚVOD

Jedným z hlavných dôvodov poklesu úžitkových vlastností odliatkov z hliníkových zliatin sú reoxidačné procesy. Reoxidácia je pojem zahrňujúci sekundárnu a terciárnu oxidáciu taveniny počas metalurgických operácií a procesu plnenia dutiny formy. Hlavným dôvodom výskytu reoxidácie je vysoká rýchlosť taveniny a s ňou spojené turbulencie tekutého kovu. V dôsledku prítomnosti turbulencií dochádza ku prekladaniu a spájaniu dvoch nezmáčaných častí povrchovej oxidickej vrstvy, čím vznikajú tzv. bifilmy. Bifilmy sú veľmi malých a kompaktných rozmerov, čo im umožňuje prechádzať všetkými komponentami vtokovej sústavy a prejsť až do dutiny budúceho odliatku, prekážkou pre nich nemusí byť ani filtračné médium. V relatívne pokojnom prostredí majú bifilmy tendenciu nadobúdať svoj pôvodný tvar, čím vytvárajú nukleačné miesta pre výskyt mnohých zlievarenských chýb. Prvý krát bol pojem bifilm spomenutý profesorom J. Campbellom, ktorý považuje ich prítomnosť za hlavnú príčinu degradácie najmä mechanických vlastností odliatkov z hliníkových zliatin.

Okrem iného je rýchlosť taveniny ovplyvňovaná najmä konštrukciou vtokového systému. Vhodnou konštrukciou jednotlivých častí plniaceho systému je možné zredukovať nadkritické rýchlosti taveniny a zabezpečiť tak pokojné plnenie dutiny formy.

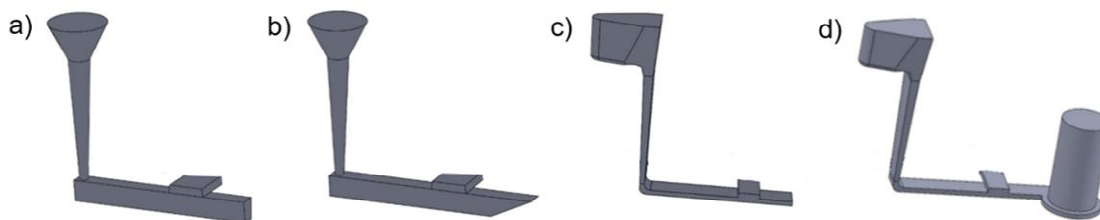
2. VTOKOVÝ SYSTÉM

Zvyčajne sa vtokové systémy delia na pretlakový a podtlakový vtokový systém (**Obr. 1a,b**), obsahujúce tzv. škrtiaci prierez. Princíp týchto systémov tvorí zostupný, alebo vzostupný pomer plôch Vtokový kanál (S_k) : Rozvádzač kanál (S_t) : Zářezy (S_z). Oba z uvedených vtokových systémov majú nedostatky z hľadiska reoxidačných procesov. Rokom 1962 Jeacolson a kolektív zadefinovali nový typ vtokového systému – prirodzene pretlakový vtokový systém (**Obr. 1c**). Tento vtokový systém neobsahuje žiadny škrtiaci prierez a celá plocha tekutého kovu je v bezprostrednom kontakte so stenami formy, čím je dosiahnuté dokonalé zaplnenie vtokového systému v každom bode sústavy a tým je eliminovaná plocha vystavená ďalšej reoxidácii. Nevýhodou tohto systému, a hlavným dôvodom prečo nie je tento systém bežne používaný v praxi sú nadkritické rýchlosti prúdu taveniny.



Obr. 1. Konštrukcie vtokového systému: a – pretlakový vtokový systém , b – podtlakový vtokový systém , c – prirodzene pretlakový vtokový systém

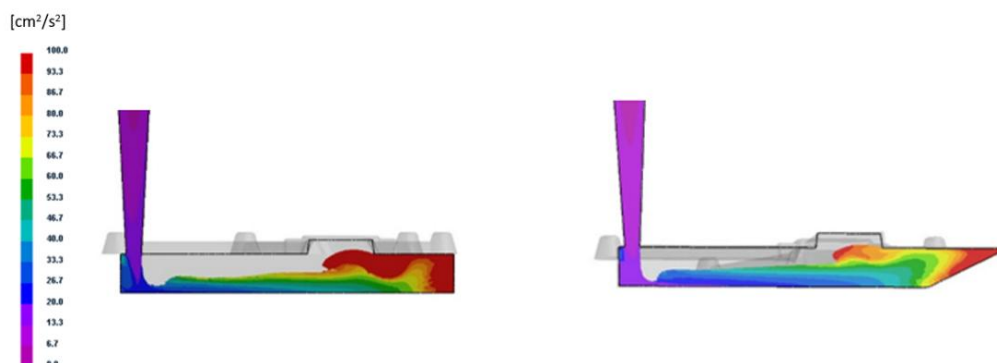
Pre hodnotenie vplyvu vtokovej sústavy na prítomnosť reoxidačných procesov pomocou numerickej simulácie boli navrhnuté štyri typy vtokovej sústavy. Prvý variant je podtlakový vtokový systém (**Obr. 2a**), druhým je rovnaký druh vtokového systému avšak s modifikáciou konca rozvádzacieho kanála (**Obr. 2b**). Ďalšie dva varianty predstavujú koncept prirodzene pretlakového vtokového systému. Posledný z variantov obsahuje modifikáciu konca rozvádzacieho kanála v podobe valcového zakončenia. (**Obr. 2d**).



Obr. 2. Návrhy vtokového systému: a – Podtlakový VS , b – Podtlak. VS so zúženým zakončením, c – Prirodzene pretlakový VS, d – Prirodz. pretlak. VS s vírivým zakončením

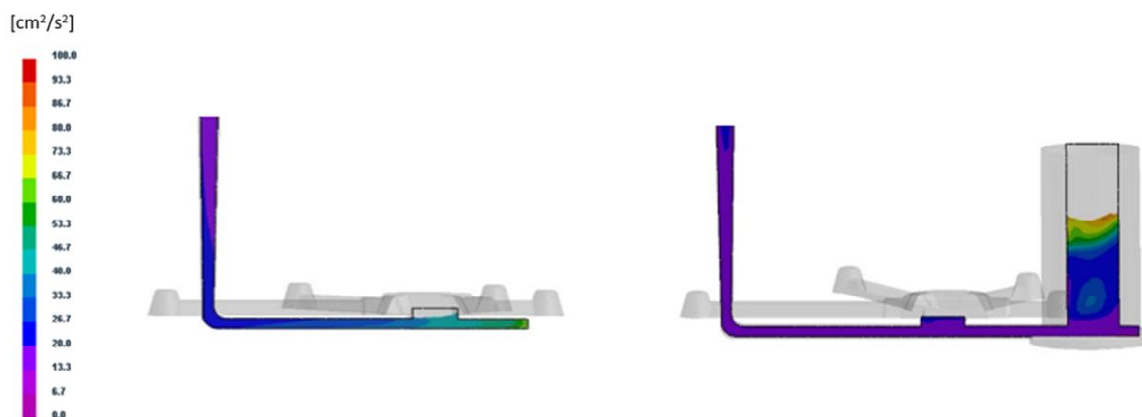
3. ANALÝZA TURBULENCIE KOVU

Vznik reoxidačných procesov v procese plnenia najviac ovplyvňuje výskyt turbulencií kovu. Ako prvá bola spracovaná numerickej simulácia plnenia a turbulentnej energie. Na **Obr. 3** môžeme vidieť, že v prípade podtlakovej vtokovej sústavy vznikajú vplyvom nezaplneného rozvádzacieho kanála priestor na vznik rozsiahlych turbulencií zvlňovaním voľného povrchu a súčasne mechanizmom odrazovej vlny na konci rozvádzacieho kanála. V prípade nemodifikovaného ukončenia rozvádzacieho kanála dochádza k rýchlemu zabrzdzeniu taveniny na jeho konci a k preloženiu prúdu. Variantom so zúženým zakončeným bol tento mechanizmus mierne potlačený (**Obr. 3 vpravo**).

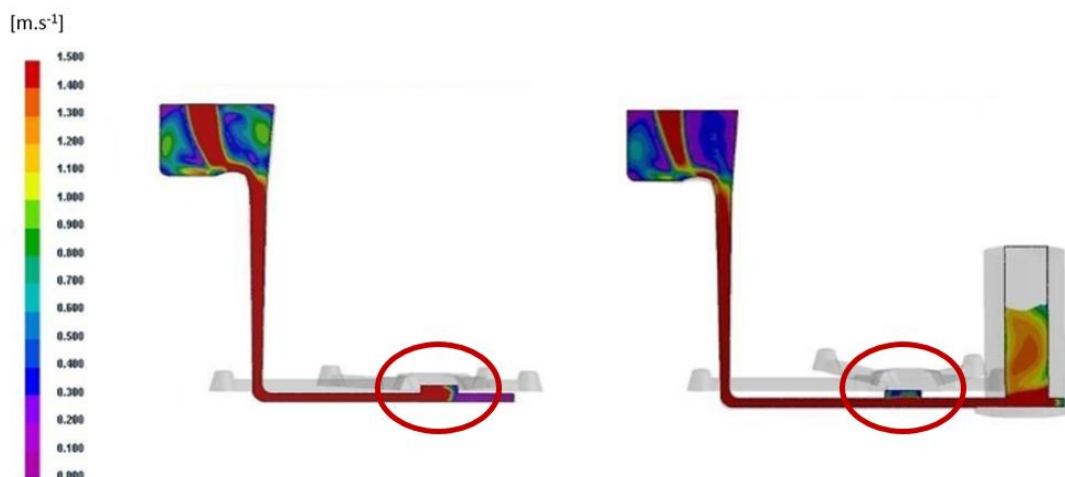


Obr. 3. Analýza turbulencie kovu podtlakového vtokového systému (vľavo) a podtlak. vtok. syst. so zúžením zakončením (vpravo)

V prípade prirodzene pretlakového vtokového systému je vplyvom dokonale zaplneného systému v každom bode minimalizovaná plocha vystavená voľnému zvlňovaniu povrchu tekutého kovu (**Obr. 4**). Rovnako je eliminovaný vznik odrazovej vlny na konci rozvádzacieho kanála. Kritická je oblasť zárezov. Nadkritická rýchlosť prúdu spôsobí prudké zabrzdzenie taveniny na konci rozvádzacieho kanála a energia nesená prúdom tekutého kovu je nahromadená v oblasti zárezov. Pri vstupe taveniny do dutiny formy potom dochádza ku rozstreku kovu a vysokým turbulenciám (**Obr. 5 vľavo**). Najlepšie výsledky boli dosiahnuté v prípade modifikovaného zakončenia rozvádzacieho kanála (**Obr. 4 vpravo**). Prúd taveniny je smerovaný do vírivého valcového zakončenia čím sa zaisťujú plynulá kontinuita prúdu (**Obr. 4 vpravo**) a ostatné časti plniaceho systému sú chránené pred negatívnym účinkom reoxidácie (**Obr. 5 vpravo**). Znížením rýchlosti sa minimalizuje riziko rozstreku taveniny pri vstupe cez zárezy.



Obr. 4. Analýza turbulencie kovu prirodzene pretlakový vtokový systém (vľavo) a prirodz. pretlak. vtok. syst. s vírivým zakončením (vpravo)

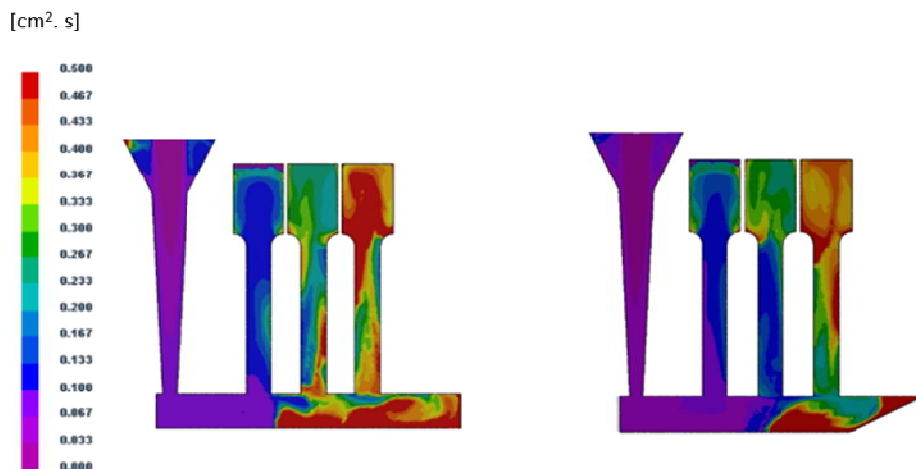


Obr. 5. Analýza rýchlosti prúdu prirodzene pretlakového vtokového systému (vľavo) a prirodz. pretlak. vtok. sys. s vírivým zakončením (vpravo)

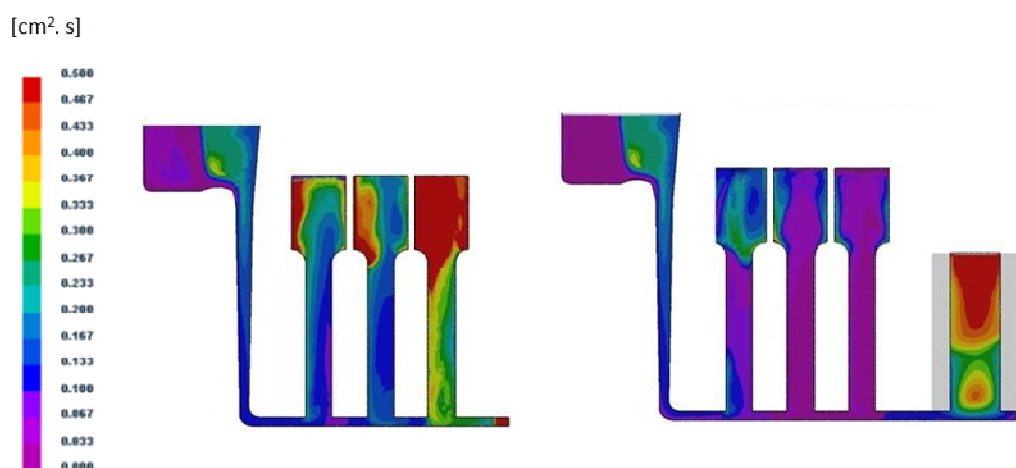
4. ANALÝZA MNOŽSTVA OXIDOV

Ako už bolo spomenuté vyššie, výsledná miera reoxidácie a teda aj miera obsahu oxidov v odliatku závisí od rýchlosti prúdu taveniny a rozsahu turbulencií. Množstvo oxidov je zreteľne pozorovateľné na odliatku určeného pre skúšanie mechanických vlastností. V oblasti najrozsiahlejších turbulencií spôsobených najmä prudkým zabrzdением kovu na konci rozvádzacieho kanála možno pozorovať najvyššie množstvo oxidov v odliatku (**Obr. 6**). V prípade prirodzene pretlakovej vtokovej sústavy možno pozorovať výskyt oxidov vo všetkých troch odliatkoch (**Obr. 7**

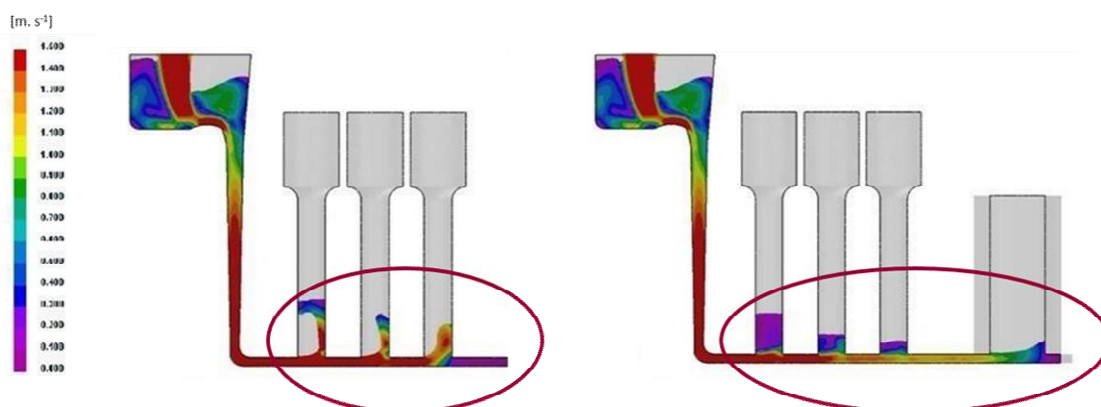
vľavo). Príčinou rozsiahlej miery oxidov je rozstrek v oblasti vstupu taveniny do dutiny formy (Obr. 8 vľavo). Najlepšie výsledky boli dosiahnuté v prípade prirodzene pretlakovej vtokovej sústavy s vírivým zakončením (Obr. 7 vpravo). Prúd tekutého kovu je usmernený do vírivého tangenciálne stúpajúceho pohybu a väčšina oxidov je zachytávaná vo valcovej časti (Obr. 8 vpravo).



Obr. 6. Analýza množstva oxidov variantov podtlakovej vtokovej sústavy



Obr. 7. Analýza množstva oxidov variantov prirodzene pretlakovej vtokovej sústavy



Obr. 8. Miera rozstrekú tekutého kovu variantov prirodzene pretlakového vtokového systému

5. ZÁVER

Na základe získaných výsledkom numerických simulácií možno konštatovať, že konštrukcia vtokového systému ovplyvňuje prítomnosť reoxidačných procesov a tým prítomnosť bifilmov vo výslednom odliatku. Vhodnou konštrukciou plniaceho systému a jednotlivých prvkov možno minimalizovať prítomnosť turbulencií kovu ovplyvňujúce vznik reoxidácie tekutého kovu. V predloženom príspevku je spomenutý koncept prirodzene pretlakovej vtokovej sústavy. Výhoda dokonalého zaplnenia v každom bode tejto sústavy sa stráca pri vstupe taveniny do dutiny formy. V dôsledku nadkritickej rýchlosti taveniny dochádza v oblasti zárezov ku rozstreku taveniny a turbulenciám. Usmernenie prúdu je možno okrem iného dosiahnuť tzv. vírivými prvkami umiestnenými v konštrukcii vtokovej sústavy. Hoci sa vznik víru v zlievarenstve považuje za nežiaduci jav, ak je jeho vznik kontrolovaný dokáže upokojiť a pozitívne usmerniť prúd taveniny.

LITERATÚRA

- [1] CAMPBELL, J.: Complete casting handbook, 2015. 1054 s. ISBN: 978-0-444-63509-9
- [2] BRŮNA, M., BOLIBRUCHOVÁ, D., PASTIRČÁK, R.: (2017). Slévárenství, Vol. 9–10, 300–303
- [3] LIU, J., WANG, Q., QI, Y.: (2019). Acta Materialia, Vol. 164, 673–682
- [4] HASHEMI, H., RAISZADEH, R.: (2009). Journal of Applied Sciences, Vol. 9, 2115–2122
- [5] HSU, F.-Y., JOLLY, M.R., CAMPBELL, J.: (2006). International Journal of Cast Metals Research, Vol. 19, 38–44
- [6] KRIVOŠ, E., PASTIRČÁK, R., MADAJ, R.: (2014). Archives of metallurgy and materials, Vol. 59, 1069–1072

Lihové a vodní nátěry firmy ASK Chemicals

Odlitky bez vad

Použití nátěrů ASK Chemicals Vám
přináší výhodné řešení k zabránění
vzniku vad na odlitcích:

- ✓ čistý povrch odlitku
- ✓ nízká zmetkovitost a nízké náklady
na čištění odlitků
- ✓ zvýšení produktivity a efektivnosti
v celém procesu výroby odlitků

Více informací najdete na:
www.ask-chemicals.com



ASKCHEMICALS
We advance your casting



ASK Chemicals Czech s.r.o. | Tovární 7, 643 00 Brno, Czech Republic | Tel: 4420 545 219 030 | Info.czech@ask-chemicals.com

Štúdium náchylnosti na vznik trhlín pri rôznom pomere primárnej a sekundárnej zliatiny AlSi9Cu3

Matejka, M., Bolibruchová, D., Kuriš, M.

ŽILINSKÁ UNIVERZITA v Žiline, Strojnícka fakulta, Katedra technologického inžinierstva, Univerzitná 1, 01026 Žilina. Slovenská republika, marek.matejka@fstroj.uniza.sk, dana.bolibruchova@fstroj.uniza.sk, michal.kuris@fstroj.uniza.sk

Kľúčové slová

Al-Si, sekundárna zliatina, vznik trhlín, kvalita zliatiny

Abstrakt

Hlavným dôvodom použitia sekundárných, resp. recyklovaných zliatin je zníženie nákladov pri zachovaní finálnych vlastností odliatku. Výsledná kvalita odliatku, ktorá priamo súvisí so správnym pomerom primárnej a sekundárnej zliatiny je tiež ovplyvnená čistotou použitých druhotných surovín, tvarovej náročnosti odliatku a samotného použitia odliatku. Predložený článok je zameraný na vplyv zvýšenia sekundárneho materiálu vo vsádzke na zmenu náchylnosti na vznik trhlín zliatiny AlSi9Cu3. Náchylnosť na vznik trhlín bola hodnotená na základe kvantitatívneho (THS index) a kvalitatívneho hodnotenia. Negatívny účinok sekundárnej zliatiny vo vsádzke sa prejavil už pri prvom zvýšení na 20 % podiel. Ako kritický podiel sekundárneho materiálu vo vsádzke možno označiť 50 %. Zliatina s 50 % podielom sekundárneho materiálu vykazovala nedostatočné výsledky HTS indexu a kvalitatívneho hodnotenia.

1. ÚVOD

V súčasnosti je recyklácia hlavným aspektom v pokračovaní životnosti hliníka a jeho zliatin. Takmer 100 % odpadu z výroby hliníkových výrobkov sa recykluje a podstatná časť využitia (približne 70 %) recyklovaného hliníka je pri výrobe zliatin hliníka odlievaných hlavne pre automobilový priemysel. Proces recyklácie umožňuje hospodárnosť surovín a úsporu energie. Z tohto dôvodu dnes zlievarne vo vsádzke používajú čoraz väčšie množstvo pretaveného materiálu, ktoré môže tvoriť aj niekoľko desiatok percent z celkovej vsádzky [1].

Z literatúry zameranej na hliníkové zliatiny je známe, že na vznik trhlín pôsobí viacero faktorov. Medzi hlavné faktory možno zaradiť účinok chemického zloženia, teploty odlievania a teploty formy a v neposlednom rade aj konštrukciu formy. Chemické zloženie má zásadný vplyv na výslednú náchylnosť zliatiny na vznik trhlín, či už sú to jednotlivé prvky alebo šírka intervalu tuhnutia, ktorá sa priamo odvíja od chemického zloženia [2]. Vo všeobecnosti platí, že čím je interval tuhnutia širší, tým je vyššia aj náchylnosť zliatiny na vznik trhlín. V prípade zliatin na báze Al-Si, konkrétne kremíka však platí, že po prekročení určitej kritickej hodnoty Si (cca 5 hm. %) aj napriek tomu, že interval tuhnutia je pomerne široký, vznikajúci obsah eutektika je však už dostatočný a dokáže „obklopiť“ primárne dendrity a tým sa rapídne zvýši schopnosť dopĺňania taveniny do kritických miest za účelom kompenzovania vznikajúcich trhlín. S. Lin svojimi experimentami potvrdil, že v prípade kremíka nie je šírka intervalu tuhnutia priamo úmerná náchylnosti na vznik trhlín a treba preto brať do úvahy aj iné faktory, ktoré vznik trhlín, resp. ich potláčanie ovplyvňujú [3].

Pre určitý obsah železa a so zvyšujúcim sa obsahom kremíka sa znižuje teplota a čas, pri ktorých sa môžu tvoriť častice β fázy prioritne pred Al-Si eutektikom. Negatívny vplyv železa na vznik trhlín podľa Taylora je spôsobený zvyšujúcim sa obsahom železa, čím narastá počet a veľkosť fáz na báze Fe, ktoré sa priamo podieľajú na mechanizme lomu [4].

2. MATERIÁL A METODIKA EXPERIMENTOV

Experimenty boli vykonané v zlievarenskom laboratóriu Katedry technologického inžinierstva Žilinskej univerzity v Žiline. Na hodnotenie vplyvu pomeru primárnej a sekundárnej zliatiny vo vsádzke bola použitá zliatina AlSi9Cu3. Sekundárna zliatina bola vyrobená pretavením zlievarenskeho vratného materiálu, a to zo zvyškov ingotov, vtokových a náliatkových systémov. Chemické zloženie primárnej a sekundárnej zliatiny je uvedené v **Tab. 1**.

Tabuľka 1. Chemické zloženie primárnej a sekundárnej zliatiny AlSi9Cu3

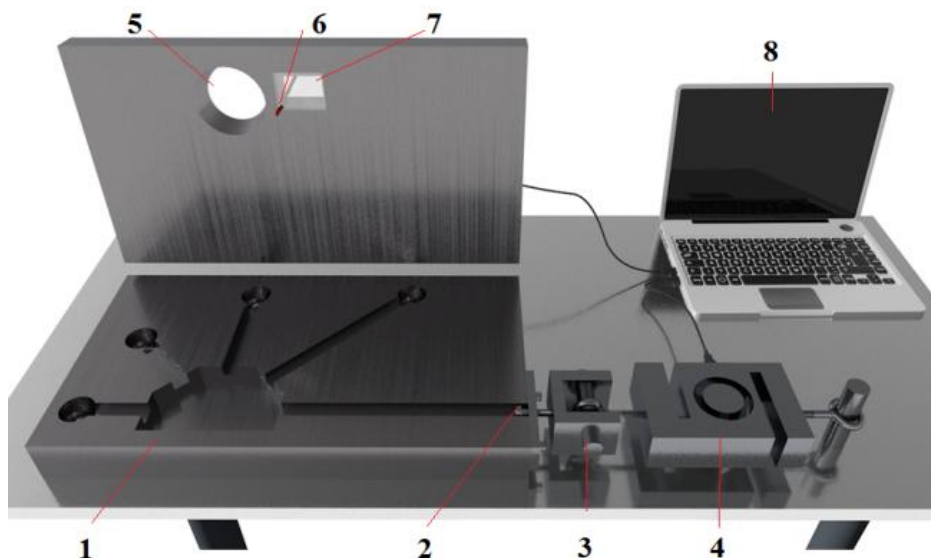
Prvky [hm. %]	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Ni	Zn	Ti	Cr
Primárna zl.	9,559	0,176	0,186	0,221	0,181	0,196	0,187	0,038	0,027
Sekundárna zl.	9,294	1,674	2,074	0,184	0,348	0,129	1,016	0,034	0,113

V ďalšej časti experimentu bolo postupne odliatych päť typov zliatin s označením 20 – 80; 50 – 50; 70 – 30; 80 – 20; 90 – 10, kde prvé číslo značí percentuálny podiel sekundárnej a druhé podiel primárnej zliatiny vo vsádzke. Chemické zloženie novovzniknutých zliatin je uvedené v **Tab. 2**. Odlievanie prebiehalo v elektrickej odporovej peci pri teplote odlievania 750 ± 5 °C. Z každej tavby bolo odliatych 10 vzoriek na skúšky mechanických vlastností. Odlievalo sa do kovovej formy s teplotou 150 ± 5 °C. Analýza zliatin sa vykonávala na vzorkách po prirodzenom starnutí (cca 160 h pri teplote 23 °C) a na vzorkách po tepelnom spracovaní (T5 - umelé starnutie pri teplote 200 ± 5 °C počas 4 hodín a ochladzovanie do vody). Tavenina nebola nami očkovaná, modifikovaná, alebo odplynená. Pred odlievaním sa mechanicky odstránili iba oxidické blany.

Tabuľka 2. Zmena hm. % vybraných prvkov v závislosti od počtu pretavení

Typ zliatiny	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Ni	Zn	Ti	Cr
20 – 80	9,507	1,294	2,197	0,231	0,391	0,122	1,044	0,035	0,49
50 – 50	9,418	1,419	2,173	0,223	0,361	0,134	1,041	0,033	0,042
70 – 30	9,245	1,619	1,92	0,209	0,344	0,108	0,961	0,031	0,112
80 – 20	9,415	1,627	1,98	0,206	0,358	0,156	1,07	0,032	0,101
90 - 10	9,291	1,643	2,143	0,199	0,357	0,127	1,046	0,032	0,106

Forma použitá na experimentálny proces tvorí vtokový kanál, z ktorého vyúsťuje päť ramien rozdielnej dĺžky. Štyri z týchto ramien sú ukončené ukotvením, čo má za následok efekt brzdeného zmrašťovania, a to vedie k náchylnosti ku vzniku trhlín. Piate rameno je ukončené kotviacou skrútkou a slúžilo ku kvalitatívnemu hodnoteniu. **Obr. 1** schematicky zobrazuje jednotlivé časti zariadenia použitých pri experimentálnom procese.



Obr. 1. Schéma zapojenej meracej sústavy, 1 – forma, 2 – kotviaca skrutka, 3 – mechanizmus uchytenia, 4 – snímač sily, 5 – vtokový kanál, 6 – termočlánok, 7 – žiaruvzdorné sklo, 8 zber a spracovanie dát

3. VÝSLEDKY

3.1 Náchylnosť na vznik trhlín

Kvantitatívne hodnotenie

Prvým posudzovaným kritériom, t.j. kvantitatívnym je tzv. „Hot tears index“ (HTI). Pre tento typ hodnotenia vzniku trhlín boli určené štyri ukotvené ramená odlišnej dĺžky. Každá jedna zliatina bola odliata štyrikrát, pričom odliatok bol po piatich minútach odstránený z formy na vizuálne hodnotenie. Teplota taveniny pri odliavaní bola $750 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ a forma bola predhriata na teplotu $150 \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$. Na hodnotenie HTI boli použité dve rôzne metódy vyhodnotenia resp. rovnice určujúce HTI a ich vzájomná kombinácia.

Prvú rovnicu vyjadrujúcu HTI_1 popisuje Qinxin Wu [2] vo svojej práci, kde číselná hodnota HTI závisí od charakteru a veľkosti trhliny (KT), počte trhlín (PT) a počte hodnotených ramien (PO):

$$\text{HTI}_1 = (\text{PT} \times \sum \text{KT}) / \text{PO} \quad (1)$$

Výsledné hodnoty indexu HTI možno charakterizovať ako mieru náchylnosti na vznik trhlín tzv. „Hot Tears Susceptibility“ (HTS) (**Tab. 3**).

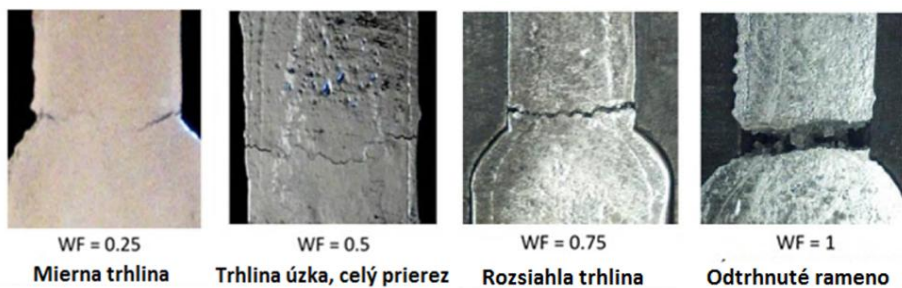
Tabuľka 3. Náchylnosť na vznik trhlín (HTS)

Hodnota HTI indexu	< 0,5	0,5 – 1,25	1,25 – 2,25	2,25 – 3,5	> 3,5
Miera HTS (náchylnosť)	minimálna	malá	mierna	vysoká	veľmi vysoká

Druhý variant rovnice vyjadrujúcej číselnú hodnotu HTI_2 indexu uvádzajú vo svojich štúdiách autori J. Song [5] a H. Akhyar [6]. V tomto prípade hodnota HTI_2 závisí od polohy trhliny na skúšobnom ramene (KPT), dĺžke skúšobného ramena (KDR) a od charakteru a veľkosti trhliny (KT). HTI_2 je definovaná ako:

$$\text{HTI}_2 = \sum \text{KT} \times \text{KP} \times \text{KDR} \quad (2)$$

Koeficient trhliny KT v oboch variantoch udáva mieru závažnosti trhliny (charakter a veľkosť). Hodnota KT je rozdelená do štyroch kategórií a každej z nich je pridelená iná číselná hodnota. Odstupňovanie závažnosti trhliny a číselné hodnoty sú uvedené na **Obr. 2**. V **Tab. 3** sú uvedené číselné hodnoty koeficientov pre dĺžku ramena a polohy trhliny na skúšobnom ramene.



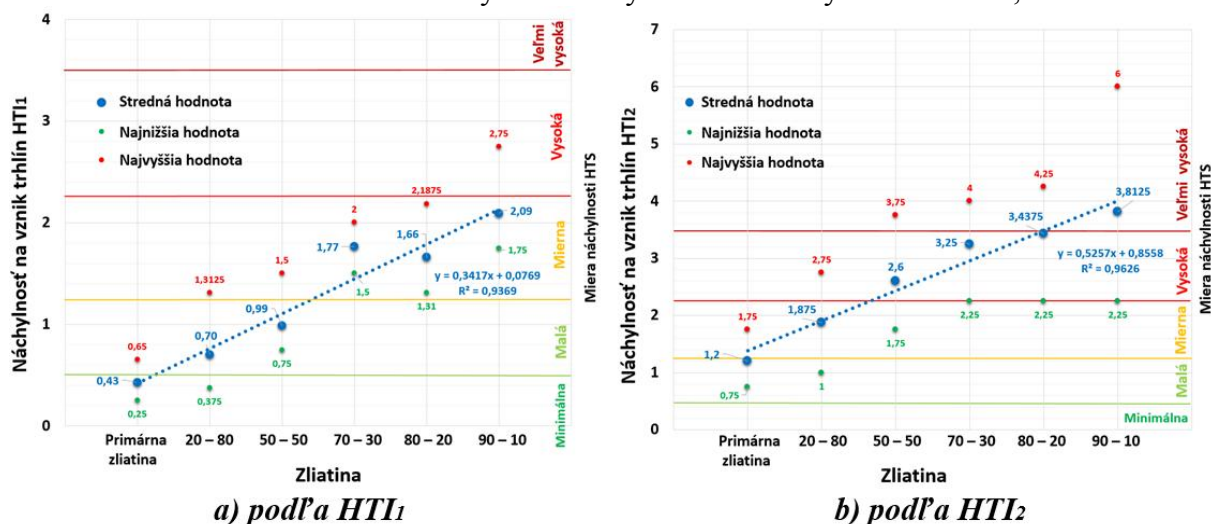
Obr. 2. Kategorizácia závažnosti trhliny

Tabuľka 4. Hodnotiaci systém KDR a KPT pre HTI₂

Koeficient dĺžky ramena	KDR	Koeficient polohy trhliny	KPT
Rameno 1 (64,5 mm)	1	Horná časť ramena	1
Rameno 2 (104,5 mm)	2	Stredná časť ramena	3
Rameno 3 (124,5 mm)	3	Dolná časť ramena	2
Rameno 4 (184,5mm)	4		

Z výsledkov zobrazených na grafe pre HTI₁ (Obr. 3a) možno vidieť, že referenčná zliatina tvorená iba z primárnej zliatiny AlSi9Cu3 dosiahla hodnotu HTI indexu 0,43, čo znamená minimálnu náchylnosť na vznik trhlín. Po zvýšení podielu sekundárnej zliatiny vo vsádzke na úroveň 20 % a 50 %, sa zvýšila náchylnosť na vznik trhlín na z minimálnej na malú úroveň HTS. Zliatina 20 – 80 dosiahla 0,70 a zliatina 50 – 50 0,99 THS. Pri zliatinách tvorených z väčšej časti sekundárnou zliatinou sa výsledné hodnoty HTI indexu posunuli na miernu úroveň náchylnosti na trhliny. Maximálna hodnota HTI₁ indexu 2,09 bola zaznamenaná pri zliatine 90 – 10, čo predstavuje približne 5 násobný nárast v porovnaní s primárnou zliatinou.

Použitím druhej rovnice (2) pre HTI₂, ktorého číselná hodnota sa odvíja okrem charakteru trhliny aj od jej polohy a dĺžky ramena, sa dosiahli rádovo vyššie hodnoty HTI₂ indexu ako pri HTI₁. Výsledné hodnoty pre HTI₂ sú graficky zobrazené na Obr. 3b. HTS₂ index referenčnej zliatiny sa v tomto prípade pohyboval na hranici medzi malou a miernou náchylnosťou na trhliny s hodnotou 1,2. Pri porovnaní s HTI₁, kde nebola dosiahnutá vysoká úroveň náchylnosti ani jednou zliatinou, tak pri použití rovnice (2) pre HTI₂ zliatiny 70 – 30 a 80 – 20 dosiahli túto úroveň. Zliatina 90 – 10 dosiahla veľmi vysokú náchylnosť na trhliny s hodnotou 3,81.

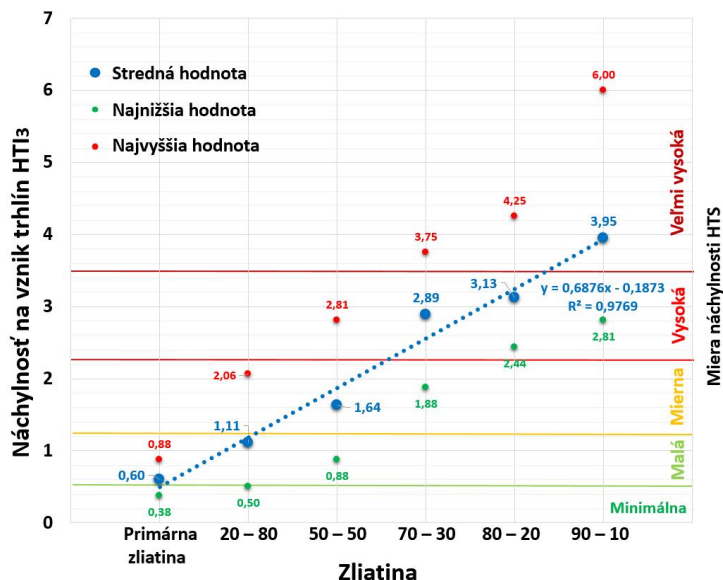


Obr. 3. Závislosť náchylnosti na vznik trhlín a zliatinou AlSi9Cu3

Tretia verzia rovnice pre určenie hodnoty náchylnosti na trhliny vzniká kombináciou dvoch predošlých vzťahov. Dosadením rovnice HTI₂, ktorá bližšie charakterizuje vzniknutú trhlinu do vzťahu HTI₁ sa získava hodnota zohľadňujúca charakter oboch rovníc a tým komplexnejší pohľad. HTI₂ môže byť definovaná ako:

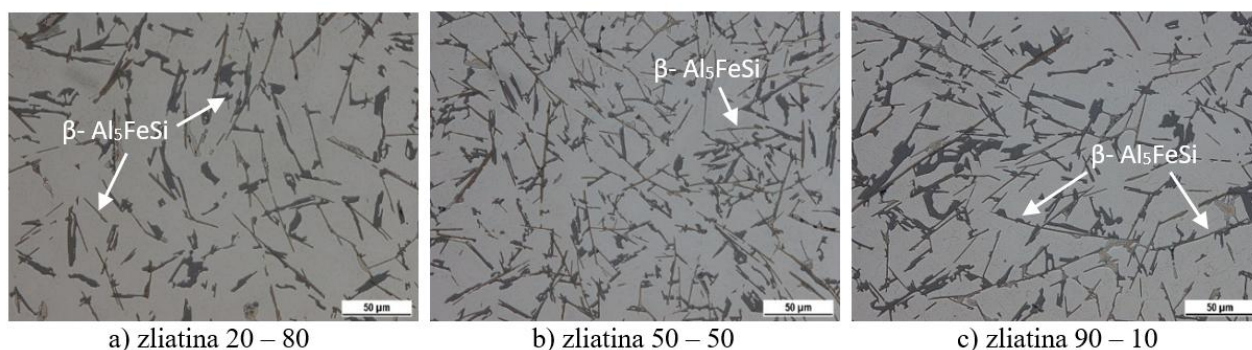
$$HTI_3 = (PT \times \sum (KT \times KP \times KDR)) / PO \quad (3)$$

Graf na **Obr. 4** zobrazuje hodnoty HTI_3 indexu získané vo vzťahu (3). Použitím vzťahu HTI_3 sa namerá najväčší rozdiel medzi primárnou (referenčnou) zliatinou a zliatinou tvorenou z 90 % sekundárnou zliatinou (90 – 10). Primárna zliatina s HTI_3 indexom 0,60 preukázala malú náchylnosť na trhliny. Malú úroveň náchylnosti dosiahla aj zliatina 20 – 80. Na druhej strane pri zliatine 90 – 10 bol HTI_3 index 3,95 a tým zliatina dosiahla veľmi vysokú náchylnosť na vznik trhlín.



Obr. 4. Závislosť náchylnosti na vznik trhlín a zliatinou podľa HTI_3

Postupný nárast náchylnosti na vznik trhlín vo všetkých troch prípadoch možno pripísať lineárnemu nárastu hm. % Fe v zliatinách. Nárast Fe v zliatinách viedol k zvyšujúcej sa tvorbe intermetalických častíc na báze železa $\beta\text{-Al}_5\text{FeSi}$ (**Obr. 5**) a bol spôsobený zvyšovaním podielu sekundárnej zliatiny vo vsádzke, ktorá obsahovala zvýšený obsah Fe. Ako uvádza Talyor [4], resp. Campbell [7], škodlivý účinok intermetalických častíc sa pripisuje ich oveľa väčšej náchylnosti na zlomenie pri ťahovom zaťažení ako hliníková matrica, alebo častice modifikovaného kremíka. Po stuhnutí hliníkovej matrice dochádza k zvýšeniu celkových napätí v systéme. Ako kritický bod vzniku mikrotrhlín alebo ako koncentrátor napätia sa stáva ostré zakončenie ihlíc železitej fázy orientované kolmo na os zaťaženia. Vzhľadom na krehkosť fázy sú vytvorené podmienky na šírenie trhliny pozdĺž ihlíc fázy.



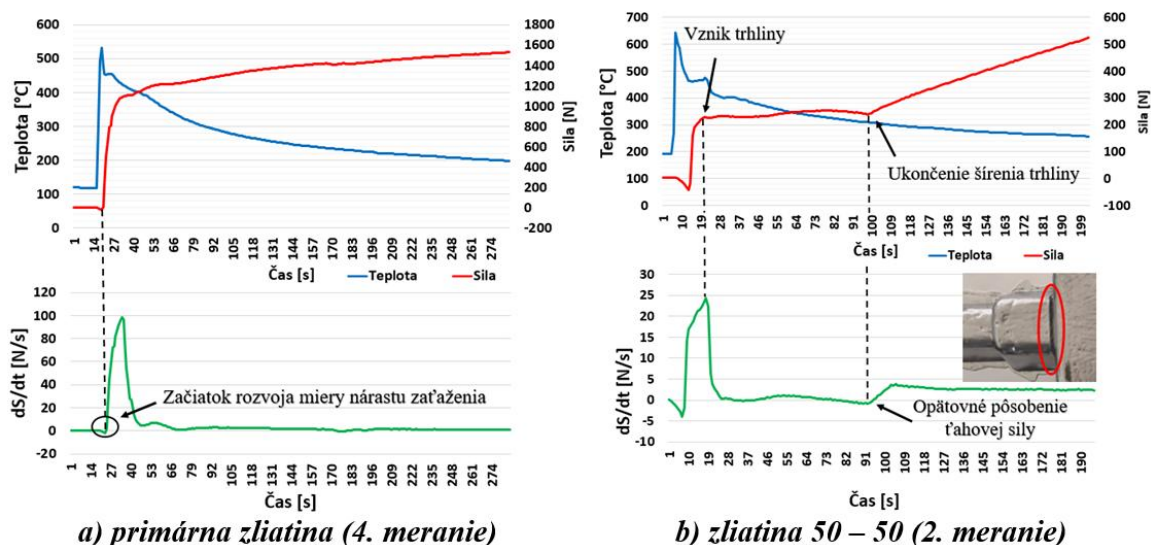
Obr. 5. Mikroštruktúra zliatiny $AlSi_9Cu_3$ s rôznym pomerom primárnej a sekundárnej zliatiny

Kvalitatívne hodnotenie

Kvalitatívne hodnotenie bolo uskutočnené postupnou analýzou kriviek sily a teploty danej zliatiny zaznamenané počas procesu odlievania prostredníctvom termočlánku a priechodného ramena. Rameno bolo pripojené na snímač sily pomocou kotviacej skrutky. Hodnotené krivky boli

dosadené do grafov a podrobené analýze z hľadiska veľkosti ťahovej sily a priebehu krivky. Pomocou prvej derivácie sily sme dostali krivku miery nárastu zaťaženia.

Z nižšie uvedených grafov (**Obr. 6**) je možné pozorovať, že na začiatku tuhnutia sa v materiáli nevyskytuje žiadne napätie. S ďalším tuhnutím a klesaním teploty sa začína formovať kryštalická štruktúra a vzniká deformácia. Odliatok sa začína zmrášťovať, čo sa prejaví rastom ťahovej sily, ktorú zaznamenáva tenzometerický snímač sily.



Obr. 6. Graf priebehu zaťaženia

Prvé a štvrté meranie pri primárnej zliatine je charakteristické plynulým priebehom krivky sily bez detekcie trhliny. Graf s priebehom kriviek teploty, sily a jej derivácie štvrtého merania je zobrazený na **Obr. 6a**. Počas druhého a tretieho merania bol na krivke sily detekovaný výskyt trhliny. V oboch prípadoch nedošlo k úplnému pretrhnutiu ramena a následne bolo zaznamenané opätovné zvyšovanie sily.

Použitím 20 % podielu sekundárnej zliatiny vo vsádzke nedošlo k vzniku trhliny na priechodnom ramene iba pri meraní číslo tri. Pri ostatných troch meraniach bol vznik trhliny a po jej šírení zaznamenaný opätovný nárast sily (1. meranie) alebo jej ustálenie, kedy si krivka udržiavala konštantnú hodnotu (2. a 4. meranie).

Pri rovnovážnom pomere primárnej a sekundárnej zliatiny vo vsádzke bol pri prvom a štvrtom meraní zaznamenaný vznik závažnej trhliny, ktorá viedla v úplnému odtrhnutiu ramena. Naopak pri tretom meraní nebol detekovaný vznik trhliny. Druhé meranie, ktorého priebeh je zobrazený na grafe (**Obr. 6b**), je charakteristické vznikom trhliny. Z priebehu krivky je viditeľné, že nedošlo k úplnému pretrhnutiu ramena a 11 sekúnd od jej vzniku bolo ukončené šírenie trhliny opakovaným zvýšením miery nárastu zaťaženia. Podrobné hodnoty, každého merania pre primárnu, 20 – 80, 50 – 50 zliatinu, získané pri kvalitatívnom hodnotení sú uvedené v **Tab. 5. 6.** a **7.**

Tabuľka 5. Primárna zliatina AlSi9Cu3

Č. merania	Vznik trhliny			Ukončenie šírenia trhliny			
	Teplota [°C]	Čas [s]	Sila [N]	Miera nárastu sily [N/s]	Teplota [°C]	Čas [s]	Typ ukončenia šírenia trhliny
1.	Bez trhliny		max. 1954	max. 115,7	Bez trhliny		
2.	467	10	227	24,3	308	88	Opätovný nárast sily
3.	380	14	582	50,2	226	105	Opätovný nárast sily
4.	Bez trhliny		max. 1590	max. 96,4	Bez trhliny		

Tabuľka 6. Zliatina AlSi9Cu3 20 – 80

Č. merania	Vznik trhliny				Ukončenie šírenia trhliny		
	Teplota [°C]	Čas [s]	Sila [N]	Miera nárastu sily [N/s]	Teplota [°C]	Čas [s]	Typ ukončenia
1.	451	9	486	54,6	427	39	Opätovný nárast sily
2.	396	15	712	43,2	396	56	Ustálenie sily
3.	Bez trhliny		max. 1154	max. 89,5	Bez trhliny		
4.	413	12	387	35,2	344	81	Ustálenie sily

Tabuľka 7. Zliatina AlSi9Cu3 50 – 50

Č. Merania	Vznik trhliny				Ukončenie šírenia trhliny		
	Teplota [°C]	Čas [s]	Sila [N]	Miera nárastu sily [N/s]	Teplota [°C]	Čas [s]	Typ ukončenia
1.	456	10	242	27,3	426	18	Odrhnutie ramena
2.	453	11	407	38,7	309	90	Opätovný nárast sily
3.	Bez trhliny		max. 672	max. 54,6	Bez trhliny		
4.	509	9	661	61,2	361	47	Odrhnutie ramena

Pri zliatinách s prevládajúcim podielom sekundárnej zliatiny vo vsádzke nebolo zaznamenané ani jedno meranie, pri ktorom by nedošlo k pretrhnutiu ramena. Pri zliatine so 70 % podielom sekundárnej zliatiny v dvoch prípadoch nastalo vplyvom vzniku trhliny úplné odtrhnutie ramena (3. a 4. meranie). Z grafu na **Obr. 7a** možno vidieť, že odtrhnutie ramena pri treťom meraní nenastalo okamžite ale až po 7 sekundovom šírení trhliny. Pri 80 % podiele sekundárneho vratného materiálu vo vsádzke nastalo úplné odtrhnutie ramena v troch prípadoch. Pri prvom meraní zliatina ešte dokázala zastaviť šírenie trhliny s nasledovným opätovným nárastom sily.

Zliatina s najvyšším podielom sekundárnej zliatiny (90 – 10) vykázala najhoršie výsledky. Vo všetkých meraniach došlo k odtrhnutiu ramena (**Obr. 7b** – 1. meranie). Podrobné hodnoty, každého merania pre zliatinu s vyšším podielom sekundárnej zliatiny (70 – 30, 80 – 20, 90 – 10), získané pri kvalitatívnom hodnotení sú uvedené v **Tab. 8. 9. a 10.**

Tabuľka 8. Zliatina AlSi9Cu3 70 – 30

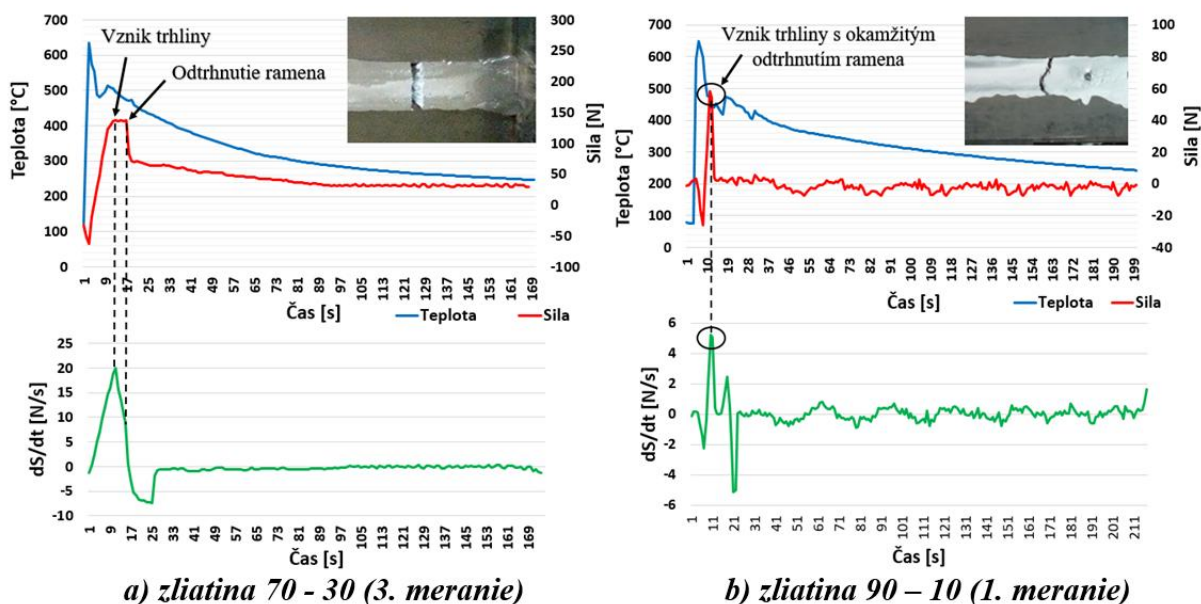
Č. Merania	Vznik trhliny				Ukončenie šírenia trhliny		
	Teplota [°C]	Čas [s]	Sila [N]	Miera nárastu sily [N/s]	Teplota [°C]	Čas [s]	Typ ukončenia
1.	561	3	133	21,2	532	6	Opätovný nárast sily
2.	474	11	767	80,1	465	30	Ustálenie sily
3.	506	10	242	37,6	472	17	Odrhnutie ramena
4.	521	6	97	25,9	Okamžité odtrhnutie ramena		

Tabuľka 9. Zliatina AlSi9Cu3 80 – 20

Č. Merania	Vznik trhliny				Ukončenie šírenia trhliny		
	Teplota [°C]	Čas [s]	Sila [N]	Miera nárastu sily [N/s]	Teplota [°C]	Čas [s]	Typ ukončenia
1.	470	11	584	63,9	341	41	Opätovný nárast sily
2.	505	9	136	20	461	16	Odrhnutie ramena
3.	532	5	74	11,5	Okamžité odtrhnutie ramena		
4.	551	4	19	6,7	328	50	Odrhnutie ramena

Tabuľka 10. Zliatina AlSi9Cu3 90 – 10

Č. Merania	Vznik trhliny				Ukončenie šírenia trhliny		
	Teplota [°C]	Čas [s]	Sila [N]	Miera nárastu sily [N/s]	Teplota [°C]	Čas [s]	Typ ukončenia
1.	563	3	445	40,7	Okamžité odtrhnutie ramena		
2.	543	5	374	32,4	473	14	Odrhnutie ramena
3.	551	4	54	5	Okamžité odtrhnutie ramena		
4.	514	6	254	17,6	Okamžité odtrhnutie ramena		



Obr. 7. Graf priebehu zaťaženia

Z tabuliek 5 až 10 je možno konštatovať, rovnako ako pri kvantitatívnom hodnotení, že so zvyšujúcim sa podielom sekundárnej zliatiny vo vsádzke sa viditeľne zhoršuje náchylnosť na vznik trhlín aj pri použití kvalitatívneho hodnotenia. Vzniknuté trhliny na zliatinách so žiadnym alebo nízkym podielom sekundárneho materiálu (primárna zliatina, zliatina 20 – 80), sú charakteristické nízkou teplotou vzniku a neskorším časom. Teploty vzniku trhliny pri týchto zliatinách sa pohybovali v intervale 380 až 467 °C, čo predstavuje teploty nižšie ako teploty solidu zliatin **Tab. 11**).

S narastajúcim pomerom sekundárnej zliatiny sa vznik trhlín posúval k skorším časom a tým aj k vyšším teplotám. Trhliny vzniknuté na zliatinách s podielom sekundárneho materiálu 70 % a vyšším sú už charakteristické teplotami vzniku pohybujúcich sa v intervale tuhnutia (**Tab. 11**). Pre porovnanie čas vzniku trhlín pri zliatine s najvyšším podielom sekundárneho materiálu bol v intervale 3 až 6 sekúnd, pričom pri primárnej zliatine a zliatine 20 – 80 sa vznik trhlín pohyboval v časovom intervale 9 – 15 s od začiatku pôsobenia zaťaženia). V **Tab. 11** sú uvedené intervaly tuhnutia pre každú zliatinu získané pomocou termickej analýzy.

Tabuľka 11. Interval tuhnutia jednotlivých zliatin AlSi9Cu3

Zliatina	Primárna	20 – 80	50 – 50	70 – 30	80 – 20	90 – 10
Interval tuhnutia [°C]	631 až 479	630 až 474	631 až 477	633 až 476	628 až 473	632 až 476

4. ZÁVER

Cieľom predloženého článku bolo rozšíriť poznatky vplyvu zvyšovania sekundárneho materiálu vo vsádzke na náchylnosť vzniku trhlín zliatiny AlSi9Cu3. Uvedené výsledky dokazujú, že negatívny efekt sekundárnej zliatiny sa začal prejavovať už pri prvotnom zvýšení na 20 % podiel. Ale rozdiel výsledných hodnôt HTS indexu a kvalitatívneho hodnotenia nebol veľmi markantný pri porovnaní s primárnou zliatinou. Možno povedať, že zliatina s rovnovážnym podielom primárnej a sekundárnej zliatiny (50 – 50), sa pohybovala tesne za hranicou prípustnosti (HTS index - mierna náchylnosť na trhliny; dve odtrhnuté ramená pri kvalitatívnom hodnotení).

Pri zliatinách s vysokým obsahom sekundárneho materiálu sa naplno prejavil zvýšený obsah Fe a tým nadmerný výskyt intermetalických fáz na báze železa. Vzniknuté doštičky fázy Al₅FeSi sa prioritne tvoria pred tuhnutím Al-Si eutektika, čím dochádza k znižovaniu dopĺňania taveniny do kritických miest za účelom kompenzovania vznikajúcich trhlín a ich ďalšiemu šíreniu.

Zliatiny s podielom sekundárneho materiálu okolo 20 % vo vsádzke môžu byť použité aj výrobu tvarovo náročných odliatkov. Naopak použitie zliatin s podielom sekundárnej zliatiny 50 % a viac na výrobu tvarovo náročných odliatkov z hľadiska vzniku trhlín môže byť problematické a skôr sa odporúčajú na výrobu tvarovo nenáročných a menej zaťažených odliatkov.

POĎAKOVANIE

Článok bol vytvorený v rámci projektu grantovej agentúry KEGA: 021ŽU-4/2017. Autori týmto ďakujú agentúre za podporu.

LITERATÚRA

- [1] MATEJKA M., BOLIBRUCHOVÁ, D.: *Application of Natural and Artificial Ageing on Multiply Remelted AlSi9Cu3 Alloy*. In Archives of Foundry Engineering. ISSN 1897-3310. Vol. 19, No 2 (2019), pp 60-66.
- [2] WU, Q.: *Study of Hot Tearing in Cast and Wrought Aluminum Alloys*. [online] Worcester polytechnic institute, 2012. 44 p.
- [3] LIN, S.: *A Study of Hot Tearing in Wrought Aluminum Alloys*: PhD thesis. Chicoutimi: University of Quebec at Chicoutimi, 1999. 172s.
- [4] TAYLOR, J. A.: *Iron-containing intermetallic phase in Al-Si based casting alloys*. In Procedia Materials Science. 2012. Vol. 1, pp. 19–33
- [5] SONG, J., PAN, F., JIANG, B., ATRENS, A., ZHANG, M., LU, Y.: *A review on hot tearing of magnesium alloys*. In Journal of Magnesium and Alloys 4 (2016) 151–172.
- [6] AKHYAR, H., MALAU, V. S., ISWANTO, P. T.: *Hot tearing susceptibility of aluminum alloys using CRCM-Horizontal mold*. Results in Physics 7 (2017) 1030–1039
- [7] CAMPBELL, J., CAO, X.: *Morphology of Al₅FeSi Phase in Al-Si Cast Alloys*. Materials Transactions. 47(5) (2006), 1303-1312.

Řešení neshod u hliníkových odlitků vyráběných do kovových forem

Kroupová, I.¹⁾, Lichý, P.¹⁾, Nguyenová, I.²⁾, Dostál, M.²⁾

¹⁾ VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta materiálově-technologická, Katedra metalurgie a slévárenství, 17. listopadu 2172/15, 708 00, Ostrava – Poruba, ČR, ivana.kroupova@vsb.cz

²⁾ Brembo Czech s.r.o.

Klíčová slova

Hliníkové slitiny, vady odlitků, gravitační lití, automobilový průmysl

Abstrakt

Příspěvek je zaměřen na identifikaci a eliminaci vad vzniklých při gravitačním lití slitin hliníku do kovových forem. Samotný experiment práce je tvořen rozбором a zpracováním dat o vzniklých vadách přímo ve výrobě, se kterými se potýká výrobce komponentů pro automobilový průmysl. Na základě dat z výroby jsou popsány nejčastěji vznikající vady a příklady jejich eliminace.

1. ÚVOD

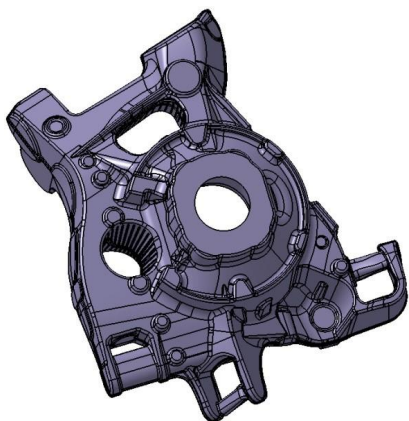
Oblasti použití hliníkových slitin jsou v současné době velice široké, zejména pak v automobilovém průmyslu má použití slitin na bázi Al tendenci stálého růstu. Ze strany výrobců automobilů je totiž kladen důraz na snížení hmotnosti vyráběných automobilů. Snížení hmotnosti vede k úspoře pohonných hmot, ke snížení vzniku škodlivých emisí a tím výrobci automobilů splňují normy vedoucí k ochraně životního prostředí. Hlavními důvody tohoto použití jsou nízká měrná hmotnost hliníkových slitin, jejich odolnost proti korozi a dostatečná pevnost vyrobených součástí. S tím je také spojen zvyšující se důraz na kvalitu těchto součástí (odlitků).

Dosažení kvalitního odlitku (odlitek s minimem defektů – neshod) je důležité pro zvýšení trvanlivosti a konkurenceschopnosti litých dílů a je cílem každého slévárenského provozu. Tento fakt je však ovlivněn řadou parametrů – od vstupního materiálu, metalurgického zpracování, přes použitou technologii odlévání, až po samotné zpracování finálního výrobku. Velmi rozšířenou technologií používanou pro výrobu litých dílů z hliníkových slitin ve velkosériové výrobě je gravitační odlévání do trvalých forem. Tato technologie je technicky i ekonomicky nenáročná a umožňuje získat rychle velké množství výrobků s dostatečnou kvalitou. K tomuto stavu lze však dojít až po vhodné optimalizaci licího cyklu a licích parametrů. Současně je však nutno během celého procesu správně identifikovat vznikající defekty pro možnost jejich další eliminace [1].

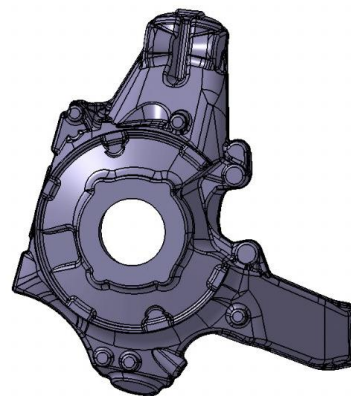
2. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Experiment je zaměřen na rozbor neshod odlitků odlévaných z hliníkové slitiny, konkrétně dvou typů hliníkových odlitků těhlic (typ 1 a 2), které byly vyrobeny technologií gravitačního lití do kovových forem. Tuto technologii lze popsat jako jednoduchou, avšak progresivní a produktivní metodu výroby odlitků ze slitin hliníku. Využití této metody se nachází tam, kde je potřeba odlévat větší série a objemy odlitků odlévaných hlavně z materiálů s nižší licí teplotou. Používá se zde stálá kovová forma opatřená kovovými jádry, případně jádry vyrobenými z formovacích směsí.

Sledované odlitky byly vyrobeny ze slitiny AlSi7Mg [2]. 3D model odlitků je uveden na **Obr. 1** a **2**. Jedná se o odlitky podvozkových komponentů – hlavy uložení ložiska kola, které jsou duté. Při zhotovování těchto odlitků jsou využívána jádra vyrobená technologií Croning.



Obr. 1. Odlitek těhlice – typ 1



Obr. 2. Odlitek těhlice – typ 2

K dispozici byly data z výroby za celý rok 2018 pro dva konkrétní typy odlitků (typ 1 a 2). V těchto datech byly zahrnuty jednotlivé dávky kovu, které byly použity pro výrobu odlitků. K těmto dávkám byl přiřazen měsíc, ve kterém se s danou dávkou pracovalo. Okrajově byl řešen vliv jednotlivých ročních období na vznik neshod. Následně byla tato data seřazena podle jednotlivých operací výroby, při kterých je možné odhalit případnou neshodu či jiný nedostatek. Operace po sobě jdoucí byly seřazeny takto: lití, manuální řezání, řezání, broušení, rentgenová kontrola, pásové broušení, tryskání a penetrační kontrola. Pro jednotlivé dávky kovu byl znám počet kusů odlitků, který prošel danou operací a počet neshodných kusů odlitků po odhalení vady. Ke každé dávce kovu byl také znám licí stroj, na kterém se dávka odlévala, a také bylo známo označení formy.

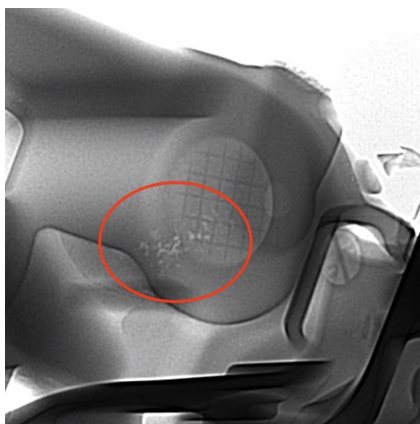
3. VÝSLEDKY A DISKUZE

Na základě poskytnutých provozních dat byly vytvořeny závislosti mezi typem odlitku, dávkou kovu a jeho neshodností vyjádřené v procentech. Provozní povolená neshodnost odlitků byla 3 %. Do tohoto experimentu byly zahrnuty i výsledky pod povolenou provozní neshodností. Dále byly konzultovány možnosti eliminace nejčastěji vznikajících vad.

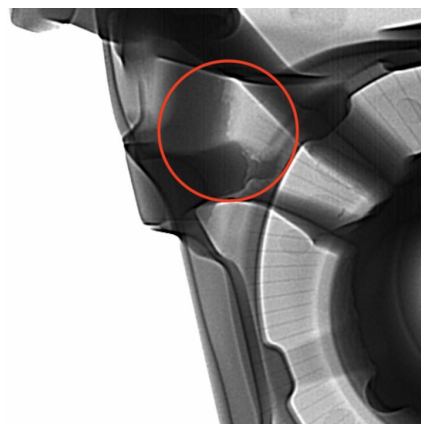
Odlitek typu 1

V případě odlitků typu 1 se nejčastěji vyskytovaly mikrostaženiny (**Tab. 1**) a bubliny. Celkový počet sledovaných dávek kovu u těchto odlitků byl 22, z toho 6 bylo pod 3 % (povolená provozní neshodnost). Z celkového počtu dávek se v 72 % dávek objevovaly mikrostaženiny a průměrná neshodnost odlitých kusů s vadou mikrostaženiny byla 7,1 %. Příklad vady typu mikrostaženiny v odlitku typu 1 je možné sledovat na **Obr. 3**.

Další typ neshody - bubliny, popřípadě zahlcený plyn se u odlitku typu 1 objevila z celkového počtu dávek ve 32 % (**Tab. 2**). Průměrná neshodnost odlitých kusů s vadou bubliny byla 4,3 %. Příklad vady typu bubliny v odlitku typu 1 je možné sledovat na **Obr. 4**.



Obr. 3. Snímek z rentgenové kontroly zachycující mikrostaženiny



Obr. 4. Snímek z rentgenové kontroly zachycující bubliny

Tabulka 1. Procentuální výskyt mikrostaženin u odlitků typu 1

Dávka kovu	Počet odlitků	Výskyt mikrostaženin [%]
1	469	3,0
2	683	6,6
3	687	4,1
4	376	5,6
5	481	6,7
6	416	5,5
7	137	7,3
8	605	8,4
9	521	8,4
10	150	9,3
11	340	3,8
12	545	9,0
13	577	9,5
14	830	9,0
15	391	5,9
16	634	12,3

Tabulka 2. Procentuální výskyt bublin u odlitků typu 1

Dávka kovu	Počet odlitků	Výskyt bublin [%]
1	698	3,3
2	374	3,7
3	769	5,3
4	328	4,6
5	474	3,6
6	914	4,2
7	663	5,7

V případě vady mikrostaženiny se tato objevovala často a stále na jednom místě odlitku. Bylo navrženo několik možných opatření k eliminaci této vady. Prvním krokem bylo zvětšení nálitků, dalším postupem pak bylo zavedení tzv. rýhování pro zvýšení zabíhavosti tekutého kovu. Ani jedno z uvedených řešení však nevedlo k úplné eliminaci vady mikrostaženiny. Tato vada je stále v řešení, je navržen další postup jejího možného odstranění, a to chlazení odlitku v daném problematickém místě.

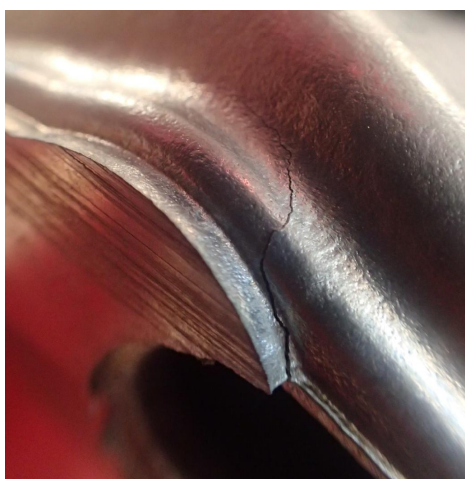
Při řešení opatření pro vznikající neshodu bubliny, byla zjištěna chyba ve výchozích datech z výroby. Chyba spočívala ve špatném vyhodnocení a určení neshody. Důvodem této chyby je nedostatečné proškolení operátorů v provozu. Tato neshoda je tak stále v řešení [3, 4]. Je navrženo několik opatření pro eliminaci bublin – změny tvaru konstrukce, příp. intenzivnější odplynění formy.

Odlitek typu 2

Podle dosažených výsledků se na odlitcích těhlic typu 2 nacházely nejčastěji vady typu řediny a praskliny. U těchto odlitků byl sledován celkový počet dávek kovu 36. Z celkového počtu odlévaných dávek kovu se u 16 % (6 dávek) objevily praskliny (**Tab. 3**) a průměrná neshodnost odlitých kusů s vadou praskliny byla 6,2 %. Příklad vady typu prasklina na odlitku typu 2 je možné sledovat na **Obr. 5**.

Tabulka 3. Procentuální výskyt prasklin u odlitků typu 2

Dávka kovu	Počet odlitků	Výskyt prasklin [%]
1	268	3,0
2	940	4,5
3	603	6,8
4	349	7,2
5	567	7,6
6	629	7,8



Obr. 5. Snímek praskliny na odlitku typu 2

Dalším typem vady u těchto odlitků (typ 2) byly mikrostaženiny. Z celkového počtu odlévaných dávek kovu se mikrostaženiny objevily u 50 %. Průměrná neshodnost odlitých kusů s touto vadou byla 5,4 % (Tab. 4).

Tabulka 4. Procentuální výskyt mikrostaženin u odlitků typu 2

Dávka kovu	Počet odlitků	Výskyt mikrostaženin [%]
1	992	4,1
2	740	3,4
3	122	5,7
4	700	5,4
5	542	3,8
6	77	9,1
7	961	5,6
8	538	3,5
9	773	3,6
10	225	6,2
11	358	3,6
12	376	5,9
13	146	10,3
14	608	3,3
15	1160	3,3
16	848	3,1
17	752	13,4
18	834	3,5

Praskliny u odlitků těhlic typu 2 vznikaly při vyklepávání jader a řezání těchto odlitků. Jako opatření ke snížení výskytu této neshody se začaly sledované odlitky „předřezávat“ v oblasti nálitku – právě v těchto místech se objevovala prasklina. Navržené opatření pomohlo k eliminaci uvedené neshody. Avšak pro podmínky provozu slévárny to znamenalo navíc jednu operaci, která nebyla započítána v ceně výsledného odlitku. Proto se začalo hledat řešení, po kterém by nebylo nutné tuto operaci provádět a nemusela by se tak navyšovat cena odlitku. Došlo k modifikaci konstrukce, kdy se rozšířila oblast přechodu mezi odlitkem a nálitkem. Následně byly provedeny testy na několika kusech odlitků, které opět prošly operacemi vyklepání a řezání bez předchozího předřezání. Odlitky byly zkontrolovány jak na rentgenové, tak i na penetrační kontrole s pozitivním výsledkem – změnou konstrukce byla vada eliminována. V současnosti společnost projednává tuto změnu tvaru se zákazníkem.

4. ZÁVĚR

V rámci experimentu příspěvku byl proveden podrobný rozbor dat z výroby. Na základě poskytnutých provozních dat byly vytvořeny závislosti mezi typem odlitku, dávkou kovu a jeho neshodností vyjádřené v procentech. Provozní povolená neshodnost odlitků byla 3 %. Ze zpracovaných výsledků bylo možno konstatovat, že nejčastěji vyskytujícími se vadami byly bubliny, jejichž výskyt se pohyboval v rozmezí od 3,3 % do 5,7 %. Dalšími častými vadami pak byly mikrostaženiny a praskliny. U odlitků typu 1 byl průměrný výskyt mikrostaženin 7,1 % a u odlitků typu 2 byl jejich průměrný výskyt 5,4 %. Pro odlitky typu 2 byl navíc charakteristický výskyt vady praskliny – průměrně 6,2 %.

Poděkování

Tento výzkum byl financován z projektu MEYS CZ.02.1.01/0.0/0.0/17_049/0008399 a projektů studentské grantové soutěže SP2019/43 a SP2019/148.

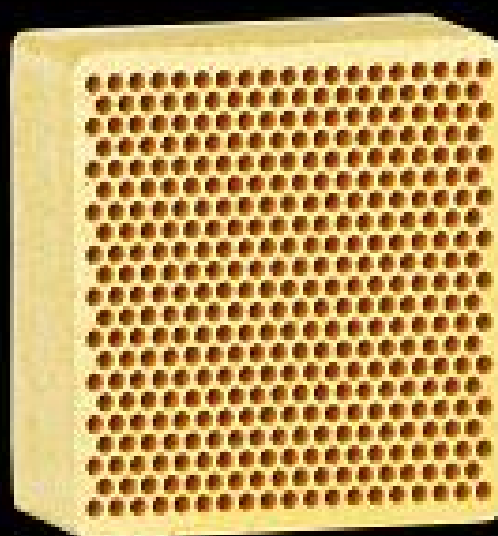
LITERATURA

- [1] LICHÝ, P., KROUPOVÁ, I., RADKOVSKÝ, F., NGUYENOVÁ, I.: Possibilities of the controlled gasification of aluminum alloys for eliminating the casting defects. In: METAL 2016: 25th Anniversary international conference on metallurgy and materials. Tanger, Brno, 2016, 1474–1479
- [2] PASTIRČÁK, R., ŠČURY, J.: Effect of Pressure on the Crystallisation of AlSi7Mg Alloy. Arch. Metall. Mater. 2017, 62; 4, 2193–2198
- [3] SVIŽELOVÁ, J., TKADLEČKOVÁ, M., MICHALEK, K., WALEK, J., SATERNUS, M., PIEPRZYCA, J., MERDER, T.: Numerical modelling of metal melt refining process in ladle with rotating impeller and breakwaters. Archives of Metallurgy and Materials 2019, 64, 2, 659–664
- [4] MICHALEK, K., TKADLEČKOVÁ, M., SOCHA, L., GRYC, K., SATERNUS, M., PIEPRZYCA, J., MERDER, T.: Physical modelling of degassing process by blowing of inert gas. Archives of Metallurgy and Materials 2018, 63, 2, 987–992.



PYRAL[®] 15

filtr vyvinutý pro filtraci hliníkových slitin



pozitivně ovlivňuje plnění formy

snižuje výskyt vměstků a bublin

snižuje reoxidační procesy

zvyšuje těsnost odlitků

stabilizuje lící proces

KERAMTECH s. r. o.
Horská 139
542 01 Žacléř
Czech Republic

☎ +420 499 739 711
✉ +420 499 876 140
sales@keramtech.cz
www.keramtech.cz

Slévárna a cirkulární ekonomika

Bláha, V.¹⁾

¹⁾ EMPLA AG spol. s r.o., Hradec Králové, ČR

1. ÚVOD

Letos jsem se rozhodl, že na našem setkání uvedu syntézu trendů týkajících se zavádění cirkulární ekonomiky (oběhového hospodářství) v ČR. Začnu obecnými a stále opakovanými trendy, které se již staly klišé. Náhrada fosilních paliv je mantrou, kterou musí opakovat každý správný environmentalista. Ale, co se za tím skrývá? Jakou má spojitost oběhové hospodářství (totožná filosofie s cirkulární ekonomikou) a fosilními palivy?

2. CO JE TO OBĚHOVÉ HOSPODÁŘSTVÍ

Současná společnost je přesvědčena o své nezměrné dokonalosti, téměř hraničící s možností dosažení téměř jakéhokoliv cíle. Existují dostupné finanční prostředky, zvyšuje se vzdělanost lidí, šíření informací a poznatků je prakticky neomezené. Po zahájení těžby roponosných písků byly zažehnány akutní obavy z vyčerpání zásob ropy. Dne je diskutováno zejména využívání fosilních paliv jako takových, ve spojení s klimatickými změnami. Zejména v severských zemích (z mého pohledu z mentálně vyspělých zemí) je tato změna považována za výzvu. Nikoliv tak u nás, kde naši zástupci již nyní vědí, že se nám nic splnit nepodaří. Jak by se snad mohlo něco splnit, když ji na startu víme, že cíle nedosáhneme. A to je náš rozdíl oproti vyspělým severským společnostem. A oběhové hospodářství se všim souvisí. Využíváním MATERIÁLŮ (NEJEDNÁ SE O ODPADY) je pak zásadní i pro snižování environmentální zátěže (včetně těžby a dopravy). Roli hraje i životní cyklus výrobků a jejich recyklovatelnost!

Ceny fosilních paliv (energií z fosilních paliv) tak již neřídí jen nabídka a poptávka. Ale také regulace (emisní povolenky) a dále příspěvky na obnovitelné zdroje (u nás tak nešťastně pojaté). Ceny povolenek, příspěvky na obnovitelné zdroje, nutnost rezervace elektrického výkonu (zejména při odstavování uhelných zdrojů) může vést k tomu, že cena elektrické energie v ČR bude růst a růst. A jaká je maximální cena elektrické energie? Ta, kterou lze vyrobit a pro běžné využití uchovat obnovitelnými zdroji.

3. CO LZE PŘEDPOKLÁDAT U SLÉVÁRENSKÝCH PROVOZŮ

A co to vše znamená pro slévárny z hlediska zavádění cirkulární ekonomiky? Zaměřím se na oblasti, které souvisí s produkcí odpadů.

- je nutné snižovat energetickou náročnost procesu, a to nejen odlévání, ale také souvisejících provozů (výroba jader a forem, jejich recyklace, aby nebylo nutné přivážet drahé suroviny nové, doprava suroviny na místo). Tedy minimalizace primární těžby a dopravy.
- snížení produkce odpadů, kdy lze očekávat postupný zákaz ukládání odpadů na skládky a nutnost jejich recyklace (v Evropě jde o jasný trend, u nás se zdá, že máme stále s něčím problémem). Původci a specializované firmy hledají možnosti předcházení vzniku odpadů, **ale legislativa se v tomto směru nevyvíjí nebo se vyvíjí velmi pomalu**. Vidím velký problém v tom, že státní koncepce sice razí směr cirkulární ekonomiky, ale legislativa prakticky nereaguje. Zmocnění k par 3, odst. 8 zákona č. 185/2001 Sb. o odpadech bylo zatím využito za téměř 10 let jenom jednou, a to letos pro asfaltové materiály (ZAS).
- úplná recyklace slévárenských odpadů (a to například úpravou recyklované suroviny následnou úpravou, zvýšení ostrohranosti, odstranění pasivního bentonitu, odstranění jemnozrnných podílů atd.). Je nutné hledat technologie k snižování produkce odpadů, neboť primární suroviny jsou drahé, a jak bylo uvedeno, jejich výroba a doprava navíc zatěžuje okolí.

- na druhou stranu je nutné zdůraznit, že právě u odlitků je dosažitelná téměř 100 % recyklovatelnost vyrobených produktů, což odlitky již historicky plní. Bylo by zajímavé porovnat dopad (na výrobu, včetně energetických vstupů) hliníkového odlitku a plastového vylisku o obdobném objemu.

4. ZÁVĚR

Z hlediska cirkulární ekonomiky se musíme připravit na vyšší stupeň využívání odpadů s tím, že pravděpodobně velmi brzy může dojít k omezení možnosti ukládání na skládky a může dojít restriktivně k vzrůstu ceny elektrické energie (z fosilních zdrojů). Ruku na srdce, ukládání odpadů na skládky je technologie využívaná již lidmi desítky tisíc let. Jistě, skladba odpadů se změnila, zabezpečení skládek také, ale technologie „zbavení se“ zůstala. Každý původce musí nyní hledat možnosti, jak snížit produkci odpadů, jak zvýšit jejich recyklaci přímo (velmi snadno se to konstatuje, hůře udělá). Stát musí hledat akceschopné systémy podpory a inovací. Stát musí pracovat s daty, které od původců ve formě povinných ohlašování produkcí odpadů dostává, aby hledal priority, které bude podporovat. **Vývoj legislativy a podpora změn v technologiích bude nejen pro slévárny, ale pro celý průmysl nezbytná.**

Z hlediska slévárenských odpadů vidím možnosti

- v hledání technologií maximální recyklace (i úpravou odpadu nebo potencionálního odpadu), tedy např. vytrídění podsítných podílů, regenerace (hrany, využití pojivo) atd.
- zbytkovým využitím nerecyklovatelných podílů (externí výrobky), tedy ve spolupráci se regionálními recyklačními středisky a společnostmi.
- recyklace odlitků (viz LCA) je u odlitků naopak příkladná. U povrchových úprav odlitků by měly být využívány technologie, které neznemožní nebo neztíží jejich recyklaci, nebo které nepovedou k dopadům na životní prostředí při jejich recyklaci.

Mám však strach, že právě energetické klimatické přezbrojování bude mít na slévárny v nejbližších letech (nestane-li se zázrak např. vývojem levných malých jaderných zdrojů) větší dopad, než zavádění cirkulární ekonomiky (právě vlivem dosažené vysoké míry recyklace odlitků – jako výrobků). Myslím, že centrální orgány musí velmi rychle připravit legislativní rámec pro zavádění oběhového hospodářství. Bez toho to nepůjde. Dnes se často setkáváme se situací, kdy se původce snaží plnit své povinnosti a předchází vzniku odpadů, ale tato snaha je na druhou stranu sankcionována kontrolními orgány. A přitom by tomu mělo být právě naopak!

Technológia semisolid squeeze casting

Pastirčák, R.¹⁾, Martinec, D.²⁾

¹⁾ ŽU Žilina, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, SR, richard.pastircak@fstroj.uniza.sk

²⁾ ŽU Žilina, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, SR, denis.martinec@fstroj.uniza.sk

Kľúčová slova

Kryštalizácia pod tlakom, polotuhý stav, zliatina Al-Si

Abstrakt

Príspevok sa venuje technológii odlievania v polotuhom stave s tuhnutím pod tlakom – semisolid squeeze casting. Je sledovaný vplyv rôznej prípravy východiskového materiálu na štruktúru po spracovaní touto technológiou. Zliatina AlSi7Mg0,3 bola pripravená v liatom stave, očkovaná, po tepelnom spracovaní a technológiou direct squeeze casting.

V príspevku je hodnotená mikroštruktúra odliatkov pred a po spracovaní pomocou semisolid squeeze casting. Bola pozorovaná čiastočná dedičnosť štruktúry. Taktiež bola pozorovaná segregácia v povrchovej vrstve.

1. ÚVOD

Spracovanie kovu v polotuhom stave (Semisolid metal processing – SSM) je metódou odlievania, v ktorej čiastočne stuhnúť kovová brečka vyplní dutinu formy. Zloženie čiastočne stuhnutej kovovej brečky je charakteristické minimálnym 50% podielom tekutej fázy. Technológia semisolid squeeze casting (SSSC) kombinuje polotuhé tvarovanie a odlievanie s kryštalizáciou pod tlakom, čím sa vylepšil konvenčný squeeze casting (SC). Túto technológiu zhrnuli Ghomashchi a Vikhrov.

- Medzi najväčšie výhody spracovania kovu v polotuhom stave možno zaradiť:
- Predĺženie životnosti foriem. Značné množstvo tepla pochádzajúceho z fázovej premeny bolo uvoľnené už pred vstreknutím do dutiny formy čím sa výrazne zníži jej tepelné zaťaženie.
- Zredukovanie času potrebného pre jeden liací cyklus, keďže znížením energie uvoľnenej pri tuhnutí sa čas tuhnutia skrúti takmer o polovicu.
- Zníženie vplyvu procesu zmrašťovania.
- Zvýšenie celistvosti odliatkov a zlepšenie vlastností.

Vplyv squeeze castingu na parametre mikroštruktúry a mechanické vlastnosti hliníkových a horčíkových zliatin boli intenzívne skúmané vo viacerých prácach. Pri semisolid procesoch je kritické rovnomerné rozloženie primárnych zŕn pre dosiahnutie požadovaných vlastností odliatku. Segregácia v polotuhých materiáloch vedie k nerovnomerným vlastnostiam. Tento jav je spôsobený rôznym charakterom prúdenia taveniny a tuhých globulitických zŕn. Vieira a Ferrante študovali citlivosť zliatin Al-Si na segregáciu v polotuhom stave. Zistili, že táto koreluje s výslednou mikroštruktúrou. Segregácia bola rozdielna v závislosti od polohy formy a piestu. Definovali tri oblasti: zhustenú oblasť, polotuhú a oblasť kvapalnej fázy. Definovali, že väčší vplyv na segregáciu má tvar odliatku ako rýchlosť prúdenia.

Cieľom príspevku je pozorovanie dedičnosti počiatočnej štruktúry materiálu na štruktúru odliatku pri použití technológie semisolid squeeze casting. Okrem dedičnosti štruktúry bol pozorovaný aj vplyv použitej technológie na segregáciu.

2. METODIKA EXPERIMENTU

Ako experimentálny materiál bola použitá podeutektická hliníková zliatina AlSi7Mg0.3. Táto zliatina bola zvolená kvôli jej dobrým mechanickým a zlievarenským vlastnostiam, možnosti tepelného spracovania a taktiež kvôli pomerne širokému intervalu tuhnutia. Chemické zloženie tejto zliatiny je zobrazené v **tab. 1**.

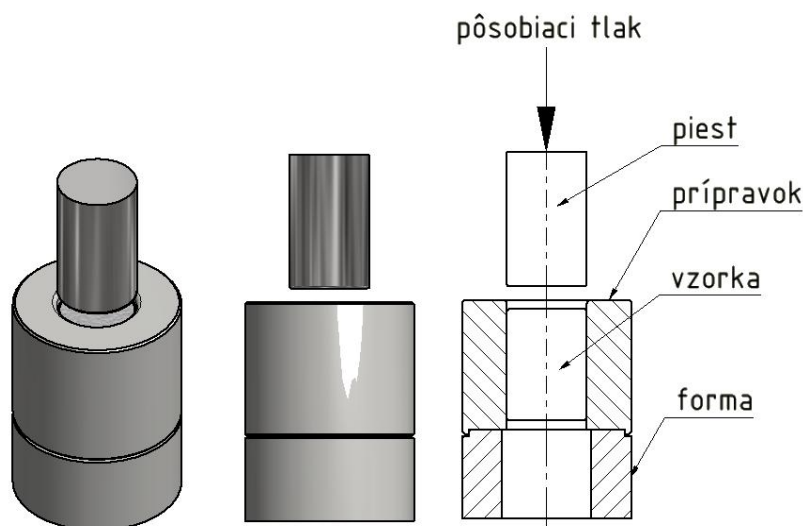
Tabuľka 1. Chemické zloženie zliatiny AlSi7Mg0,3

Chemické zloženie [hm. %]				
Si	Mg	Fe	Mn	Ti
7,01	0,31	0,19	0,02	0,12

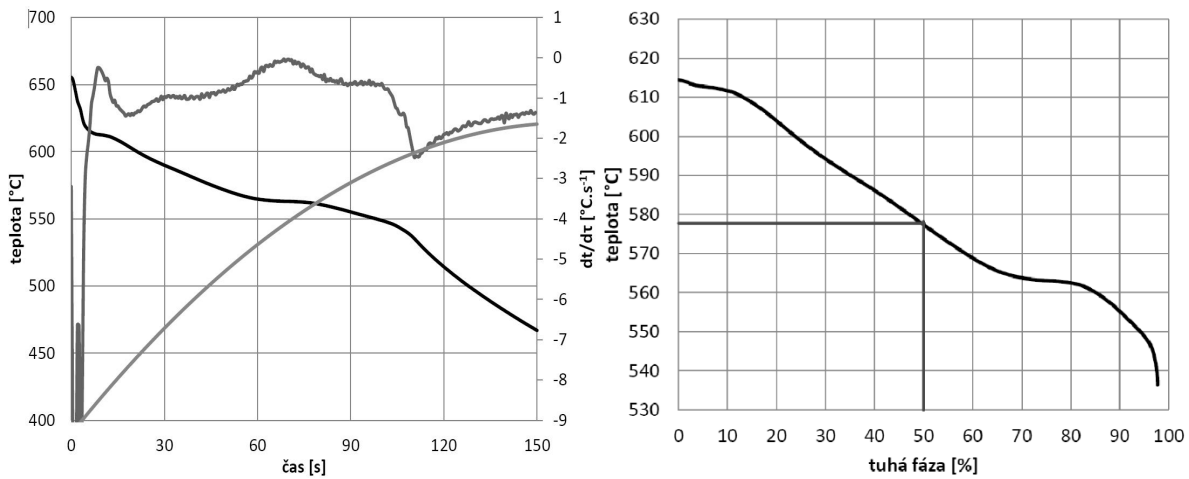
Zo zliatiny boli vytvorené vzorky metódou gravitačného liatia do kovovej formy. Časť vzoriek bola pred odlievaním očkovaná 0,2 hm. % AlTi5B1. Pre pozorovanie vplyvu morfológie eutektika bola časť vzoriek tepelne spracovaná rozpúšťacím žiňaním (teplota žiňania 540 °C, čas 6 hodín, ochladzovanie do vody s teplotou 60 °C). Okrem gravitačne pripravených vzoriek boli odliate aj vzorky technológiou squeeze casting (teplota odlievania 700 °C, teplota formy 250 °C, pôsobiaci tlak 100 MPa). Takto pripravené vzorky boli trieskovým obrábaním opracované na požadovaný rozmer.

Rôzne pripravený vstupný materiál bol následne spracovaný technológiou SSSC. Schéma experimentálneho merania je zobrazená na **obr. 1**. Dutina formy a manipulačný prípravok boli ošetrené grafitovým náterom. Polotuhý stav vzoriek bol dosiahnutý ich ohrevom na teplotu s 50 % podielom tuhej fázy. Ohrev prebiehal umiestnením vzoriek v oceľových prípravkoch do odporovej komorovej pece, ktorá bola vopred vyhriatá na danú teplotu. Priebeh ohrevu vzoriek bol sledovaný pomocou termočlánkov typu K umiestnených v kontrolnej vzorke. Po dosiahnutí požadovanej teploty sa vzorky jednotlivito pretlačili na konvenčnom hydraulickom lise do foriem kruhového prierezu. Pôsobiaci tlak bol 100 MPa. Teplota formy a piestu bola 200 ± 5 °C.

Teplota ohrevu materiálu bola zvolená pri 50 % z tekutej a z 50 % tuhej fázy, t.j. 578 ± 1 °C. Teplota pri 50 % podiele tuhej fázy bola určená z rozboru termickej analýzy použitej zliatiny, **obr. 2**.



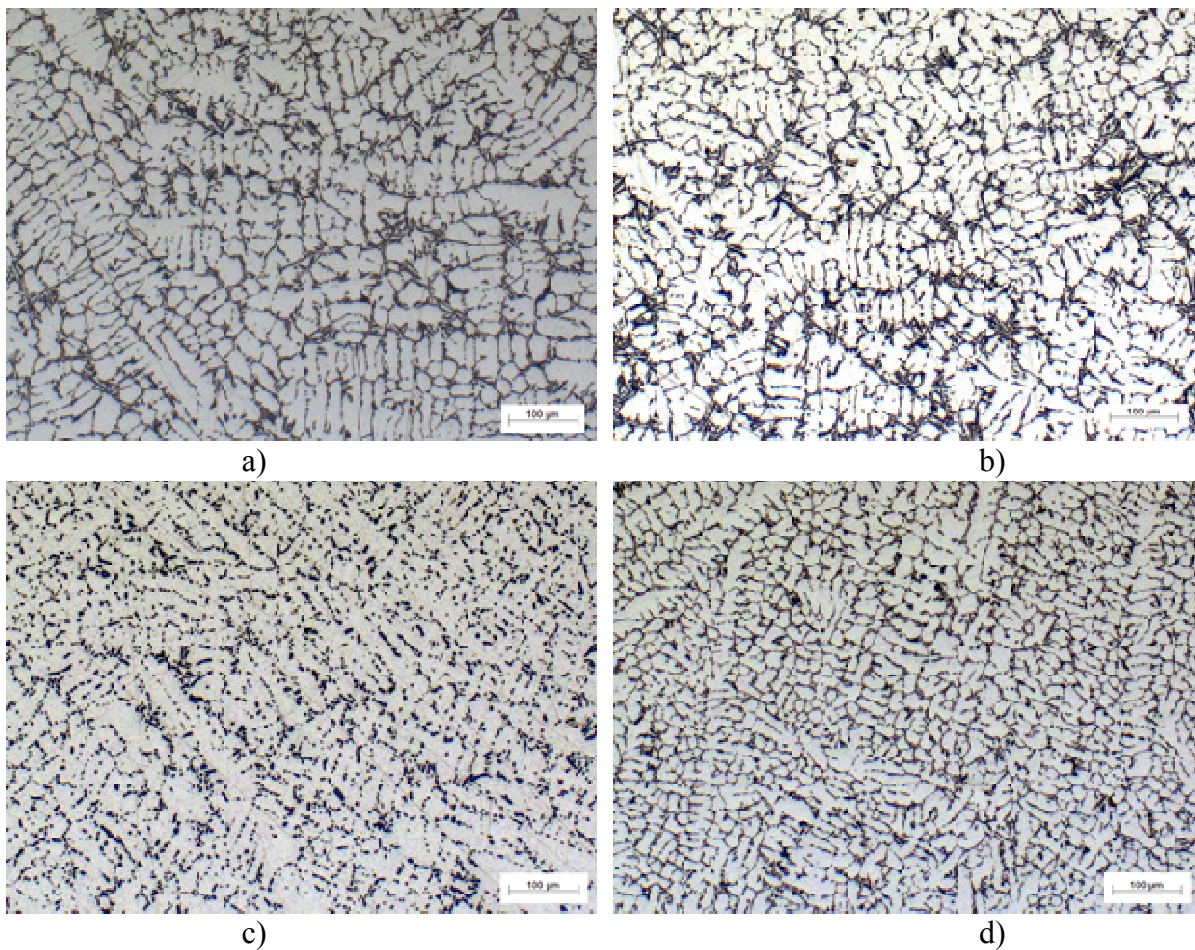
Obr. 1. Časti experimentálnej formy



Obr. 2. Termická analýza použitej zliatiny

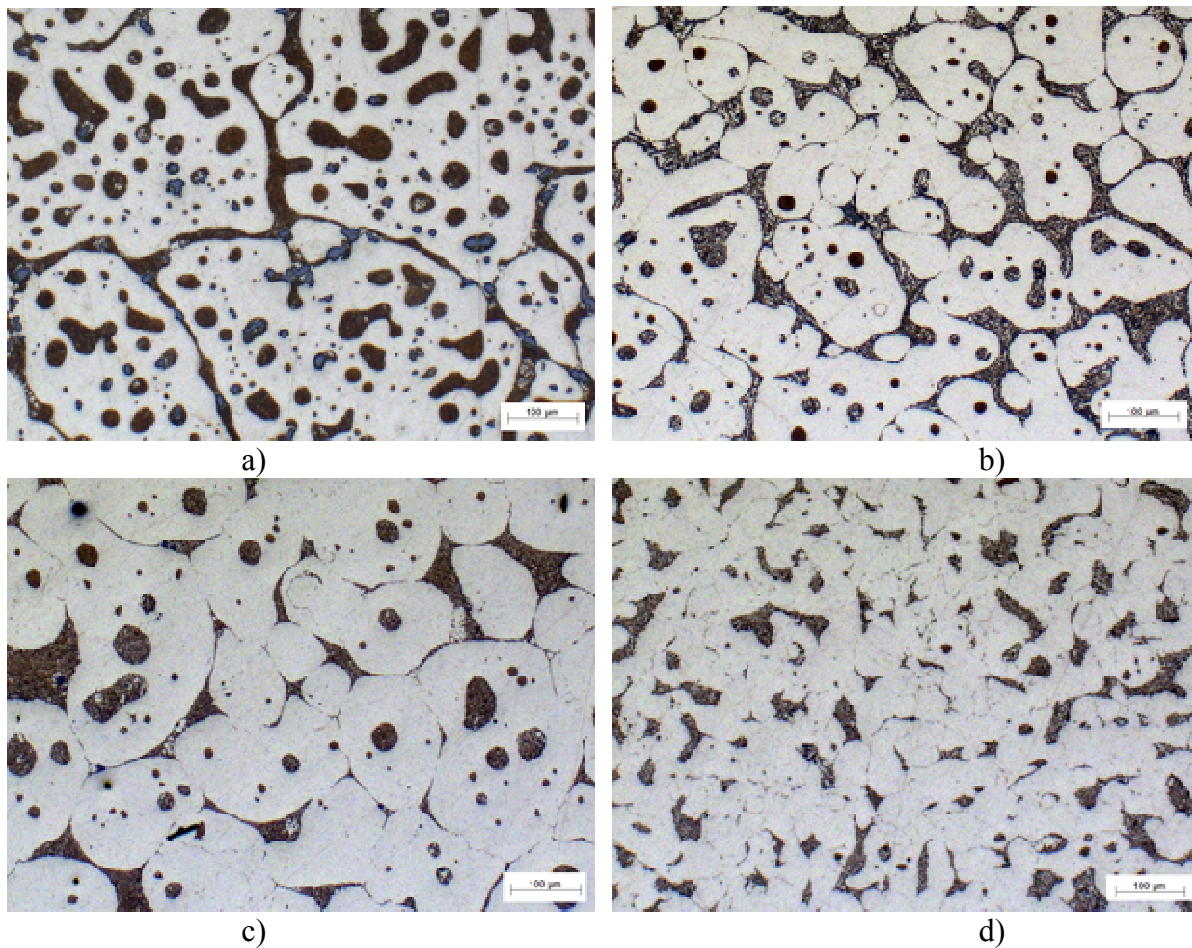
3. HODNOTENIE MIKROŠTRUKTÚRY

Na obr. 3 sú zobrazené mikroštruktúry vzoriek vstupného materiálu pri 50-násobnom zväčšení.



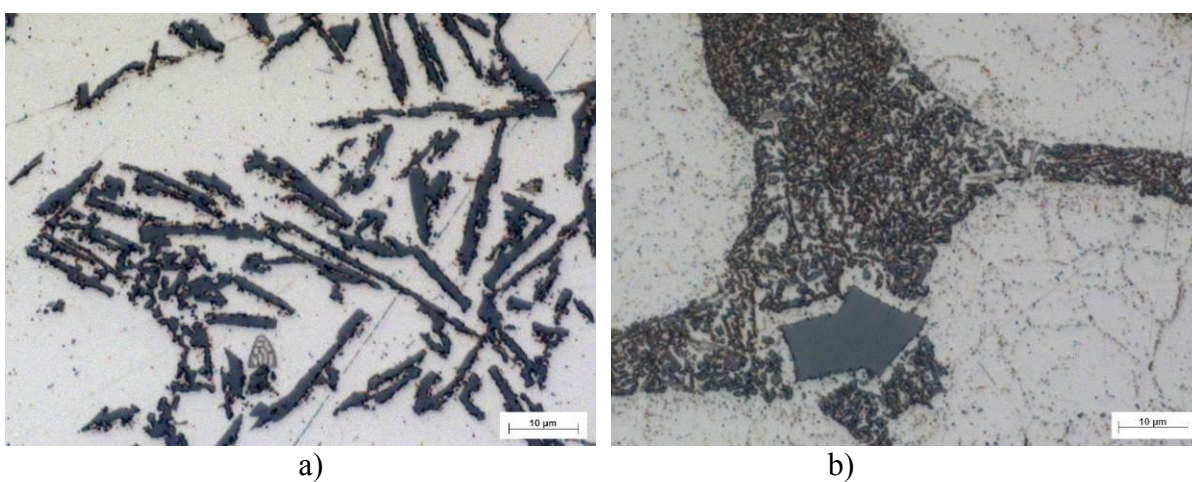
Obr. 3. Mikroštruktúra počiatočného stavu materiálu a) liaty stav, b) očkovaná zliatina, c) tepelne spracovaná zliatina, d) zliatina pripravená pomocou SC

Na obr. 4 sú zobrazené mikroštruktúry vzoriek po spracovaní pomocou technológie semisolid squeeze casting pri 50-násobnom zväčšení.

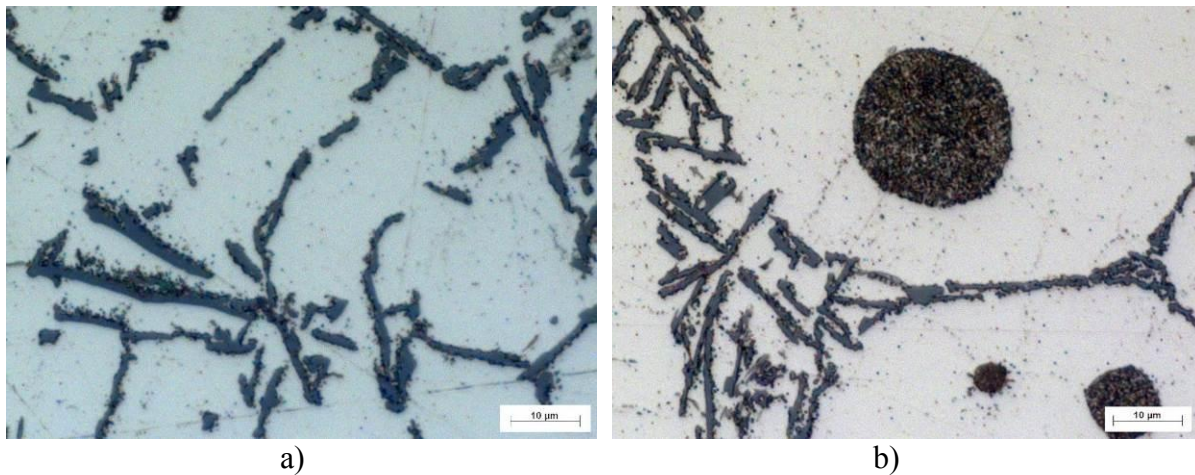


Obr. 4. Mikroštruktúra vzoriek po SSSC a) liaty stav, b) očkovaná zliatina, c) tepelne spracovaná zliatina, d) zliatina pripravená pomocou SC

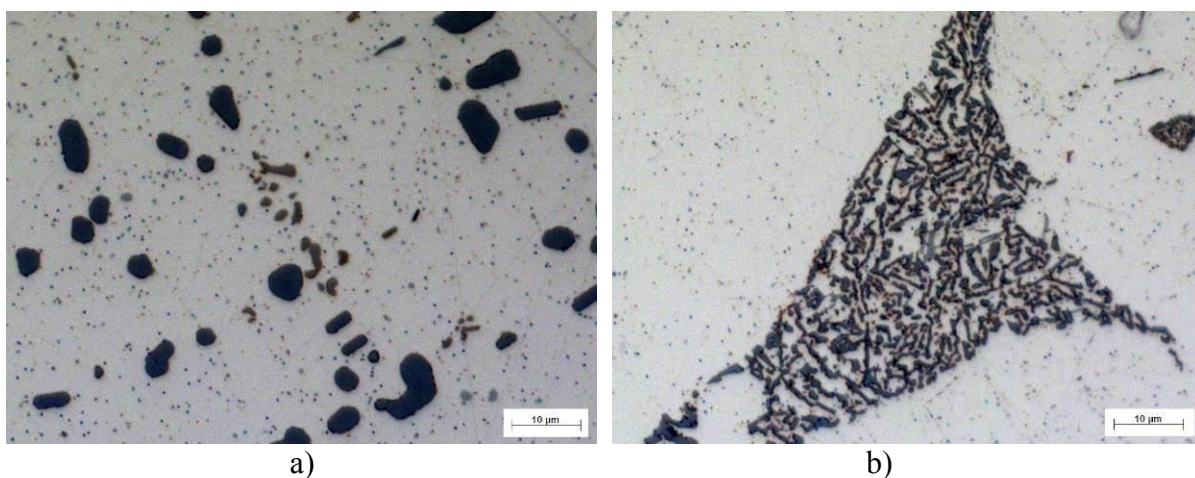
Mikroštruktúra počiatočného materiálu a vzoriek pripravených technológiou semisolid squeeze casting pri 500 násobnom zväčšení je znázornená na **obr. 5 až 8**.



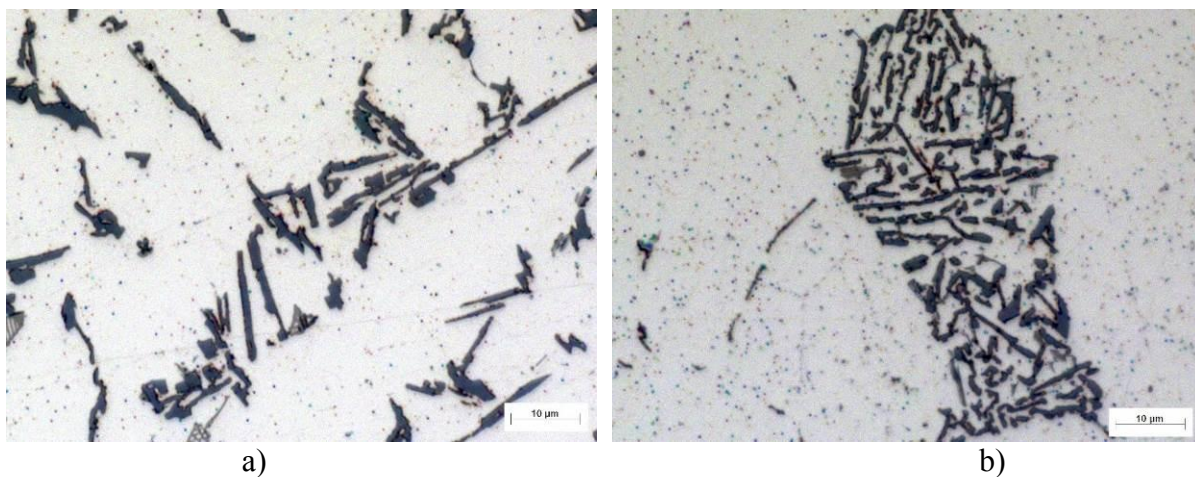
Obr. 5. Mikroštruktúra použitého materiálu a) po odliatí, b) po spracovaní SSSC



Obr. 6. Mikroštruktúra zliatiny a) po očkovaní, b) SSSC očkovanej zliatiny



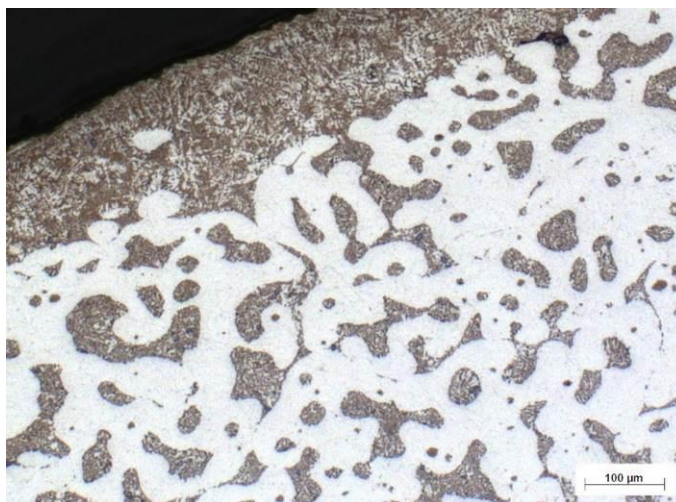
Obr. 7. Mikroštruktúra počiatočného materiálu a) po tepelnom spracovaní, b) po TS a SSSC



Obr. 8. Mikroštruktúra zliatiny a) pripravenej pomocou SC, b) po SC a SSSC

Mikroštruktúra zliatiny AlSi7Mg0.3 je tvorená α -fázou hliníka a eutektickým kremíkom vylúčeným v lamelárnej forme, **obr.3a**. Vplyvom očkovania došlo k zjemneniu štruktúry, skráteniu primárnych dendritických vetví α -fázy. Eutektický kremík je vylúčený v medzidendritických priestoroch v lamelárnej forme ako v neovplyvnenej zliatine, **obr. 3b**. Po tepelnom spracovaní je štruktúra tvorená dendritmi alfa fázy s veľkosťou východiskovej zliatiny. Eutektický kremík je vylúčený v globulárnej forme, **obr. 3c**. Pri materiáli pripravenom technológiou squeeze casting je štruktúra tvorená jemnejšími dendritmi alfa fázy s kratšími sekundárnymi vetvami. Eutektický kremík je vylúčený vo forme lamiel, ktoré sú kratšie ako vo východiskovom materiáli, **obr. 3d**.

Po spracovaní technológiou semisolid squeeze casting možno na snímkach sledovať zmeny v mikroštruktúre vzhľadom na počiatočný stav materiálu. Pri neovplyvnenej zliatine je štruktúra tvorená alfa fázou vylúčenou vo forme veľkých globulitických útvarov, **obr. 4a**. Po hraniciach týchto útvarov je vylúčený eutektický kremík v jemnej tyčinkovej forme, **obr. 5a**. Vplyvom vyššieho tlaku pri tuhnutí dochádza k zvýšeniu podielu kremíka v eutektiku. Vyšší podiel kremíka v eutektiku spôsobil, že v štruktúre je možné pozorovať kompaktné kremíkové častice s veľkosťou 10 až 20 μm , **obr. 5b**. Roztavené eutektikum, ktoré sa nevytláčilo na hraniciach zostalo uväznené v útvaroch alfa fázy a následne stuhlo v globulitickej forme, **obr. 4a**. Pri očkovanej zliatine je možné pozorovať obdobné vylúčenie alfa fázy aj eutektického kremíka ako pri neovplyvnenej zliatine. V štruktúre sa prejavila dedičnosť štruktúry po očkovaní. Útvary alfa fázy sú výrazne menšie, **obr. 4b**. Uväznený eutektický kremík je taktiež vylúčený v globulitických útvaroch ako v predchádzajúcom prípade s jemnejším rozložením, **obr. 6**. Prevažná časť eutektika sa vylúčila po hraniciach globulitických útvarov. Pri štruktúre ovplyvnenej tepelným spracovaním a SSSC je možné pozorovať zmeny, ktoré sú podobné ako pri očkovanej zliatine, **obr. 4c**. Eutektický kremík, ktorý bol vylúčený v globulárnej forme (**obr. 7a**) sa po SSSC zmenil na jemné tyčinky (**obr. 7b**). Štruktúra, ktorá tuhla pri pôsobení tlaku je charakteristická zvýšením podielu kremíka v eutektiku s čiastočne globulitickou alfa fázou. Opätovným pôsobení tlaku pri tuhnutí došlo k tvorbe menších globulí alfa fázy ako v predchádzajúcich prípadoch, **obr. 4d**. Následným spracovaním technológiou SSSC nedošlo k uväzneniu eutektika medzi dendritmi alfa fázy. Pretože podmienky pre prúdenie roztaveného eutektika sú výrazne priaznivejšie. Eutektikum je tak vylúčené po hraniciach týchto útvarov vo forme tyčiniek, **obr. 8**.



Obr. 9 Segregácia v povrchovej vrstve

Okrem spomínaného bola na všetkých vzorkách pozorovaná segregácia eutektika v povrchovej vrstve, **obr. 9**. Hrúbka tejto vrstvy sa pohybovala od 50 do 200 μm . K tomuto odmiešaniu došlo vytlačením roztaveného eutektika sieťou dendritov k povrchu dutiny formy.

4. ZÁVER

Na základe výsledkov možno konštatovať, že pri polotuhom spracovaní sa čiastočne zachováva východisková štruktúra materiálu. Dedičnosť štruktúry sa prejavila pri očkovanej zliatine jemnejším rozložením alfa fázy, pri tepelne spracovanej zliatine je možné pozorovať rozdiely vo vylúčenom eutektickom kremíku oproti neovplyvnenému stavu. Jemnejšia globulitická štruktúra pri materiáli pripravenom pomocou squeeze castingu má za následok rozdielne vylúčenie eutektického kremíka, len po hraniciach útvarov alfa fázy. Tvar a rozloženie dendritov alfa fázy má vplyv, či budú uzatvárané mikroobjemy roztavenej zliatiny, alebo budú vylúčené po hraniciach útvarov alfa fázy. Segregačné procesy v pozorovaných vzorkách boli pozorované len v povrchovej vrstve. Povrchová vrstva odliatku bola tvorená len eutektikom.

Pod'akovanie

Táto práca bola vytvorená v rámci projektu grantovej agentúry VEGA č. 1/0494/17. Autori d'akujú grantovej agentúre za podporu.

LITERATÚRA

- [1] FLEMINGS, M. C.: (1991). Behavior of metal alloy in the semi-solid state, *J. Metall Trans A*, 22(5), 957–981
- [2] FAN, Z.: (2002). *Int. Mater. Rev.* 47(2), 1–39
- [3] LUO, S. J., KEUNG, W. C., KANG, Y. L.: (2010). *Trans. Nonferrous Met. Soc. China* 20, 1805–1814
- [4] DAO, V. L., ZHAO, S. D., LIN, W. J.: (2011) *Spec. Cast. Nonferrous Alloys* 31(8), 687–690.
- [5] RICHTÁRECH, L., BOLIBRUCHOVÁ, D., BRŮNA, M.: (2015). *Archives of Foundry Engineering* 15 (2), 95–98
- [6] PAN, Q. Y., APELIAN, D., JORSTAD, J.: (2008). *Semisolid Casting—Introduction and Fundamentals. ASM Handbook, Volume 15: Casting*, 761–763
- [7] GHOMASHCHI, M. R., VIKHROV, A.: (2000). *J. Mater. Process. Technol.* 101, 1–9
- [8] KONAR, R., MICIAN, M.: (2017) *Archives of foundry engineering.* 17 (2), 35–38. DOI: 10.1515/afe-2017-0047
- [9] YUE, T. M., CHADWICK, G. A.: (1996). *J. Mater. Process. Technol.* 58, 302–307
- [10] MALEKI, A., SHAFYEI, A., NIROUMAND, B.: (2009) *J. Mater. Process. Technol.* 209, 3790–3797
- [11] MALEKI, A., NIROUMAND, B., SHAFYEI, A.: (2006). *Mater. Sci. Eng. A* 428, 135–140
- [12] MOSOUMI, M., HU, H.: (2011) *Mater. Sci. Eng. A* 528, 3589–3593
- [13] SKOLIANOS, S. M., KIOURTSIDIS, G., XATZIFOTIOU, T.: (1997). *Mater. Sci. Eng. A* 231, 17–24
- [14] LEE, J. H., KIM, H. S., WON, C. W., et al.: (2002). *Mater. Sci. Eng. A* 338, 182–19.0

Porovnání filtrace taveniny u Al odlitků vyrobených nízkotlakým litím

Hugo, M.¹⁾, Luňák, M.¹⁾, Horký, K.¹⁾, Svobodová, J.²⁾

¹⁾ BENEŠ a LÁT a.s., Tovární 463, 289 14 Poříčany, ČR, marta.hugo@benesalat.cz, milan.lunak@benesalat.cz, karel.horky@benesalat.cz,

²⁾ Fakulta strojního inženýrství, Univerzita J. E. Purkyně v Ústí nad Labem, Pasteurova 3334/7, 400 90 Ústí nad Labem, ČR, jaroslava.svobodova@ujep.cz

Klíčová slova

Filtrace taveniny, kovová sítká, keramické filtry, nízkotlaké lití, vnitřní vady

Key words

Melt filtration, metal screens, ceramic filters, low pressure die casting, inside defect

Abstrakt

Filtrace taveniny u gravitačního lití pomocí různých druhů filtrů je obecně známou a osvědčenou praxí. Otázkou tak je, jaké filtry lze úspěšně použít u nízkotlakého lití? Standardně se ve firmě při nízkotlakém lití používají kovová sítká. Zprvu se experimenty s různými typy filtrů prováděly na různých odlitcích ze slitiny hliníku AlSi10Mg na různých nízkotlakých pracovištích. Postupem času se optimalizoval proces pro odlévání jednoho druhu odlitku, tak aby se sjednotily podmínky vstupující do procesu lití, které mohou ovlivnit vnitřní kvalitu odlitku. V tomto článku se porovnávají 2 různé druhy filtrů a jejich vliv na vnitřní zdravotnost odlitku.

Abstract

The melt filtration is generally known in gravity casting. Different types of filters are used with good practice. Question is: Which types of filters are suitable for successful low pressure die casting? The metal strainers are commonly used at low pressure die casting. In the first moment testing was carried out with different types of filters, different types of casting from AlSi7Mg0.3 and different working places. Over time the process for casting was optimized for only one type of casting at one working place. Conditions were united, which are entered to produce process. These conditions have influence on quality inside castings. In this article is compared 2 different types of filters and here is analyzed influence on casting's quality.

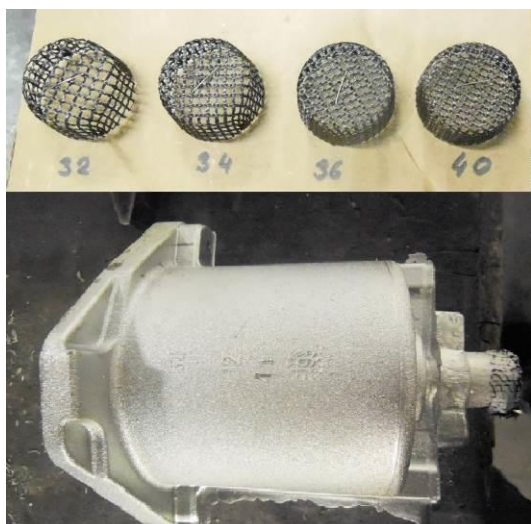
ÚVOD

Z testování se vyřadila standardně používaná kovová sítká, která byla do dnešních dnů používána. Je však na čase proces lití optimalizovat a např. eliminovat kovové vměstky (nejčastěji uvolněný drátek ocelového sítká) vplavené do odlitku. Prvním krokem k možnému porovnání účinnosti filtrů na daný odlitek bylo otestovat vhodnost určitého druhu (volba velikosti filtru) a to vše za konstantních podmínek litého procesu. Tedy zvolit vhodnou formu, která umožňuje založení jak tkaninového sítká, tak keramického filtru do vtokové soustavy. Ze začátku se jednalo o dvě na sobě nezávislá vzorkování. Následně se proces optimalizoval na jeden typ kokily a odlila se série pro porovnání funkčnosti filtrace taveniny.

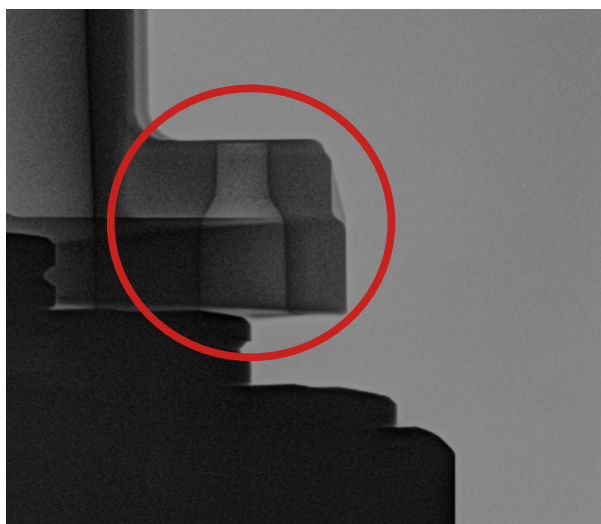
1. ZKOUŠKA TKANINOVÝCH SÍTEK

Při zkoušce tkaninových sítok bylo vyzkoušeno 8 druhů sítok se čtyřmi velikostmi ok **obr. 1**. Celkem se odlilo 26 ks odlitků a všechny byly klasifikovány jako shodné z pohledu vnitřní kvality dílu. Jen při jednom dílu byly detekovány drobné řediny v bočních výstupcích **obr. 2**, což bylo vyhodnoceno jako vyhovující požadované kvalitě. Po obrobění díly prošly zkouškou tlakotěsnosti a byly poslány k zákazníkovi k posouzení. Všechny testované typy tkaninových sítok vyhovovaly

technologii nízkotlakého lití. Z toho důvodu se pro další testování vybralo sítko s nejhustší sítí pro dosažení nejlepší filtrace taveniny.



Obr. 1. Tkaninové filtry s odlitkem tělesa posilovače spojky varianty 1

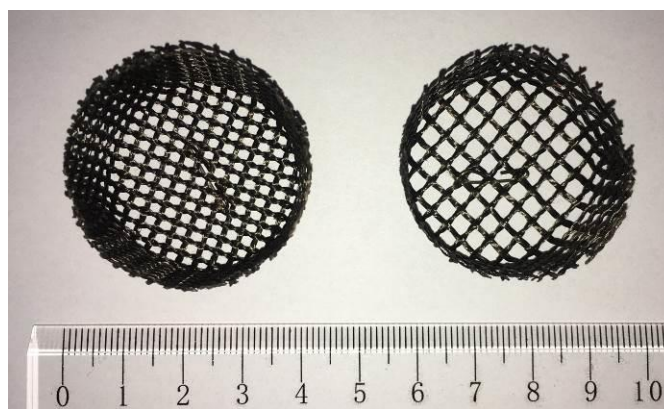


Obr. 2. RTG snímek drobných ředin ve výstupku

Souběžně s testováním tkaninových sítok na odlitku tělesa posilovače spojky prvního typu probíhalo testování keramických filtrů na odlitku tělesa posilovače spojky druhého typu s upraveným tvarem ve vtoku pro umožnění založení keramického filtru do formy. Ta umožnila použití jak keramického filtru, tak tkaninového filtru bez větších omezení. Mírně se liší pouze pozice filtru ve vtoku. Z tohoto důvodu se vybrala kokila s úpravou na formě i pro otestování tkaninových filtrů.



Obr. 3. Odlitek s tkaninovým sítkem



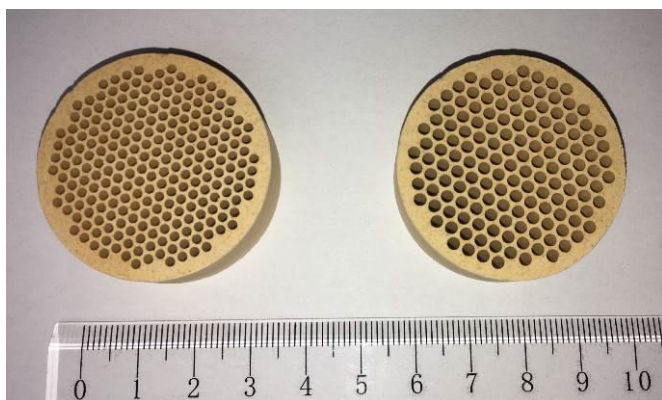
Obr. 4. Tkaninové sítko velikosti 40 L a velikosti 32 L

Pro porovnání použitelnosti sítok a filtrů, kterým se zabývá tento článek, se muselo otestovat nejvhodnější tkaninové sítko na odlitcích stejného typu a nejlépe na stejné formě. S ohledem na předchozí testy u tělesa posilovače spojky prvního typu se posuzovaly pouze dvě sítka s rozdílnou hustotou filtračních ok i u druhého typu tělesa posilovače spojky. Výběr vycházel z předchozí zkušenosti, která určila vhodný parametr pro selekci mezi hustotou ok.

Testovací série byla provedena pouze na 4 dílech **obr. 3**. Jelikož se jedná o dvou otiskovou formu, tak se porovnávaly dva výrobní cykly stroje. Zde nebyl patrný rozdíl mezi sítka s rozdílnou hustotou filtračních ok **obr. 4**. Označení sítok 40 L a 32 L znamená počet ok na čtvereční palec. Rozměry ok nijak neovlivňovaly technologický postup lití. Na základě tohoto výsledku se zvolilo pro další testování sítko s jemnější hustotou ok pro získání lepších filtračních podmínek.

2. TESTOVÁNÍ KERAMICKÝCH FILTRŮ

Stejně jako u tkaninových sítěk, tak i u lisovaných keramických filtrů se zkoušely různé velikosti průměrů otvorů **obr. 5** ($\text{Ø } 1,5 \text{ mm}$ a $\text{Ø } 2 \text{ mm}$). Celkem se odlilo 44 ks odlitků. Pro uložení keramických filtrů bylo potřeba dořešit zakládání filtru do vtokové drážky. Z tohoto důvodu se navrhly speciální kleště. Keramický filtr je tak blíž k samotnému odlitku **obr. 6**, než je tomu u tkaninového sítky **obr. 3**.



Obr. 5. Keramické filtry s průměrem otvorů 1,5 mm a 2 mm

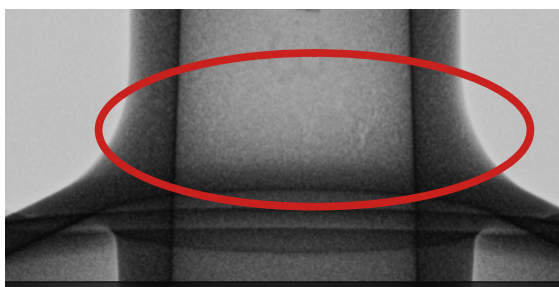


Obr. 6. Odlitek s keramickým filtrem

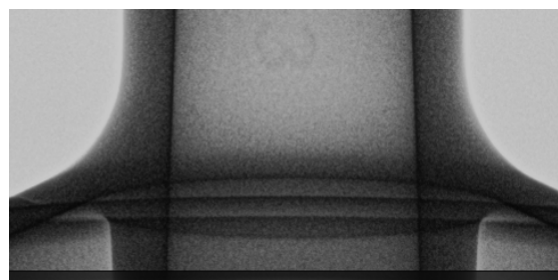
První série odlitků se odlévala s filtrem s průměrem otvorů 2 mm. Důvodem byla teorie, že filtr nebude tak náchylný k ucpání v případě nevhodně zvoleném testovacím průměru. Plnění formy proběhlo bez problému. Povrch odlitku měl charakteristické mapy ukazující na studený materiál. Následně došlo ke zvýšení teploty formy za pomoci přehřevu permanentními plynovými hořáky a odzkoušely se filtry s menšími průměry otvorů, které by měly více ovlivnit pokles teploty taveniny při plnění dutiny formy v nejbližší oblasti od vtoku. S poklesem teploty kovu průtokem přes filtr souvisí i výška filtru, která v obou variantách průměrů otvorů byla navržena stejně.

Následovalo lítí 16 ks odlitků s průměrem otvorů 1,5 mm. V tomto případě už byla kokila dostatečně přehřátá a přehřívaly se i samostatně filtry na okraji víka udržovací pece NTL licího stroje.

U filtru s menším průměrem otvorů vznikala vada **obr. 7** v oblasti příruby. Tato vada se objevovala po celou dobu lítí série. Příčina vzniku vnitřní vady (viditelné pouze při RTG kontrole) byla v malých průměrech otvorů ve filtru. Pouhou výměnou filtru s větším průměrem otvorů se tento defekt odstranil.



Obr. 7. Odlitek s vnitřní vadou v nejsilnější části odlitku při použití filtru s otvory 1,5 mm

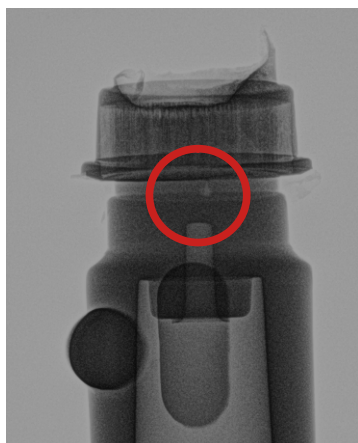


Obr. 8. Odlitek s použitím keramického filtru o průměru otvorů 2 mm

Na základě těchto výsledků se zvolil pro další testování keramický filtr s průměrem otvorů 2 mm **obr. 8**. Při tomto testování se ladil proces lítí pro keramické filtry. Po úpravě parametrů a přehřátí keramických filtrů byl odlitek po stránce vnitřní kvality vyhovující. Při porovnání keramických filtrů a tkaninových sítěk se odlévací parametry nechaly konstantní pro ověření životaschopnosti v procesu slévárny.

3. POROVNÁNÍ TKANINOVÝCH SÍTEK S LISOVANÝMI KERAMICKÝMI FILTRY

Konečné testování vhodných filtrů se provádělo na stejném typu odlitků tělesa posilovače spojky, stejného materiálu a na stejném stroji. Jako první se odlévala série 30 ks tkaninových sítok s jemným úpletem 40 L. Ihned poté následovalo lití série 30 ks keramických filtrů o průměru otvorů 2 mm. Po vizuální stránce odpovídalo požadované kvalitě všech 60 ks odlitků. Během procesu odlévání nevznikaly žádné technologické problémy. Před samotným litím se položily filtry na desku vedle licího stroje, takže bylo předpokládáno stejnoměrné prohřátí filtrů. Na RTG zkoušce bylo vyřazeno celkem 11 ks odlitků. Konkrétně se jednalo o 7 ks odlitků s keramickým filtrem a 4 ks odlitků litých pomocí tkaninových sítok.



Obr. 9. RTG bubliny ve vtoku

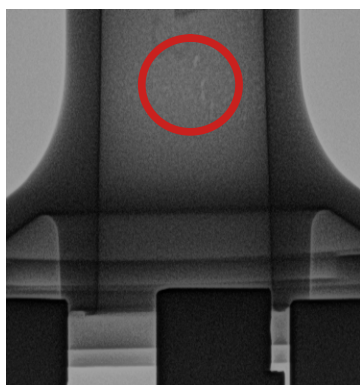


Obr. 10. Bublina nezasahuje do odlitku pod stereolupou jsou patrné mikrostaženiny u vtoku



U keramických filtrů se objevila typická vada – bublina pod filtrem viz **obr. 9**. Tento typ vady byl zastoupen pouze u keramických filtrů a ve většině případů nezasahovala až do samotného odlitku **obr. 10**. Ze 7 vyřazených odlitků tuto bublinu obsahovaly 4 díly s keramickými filtry.

Zbylé 3 díly obsahovaly podobnou vadu jako odlitky lité za použití tkaninových sítok **obr. 11**. Jednalo se o vnitřní vady typu mikrostaženiny v nejsilnější části odlitku. Podle snímků z RTG byly staženiny viditelnější u odlitků litých s keramickým filtrem. U tkaninových sítok se jednalo spíše o řídký materiál v problematickém místě.

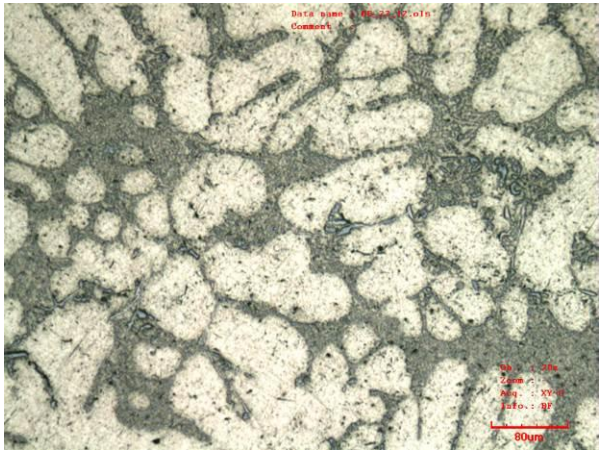
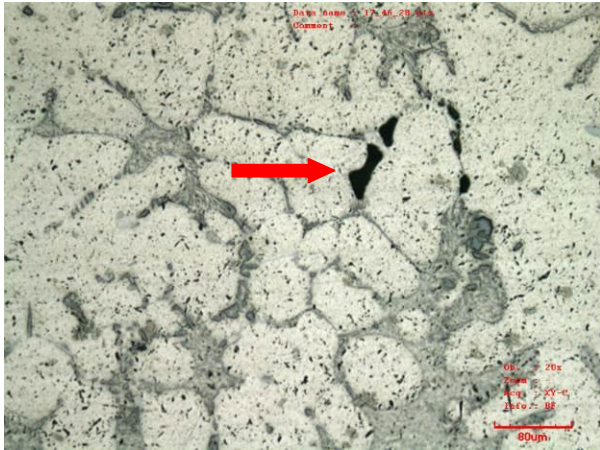
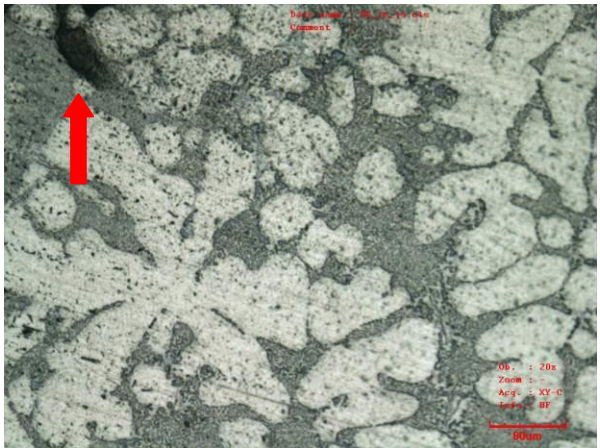


Obr. 11. Staženiny viditelné na snímku RTG a dále zobrazené na makrovýbrusu

4. MIKROSTRUKTURA

Pro důkladné vyhodnocení účinnosti filtrace různých druhů filtrů se provedlo mikroskopické pozorování struktury pod vtokem. Vybraly se vzorky odlitků s různými typy filtrace **tab. 1**.

Tabulka 1. Porovnání mikrostruktury v závislosti na použitém filtru

Vzorek	Druh filtru	Výbrus
1	Keramický 1,5 mm	
2	Keramický 2 mm	
3	Tkaninový 40L	

Vyhodnocení mikrostruktury se provádělo na dvou variantách keramických filtrů. Vzhledem k minimálnímu ovlivnění technologie lití u tkaninových sítok, se provedl výbrus pouze při použití nejjemnějšího tkaninového sítko. Z obrázků mikrostruktur je patrné, že nejlepší výsledky filtrace se dosáhne při použití keramického filtru o průměru otvorů 1,5 mm. U tkaninových sítok probíhá pouze plošná filtrace. V odlitku se proto mohou vyskytovat nečistoty, které sítko nezachytí.

5. ZHODNOCENÍ POUŽITELNOSTI FILTRŮ

Během testování filtrů a sítěk se objevily menší komplikace se zakládáním keramických filtrů. I se speciálně navrženým zakladačem není uložení filtrů do formy snadná záležitost. Samozřejmě jde hlavně o cvik v manipulaci. Naopak manipulace s tkaninovými sítky je stejná jako u kovových sítěk a pro operátory to neznamená měnit své zaběhlé a osvědčené postupy. Toto porovnání je však silně subjektivní, jelikož se jedná o pohled optikou výroby na slévárně BENEŠ a LÁT a.s.

U keramických filtrů je otázkou zvýšení doby dotlaku, tato technologická změna liciho parametru by měla pravděpodobně defekt vznikajících v odlitku odstranit. Během vzorkování filtrů na jednom stroji se nijak neupravovaly parametry lití a vzhledem k tomu, že keramické filtry mohou působit větší odpor vůči plnění taveninou je nutná úprava parametrů, především plnicích a intenzifikačních tlaků.

Testování probíhalo pouze na vizuální, RTG a mikroskopické analýze odlitků. Není možné přímo určit množství vměstků v odlitku při použití různého typu filtru. Můžeme předpokládat, že u keramického filtru proběhla hloubková filtrace a tavenina, tak byla zbavena více nečistot než je tomu u tkaninového sítka, které působí pouze plošně. Z tohoto aspektu je rozhodně možné doporučit keramické filtry pro odlévání dílů s požadavkem na extrémně vysokou homogenitu např. pro odolávání tlaku média při vysokých hodnotách tlakové zátěže.

U tkaninových sítěk se dá vtoková soustava znovu přetavit přímo ve slévárně. Keramický filtr je nutné separovat stejně jako vtoky s kovovými sítky. Hutě si tento znehodnocený materiál vykupují a přetavují.

V neposlední řadě jsou tkaninová sítka méně nákladné na pořizovací cenu a tudíž se firma BENEŠ a LÁT, a. s., rozhodla dále testovat v procesu nízkotlakého lití tkaninová sítka. Tímto verdiktem však není možné paušalizovat porovnání a jasně definovat, který filtr či sítko z testovaných variant je obecně „lepší“. Jedná se o výsledek silně zatížený konkrétností výroby a specifického pojetí nízkotlaké lici technologie ve slévárně BENEŠ a LÁT a.s.

Měrná elektrická vodivost a mikroodpor slitin hliníku, mědi a litin ve vztahu k mechanickým vlastnostem kovových pěn

Lána, I.¹⁾, Kaňa, V.²⁾, Lichý, P.³⁾, Ptáček, J.⁴⁾

¹⁾ Slévárna a modelárna Nové Ransko, s.r.o., Nové Ransko 234, 582 63 Ždírec nad Doubravou, ČR, лана.i@slevarna.cz, raur.l@slevarna.cz

²⁾ VUT FSI Ústav strojírenské technologie, Odbor slévárenství, Technická 2896/2, 616 69 Brno, kana@fme.vutbr.cz

³⁾ VŠB-TU Ostrava, FMFI, katedra slévárenství, 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava-Poruba, petr.lichy@vsb.cz

⁴⁾ FOUNDSERVIS s.r.o. Babičkova 31, 613 00 Brno. Česká republika, ingjirptacek@seznam.cz

Klíčová slova

Měrná elektrická vodivost; mikroodpor; kovové pěny; mechanické vlastnosti; slitiny Al, Cu.

Abstrakt

Měrná elektrická vodivost a mikroodpor kompaktních vzorků a vzorků kovových pěn se stávají aplikovatelnou analytickou metodou pro stanovení stavu slévárenských slitin. Zkušební tělesa šesti sérií experimentů byla odlita do pískových forem s vodorovnou dělicí rovinou z furanových formovacích směsí. Z rekapitulace již provedených experimentů, kde byla zkušební tělesa odlévána do kovových forem se svislou dělicí rovinou a obdobě do grafitové kokily, je využito k porovnání hodnot zjištěných na tělesech z pískových forem. Vzorky odlitků byly tyče z plného materiálu a tyče s prekuzory, které byly vloženy vždy do tří dutin forem s pravidelným uspořádáním, nepravidelným uspořádáním kuliček průměru cca 8,5 mm a dále rovněž s nepravidelně uspořádanými kuličkami téhož průměru a se zbytky jader maximální velikosti 20 mm. Odlitky z plného materiálu byly obrobeny na standardní tyče pro zkoušku pevnosti v tahu po změření měrné elektrické vodivosti a mikroodporu. Vzorky ze všech použitých materiálů byly odlity z ošetřené taveniny, tepelné zpracování nebylo provedeno. Provedené experimenty byly prvními experimenty tohoto druhu.

1. SÉRIE EXPERIMENTŮ

Pro výrobu forem byly použity volné modely tyčí z umělého dřeva (**obr. 1**).



Obr. 1. Volné modely

Vzorky všech sérií byly odlity do pískových forem s vodorovnou dělicí rovinou z furanových směsí. Na následujících obrázcích je hotová forma (**obr. 2**), odlévání (**obr. 3**). Forma byla tvořena dvěma dutinami pro odlití plných tyčí pro tyče s různými prekuzory vloženými nepravidelně a prekuzory ve tvaru kuliček vložených nepravidelně a pravidelně.



Obr. 2. Hotová forma



Obr. 3. Odlévání

Všechny vzorky byly vyrobeny a odlity analogicky, jak uvedeno na předchozích obrázcích. Dále jsou uvedeny spodní poloforma, (**obr. 4**), reprezentativní vzorky jednotlivých sérií, dvě skupiny vzorků z feritických litin (**obr. 5**), dvě skupiny vzorků ze slitin hliníku (**obr. 6**) a dvě skupiny vzorků ze slitin mědi (**obr. 7**).



Obr. 4. Spodní poloforma



Obr. 5. Vzorky LKG a LLG

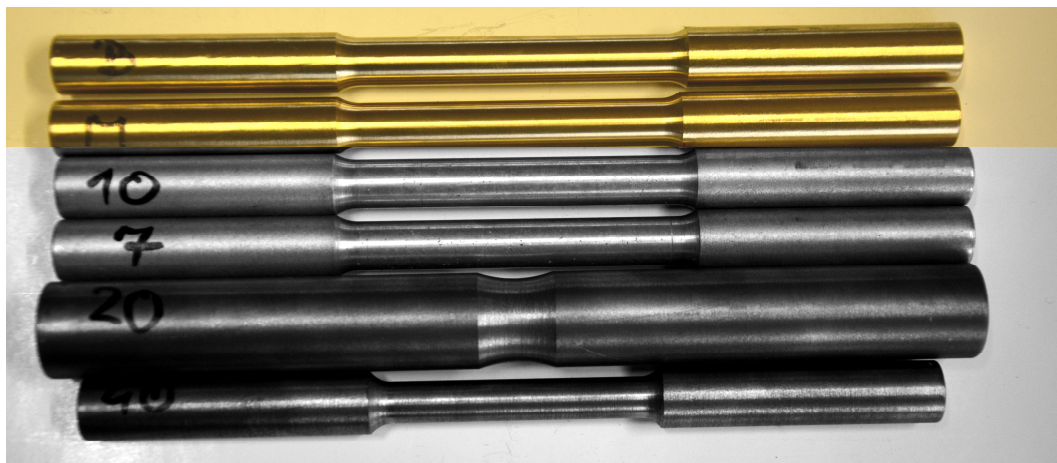


Obr. 6. Vzorky AlSi10, AlSi7



Obr. 7. Vzorky mosaz, bronz

Z plných tyčí byly obrobena zkušební tělesa pro zkoušku pevnosti v tahu (**obr. 8.**).



Obr. 8. Tvary použitých tyčí pro měření pevnosti v tahu

2. VYHODNOCENÍ EXPERIMENTŮ S LITINAMI

V **tab. 1.** jsou uvedeny průměrné hodnoty měrné elektrické vodivosti a mikroodporu na vzorcích z litin. Měrnou elektrickou vodivost nebylo možné změřit použitým SIGMA testem, proto byly hodnoty vypočteny ve smyslu kapitoly 2.1, str. 88 [1].

Tabulka 1. MEV MS/m, odpor [$\mu\Omega$]

LLG 20					
lité do pískových forem, furan	plná tyč	plná tyč, oblý povrch	pravidelné	nepravidelné	odpad z jader
MEV	mimo rozsah měřidla vypočteno				
MS/m	2,60	neměřeno	1,28	1,63	nezjištěno
odpor $\mu\Omega$	422,00	neměřeno	857,00	674,50	nezjištěno
LKG 40					
MEV	mimo rozsah měřidla vypočteno				
MS/m	3,84	neměřeno	1,98	2,00	nezjištěno
odpor $\mu\Omega$	286,00	neměřeno	555,00	548,50	nezjištěno

Hodnoty pevnosti v tahu dle zkušební normy EN 10002 jsou uvedeny v následující **tab. 2.**

Tabulka 2. Naměřené hodnoty pevnosti v tahu a tažnosti

hodnota 1.	hodnota 2.	průměr	hodnota 1.	hodnota 2.	průměr
pevnost v tahu LLG 20 (MPa)			pevnost v tahu LKG 40 (MPa)		
257,00	259,00	258,00	421,00	403,00	412,00
tažnost (%)			tažnost (%)		
0,40	0,40	0,40	12,00	18,00	15,00

Hodnoty pevnosti a tažnosti byly zjištěny z dat nízké četnosti, při odlévání byla použita pouze cedítka ve vtokové jamce, hodnoty lze i tak považovat za přijatelné pro určení dalších závislostí v kapitole 4.

3. VYHODNOCENÍ EXPERIMENTŮ SE SLITINAMI HLINÍKU

V **tab. 3** jsou uvedeny průměrné hodnoty měrné elektrické vodivosti a mikroodporu na vzorcích ze slitin hliníku.

Tabulka 3. MEV MS/m, odpor [$\mu\Omega$]

AlSi10Mg					
lité do pískových forem, furan	plná tyč	plná tyč, oblý povrch	pravidelné	nepravidelné	odpad z jader
MEV MS/m	18,04	17,16	17,01	12,24	8,91
odpor $\mu\Omega$	32,00	neměřeno	59,00	69,00	103,71
AlSi7					
MEV MS/m	19,00	17,36	16,75	14,00	9,05
odpor $\mu\Omega$	31,00	neměřeno	61,00	70,00	110,59

Hodnoty pevnosti a tažnosti byly zjištěny i v těchto případech z dat nízké četnosti a při odlévání byla použita pouze cedítka ve vtokové jamce, oba použité siluminy se tepelně zpracovávají (T6). Hodnoty pevnosti v tahu dle zkušební normy EN 10002 jsou uvedeny v následující **tab. 4**.

Tabulka 4. Naměřené hodnoty pevnosti v tahu a tažnosti

hodnota 1.	hodnota 2.	průměr	hodnota 1.	hodnota 2.	průměr
pevnost v tahu AlSi10Mg (MPa)			pevnost v tahu AlSi7 (MPa)		
107,00	157,00	132,00	103,00	84,00	93,50
tažnost (%)			tažnost (%)		
2,00	1,70	1,85	1,67	1,50	1,59

po T6 je pevnost cca 2x vyšší

Hodnoty lze i tak považovat za přijatelné pro určení dalších závislostí v kapitole 4, protože mezi hodnotami pevnosti tyčí bez tepelného zpracování a tyčí po tepelném zpracování platí lineární závislost.

4. VYHODNOCENÍ EXPERIMENTŮ SE SLITINAMI MĚDI

V **tab. 5** jsou uvedeny průměrné hodnoty měrné elektrické vodivosti a mikroodporu na vzorcích ze slitin mědi.

Tabulka 5. MEV MS/m, odpor [$\mu\Omega$]

CuAlFeNi					
lité do pískových forem, furan	plná tyč	plná tyč, oblý povrch	pravidelné	nepravidelné	odpad z jader
MEV MS/m	3,50	3,37	2,84	1,92	nezjištěno
odpor $\mu\Omega$	128,00	neměřeno	276,50	408,99	nezjištěno
CuZn					
MEV MS/m	8,58	8,03	6,53	5,10	4,21
odpor $\mu\Omega$	64,50	neměřeno	153,50	165,00	199,88

Hodnoty pevnosti v tahu dle zkušební normy EN 10002 jsou uvedeny v následující **tab. 6**.

Tabulka 6. Naměřené hodnoty pevnosti v tahu a tažnosti

hodnota 1.	hodnota 2.	průměr	hodnota 1.	hodnota 2.	průměr
pevnost v tahu CuAlFeNi (MPa)			pevnost v tahu CuZn (MPa)		
383,00	392,00	387,50	256,00	219,00	237,50
tažnost (%)			tažnost (%)		
5,17	5,11	5,14	4,67	1,33	3,00

Hodnoty pevnosti a tažnosti byly zjištěny z dat nízké četnosti, při odlévání byla použita pouze cedítka ve vtokové jamce, hodnoty lze i tak považovat za přijatelné pro určení dalších závislostí v kapitole 4.

5. VYHODNOCENÍ ZÁVISLOSTÍ MEZI ZJIŠTĚNÝMI HODNOTAMI

Mezi hodnotami měrné elektrické vodivosti, mikroodporu a pevností v tahu byly zjištěny závislosti (pevnost, tažnost) obdobně jako v [1] str. 87, 88.

Tabulka 7. Hodnoty pro grafická znázornění litin

LLG 20		LKG 40	
MEV MS/m	2,6	MEV MS/m	3,84
R _m MPa	258	R _m MPa	412
LLG 20		LKG 40	
odpor μΩ	422	odpor μΩ	286
R _m MPa	258	R _m MPa	412

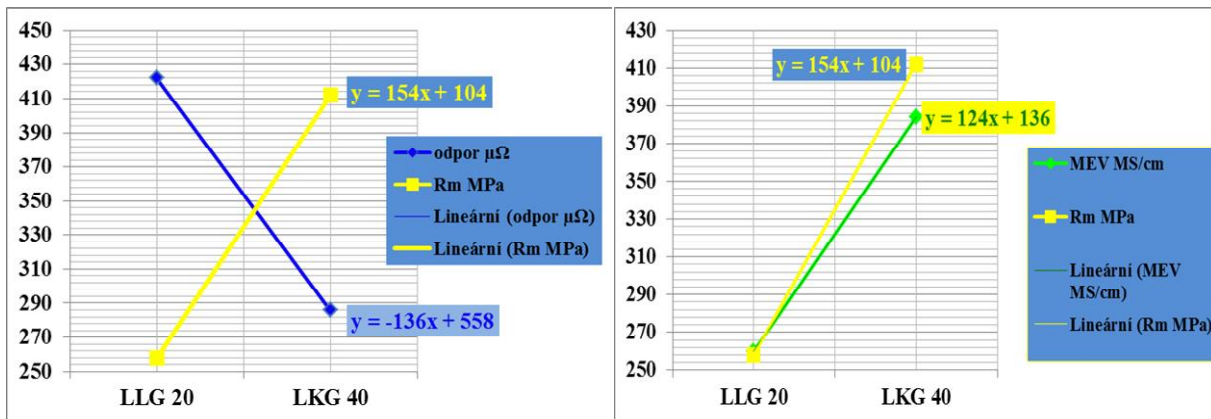
Tabulka 8. Hodnoty pro grafická znázornění slitin hliníku

AlSi10Mg		AlSi7	
MEV MS/m	18,04	MEV MS/m	19
R _m MPa	132	R _m MPa	93,5
LLG 20		LKG 40	
odpor μΩ	32	odpor μΩ	31
R _m MPa	132	R _m MPa	93,5

Tabulka 9. Hodnoty pro grafická znázornění slitin mědi

CuAlFeNi		CuZn	
MEV MS/m	3,5	MEV MS/m	8,58
R _m MPa	387,5	R _m MPa	237,5
LLG 20		LKG 40	
odpor μΩ	128	odpor μΩ	64,5
R _m MPa	387,5	R _m MPa	237,5

Grafické znázornění závislostí je uvedeno z hodnot **tab. 7** na **obr. 9.**, analogicky lze zobrazit ostatní závislosti. U litin závislosti na tažnosti a obdobně u slitin hliníku a u slitin mědi.



Obr. 9. Vlevo mikroodpor, pevnost vpravo měrná elektrická vodivost pevnost

Ve všech třech skupinách slitin jsou potvrzeny závislosti uvedené již v [1], nepřímá úměrnost měrné elektrické vodivosti a mikroodporu a tím i vzrůst pevnosti s poklesem mikroodporu nebo se vzrůstem měrné elektrické vodivosti.

6. SHRUTÍ POZNATKŮ

Měrná elektrická vodivost se u litin měří obtížněji, je nutno použít SIGMA testr s rozlišením minimálně o 10^{-1} vyšším. Za předpokladu, že je k dispozici $\mu\Omega$ metr lze pomocí uvedených závislostí hodnotu měrné elektrické vodivosti vypočítat. Takovýto výpočet byl použit u vzorků litin i u vzorků tyčí s prekuzory v případech, kdy hodnoty měrné elektrické vodivosti vykazovaly příliš velký rozptyl.

Provedené experimenty potvrdily očekávané předpoklady velmi přesvědčivě i u tak geometricky anomálních odlišků, jakými jsou kovové lité pěny.

7. DALŠÍ ZÁMĚRY

Měrná elektrická je zcela jistě analytickou metodou dobře využitelnou v praxi, jedinou postačující podmínkou je nalézt na vzorku rovnou plochu o průměru nad 1,4 cm, což stačí při použití SIGMA testerů, dostupných a využívaných v ČR.

V současnosti je připravována spolupráce s firmou PYROTEK CZ s.r.o., projevený zájem je reálnou nadějí na realizaci záměru využívat tuto analytickou metodu v širokém měřítku. Cílem je úspěšné zvládnutí byrokratických překážek, aby se tyto analytické metody podařilo v co nejkratším čase zavést v běžné praxi sléváren.

LITERATURA

- [1] LÁNA, I.: *Měrná elektrická vodivost podeutektického siluminu v závislosti na ošetření taveniny*. 8. Holečkova konference, Hotel Skalský dvůr 20. – 21. března 2019, sborník přednášek s. 83, ISBN 978-80-02-02857-4

Vliv obsahu modifikačních a očkovacích prvků na proces výroby tekutého kovu pro odlévání slitin hliníku

Lána, I.¹⁾, Raur, L.¹⁾, Kaňa, V.²⁾, Luňák, M.³⁾, Hugo, M.³⁾ Ptáček, J.⁴⁾

¹⁾ Slévárna a modelárna Nové Ransko, s.r.o., Nové Ransko 234, 582 63 Ždírec nad Doubravou, ČR, лана.i@slevarna.cz, raur.l@slevarna.cz

²⁾ VUT FSI Ústav strojírenské technologie, Odbor slévárenství, Technická 2896/2, 616 69 Brno, kana@fme.vutbr.cz

³⁾ BENEŠ A LÁT a.s., Tovární 463, 289 14 Poříčany, milan.lunak@benesalat.cz,

⁴⁾ FOUNDSERVIS s.r.o. Babičkova 31, 613 00 Brno. Česká republika, ingjirptacek@seznam.cz

Klíčová slova

Hliníkové slitiny, modifikace, očkování, vstupní suroviny, metalurgie

Abstrakt

Suroviny druhého tavení tj. ze šrotu obsahují prvky, které mohou ovlivnit kvalitu modifikace a očkování hliníkových slitin. Chemické složení vstupních surovin v houskách prokazuje, že přítomnost stroncia, titanu, bóru, ale také antimonu, případně vizmutu, je skutečností. Pozitivní nebo negativní účinky těchto prvků v surovině vedou k nutnosti přizpůsobit proces metalurgické úpravy taveniny tak, aby se buď této okolnosti využilo k úsporám, nebo aby se negativní účinek úspěšně eliminoval. Cílem změny procesu je úspora nákladů na ošetření taveniny. Přítomnost prvků ovlivňujících kvalitu tekutého kovu lze prokázat termickou analýzou i metalograficky. Stavba eutektického křemíku je ve většině případů u suroviny prvního tavení tj. z rud jehlicovitá a velikost zrn je poněkud větší. U slitin druhého tavení se přítomnost modifikujících prvků projevuje částečnou změnou stavby eutektického křemíku a jemnějším zrnem vlivem přítomnosti očkujících prvků.

1. VSTUPNÍ MATERIÁL

Firma BENEŠ a LÁT, a.s., (dále BAL) disponuje řadou technologií výroby odlitků. V Poříčanském závodě se věnuje velká pozornost přípravě taveniny pro výrobu gravitačně a nízkotlaci litých odlitků z hliníkových slitin. Většinou se zde používají slitiny na bázi AlSi **Tab. 1.**, pouze jedna slitina je zde dodávána jako slitina prvního tavení. Ostatní slitiny vznikají jako produkt druhého tavení a jen občas, především v případě časových potíží u dodavatele těchto vstupních surovin dojde k zaslání slitin prvního tavení.

Slévárna a modelárna Nové Ransko, s.r.o., (dále SaM) vyrábí odlitky z hliníkových slitin technologiemi gravitačního lití do pískových forem pojených bentonitem nebo furanem, gravitačně do kovových forem a nízkotlakým litím. Většinou jsou rovněž používány slitiny na bázi AlSi **Tab. 2.**, menší objem produkce na bázi AlCu, AlMg a AlZnSi.

Nároky na vstupní materiál jsou uvedeny v obou slévárnách ve specifikaci materiálu pro každé zakázky.

Oddělení nákupu BAL vypisuje 1x za ¼ roku tendr na dodavatele materiálu. Úsek zásobování SaM provádí průběžně výběr dodavatelů materiálu. U slitin vhodných pro uvedené technologie je v obou slévárnách kladen důraz na kontrolu obsahu prvků Si, Fe, Mn, Cu, Ca, Sr, Na, Sb, Bi a Ti. Každý z těchto prvků více či méně ovlivňuje slévárenské procesy, mechanické vlastnosti, korozní odolnost, obrobitelnost a případně i další vlastnosti odlitků.

Tabulka 1. Slitiny používané při nízkotlakém a gravitačním lití v BAL

Chemické značení	EN (označení je normalizované v podobě „AC-4xxxx“)	Druh prvovýroby
AlSi12	AC 44200	Sekundární slitina
AlSi12Cu	AC 47000	Sekundární slitina
AlSi10Mg	AC 43100	Sekundární slitina
AlSi9Cu3	AC 46200	Sekundární slitina
AlSi7Mg0,3	AC42100	Sekundární slitina
AlSi7Mg0,6	AC 42200	Sekundární slitina
AlSi5Cu3	AC 45400	Sekundární slitina
AlZn10Si8Mg	UNIFONT 90	Primární slitiny

Tabulka 2. Slitiny používané při gravitačním a nízkotlakém lití v SaM

Chemické značení	EN (označení je normalizované v podobě „AC-4xxxx“)	Druh prvovýroby
AlSi12	AC 44200	Primární slitina
AlSi12Cu	AC 47000	Primární slitina (dolegována Mg)
AlSi8Cu3	AC 46200	Primární slitina
AlSi10Mg	AC 43000	Sekundární slitina
AlSi7Mg0,3	AC42100	Sekundární slitina
AlMg3	AC 51100	Sekundární slitina
AlCu4MgTi	AC 21000	Sekundární slitina
AlZn10Si8Mg	AC 71100	Sekundární slitina

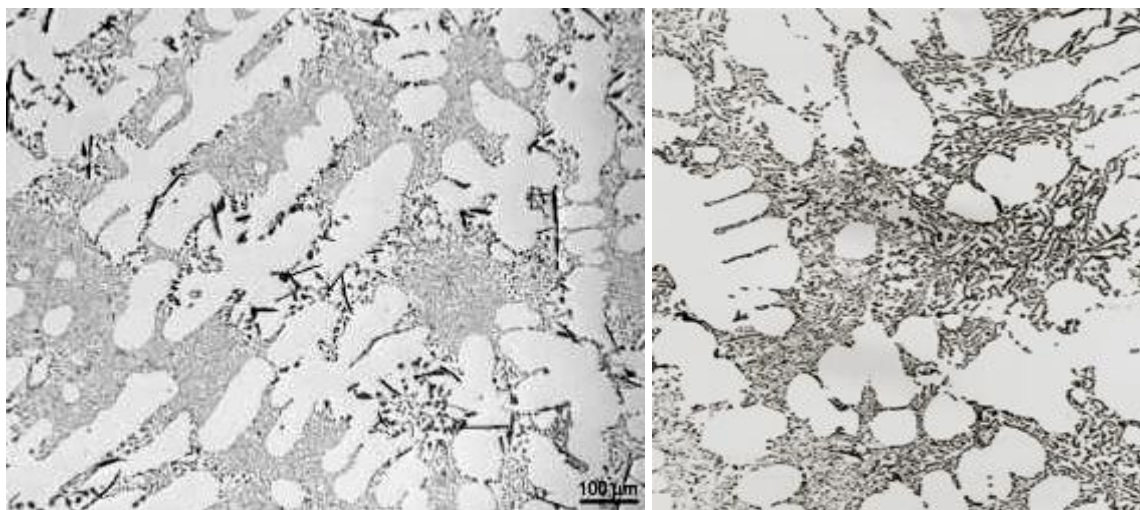
2. ÚČINKY OVLIVŇUJÍCÍCH PRVKŮ VSTUPNÍCH MATERIÁLŮ

K modifikaci jsou v obou slévárnách využívány při odplyňování bezvodým dusíkem granuláty obsahující sodík (pro gravitační lití) nebo stroncium (pro nízkotlaké lití) nebo tablety, převážně pro domodifikování v udržovacích pecích.

Obdobně při očkování jsou v obou slévárnách využívány při odplyňování bezvodým dusíkem granuláty obsahující titan (pro gravitační lití) nebo TiB tyčky pro doočkování v udržovacích pecích.

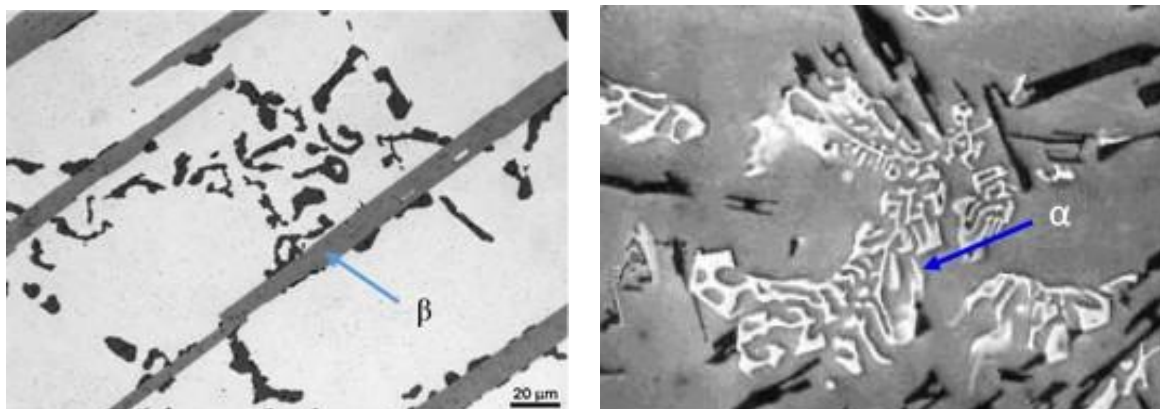
V současné době se v BAL nakupují slitiny s vyšším obsahem Ti, již předpřipravené dodavatelem. Vyšší obsah Ti je požadován pro možnou úsporu nákladů při následném legování či očkování slitiny, v SaM se nakupuje granulát s obsahem Ti a TiB tyčky.

Zbytečně vysoký obsah sodíku způsobuje, že křemíkové zrnité eutektikum, je tvořeno hrubými zrny na hranicích s dendrity základní hliníkové báze **Obr. 1.**, obdobně se chová i stroncium, z těchto skutečností lze vyvodit, že řízení obsahu modifikátorů by vedlo k úsporám.



Obr. 1. Vlevo přemodifikovaná struktura (SaM), vpravo částečně modifikovaná [3] str. 37, Al-Si-Mg, zvětšeno 50 x

Eliminaci nepříznivých vlivů železa je v obou slévárnách dosahováno poměrem obsahu Fe/Mn ($Mn > 0,5Fe$). Tím je zaručeno zlepšení mechanických vlastností vyrobených odlitků. Železo vytváří při ($Mn \ll 0,5Fe$) nepříznivé fáze deskovité **Obr. 2.** ($\beta-Al_5FeSi$) [1] (str. 23).



Obr. 2. Vlevo fáze železa deskovité $\beta-Al_5FeSi$ (opticky), vpravo fáze železa čínské písmo $\alpha-AlFeMnSi$ (EDX), oba snímky zvětšeno 1000 x

Příznivější fáze ve tvaru rozsypaného čaje **Obr. 2.** ($\alpha-Al_{15}(Fe, Mn)_3Si_2$) při ($Mn > 0,5Fe$) [2] str. 36, snímek pro energiově disperzní analýzu v rentgenovém spektru (EDX). Antimon a vápník jsou dalšími kontrolovanými prvky u sléváren, které provádí modifikaci. Antimon se neobjevuje příliš často, ale může se stát, že hutě zpracovávají šrot ze sléváren, které používají k modifikaci právě Sb (slévárny ve Francii). Vyšší obsahy prvků Sb a Ca mohou ovlivnit modifikační účinek Sr a Na a způsobit tak nemalé problémy při výrobě tekutého kovu. Modifikační účinek při obsahu Ca cca 0,02% působí negativně v tavenině modifikované Na nebo Sr (způsobuje vznik hrubých částic eutektického křemíku, struktura pak vypadá jako přemodifikovaná), proto se doporučuje obsah Ca max. 0.001 %.

Měď zhoršuje korozní odolnost odlitků již při obsahu hluboko pod 1 %, ale zlepšuje mechanické hodnoty ji při obsazích několika procent, je na rozhodnutích odběratelů, kterou z vlastností preferují. U odlitků určených k potravinářským účelům je naopak obsah mědi nepřipustný.

Fosfor zhoršuje schopnost modifikace, je-li jeho obsah nad cca 200 ppm. Přemodifikování slitiny má neblahé důsledky na její mechanické vlastnosti (zejména na tažnost) [1]. Pokud slitina obsahuje větší množství fosforu, takže je nutné pro úspěšnou modifikaci zvýšit množství modifikačních prvků. Každý z nich však má také svou mezní hranici, po jejímž překročení dochází

rovněž k „premodifikování“ slitiny (např. u sodíku již nad 100 ppm). S rostoucí teplotou taveniny se navíc využití sodíku ještě snižuje [1]. Náběh modifikačního účinku je obvykle velmi rychlý (1÷2 min), protože vysoké reaktivnosti sodíku má negativní vliv na rychlost odeznívání modifikace. Sodík se rychle odpařuje z hladiny, což vede k navrácení taveniny do stavu před modifikací. Délku účinné modifikace mění další vlivy (např. teplota kovu, poměr povrchu hladiny k objemu taveniny, intenzita míchání taveniny), obvykle již po 15. až 20. minutách. Pro prodloužení účinku lze použít plovoucí tablety s pomalým rozpouštěním, tím se rovnoměrně nahrazují ztráty sodíku [1]. Modifikační přípravky obsahují chlór a fluór, sodík má vysokou afinitu ke kyslíku a vytváří s nimi modifikačně neaktivní sloučeniny.

Stroncium má menší účinnost modifikace než sodík, je ale méně reaktivní, proto poskytuje daleko delší modifikační účinek při stabilním využití. Předslitiny obsahují stroncium ve formě částic $SrAl_4$, které se v tavenině reagují s křemíkem za vzniku Al_2Si_2Sr . Tato sloučenina se dále rozkládá a uvolňuje Sr v čisté podobě [1]. Odeznívání je velmi pomalé, dochází spíše k oxidaci. Dostatečný modifikační účinek má stroncium 3 až 6 hodin a částečně přetrvává ve slitině i po přetavení. K dosažení dobře modifikovaného eutektika stačí obvykle 150÷200 ppm Sr. Při modifikaci eutektických slitin se doporučuje vyšší koncentrace Sr až na 400 ppm. Stroncium je stejně jako sodík citlivé na obsah nečistot v tavenině [1].

Antimon je dalším průmyslově používaným činidlem, použitím Sb vzniká jemná struktura s lamelárním křemíkem. Jedná se o stabilní účinek slučující modifikaci a očkování siluminů, ve Francii se Sb přidává již v hutích v množství 0,1÷0,3 %, jeho účinek se nezruší ani při čištění taveniny pomocí přípravků s obsahem chlóru. Hlavní nevýhodou použití antimonu je rušivý vliv na stroncium a sodík. Antimon reaguje za vzniku krystalizačně neaktivních sloučenin (např. Na_3Sb_2) [1].

Od dodavatele se požaduje atest chemického složení slitiny, případně společně se vzorkem, na kterém bylo vyhodnocení chemického složení analyzováno. Diskutuje o omezeních naplynění tavby z hutí, alespoň jako o další hodnotě, uvedené v atestu. Užitečné by bylo věnovat pozornost i kvantifikaci vměstků, ale to by nakupovaný materiál neúměrně prodražovalo, proto je vhodnější provádět analýzy tohoto typu před odlitím slitiny do formy.

Cílem sléváren je, při zachování uspokojivého poměru cena/kvalita, nakupovat materiál, který bude co nejlépe vyhovovat předepsané normě a definovanému zúžení tolerancí bez nutnosti dolegování dalších prvků.

3. LEGURY

Legování je nutné provádět vždy, když chemické složení tekutého kovu po úplném ošetření (odplynění, modifikace, očkování) neodpovídá příslušné normě. Chemické složení se neliší například u $AlSi10MgMn$ obsahem legujících prvků (**Si**, **Mg**, **Mn**), doprovodné prvky se liší dle použité technologie lití (gravitačně do pískových forem, gravitačně do kovových forem*, nízkotlakým litím, tlakovým litím**) viz **Tab. 3.**, průměr ve třetím řádku LECO (SaM), hodnoty *Ca*, *Sr*, *Sb*, *P* norma neuvádí a jsou podlimitní. Průměry odpovídají příslušné platné normě a byly spočteny statisticky, četnost 54, extrémy nebyly vyloučeny. Ve čtvrtém řádku jsou údaje z dodaného vzorku $AlSi10MgMn$.

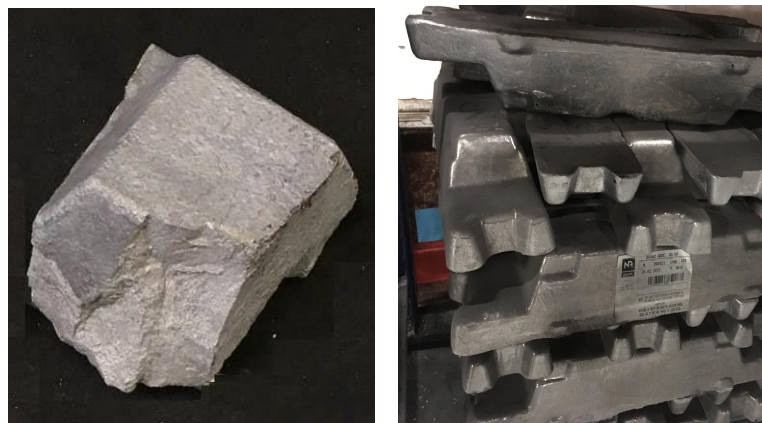
Tabulka 3. Chemické složení slitiny $AlSi10MgMn$ (SaM)

PRVEK %	Si	Mg	Mn	Cu	Fe	Ti	Zn	Ca	Sr	Sb	P
ČSN	9-10,5	0,2-0,45	0,1-0,4	Max. 0,1; 0,2**	0,6; 0,8*; 0,9**	0,15	max. 0,1; 0,3**				
PRŮMĚR	10,25	0,306	0,131	0,0298	0,220	0,0703	0,0350	0,0011	0,0031	0,0029	0,0053
PRVEK %	Si	Mg	Mn	Cu	Fe	Ti	Zn	Na	Sr	Cr	P
VUT FSI	10,3	0,3	0,17	0,03	0,33	0,03	0,03	0,002	< 0,001	0,02	-

Každým dalším dolegováním se vnáší do slitiny nečistoty v podobě oxidických a jiných vměstků. I přes tuto skutečnost jsou na skladě BAL vedeny legury **Tab. 4.** pro případnou úpravu chemického složení slitiny. V některých případech lze dolegováním předslitinou ve výrobě dosáhnout zlepšení slévárenských vlastností taveniny. Touto úpravou chemického složení se mohou odstranit problémy při lití a splnit zákazníkem požadované kvality odlitku. Na **Obr. 3.** jsou fotografie skladovaných housek předslitin pro dolegování.

Tabulka 4. Legující předslitiny skladované na slévárně

Al 99,80 %
Mg 99,95 %
AlSi30
AlCu50
AlMg30
AlMn20
ZL 0410 (ZAMAK)
Neshodné obrobky ze Zn slitin



Obr. 3. Vlevo úlomky legury, vpravo housky legující slitiny

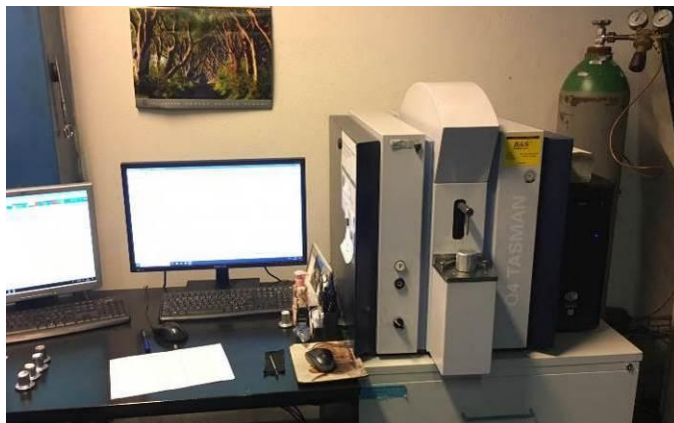
V současné době slévárna BAL systémově nenakupuje vstupní materiál přímo z hutí. Dodavatelem hliníkových slitin a legujících prvků jsou překupní firmy. Materiál je objednávan podle požadavků konsignačního skladu. Přejímku dodaného materiálu na sklad provádí pověřená osoba, která zkontroluje dodací dokumenty. Porovná požadavky s objednávkou (neporušení obalu, dodaného množství, atesty dodavatele). Pro kontrolu chemického složení připraví vždy jeden vzorek z náhodně vybrané jedné tavby. Při odběru vzorku **Obr. 4.** je nutné dodržovat místo odběru z housky, pokud je potřebné hodnotit jak chemické složení, tak makrostrukturu. Vstupní kontrola ve slévárně SaM provádí úkony podobně. Pro kontrolu chemického složení postačí vzorky z konce housky **Obr. 6.**

Mezioperační kontrola slévárny BAL provede spektrální analýzu chemického složení slitiny **Obr. 4.**, vyhodnotí makrostrukturu řezu a odsouhlasí převzetí slitiny do příslušného skladu materiálu. Ve slévárně SaM odebírá vzorky z dodávek materiálů laborantka nebo metalurg a provede spektrální analýzu. Při zjištění neshody oproti sjednané specifikaci, se na materiál vydá ve slévárně BAL STOP KARTA a přejímka se tak označí za neshodnou.

Ve slévárně SaM je zjištěná neshoda předá Úseku řízení jakosti k zahájení reklamačního řízení. Jestliže je neshoda napravitelná slévárnou například dolegováním nebo nařazením se slitinou, která umožní dosáhnout chemického složení dle potřebné normy, je reklamace řešena například snížením ceny materiálu. V opačném případě je materiál vrácen a je požadována náhradní dodávka.



Obr. 4. Houska po odběru vzorky



Obr. 5. Pracoviště spektrální analýzy



Obr. 6. Odběr vzorků SaM (jen pro spektrální analýzu)



Obr. 7. Spektrální analyzátor (doutnavý výboj)



Obr. 8. Sklad nakupovaných surovin BAL

4. SEPARACE SUROVIN S PRVKY OVLIVŇUJÍCÍMI MODIFIKACI A OČKOVÁNÍ

Zatím nerealizovanou činností je separace housek a vratného materiálu dle obsahu modifikačních prvků (Sr – nízkotlaké lití, Na – gravitační lití), případně i očkovacích prvků (obsah Ti). Třídění materiálu může mít vliv na kvalitu přetavované slitiny a lze předpokládat úspory.

Maximální povolené procento obsahu vratu v jedné tavbě je ve slévárně BAL 40 % celkové hmotnosti. Následně se přidává do plného objemu materiál nakupovaný. Přesné dávkování do tavicí pece je zaručené vážením na VZV. Do vratného materiálu nesmí být zahrnuty třísky z obrábění, stěry z udržovacích pecí a z transportní pánve po odplynění. Tento vratný materiál se posílá zpět do hutí k odbornému přetavení a vyčistění od zbytků rafinační soli a všech vzniklých oxidických a

jiných vměstků. Při tavení je nutné používat očištěné, odmaštěné, ošetřené a vysušené nástroje. Po natavení materiálu se kontroluje teplota taveniny. Pokud teplota taveniny odpovídá interní směrnici, přelije se do transportní pánve, kde je pomocí FDU zařízení **Obr. 9.** odplyněna, zmodifikována a naočkováána. Ve slévárně SaM se odplynění, modifikace a očkování provádí v tavicí peci. Mimopecní ošetření se neprovádí, protože transportní a lící kelímky mají až desetkrát menší objem než sklopné plynové pece.



Obr. 9. Odplyňovací zařízení FDU s násypkami na modifikační a očkovací granulát

Po odplynění se na VAC testu **Obr. 10.** kontroluje naplynění taveniny. V případě vyhovující teploty taveniny a stupně naplynění je materiál rozvezen k udržovacím pecím. V případě neshody se materiál odlije do bloků a použije se jako vratný materiál s poznámkou, proč nebyl materiál uvolněn do výroby.



Obr. 10. Podtlaková vývěva pro vzorky na měření indexu hustoty (DI) po zjištění naplynění taveniny (VAC test)

Podle technologie lití se pak provádí modifikace Na a očkování TiB (gravitační lití) pomocí tablet nebo modifikace $AlSr_{10}$ + očkování $AlTiB_5/1$ (nízkotlaké lití) pomocí předslitinových tyček **Obr. 11.** V udržovacích pecích je slitina slévačem doočkováána a modifikována podle požadavků na odlitek.



Obr. 11. Příklady druhu používaných modifikátorů a očkovadel

U některých odlitků se tavenina cíleně naplyňuje pro eliminaci indexu hustoty a po té se aplikuje naplyňující přípravek, kterým se zamezí vzniku bublin a současně se významně sníží i výskyt mikroporozity v tepelných uzlech odlitků.

Velmi zajímavou skutečností je, že dvě různé tavby z hutí mají různé chování při následném zpracování, i když chemické složení je téměř totožné. Důvodem může být v hutích použitý šrot a jeho předchozí historie. Šrot pochází z různých technologií výroby například lití, kování, tváření. Vliv na konečné vlastnosti slitin vyrobených v hutích nelze proto dost objektivně hodnotit. Toto chování se také zdůvodňuje tzv. paměťovými vlastnostmi surovin zpracovávaných v hutích.

5. METALOGRAFIE

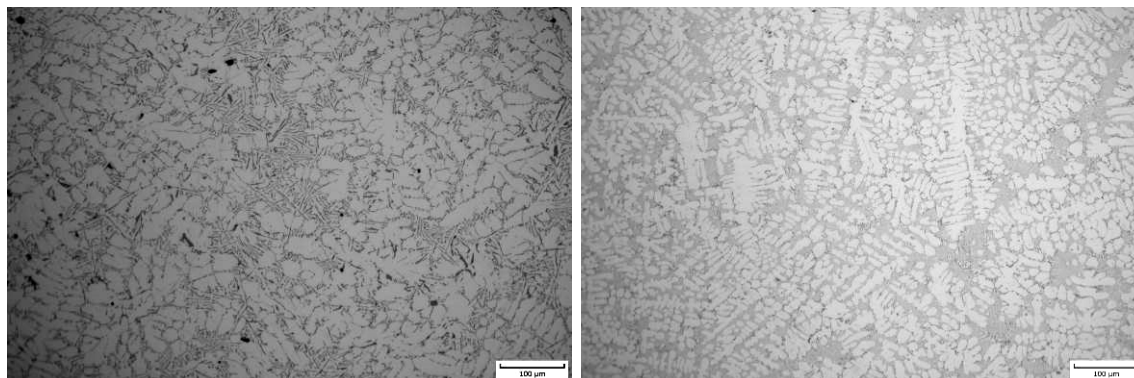
Ze surovin od dvou dodavatelů byly po natavení a po úplném ošetření odlity vzorky kotoučů \varnothing 55 mm a tloušťky 5 mm, určených pro spektrální analýzu **Obr. 7.**, byly analyzovány (označení po natavení DD-01, SA-01) a (označení po úplném ošetření DD-02, SA-02). Tavby byly provedeny pouze z housek.

Tabulka 5. Chemické složení slitiny $AlSi10MgMn$ (SaM), kotouče

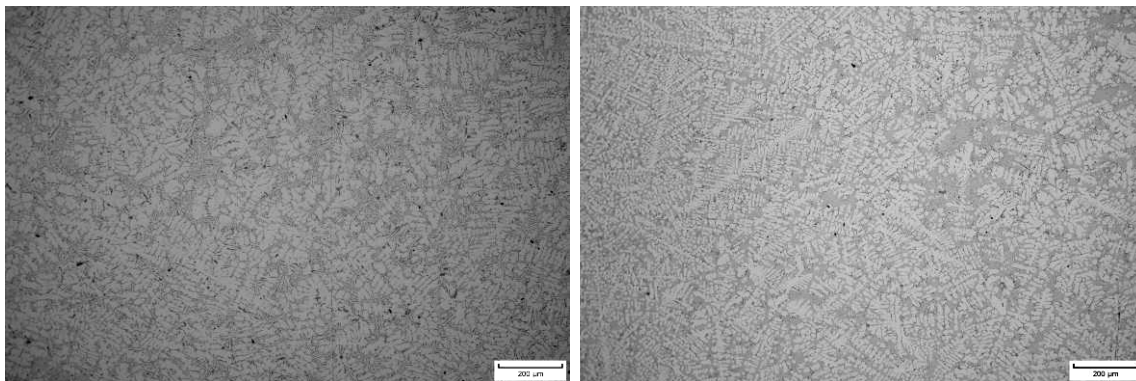
%	Si	Mg	Mn	Fe	Cu	Ti	Zn	Ca	Na	Sb	P
DD-01	9,92	0,327	0,166	0,281	0,0452	0,0341	0,0323	0,00021	0,00077	0,0010	0,0012
DD-02	10,09	0,359	0,171	0,309	0,0381	0,0377	0,0282	0,00020	0,00120	0,0008	0,0012
SA-01	9,93	0,328	0,148	0,264	0,0251	0,112	0,0192	0,00061	0,00060	0,0009	0,0014
SA-02	9,86	0,332	0,143	0,276	0,0246	0,119	0,0189	0,00056	0,00012	0,0007	0,0014

Mezi dodavateli jsou patrné rozdíly, nejvýznamnější u Ti více než trojnásobně vyšší u SA, u Zn cca 1,5 krát méně u SA, u Ca téměř trojnásobně vyšší u SA a u Na cca dvojnásobný nárůst u obou dodavatelů, ale hodnoty jsou nízké.

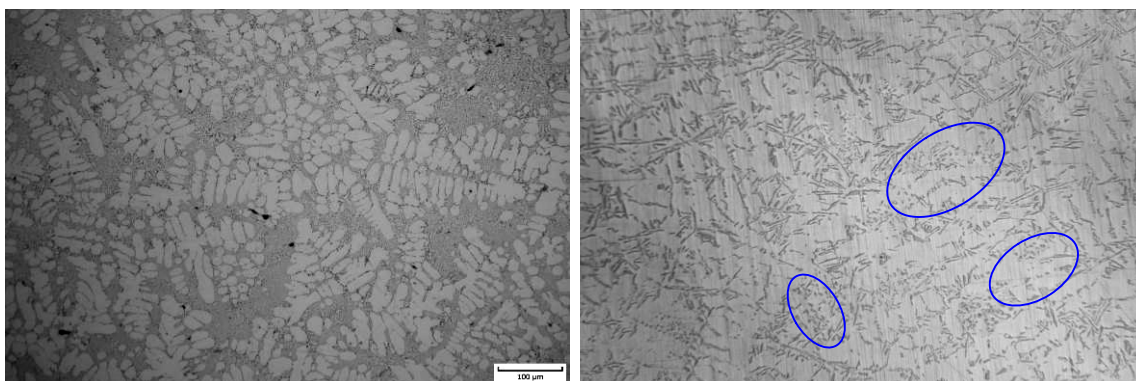
Na snímcích struktur **Obr. 12.** a **13.** je u slitin obou dodavatelů zřejmá změna eutektického křemíku z jehlicovité na zrnitou a jemnější dendrity základní kovové hmoty. U zcela ošetřené struktury je patrný menší výskyt nečistot.



Obr. 12. Vlevo $AlSi10MgMn$ DD-01, vpravo DD-02, zvětšeno 200x



Obr. 13. Vlevo AlSi10MgMn SA-01, vpravo SA-02, zvětšeno 100x



Obr. 14. Vlevo AlSi10MgMn modifikováno křemíkové eutektikum zrnité, vpravo jehlicovité místy modifikováno, zvětšeno na obou snímcích 200x

Dle poměru ploch zrnitého a jehlicovitého křemíkového eutektika lze odborně odhadnout možnosti snížení dávek modifikátoru. Na levém snímku jsou ojedinělé jehlice, na pravém ojedinělé zrnité útvary eutektického křemíku (označeno modrou elipsou) **Obr. 14.**, obdobně podle použité technologie lze hodnotit i velikost zrna a aplikovat očkovadlo.

6. ZÁVĚRY

Postupy při výrobě tekutého kovu lze racionalizovat snížením nákladů na prostředky k ošetření taveniny a snížením pracnosti. Uvedené procesy v obou slévárnách jsou rozdílné, dle zkušeností autorů jsou procesy řízeny v každé slévárně s odlišnostmi. Důležité je dosahování výstupů, které přináší úspěch výrobců i spokojenost zákazníků.

Suroviny druhého tavení mohou ovlivnit kvalitu modifikace a očkování hliníkových slitin. Chemické složení vstupních surovin v houskách je různé především v objemu doprovodných prvků. Ideální je, pokud se daří úspěšně eliminovat negativní účinky nebo využít efektivně účinky pozitivní.

Kvalitu kovu připraveného k odlévání lze snadno prokázat termickou analýzou, nejlépe současně s ověřením naplynělosti. Metalografická šetření jsou sice časově náročnější, ale jsou jistotou.

Cílem příspěvku bylo vyprovokovat pracovníky v našem oboru k zamyšlení, jak nejlépe zvládat procesy technické přípravy výroby včetně efektivního řízení procesů na tavírnách. Zejména v období přechodných recesí je relativně více času a lze se racionalizacím věnovat s vyšším nasazením.

7. DALŠÍ ZÁMĚRY

Některé analytické metody jsou prošetřovány, někteří z autorů příspěvku dále experimentují s alternativami, kterými lze procesy dále zjednodušit.

Například měření měrné elektrické vodivosti a mikroodporu jsou velmi nadějná, byly již provedeny desítky experimentů. Bohužel se prozatím nejedná o metody používané akreditovanými laboratořemi, mnohé užitečné souvislosti byly experimentálně prokázány. Vývoj pokračuje, již v současnosti lze kvalitu jednotlivých kroků při ošetření taveniny potvrdit dle hodnot měrné elektrické vodivosti.

Nutností je však překonání byrokratických překážek, aby se tyto analytické metody mohly uchytit v běžné praxi.

LITERATURA

- [1] NOVÁKOVÁ, L.: Snížení nákladu na výrobu odlitku ze slitin hliníku. DP FSI Brno, Odbor slévárenství 2010
- [2] ROUČKA, J.: Metalurgie neželezných slitin. VUT FSI Brno, Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. Brno 2004, ISBN 80-214-2790-6
- [3] HERMAN, A.: Metalurgie neželezných slitin. ČVUT FS: Ústav strojírenské technologie, Praha 2014

Případová studie – I tenkostěnný odlitek z Al slitiny lze odlít nízkým tlakem

Luňák, M. ¹⁾, Vrábel, P. ¹⁾, Šmejkal, L. ¹⁾

¹⁾ *BENEŠ a LÁT a.s., Tovární 463, 289 14 Poříčany, ČR, milan.lunak@benesalat.cz, petr.vrabel@benesalat.cz, ladislav.smejkal@benesalat.cz*

Klíčová slova

hliníkové slitiny, nízkotlaké odlévání, slévárenská simulace, technologičnost konstrukce odlitku

Key words

aluminium alloys, low pressure die casting, casting simulation, technological aspects of casting design

Abstrakt

Tento příspěvek je příkladem reakce na sériovost výroby. V uvedené případové studii je pojednáváno o realizaci tzv. transferu mezi slévárenskými výrobními technologiemi a to odléváním při vysokém tlaku a litím pod nízkým tlakem. Pomocí různých zásahů jak do změn konstrukce odlitku samotného, tak do přístupu k odlévání odlišnou licí technologií bylo možné výrobu tohoto odlitku převést nejen do jiné slévárny, ale i vyrábět do jiné kovové formy a z odlišné hliníkové slitiny než tomu bylo při původní velkosériové výrobě. U přetvoření odlitku i podmínek odlévání byl velmi důležitým partnerem simulační software a podpora slévárenských inženýrů. Výsledkem je malosériová výroba z kovové formy pro odlévání NTL technologií. Není opomenuto ani uvedení mnoha složitých překážek, které při předvýrobní fázi nastaly. Závěrem je důležité uvést, že se jedná o výrobu velmi důležité komponenty do brzdového systému metra provozujícího v asijských zemích.

Abstract

This paper is an example of a reaction to series production. This case study discusses the realization of the so-called transfer between foundry production technologies, namely high-pressure casting and low-pressure casting. Due to various interventions both in the design of the casting itself and in the approach to casting by different casting technology, it was possible to transfer the casting not only to another foundry, but also to a different metal mold and different aluminum alloy than in the original mass production. Simulation software and foundry engineers' support was a very important partner in the casting transformation and casting conditions. The result is small-lot production from metal mold casting by LPDC technology. Not forgetting to mention many complex problems that occurred during the pre-production phase. Finally, it is important to note that this is the production of a very important component for the subway brake system operating in Asian countries.

1. ÚVOD DO PŘÍPADOVÉ STUDIE

Případová studie je snad dobrým důkazem toho, že je skutečně možné migrovat s některými technickými díly mezi výrobními slévárenskými technologiemi. Jelikož se výroba odlitků řídí především finanční nutností, kterou je profit z dané výroby, je v některých případech nutno reagovat tímto způsobem. Po velmi pečlivém posouzení proveditelnosti přechodu na jinou slévárenskou technologii, začíná nelehká realizace, ale pokud je možné odlitek konstrukčně a technologicky upravit za pomoci simulační SW, tak to není úkol nemožný.

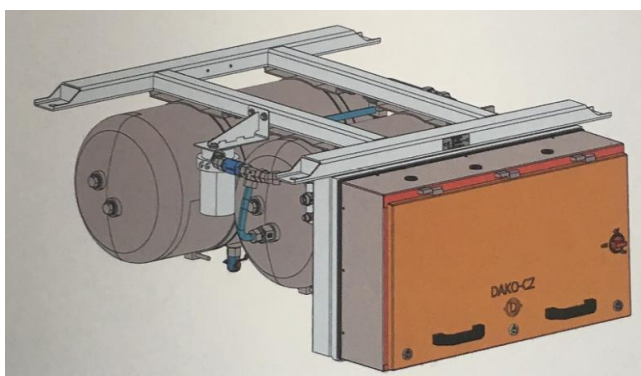
Sériovost výroby uvedeného dílce výrazně klesla a stala se již „nezajímavou“ pro odlévání vysokým tlakem. Avšak o dílec byl stále zájem a rozhodně se nejednalo jen o jaký si „after market“. Tudíž mělo význam pustit se do rozsáhlé inženýrské práce s redesignováním odlitku a nastavením

celého procesu výroby úplně jinak. O průběhu postupných pokusů, úprav a změn vypovídá tento článek.

Odlitek je vyráběn ve slévárně BENEŠ a LÁT a.s. ze slitiny EN AC-43100 T6 a je zde i obráběn. Zajímavostí je export do asijských destinací, to vše po smontování do sub-sestavy. Aplikace dílu je vidět např. v hlavním městě Saudské Arábie, tedy v Rijádu. Ilustrace soupravy metra je uvedena na **obr. 1**. Díl nachází své uplatnění jako důležitý tlakutěsný prvek v brzdovém systému metra. Pro doplnění -je uveden **obr. 2** a **obr. 3**.



Obr. 1. Ilustrativní obrázek soupravy metra v Rijádu



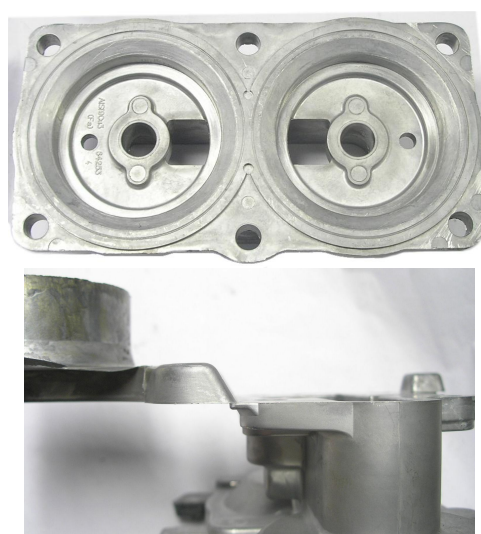
Obr. 2. Sub-sestava brzdového systému



Obr. 3. Umístění odlitku v sestavě

2. VÝVOJ DESIGNU ODLITKU A JEHO VTOKOVÉ SOUSTAVY

Původní design odlitku odlévaného vysokotlakou lící technologií



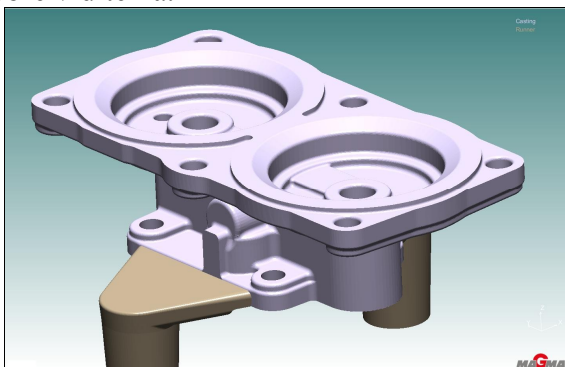
Obr. 4. Původní design odlitku včetně vtokové soustavy pro vysokotlaké odlévání

K původní lící technologii je nutné poznamenat, že vzhled odlitku byl jak tvarově tak povrchově odlišný, samozřejmě to vychází z faktu, že vysokotlakou lící technologií lze odlévat mnoho rozměrů na čisto bez nutnosti následného třískového obrábění. Dále je velmi důležité zmínit použití jiné slitiny Al. V této původní podobě odlitku bylo odléváno z AlSi9Cu3(Fe), nebo-li AC-46000. Odlitek včetně vtokové soustavy a velmi tenkého naříznutí (zaústění vtoku do tvaru odlitku) je ukázán na **obr. 4**.

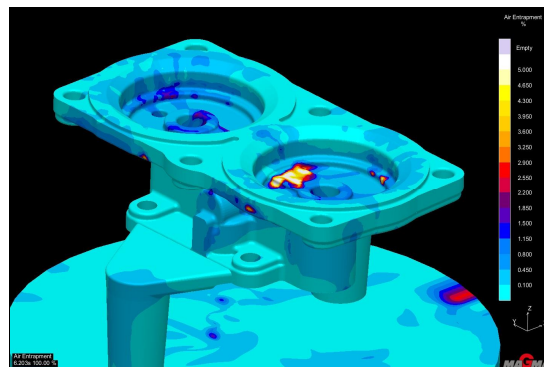
Postupné změny designu odlitku a varianty vtokové soustavy

Rozhodně stojí za zmínku, že bylo provedeno celkem 14 výpočetních simulací, které měly za úkol nalézt vhodné řešení minimalizace vad v prostoru odlitku a zajistit tak zdravotnost tohoto odlitku v sériové produkci. Některé z nich proběhly skutečně v předvýrobní fázi, tedy ještě před výrobou kovové formy, ale některé byly realizovány až při samotné nelehké výrobě odlitku v sérii. Některé za variant byly provedeny z důvodu stany o optimalizaci procesu výroby a redukci nákladů na obrábění apod. Postupně bylo provedeno několik pokusů se změnou vtokové soustavy, konstrukce odlitku a různých technologických vymožeností a právě několik z těchto variant je krátce popsáno v této kapitole.

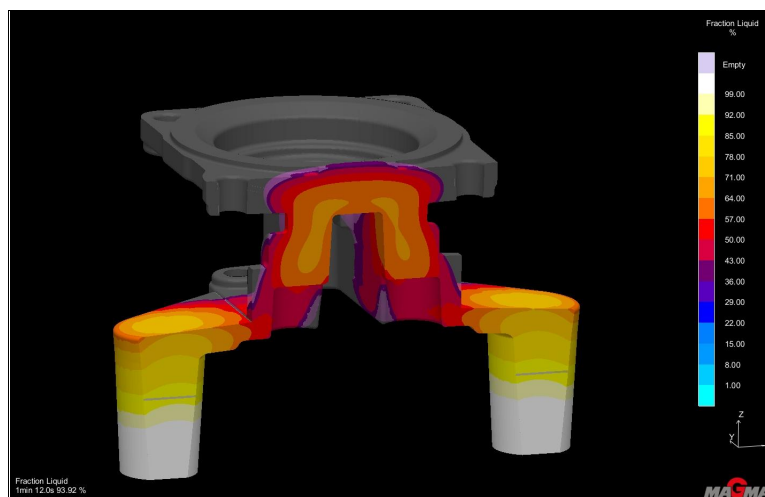
U verze na **obr. 5** se jedná o klasický návrh nízkotlaké technologie lití, kdy je tavenina do odlitku přiváděna dvěma bočními vtoky přes užší zářezy. Samotný proces plnění dutiny formy neukazoval na žádné problémy. Hodnoty přetlaku vzduchu, zahlceného vzduchu i nebezpečí výskytu studených spojů neukazovaly žádné problémy. Drobně vyšší hodnoty zahlceného vzduchu (viz. **obr. 6**) se objevovaly na horní ploše vnitřních otvorů, kde bylo následně posíleno odvědušnění v horní polovině formy. Největší úskalí při výrobě tohoto odlitku však představuje masivní středová část, která je pouze složitě ovlivnitelná dosazováním ze vtokové soustavy. A právě proto **obr. 7** prezentuje průběh tuhnutí odlitku pomocí zobrazení podílu tekuté fáze. Pro lepší názornost je obrázek proveden ve svislém řezu středem odlitku tak, aby byla problematická oblast dobře viditelná.



Obr. 5. Odlitek s vtokovou soustavou



Obr. 6. Výsledek kritéria – Air Entrapment

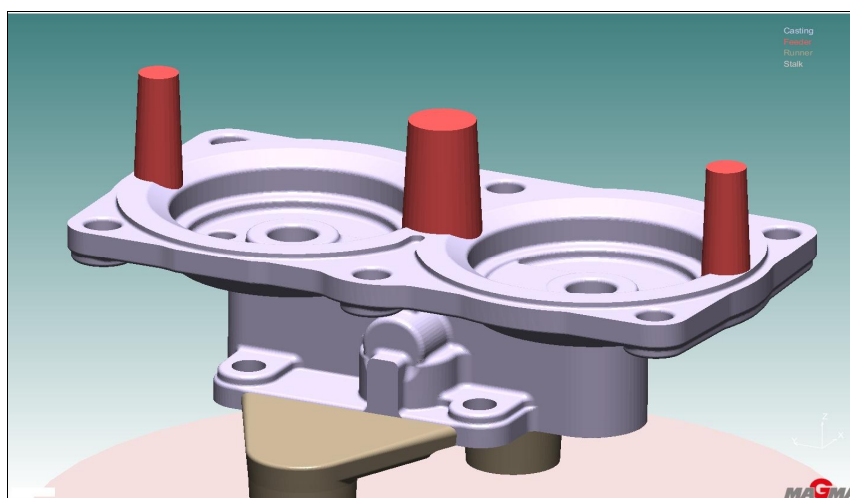


Obr. 7. Výsledek kritéria – Fraction Liquid v příčném řezu odlitkem



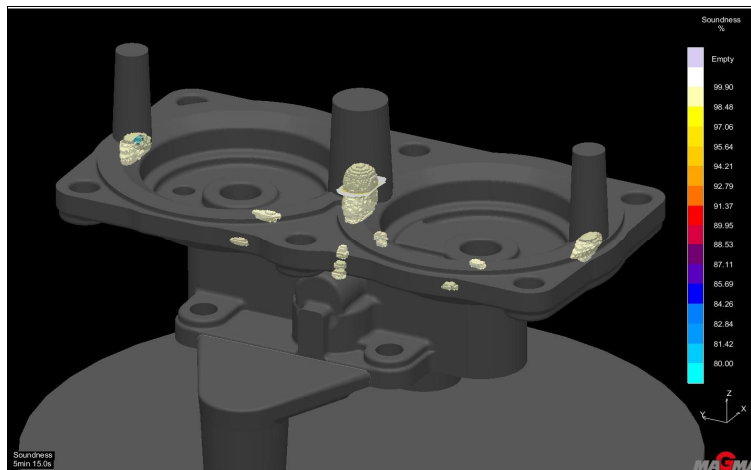
Obr. 8. Výsledek kritéria Soundness s jasně viditelnými staženinami

Výsledek kritéria Fraction Liquid jasně směřuje k lokalizaci potenciálního problému s deficitem kovu ve tvaru odlitku. Především se jedná o jeho středovou část. Tento předpoklad jasně potvrzuje **obr. 8**, který ukazuje výsledek kritéria Soundness. Zde je výrazně zdokladováno, že světlé oblasti v teplotních uzlech odlitku se projevují jako výrazně nehomogenní masa ztuhlého materiálu a tudíž v těchto místech při tuhnutí vznikly staženiny. Tyto výsledky se potvrdily i v praxi a začalo hledání řešení. Jako první krok bylo vyzkoušeno na odlitek umístit nálitky. Jejich použití není sice u technologie nízkotlakého lití příliš obvyklé, nicméně bylo odzkoušeno. U této verze pro simulaci tedy byly nad oblasti teplotních uzlů umístěny nálitky s maximálně možný průměrem a vyjímácím úkosem orientovaným tak, aby je bylo možné odformovat horní polovinou formy. Geometrie vstupující do výpočtů simulace je zobrazena na **obr. 9**.



Obr. 9. Geometrie odlitku doplněná o horní nálitky

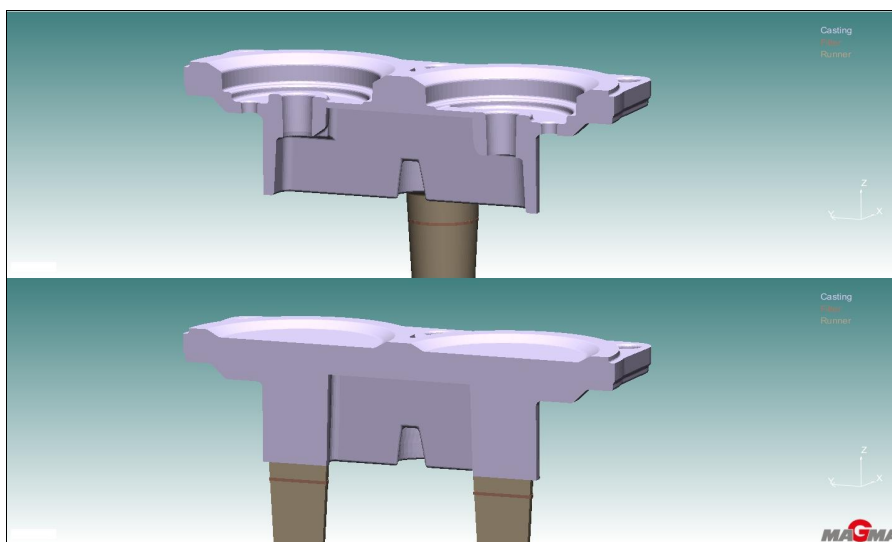
Simulace však na výsledcích (viz **obr. 10**) ukázala, že velikost nálitků je nedostačující. Teplotní uzly se mírně posunuly směrem k doplněným nálitkům, ale stále setrvávají uvnitř odlitku. Kritérium Soundness s výskytem staženin pak ukazuje, že deficit kovu uvnitř samotného odlitku se nám příliš zmenšit nepodařilo. Další zvětšování objemu nálitků však již nebylo možné konstrukčně možné a ani možné tepelné zaizolování těchto nálitku bylo realizovatelné vzhledem k jasně dané koncepci NTL formy.



Obr. 10. Výsledek kritéria Soundness se stále masivními staženinami

Dalším návrhem úpravy technologie bylo zcela změnit systém zavtokování a to zaplněním obou spodních válcovitých částí odlitku a umístění vtoků do těchto míst. Porovnání stávajícího provedení a nově navrhovaného je prezentováno na **obr. 11**.

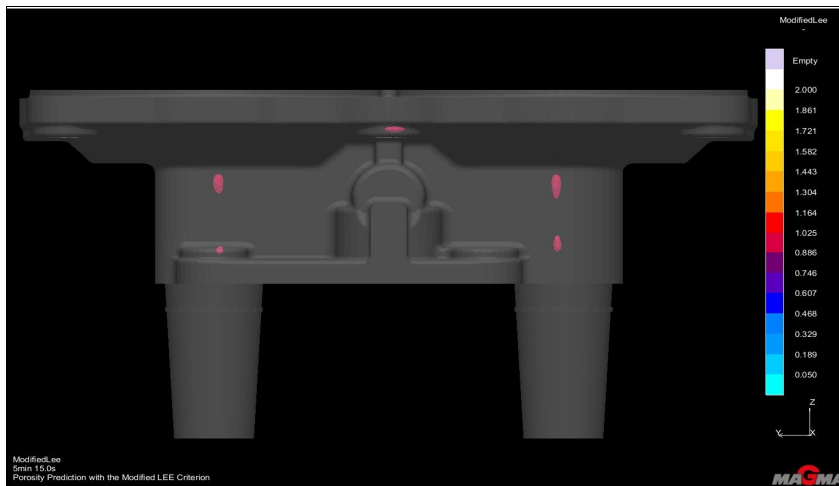
Původní geometrie



Nově navržená geometrie

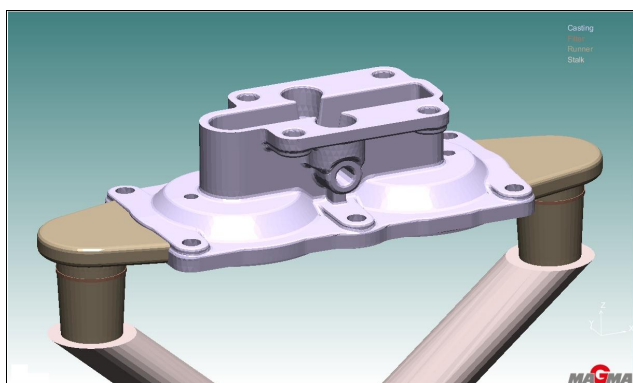
Obr. 11. Obě geometrie v podélném řezu odlitkem

Toto řešení se ukázalo z technologického hlediska jako velmi dobré. Uvnitř odlitku nedošlo k výskytu žádné staženiny, pouze v prostoru zaplněných válců se objevila drobná porezita, která by však byla odstraněna obráběním. Výskyt malých staženin (spíše pouze ředin) je zobrazen na **obr. 12**. Nevýhodou byl ale obrovský nárůst nároků na obrábění odlitku a s tím spojený významný nárůst nákladů při obrábění. Z tohoto důvodu nebylo řešení ze strany odběratele dílu akceptováno. Tento fakt je opět připomínkou, že komplexní řešení problému musí v sobě nést nejen technické řešení, ale také finanční pohled a patřičnou ekonomičnost.

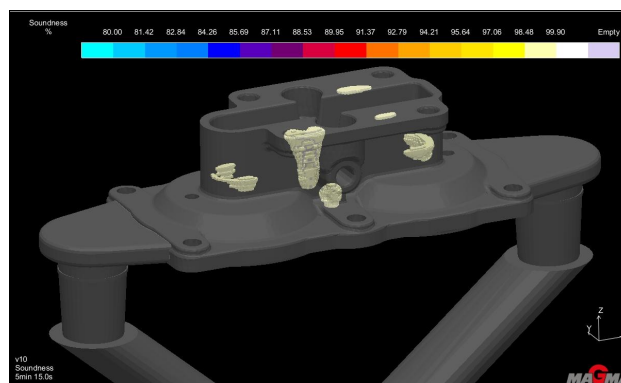


Obr. 12. Výsledek upravené geometrie i zavtokování

V další verzi bylo vyzkoušeno odlitek otočit o 180 ° a zavtokování provést do kratší boční stěny odlitku. Výpočetní geometrie této verze je uvedena na **obr. 13**. Nutno podotknout, že tato varianta zavtokování by při své realizaci nesla značné obtíže s apretáží zbytků po zářezech vtokové soustavy do tvaru odlitku. Jak se později ukázalo na výsledcích simulaci, tak ani tato verze nepřinesla uspokojivý výsledek. Nesporný výskyt několika staženin v menších teplotních uzlech je toho důkazem. Více popisuje **obr. 14**.



Obr. 13. Geometrie se zavtokováním

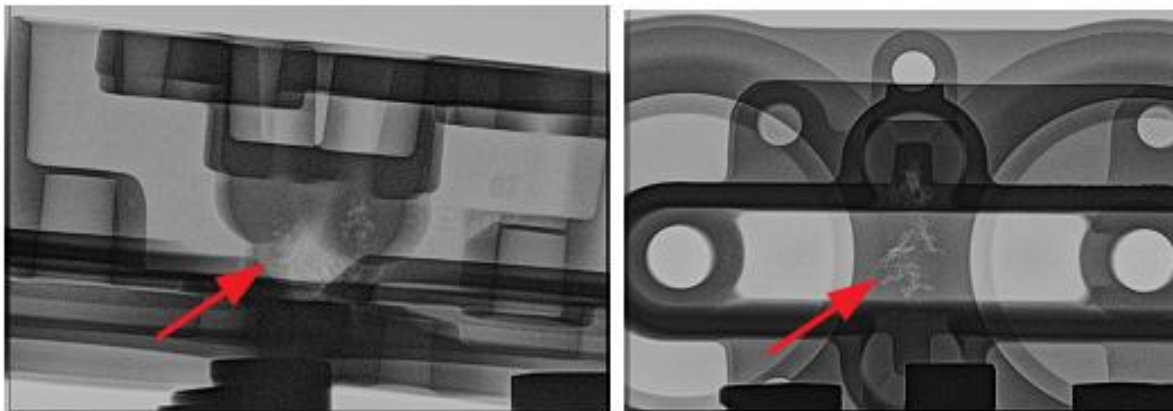


Obr. 14. Výsledek simulace se staženinami

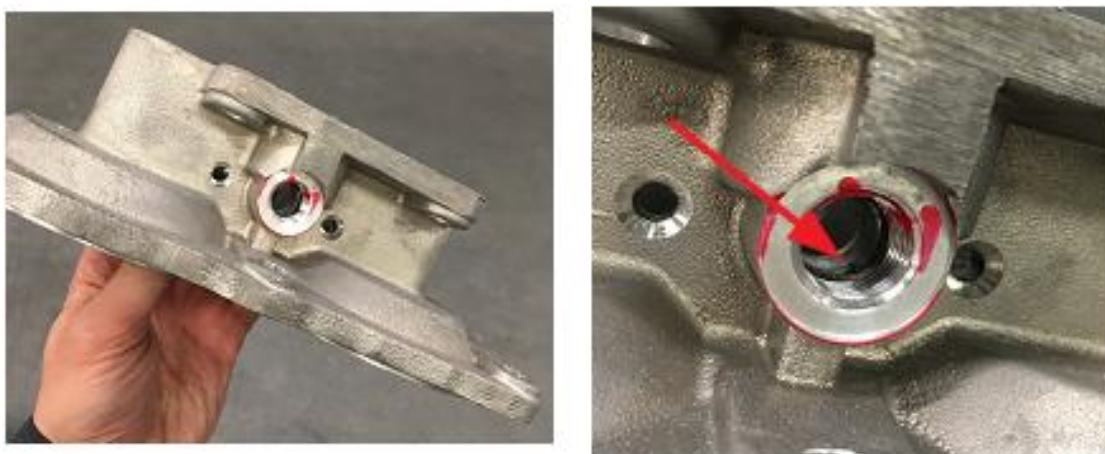
Následovala řešení několika variant, kdy bylo odzkoušeno různé zaplnění horních dvou misek jádry o rozličném průměru a hloubce zapuštění, doplňovalo se vodní chlazení horního prostoru odlitku s cílem potlačit výskyt staženin. Dále bylo zkoušeno vytvoření dosazovacího sedla nebo také zavtokování přes 3 vtoky. Dokonce přišla na řadu i varianta s řešením skrze gravitační lití. Nicméně všechny výše uvedené možnosti řešení dopadly podobně, tzn. neúspěšně a to buď kvůli nedostačující vnitřní kvalitě odlitku, nebo pro až příliš zásadní ekonomický dopad na nákladnost výroby, především kvůli zvýšené ceně následných operací.

Jako nejvhodnější verze se jeví geometrie, kdy byl odlitek opatřen velkými přídávky na obrábění a zaplněn pomocí technologických přídávků. Avšak jak již bylo řečeno, to je pohled přes optiku vnitřní kvality odlitku. Pohled přes finanční prostředky se příkládání ke stávajícímu řešení, které je uvedeno na **obr. 5**. S touto variantou je realizována malosériová výroba popsaneho odlitku.

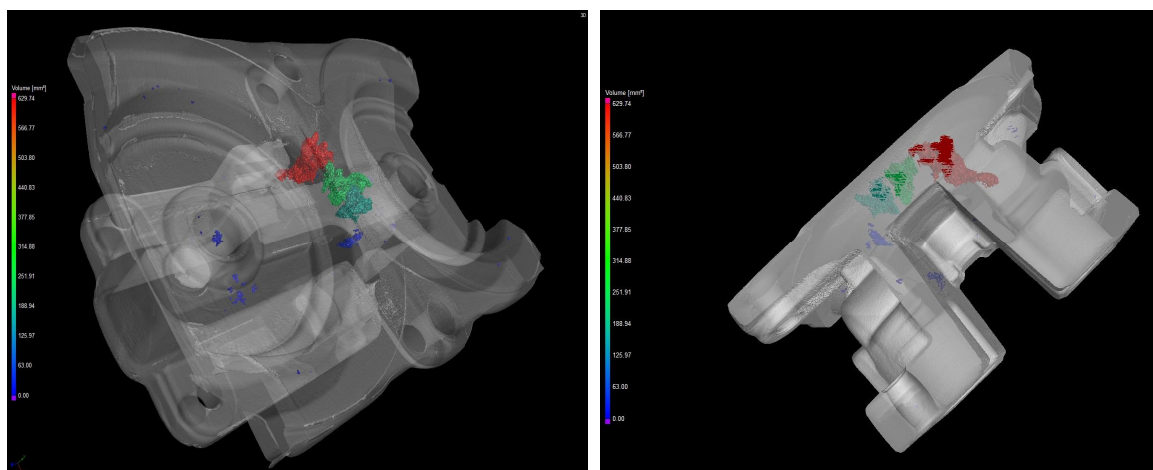
3. VALIDACE VÝSLEDKŮ SIMULACE A SKUTEČNÉ VÝROBY S VÝSTUPY Z RTG A CT



Obr. 15. Snímky z RTG kontroly odlitku – geometrie odpovídající vyráběným NOK odlitkům



Obr. 16. Foto NOK dílu (již obrobek) s lokalizací staženiny a detailem



Obr. 17. Snímky NOK dílu z CT scanu s lokalizovanou staženinou a příčným řezem

4. ZÁVĚR A SHRUTÍ

Tato případová studie poukazuje na možnost řešení a především přístupu k podobným případům výroby, kdy sériovost určuje směr, a technologové včetně konstruktérů jsou postaveni před otázku, co s tím dělat dále? Na výše popsaných variantách různých řešení je dokladován vliv změn na vnitřní kvalitu odlitku. Při validaci výsledků ze simulace, RTG a CT kontroly bylo prokazatelně dokázáno, že lokalita největší koncentrované staženiny se shoduje ve všech těchto pohledech.

Závěrem lze konstatovat, že úplně prvně zmíněná varianta řešení pro NTL odlévání je stále prozatím ta vítězná a v této podobě a způsobem se odlitek vyrábí.

PODĚKOVÁNÍ

Touto cestou bychom rádi poděkovali všem kolegům ze společnosti BENEŠ a LÁT a.s., obzvláště technologickému a konstrukčnímu týmu, kteří s tímto odlitkem strávili mnoho času jak v TPV fázi tak při samotné výrobě. Rovněž děkujeme kolegiálním partnerům za sdílnost při získávání technických údajů a informací.

SBORNÍK PŘEDNÁŠEK



sekce
metalurgie oceli
na odlitky a ingoty

56. SLÉVÁRENSKÉ DNY
12.-13. 11. 2019
Brno

Využití nástrojů cloud computingu ve virtuálních slévárnách

Fridrich, M.¹⁾, Špička, I.²⁾

¹⁾ VŠB – Technická univerzita Ostrava, Ostrava, michal.fridrich.st@vsb.cz

²⁾ VŠB – Technická univerzita Ostrava, Ostrava, ivo.spicka@vsb.cz

Klíčová slova

cloud computing, industry 4.0, virtuální slévárna

Abstrakt

Příchod čtvrté průmyslové revoluce (Industry 4.0) otevírá dveře úplně novému konceptu s názvem virtuální slévárna. Tento koncept je specifickým typem digitálního podniku. Virtuální slévárnu si lze představit jako simulaci plně fungující společnosti, zahrnující všechny prvky výrobního procesu od příjmu materiálu, přes logistiku až po prodej koncovému zákazníkovi. Díky virtuální slévárně bude možné zkrátit čas celého produkčního procesu, rychleji dodávat zákazníkům produkty, zkrátit čas inovačních cyklů a dosáhnout vyšších úspor energií a zdrojů. Vysoká fluktuace zaměstnanců je pro mnohé společnosti složitým problémem, jelikož zaškolení nových zaměstnanců je velmi nákladné. Virtuální slévárna může sloužit také jako vzdělávací nástroj pro nově příchozí zaměstnance. Tento nový koncept bude zcela jistě náročný na hardwarové požadavky. To by mohlo řešit propojení virtuální slévárny s cloud computingem. Cloud computing může být definován jako nová forma využití výpočetní techniky, kdy jsou data zpracována, ukládána a spravována na vzdálených serverech hostovaných na internetu namísto lokálního serveru. Cloud computing se stal významným technologickým trendem a mnozí experti předpokládají, že změní nejen procesy v informačních technologiích, ale také celý IT trh. Uvedený článek si klade za cíl na základě dostupných literárních zdrojů vymezit, jaké jsou možnosti virtuální slévárny a jaké přínosy by mohlo mít propojení virtuální slévárny s cloud computingem.

1. ÚVOD

Mnohé podniky jsou s příchodem čtvrté průmyslové revoluce nuceny vymýšlet nové způsoby optimalizace procesů od příjmu materiálu, přes hlavní proces výroby až po dodávku produktů koncovým zákazníkům. Běžně užívané výpočetní modely pro úsporu času a energií začínají být zastaralé a je potřeba hledat nové možnosti, jak si udržet konkurenceschopnost. Jedním z problémů sléváren často bývá chabě zpracovaná dokumentace procesů. Tento problém pramení už při samotném sběru dat, což má mnohdy za příčinu nepoužitelnost dat při jejich dalším zpracování. V poslední době se některé z technologických gigantů (například Siemens) snaží přijít s komplexním řešením zpracování a vizualizace dat nazývaným digitální podnik. Digitální podnik používá digitální technologie k modelování, komunikaci a řízení výrobních či jiných procesů.

Pod pojmem virtuální slévárny si lze představit interaktivní softwarovou aplikaci, která vizualizuje veškeré její procesy. To může sloužit například k jednoduššímu zaškolení nových zaměstnanců, či simulaci výroby nesériových produktů. Tento konkrétní článek zamýšlený koncept rozpracuje do podoby ideového návrhu.

Virtuální slévárna bude mít velmi vysoké nároky na hardware, proto je vhodné již předem uvažovat o využití cloud computingu, mezi jehož nesporné výhody patří flexibilita, výkonnost a cenová dostupnost.

2. ZÁKLADNÍ VÝCHODISKA VIRTUALIZACE VE SLÉVÁRNÁCH

Tato kapitola se zabývá problematikou digitálního podniku se zaměřením na slévárenský průmysl a dále také otevírá téma využití cloud computingu ve virtuální slévárně.

2.1 Možnosti virtualizace – digitální podnik

Virtualizace podniku znamená vytvoření simulace reálných komponent daného podniku a jeho procesů. Tyto procesy fungují úplně stejně, jako v reálném světě, ovšem pouze jako jejich obraz. Pro snadnější představu lze použít přirovnání k virtuální realitě, která je v poslední době velmi žhavým tématem. Jedná se o technologii, která pomocí sofistikované vizuální projekci a zpětné vazby ze senzorů dává člověku pocit, že se opravdu nachází v nově vytvořeném prostředí. První pokusy o systémovou virtualizaci sahají již do šedesátých let minulého století [1].

Pojem digitální podnik je komplexní přístup k propojení digitálních modelů, metod a nástrojů, mezi něž patří například modelování simulací či vizualizaci virtuální reality – to vše za přítomnosti neustálého data managementu. Digitální podnik zahrnuje bohaté virtualizované prostředí představující celou řadu továrních činností, jenž usnadňuje sdílení firemních zdrojů, řízení informací a znalostí a pomůže všem účastníkům procesů a oddělením továren simulovat spolupráci, design produktů, plánování a výrobu [2].

Slévárenský průmysl by z konceptu digitálního podniku mohl těžit úplně stejně, jako například automotive společnosti či výrobci telekomunikační techniky. Virtuální slévárna by zahrnovala všechny prvky výrobního procesu včetně logistiky, time managementu, finančního plánování a ostatních vedlejších procesů. Například finanční oddělení by ve virtuální slévárně využívalo nástrojů data miningu, což je proces objevování nových, smysluplných korelací (vzájemných propojení) vzorů a trendů procházením velkých objemů dat, která jsou ukládána v uložištích (datových skladech) za použití statistických a matematických metod a technik [3]. Díky nástrojům data miningu lze vytěžit z konkrétních podnikových dat informace vedoucí například k vytvoření kalkulačního vzorce pro tepelné zpracování odlitků. Pro distribuované paralelní zpracování dat se používá struktura zvaná umělá neuronová síť, spadající do oblasti umělé inteligence.

„Neuronové sítě jsou vhodné k řešení problémů, jejichž podstatu neznáme, dostatečně nechápeme a nejsme schopni je vyhovujícím způsobem popsat. Jako neuronová síť bývají řešeny i regulátory nebo modely, které se adaptují mechanismem učení sítě. Neuronová síť může sloužit k učení se podle vzoru (ke sledování zásahů zkušeného operátora v nejrůznějších situacích). Bývá pravidlem, že naučená (natrénovaná) síť sice funguje vyhovujícím způsobem, ale nikterak nám nepomůže pochopit podstatu problému. Někdy se stane, že v určitých situacích nečekaně selže [4]“.

Realizace programu pro neuronovou síť není velmi složitým problémem – jedná se o součet součinnů a nepřiliš komplikovanou nelineární funkci. Neuronovou síť lze realizovat i programem PLC nebo mikrořadičem. Mnohem větším problémem je učení sítě, a to nejen z pohledu numerické náročnosti algoritmu učení, ale i z pohledu nároků na kvalifikaci a zkušenosti řešitele. Často se používají výpočetní programy, jako je například Matlab nebo Mathematica.

V roce 2006 byl Evropskou unií spuštěn projekt DiFac (Digital factory for human oriented production system), jenž usiloval o vývoj inovativního kolaborativního výrobního prostředí (CME) pro příští generaci digitální výroby. DiFac CME bylo využito jako rámec pro podporu nejdůležitějších oblastí, které digitální továrna obsahuje: skupinové práce (kolaborace) interaktivním způsobem, prototypování výrobků, design výrobků, školení nových zaměstnanců. Tento projekt pomohl k vytvoření jednoho z prvních výrobních kolaborativních prostředí, umožňující uživatelům systematickou reprezentaci produktů a znalostí ve 3D [5].

V dřívějších dobách bylo pro zvýšení produktivity sléváren a konkurenceschopnosti nutné snížit ceny vstupů za zachování stejných výstupů a zároveň se snažit oslovit co nejvyšší počet potenciálních zákazníků. Pouze tyto faktory už dnes však nejsou dostačující. Důležitou roli hraje také osvojování nových technologií a jejich nasazení do praxe. Slévárenské společnosti se při nasazování nových technologií čím dál častěji přiklánějí k užívání cloud computingu, jenž bude blíže popsán v následující kapitole.

2.2 Využití cloud computingu ve slévárenství

Cloud computing může být definován jako nová forma využití výpočetní techniky, kdy jsou data zpracována, ukládána a spravována na vzdálených serverech hostovaných na internetu namísto lokálního serveru nebo osobního počítače. Cloud computing se stal významným technologickým trendem a mnozí experti předpokládají, že změní nejen procesy v informačních technologiích, ale

také celý IT trh. Cloud computing lze také charakterizovat jako poskytování služeb či programů servery dostupnými z internetu s tím, že k nim mohou uživatelé přistupovat vzdáleně ze svých zařízení (včetně osobních počítačů, notebooků, smartphonů a PDA), například pomocí webového prohlížeče či klienta elektronické pošty. Je-li služba placená, pak uživatel neplatí za softwarovou licenci, ale za její užívání [6].

Mnoho uživatelů používá cloudové služby, aniž by si toho byli vědomi. Mezi největší poskytovatele cloudových řešení v Česku patří Seznam.cz či Uloz.to. Pokud se jedná o poskytovatele služeb elektronické pošty, poštovní schránky uživatelů jsou v cloudu. Mezi největší poskytovatele podnikových cloudů patří Microsoft (služba Azure), Amazon (Amazon Web Services), IBM a Google. Příjmy, kterých společnosti dosahují díky poskytování cloudových služeb, jsou vysoké a mají rostoucí charakter. Příjem za službu Azure byl po roce provozu 7,8 miliardy USD a čtvrtletně příjmy ze služby stoupají o téměř 25 %, což mělo velmi pozitivní dopad na akcie Microsoftu, které od srpna roku 2017 raketově vystřelily ze 72 dolarů za akcii na současných 101 dolarů za akcii [7].

V zásadě existuje dvojitý dělení cloud computingu podle toho:

- Jak jsou služby cloudu poskytovány (model nasazení)
- Jaký je charakter služby, kterou cloud poskytuje (distribuční model).

Model nasazení popisuje, jak je cloud poskytován a dělí se na:

- Veřejný (public cloud computing) – někdy je označován jako klasický model cloud computingu. Jedná se o schéma, v němž je poskytnuta a široké veřejnosti nabídnuta výpočetní služba, již napříč všemi klienty charakterizuje stejná nebo velmi podobná funkcionalita. Příkladem veřejného cloud computingu je např. Skype nebo Seznam.cz.
- Soukromý (private cloud computing) – cloud je provozován pouze pro organizaci, a to buď organizací samotnou, nebo třetí stranou. Příkladem privátního cloud computingu je kupř. hostovaný mailový server nebo hostovaná specializovaná aplikace, kde u jednoho poskytovatele je typicky 50 až 500 zákazníků.
- Hybridní (hybrid cloud computing) – hybridní cloud je kombinací veřejného a soukromého cloudu. Navenek hybridní cloudy vystupují jako jeden cloud, ale jsou propojeny pomocí standardizačních technologií.
- Komunitní (community cloud computing) – jedná se o model, kdy je infrastruktura cloudu sdílena mezi několika organizacemi, tedy skupinou lidí, kteří ji využívají. Tyto organizace může spojoval bezpečnostní politika, stejný obor zájmu apod.

Distribuční model

Vrstvy distribučního modelu vypovídají o tom, co je v rámci služby nabízeno – zda jde o software, hardware či jejich kombinaci.

- IaaS – infrastruktura jako služba (Infrastructure as a Service) – poskytovatel služeb se zavazuje poskytnout infrastrukturu. Typicky se jedná o virtualizaci. Hlavní výhodou tohoto přístupu je, že o veškeré problémy s hardwarem se stará poskytovatel. IaaS je vhodné pro ty, kteří vlastní software (či jejich licence) a nechtějí se starat o hardware.
- PaaS – platforma jako služba (Platform as a Service) – poskytovatel garantuje kompletní prostředky pro podporu celého životního cyklu tvorby a poskytování webových aplikací a služeb; to plně na internetu, bez možnosti stažení softwaru. Koncepce zahrnuje různé prostředky pro vývoj aplikací, jako jsou IDE nebo API, ale rovněž např. pro údržbu. Nevýhodou tohoto přístupu je proprietární uzamčení, kdy různí poskytovatelé mohou používat např. různé programovací jazyky. Příkladem poskytovatele PaaS je Google App Engine.
- SaaS – software jako služba (Software as a Service) – aplikace je licencována jako služba pronajímáná uživateli. Uživatelé si tedy kupují přístup k aplikaci, ne aplikaci samotnou. SaaS je ideální pro ty, kteří potřebují jen běžný aplikační software a požadují přístup odkudkoliv a kdykoliv. Příkladem může být sada aplikací Google Apps nebo v logistice známý systém Cargopass [8].

Slévárenské společnosti generují v rámci jednotlivých činnosti procesu výroby (například při tepelném zpracování odlitků) velké množství dat. Data musí být někde bezpečně uložena s možností automatických záloh, což řeší cloud computing. Slévárny se tak již nebudou muset zabývat investováním do rozsáhlých podnikových IT struktur a serverů. Pomocí virtualizace mohou slévárny užívat programy pro velmi složité výpočty, které nezaberou hodiny, ale vteřiny či maximálně jednotky minut. Možnosti využití jsou opravdu široké a záleží na konkrétní slévárně, jaké má požadavky.

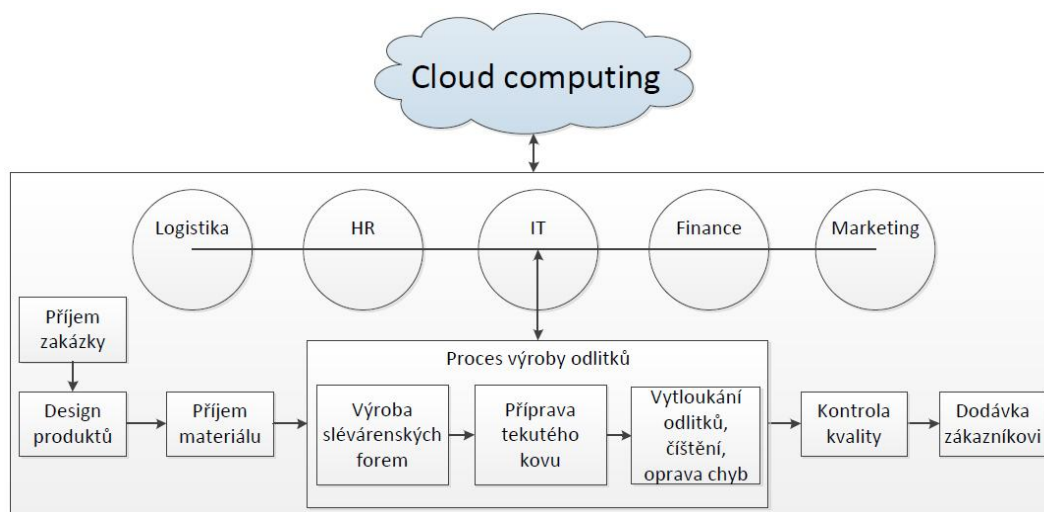
Obecně se ve slévárenském průmyslu začíná prosazovat využívání virtuálních PC, kde například na jednom serveru může běžet nezávisle na sobě několik virtuálních PC, z nichž každé řídí nějaký výrobní či jiný agregát (žihací pec, pásový dopravník apod.). Výhodou virtualizace je, že pro každý proces nemusí být vyčleněn samostatný počítač, který by musel procházet údržbou, musely by se za něj platit licenční poplatky, spotřeboval by energii a zároveň by bylo nutné sledovat jeho životnost a průběžně jej obnovovat. V praxi pak obvykle bývá podnik řízen pomocí lokálního serveru a zároveň existuje redundantně jeho obraz v cloudu, což umožňuje obnovu systému v případě jeho selhání. V praxi lze vidět i opačný přístup, kdy systém pracuje v cloudu a jeho obraz je na lokálním podnikovém serveru připraven k použití v případě výpadku.

Snazší je potom také zálohování dat, neboť většina poskytovatelů cloudových služeb automaticky všechna data zálohují (obvykle alespoň na dvě další místa, která jsou geograficky diferencovaná). Jinými slovy-se zálohováním dat není nutné si dělat starosti, a pokud přeci jen bude uživatel provádět lokální zálohu, bude se pravděpodobnost fatální ztráty dat limitně blížit nule [9].

3. KONCEPT DIGITÁLNÍ SLÉVÁRNY

Na obrázku číslo 1 lze vidět koncept virtuální slévárny, jenž zahrnuje všechny procesy reálného slévárenského podniku jdoucí v následujícím pořadí: Příjem zakázky, design produktů, příjem materiálu. Poté následuje hlavní proces výroby odlitků, jenž zahrnuje výrobu slévárenských forem, přípravu tekutého kovu, vytloukání odlitků, čištění a opravu chyb. Následuje kontrola kvality odlitků a dodávka finálních produktů zákazníkovi. Všemi těmito procesy neustále prostupují další procesy, mezi něž se řadí logistika, práce s lidskými zdroji, informační technologie, finance a marketing.

Jak již bylo zmíněno v předchozích kapitolách, virtuální slévárna bude velmi náročná na hardware. I proto autor tohoto článku doporučuje celou virtuální slévárnu provozovat v cloudu. Mezi doporučované služby se řadí například Microsoft Azure, Rackspace, Amazon Web Service či Google Compute Engine. Jako nejvhodnější distribuční cloud computingový model pro virtuální slévárnu se pak jeví IaaS neboli infrastruktura jako služba.



Obr. 1. Procesy virtuální slévárny [zdroj: vlastní zpracování]

4. ZÁVĚR

Autor tohoto článku by se chtěl v budoucnu zabývat virtualizací ve slévárenství. Dlouhodobým cílem je vytvořit návrh virtuální slévárny, což je aplikace principu digitálních podniků na slévárenské podniky. V předchozím textu se na základě dostupných literárních zdrojů podařilo vymezit teoretická východiska virtualizace ve slévárenství s napojením na moderní technologie cloud computingu. V aplikační části článku pak byly za pomoci jednoduchého diagramu prezentovány jednotlivé procesy, jenž bude virtuální slévárna zahrnovat. Autor by svůj návrh v budoucnu rád dále zpracoval nejen do podoby disertační práce, ale také komplexního hardwarového a softwarového řešení.

LITERATURA

- [1] PORTNOY, M.: Virtualization essentials. Indianapolis, Indiana: John Wiley & Sons, Inc, 2012. Serious skills. ISBN 978-1-118-17671-9. s. 2
- [2] REDAELLI, C., LAWSON, G., SACCO, M., Mirabelle D’ a CRUZ. DiFac: Digital Factory for Human Oriented Production System. Human-Computer Interaction [online]. 2009 [vid. 2019-04-09]. Dostupné z: doi:10.5772/7726
- [3] LAROSE, D. T., LAROSE, Ch. D.: Discovering knowledge in data: an introduction to data mining. 2. ed. Hoboken, NJ: Wiley [u.a.], 2014. Wiley series on methods and applications in data mining. ISBN 978-1-118-87357-1. s. 1
- [4] MAIXNER, L.: Mechatronika: učebnice. Brno: Computer Press, 2006. ISBN 978-80-251-1299-1. Str. 188
- [5] Digital factory for human oriented Production System | Projects | FP6 | CORDIS | European Commission [online]. [vid. 2019-04-09]. Dostupné z: <https://cordis.europa.eu/project/rcn/79403/factsheet/en>
- [6] FURHT, B., ESCALANTE, A.: ed. Handbook of cloud computing. New York: Springer, 2010. ISBN 978-1-4419-6523-3. s. 3
- [7] LYNLEY, M.: Microsoft's Azure revenue nearly doubled year-over-year in its second quarter. TechCrunch [online]. 31. leden 2018 [vid. 2018-06-02]. Dostupné z: <http://social.techcrunch.com/2018/01/31/microsofts-azure-revenue-nearly-doubled-year-over-year-in-its-second-quarter/>
- [8] BLOEDOW, S.: The 3 Layers That Define Cloud Computing [online]. 2016 [vid. 2018-06-02]. Dostupné z: <https://blog.thriveon.net/the-3-layers-that-define-cloud-computing>
- [9] FRIDRICH, M., TYKVA, T., ŠPIČKA, I., TREUTLEROVÁ, L.: Cloud computing a Průmysl 4.0. 2018, 2018(7–8). s. 272–276

Pokročilé metody přípravy vzorků TRIP ocelí a jejich zobrazování moderními technikami rastrovacího elektronového mikroskopu

Ambrož, O.¹⁾, Mikmeková, Š.¹⁾

¹⁾ Ústav přístrojové techniky Akademie věd České republiky, v.v.i., Královopolská 147, 612 64, Brno, ČR, ondrej@isibrno.cz

Klíčová slova

TRIP oceli, rastrovací elektronová mikroskopie, metalografie

Abstrakt

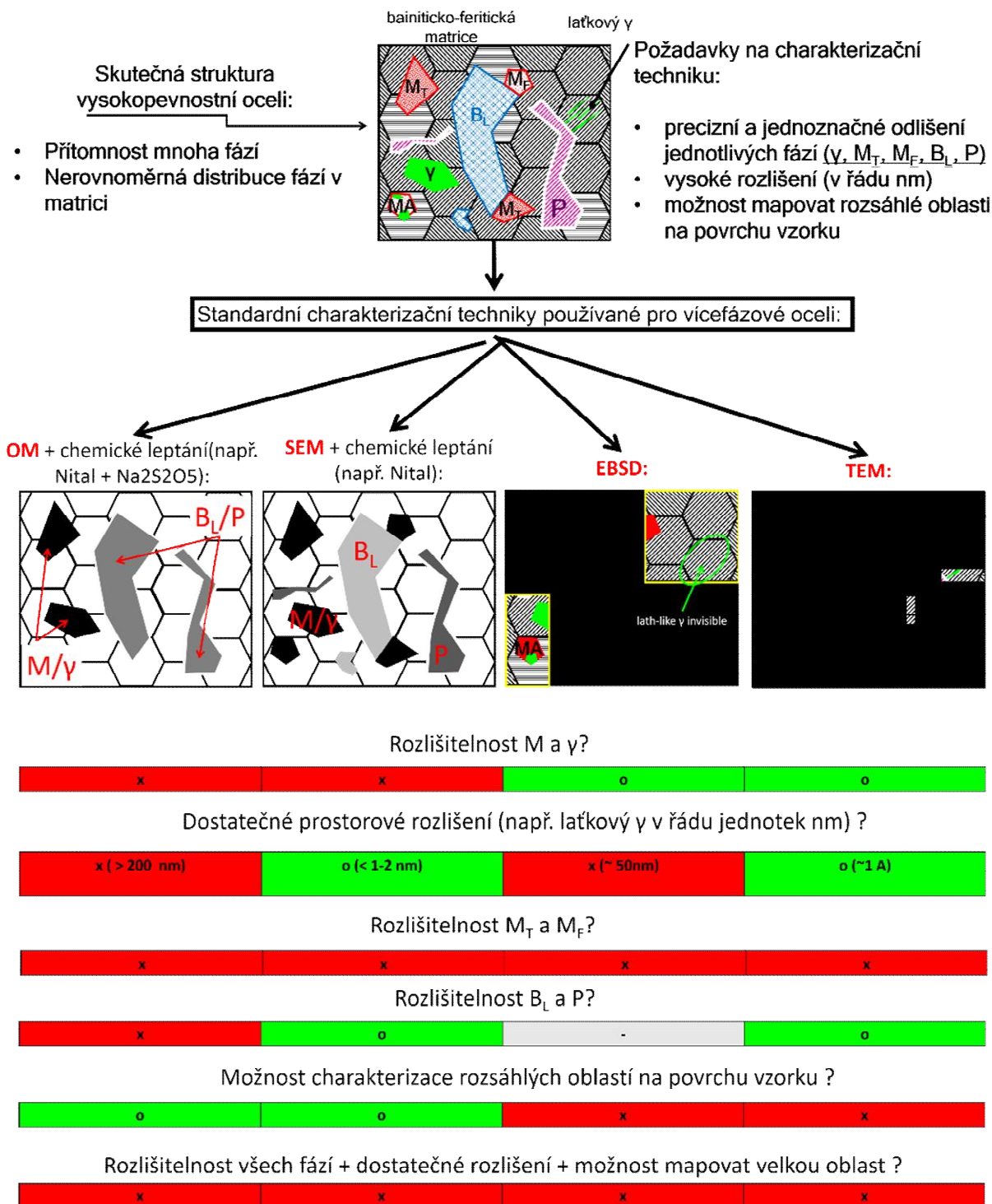
Vícefázové oceli, mezi něž patří i TRIP oceli, vynikají svými excelentními mechanickými vlastnostmi a nacházejí uplatnění v mnoha odvětvích, jako je například automobilový průmysl. Unikátnost těchto ocelí je dána především jejich multifázovou vnitřní strukturou, která umožňuje získat vhodnou kombinaci různých vlastností, jako například dosažení vysoké pevnosti se zachováním dobré tažnosti. Studium mikrostruktury takovýchto materiálů je velmi obtížné, především s ohledem na rozlišení jednotlivých fází. U současně vyvíjených TRIP ocelí, vyznačujících se přítomností nano-fází ve struktuře, běžné charakterizační techniky selhávají a vzniká poptávka po vývoji nových technik, které umožní precizní charakterizaci fází v nano-měřítku. V této práci bude demonstrován přínos moderní rastrovací elektronové mikroskopie pro charakterizaci jednotlivých fází ve vybrané TRIP oceli.

1. ÚVOD

Moderní multifázové oceli se vyznačují špičkovými mechanickými vlastnostmi, které jsou výsledkem unikátní mikrostruktury tvořené několika fázemi [1]. Charakterizace takovéto struktury je mimořádně složitá a v současnosti neexistuje žádná metoda, která by umožnila její precizní charakterizaci. **Obr. 1** v horní části zobrazuje náčrt struktury moderní vysokopevnostní oceli. Tato ocel obsahuje celou řadu fází, které jsou nehomogenně rozptýleny v matici. Velikost nejmenších fází je v řádu desítek, či dokonce jednotek nanometrů. Z těchto rozměrů vyplívají extrémně vysoké požadavky na charakterizační techniku. Ideální zobrazovací metoda by měla umožnit odlišení všech jednotlivých fází v obraze, nabízet vysokou rozlišovací schopnost (jednotky nm) a zároveň umožňovat dostatečně rychlé snímkování, což by umožnilo mapování rozsáhlé oblasti vzorků. Tyto požadavky momentálně nespĺňuje žádná ze standardně používaných technik. K charakterizaci fázového složení pokročilých ocelí se standardně využívají následující zobrazovací metody:

- Optická mikroskopie (OM) kombinovaná s chemickým leptáním povrchu – neumožňuje odlišit všechny fáze a nemá dostatečné rozlišení.
- Rastrovací elektronová mikroskopie (SEM) – dostatečné rozlišení, fáze nevykazují unikátní kontrast v obraze a nelze je všechny od sebe odlišit.
- Difrakce zpětně odražených elektronů (EBSD) v SEM – umožňuje identifikaci všech fází, ale nemá dostatečné rozlišení a není dostatečně rychlá pro analýzu velké oblasti.
- Transmisní elektronová mikroskopie (TEM) – poskytuje pouze lokální informaci a nevyhovuje o skutečnou strukturu materiálu.

Absence vhodné charakterizační techniky pro takto složité oceli představuje výraznou bariéru pro další vývoj a optimalizaci technologického zpracování.



Obr. 1. Náčrt reálné struktury vysokopevnostní oceli společně s výsledky obdržnými pomocí standardních technik: OM = optické mikroskopie, SEM = rastrovací elektronová mikroskopie, EBSD = difrakce zpětně odražených elektronů v SEM, TEM = transmisní elektronová mikroskopie. Fáze: γ = austenit, M_T = transformovaný martenzit, M_F = „fresh“ martenzit s vysokou hustotou dislokací, B_L = dolní bainit, P = perlit.

2. EXPERIMENT

2.1 Materiál a příprava

Jako experimentální materiál byla použita TRIP ocel, která je tvořena bainiticko-feritickou maticí s přítomností dalších fází, jako je martenzit a zbytkový austenit. Obsah zbytkového austenitu byl stanoven technikou rentgenové difrakce na 12,1 %. Zkušební materiál byl dodán

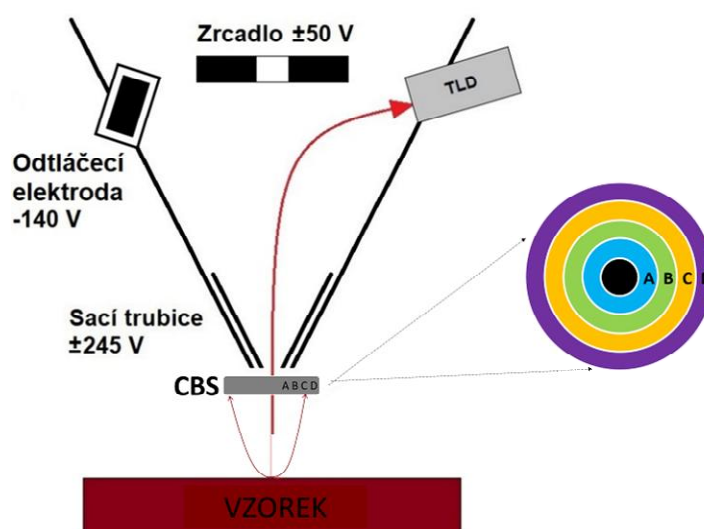
firmou JFE Steel Corporation (Kawasaki, Japan). Tento materiál byl rozřezán na dílčí vzorky tvaru čtverce o délce strany 9 mm a tloušťky 1 mm. Tyto vzorky byly připraveny klasickým postupem, kdy povrch vzorku byl před chemickým leptáním broušen a leštěn v několika krocích (finální krok: 1 μm velikost zrna diamantu). Mechanicky vyleštěné vzorky byly leptány v následujících leptadlech Nital, Picral, Kourbatoff no. 4, LePera a leptadlo No. 48, přičemž pro každé leptadlo byly individuálně zvoleny čtyři časy leptání [2]. Nejvhodnější experimentálně ověřené časy leptání a chemické složení leptadel je uvedeno v **Tab. 1**.

Tabulka 1. Chemické složení leptadel a optimální časy leptání

Název	chemické složení	čas
Nital 4 %	96 ml ethanol + 4 ml HNO ₃	3 s
Picral	100 ml ethanol + 4 g k. pikrová	10 s
Kourbatoff no 4.	100 ml Nital 4% + 10 ml Picral 4 %	10 s
LePera	100 ml vody + 1 g disiřičitan sodný 100 ml ethanol + 4 g k. pikrová	2 s
No. 48	100 ml vody + 10 g disiřičitan sodný	5 s (předleptáno 2 s Nítalem 2%)

2.2 Rastrovací elektronový mikroskop

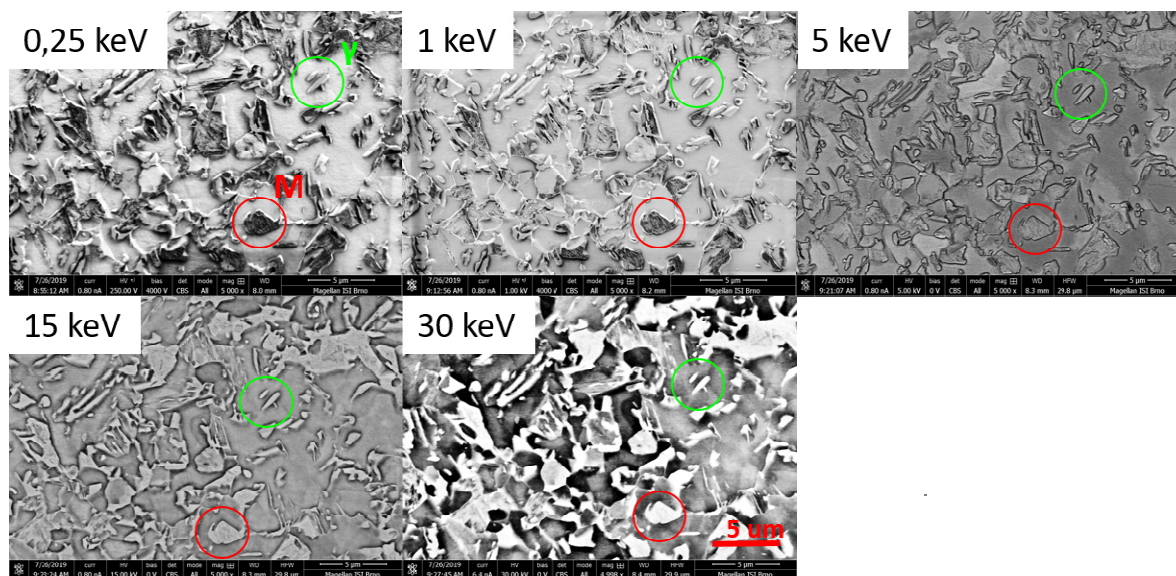
Pro studium mikro-(nano)-struktury TRIP oceli byl použit rastrovací elektronový mikroskop Magellan 400 L (Thermofisher Scientific) [3]. Tento mikroskop je vybaven pokročilým detekčním systémem **Obr. 2**. Mimo klasického ET detektoru sekundárních elektronů v komoře mikroskopu se zde nacházejí ještě dva další sofistikované detektory. Jeden z těchto detektorů je určen pro nízkoenergiové sekundární elektrony a nachází se v tubusu mikroskopu (TLD detektor). Druhý detektor je primárně určen pro detekci zpětně odražených elektronů (CBS detektor) a je situován v komoře vzorku přímo pod pólovým nástavcem. CBS detektor [4] se skládá ze čtyř kruhových segmentů (A, B, C a D), které mohou pracovat společně, nebo každý zvlášť. Při používání jednotlivých segmentů odděleně dochází k energiové a úhlové filtraci signálních elektronů. Mikroskop Magellan 400 L je rovněž vybaven systémem katodové čočky [5], který uživateli umožňuje používat velmi nízké dopadové energie primárních elektronů se zachováním vysoké detekční účinnosti. Princip katodové čočky je založen na zpomalování primárních elektronů pomocí elektrostatického pole tvořeném záporně nabitým vzorkem a uzemněným detektorem. Toto pole nejen zpomaluje primární svazek, ale také urychluje pomalé signální elektrony směrem k anodě tvořené detektorem, čímž je zaručen vysoký poměr signálu vůči šumu.



Obr. 2. Schéma detekčního systému Magellan 400 L

3. VÝSLEDKY A DISKUZE

Kontrast ve snímcích pořízených v rastrovacím elektronovém mikroskopu (SEM) je závislý na několika parametrech, jako je dopadová energie primárního svazku elektronů a detekční geometrie. Vliv dopadové energie primárních elektronů na kontrast v SEM mikrosnímčích je demonstrován na **Obr. 3**, kde je stejná oblast na povrchu vzorku zobrazena na energiích primárního svazku od 0,25 keV do 30 keV. Obecně platí, že se snižující se energií primárního svazku dochází ke zkracování inelastické volné dráhy elektronů ve vzorku a tedy ke zvyšování povrchové citlivosti. Vysoká povrchová citlivost je důležitá pro vizualizaci malých struktur, jako je například mikro- a nano-metrový zbytkový austenit.

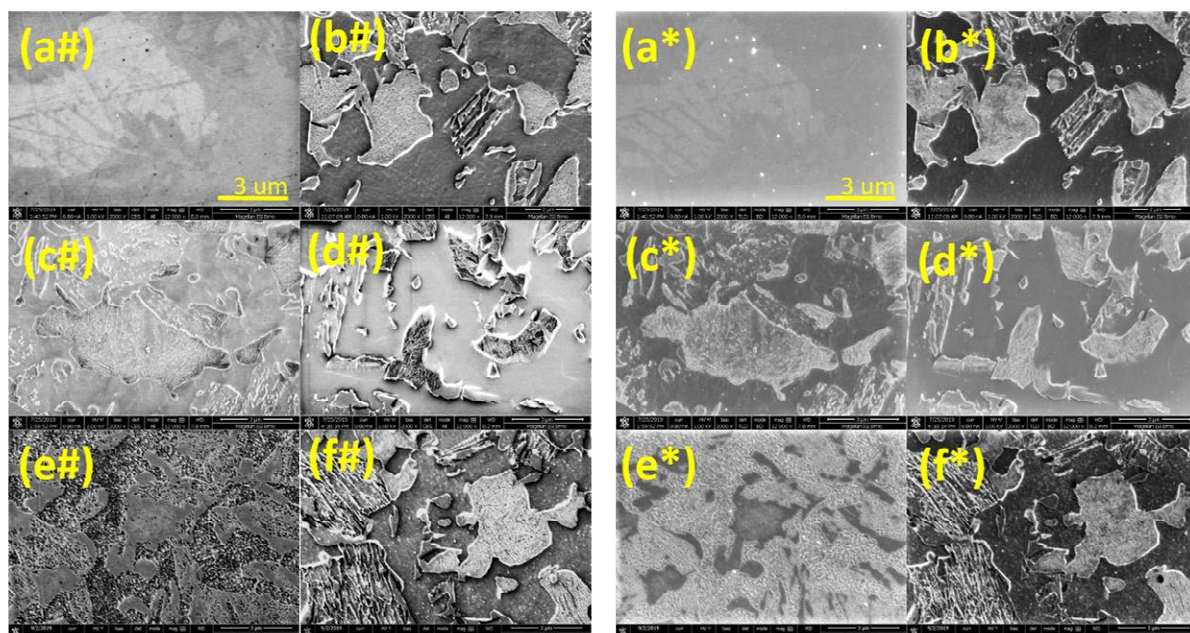


Obr. 3. Vliv dopadové energie primárního svazku elektronů na kontrast v SEM mikrosnímčích. Stejná oblast na povrchu vzorku je zobrazena na energiích 0, 25 – 30 keV. Fáze martenzitu (M) a zbytkového austenitu (γ) jsou vyznačeny červeným, resp. zeleným kruhem.

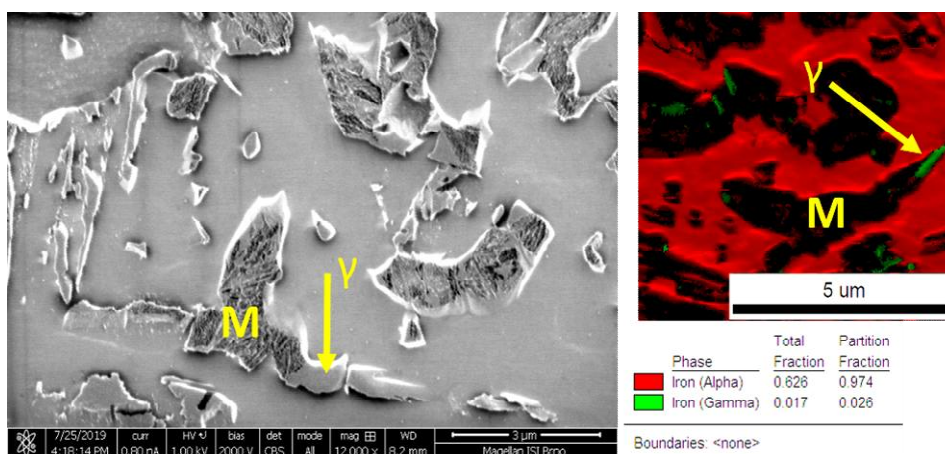
K zobrazení fází v TRIP oceli pomocí SEM bylo použito několik technik selektivního leptání **Obr. 4**. Povrch vzorků byl zobrazován na dopadové energii primárního svazku 1 keV, což zaručuje vysokou povrchovou citlivost. Ke zvýšení detekční efektivity bylo použito módu katodové čočky, kdy na povrch vzorku bylo přivedeno záporné předpětí o velikosti – 2 kV. Signál byl snímán simultánně pomocí dvou detektorů, a to CBS detektoru umístěného pod pólovým nadstavcem (snímky s označením #) a TLD detektoru nacházejícího se v tubusu mikroskopu (snímky s označením *). V dané detekční konfiguraci se detektory dělí o signální elektrony následujícím způsobem. CBS detektor detekuje elektrony s vyšší energií (tj. elastickou část signálního spektra) a TLD detektor sbírá pomalé (tj. in-elastické elektrony), které jsou stahovány směrem k optické ose silným elektrostatickým polem katodové čočky. Z tohoto plyne vyšší povrchová citlivost ve snímcích pořízených pomocí TLD detektoru a silný topografický kontrast v CBS snímcích. Vzorky byly připraveny pomocí různých technik selektivního leptání a kontrast v SEM snímcích je specifický pro každý jednotlivý vzorek. Vzorek (a) reprezentuje mechanicky vyleštěný povrch a jak je patrné, fáze nejsou viditelné. Vzorek (b) byl leptán v Nitalu po dobu 3 s, což vedlo k naleptání matrice a fází vystupujících z povrchu. Rozlišitelnost martenzitu a zbytkového austenitu není možná. Obdobných výsledků bylo dosaženo i s leptadly typu Picral (c) a No. 48 (f). K velmi agresivnímu leptání došlo v případě leptadla LePera, navzdory velmi krátkému času leptání 2 s.

Snímek pořízený TLD detektorem (e*) nicméně vykazuje velmi specifický kontrast v porovnání s ostatními leptadly a sekundární fáze jsou velmi jasně viditelné. Jako nejperspektivnější se ukázalo letadlo Kourbatoff no. 4 (d), které selektivně naleptalo matrici a v případě sekundárních fází bylo dosaženo možnosti rozlišit sekundární fáze na základě topografie. Povrch martenzitu je silně naleptán a je zviditelněna jehlicovitá struktura. Naopak austenit vykazuje hladký povrch. Detail je znázorněn na **Obr. 5**, kde lze porovnat rozdíl mezi sekundárními fázemi a zároveň porovnat SEM

snímek s odpovídající EBSD (Electron-Back-Scattered Diffraction) fázovou mapou. EBSD mapa neodpovídá předně SEM snímku, což je důsledek povrchových nerovností a náklonu vzorku při EBSD.



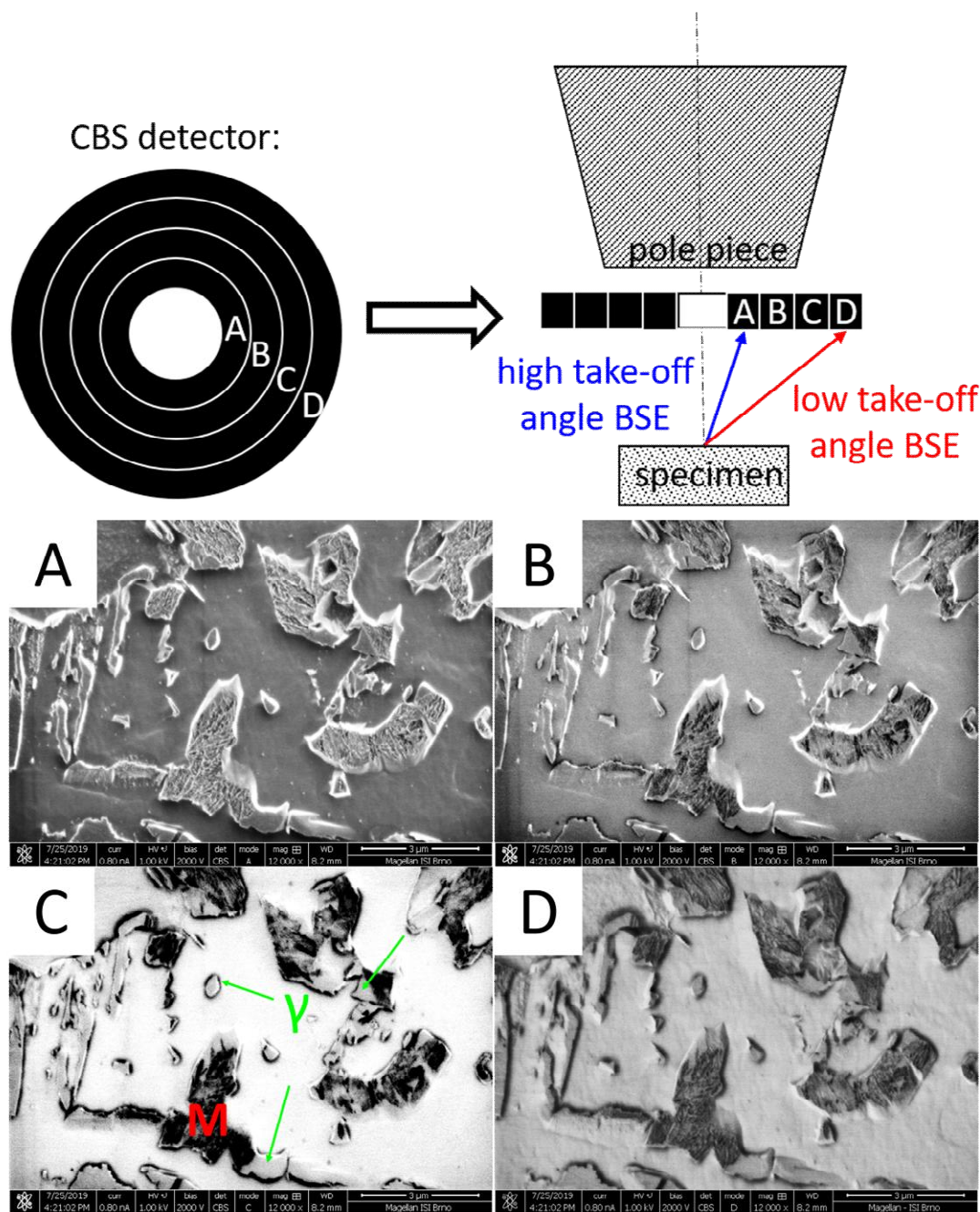
Obr. 4. SEM CBS (#) a odpovídající SEM TLD (*) mikrosnímky TRIP oceli získané při daném nastavení SEM instrumentu: primární energie svazku 3 keV, záporné předpětí na vzorku – 2 kV, finální dopadová energie primárních elektronů 1 keV, pracovní vzdálenost 8 mm, proud svazku 6.4 nA a zvětšení 12 kx. Vzorky byly připraveny následujícím způsobem: mechanické leštění (a), Nital 3 s. (b), Picral 10 s (c), Kourbatoff no 4. 10 s (d), LePera 2 s (e) a No. 48 5 s (f).



Obr. 5. CBS SEM mikrosnímek vzorku leptaného v leptadle Kourbatoff no 4. (10 s.) pořízený na dopadové energii svazku 1 keV, společně s odpovídající EBSD fázovou mapou.

Vzorek připravený leptáním v leptadle Kourbatoff no 4. byl dále pozorován pomocí CBS detektoru. Jak zmíněno výše, CBS detektor se skládá ze čtyř částí (A, B, C a D), které mohou být operovány samostatně, což umožňuje další velmi precizní energiovou a úhlovou separaci signálních elektronů. **Obr. 6** ukazuje čtyři souběžně pořízené snímky, každý jinou částí detektoru. Segment A je nejbližší optické ose a detekuje nízkoenergiové a vysoko-úhlové elektrony. Snímek A ukazuje silný topografický kontrast. Snímek D rovněž vykazuje topografickou citlivost, což je dáno detekcí nízko-úhlových signálních elektronů. Na rozdíl od snímku A, ve snímku D není přítomen hranový efekt. Velmi slibné výsledky ukazuje segment C detekující střední část energiového a

úhlového spektra signálních elektronů. V tomto snímku je možno rozlišit sekundární fáze nejen pomocí topografie, ale také pomocí kontrastu. Martenzit vykazuje tmavý kontrast.



Obr. 6. Energiově a úhlově filtrované SEM CBS snímky pořízené s dopadovou energií 1 keV.

4. ZÁVĚR

Kombinace pokročilých technik selektivního leptání TRIP ocelí a moderní rastrovací elektronové mikroskopie umožňuje precizní rozlišení jednotlivých fází s vysokým prostorovým rozlišením. Test řady klasických i méně obvyklých selektivních leptadel vedl k závěru, že pro potřeby rastrovací elektronové mikroskopie je nutné výrazně zkrátit čas leptání v porovnání s časy doporučenými pro mikroskopii optickou. Jako vysoce perspektivní se jeví leptání v leptadle Kourbatoff no. 4 a zobrazování povrchu vzorku pomocí úhlově a energiově filtrovaného signálu. Autoři děkují projektu TAČR Národní centrum kompetence č. TN01000008.

LITERATURA

- [1] Steel Definitions. *WorldAutoSteel* [online]. Avenue de Tervueren 270 – 1150 Brussels Belgium: WorldAutoSteel, 2018 [cit. 2018-11-22]. Dostupné z: <https://www.worldautosteel.org/steel-basics/automotive-steel-definitions/>
- [2] VANDER VOORT, George F. *Metallography, principles and practice*. Materials Park, Ohio: ASM International, 1999. ISBN 0-87170-672-5
- [3] DUFEK, M., FEI COMPANY. *Magellan 400L: User Operation Manual*. 1st Edition. 5350 NE Dawson Creek Drive, Hillsboro, OR 97124, 2011, 178 s. Copyright © 2011 by FEI Company
- [4] SAKIC, A., et al.: (2011). Solid-state backscattered-electron detector for sub-keV imaging in Scanning Electron Microscopy. In *ICT Open: Micro technology and micro devices SAFE* (pp. 1–4). Veldhoven: Technology Foundation STW
- [5] MÜLLEROVÁ, I., FRANK, L.: *Scanning Low-Energy Electron Microscopy* [online]. Elsevier, 2003, 309-443 [cit. 2018-10-22]. *Advances in Imaging and Electron Physics*. DOI: 10.1016/S1076-5670(03)80066-6. ISBN 9780120147700. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1076567003800666>

Historie simulace nestacionárního teplotního pole tuhoucích kovů při změně fáze a struktury

Kavička, F.¹⁾, Katolický, J.¹⁾, Štětina, J.¹⁾, Mauder, T.¹⁾, Klimeš, L.¹⁾

¹⁾ Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Technická 2, 616 69 Brno, ČR, kavicka@fme.vutbr.cz

Klíčová slova

Teplotní pole, skupenské teplo, fázová změna, termofyzikální vlastnosti, simulace, optimalizace, usměrněné tuhnutí, plynulé odlévání

Abstrakt

Tuhnutí a chladnutí gravitačně nebo plynule odlévaných kovů (především ocelí) je jeden z významných technologických průmyslových procesů. Představuje velmi komplikovaný nestacionární 3D přenos tepla a hmoty s vývinem skupenských tepel skupenských a fázových přeměn. I když budeme za rozhodující považovat přenos tepla vedením, je v soustavě odlitek – forma – okolí popsáno v případě gravitačního lití rovnicí Fourierovou, v soustavě předlitek – krystalizátor resp. předlitek – okolí v případě odlévání na ZPO (zařízení pro plynulé odlévání) rovnicí Fourier-Kirchhoffovou. Analytické metody mohou řešit pouze 1D, analogové metody 2D Fourierovu rovnici. V důsledku dřívější nedostupnosti digitálních počítačů byla Liebmannovou analogií optimalizována např. konstrukce 12 typů ocelářských kokil nebo krystalizace čistého hliníku. Později již k řešení tohoto problému byly použity numerické metody a digitální počítače, např. k analýze teplotního pole gravitačně litého hmotného válce pro válcování kolejnic se použil 3D software ANSYS založený na numerické metodě konečných prvků. K řešení teplotního pole ocelových předlitek na ZPO byl sestaven a úspěšně aplikován původní model, jehož základem je numerická metoda konečných diferencí s explicitním vyjádřením neznámé teploty, resp. entalpie. Model prokázal schopnost odlévání na ZPO optimalizovat.

1. ÚVOD

Tuhnutí a chladnutí kovů a slitin (ingotů nebo odlitek) ve slévárnách a hutích, probíhá-li při klasickém gravitačním lití ve formách, resp. v zařízení pro plynulé odlévání (ZPO), tak také současný ohřev formy, resp. krystalizátoru, je z hlediska přenosu tepla případ nestacionárního 3D přenosu tepla a hmoty. Jedná se tedy o velmi komplikovaný problém, který přesahuje možnosti exaktních metod. I přes snahu řešit zadaný úkol komplexně, ukazuje se nutnost rozdělit řešení na několik etap. V první z nich se aktuálně zaměřit v soustavě odlitek (ingot) – forma – okolí resp. předlitek – okolí jen na přenos tepla, při kterém se rozhodujícím způsobem uplatní vedení tepla (v odlitku vedení tepla s vnitřním zdrojem v podobě latentních tepel skupenských nebo strukturálních přeměn). Je prokázáno, že dosažené výsledky i přes toto zjednodušení za současné úrovně numerických metod, výpočetní techniky i odborných znalostí o procesu tuhnutí, jsou velkým přínosem pro technickou praxi a výrazným krokem kupředu [1].

Nestacionární vedení tepla v odlitku (předlitku) a ve formě (krystalizátoru) je popsáno parciální diferenciální rovnicí Fouriera (1), v případě radiálního plynulého odlévání Fourier-Kirchhoffovou rovnicí (2). Teplotní pole, jako souhrn okamžitých hodnot teploty ve všech bodech odlitku (ingotu) nebo formy a jeho utváření v průběhu celého procesu, je jedním z rozhodujících činitelů, které ovlivňují kvalitu („zdravost“) odlitku a tím kvalitu a hospodárnost výroby. V rovnicích (1) a (2) je T [K] teplota, τ [s] čas, λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] tepelná vodivost, ρ [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$], c [$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] měrná tepelná kapacita, Q_{source} [$\text{W}\cdot\text{m}^{-3}$] tepelný tok z vnitřního zdroje (skupenské teplo fázové nebo strukturální změny), x, y, z [m] hlavní souřadné osy, w_z [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] rychlost taveniny v hlavním směru proudění na ZPO.

$$\rho \cdot c \frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \dot{Q}_{source} \quad (1)$$

$$\rho \cdot c \frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \mathbf{q} \cdot \mathbf{c} \cdot \mathbf{w}_z \frac{\partial T}{\partial z} + \dot{Q}_{source} \quad (2)$$

V době nedostupnosti digitálních počítačů v ČSSR a nemožnosti aplikovat rychle se rozvíjející numerické metody ve vyspělých státech se hledaly zástupné způsoby simulace teplotních polí tuhoucích kovů a slitin [2]. Hlavní z nich zde budou uvedeny.

2. METODY ŘEŠENÍ TEPLOTNÍHO POLE

2.1 Metody analytické

Analytické metody [3–6] hledají řešení pouze jednorozměrné Fourierovy rovnice, a to ve většině případů pouze v odlitku. Zavádějí při tom neúnosné zjednodušující předpoklady, jak vyplývá z výčtu některých z nich: odlitek nebo forma jsou polonekonečné masivy, mezi formou a odlitkem je ideální fyzikální kontakt, teplota tuhnutí (krystalizace) t_{Kr} a teplota na styku odlitek-forma je konstantní, termofyzikální vlastnosti materiálu odlitku i formy jsou nezávislé na teplotě aj. Jednorozměrné řešení je výhodné pomocí Gaussovy chybové funkce $erf(x)$ resp. doplňkové chybové funkce $erfc(x) = 1 - erf(x)$, protože jejich hodnoty jsou tabelovány.

Ze známějších např. Neumannovo řešení [4] navazuje na tzv. „úlohu Stefana“ [7] o promrzání vlhké půdy. Polomasiv taveniny $x \in (-\infty; 0)$ o teplotě lití je ochlazován v důsledku náhlého poklesu povrchové teploty t_{lit} v čase 0 v bodě $x = 0$ na teplotu $t_0 = 0$ °C, která až do úplného ztuhnutí celého masivu zůstane konstantní (**Obr. 1**). Aktuální rozhraní mezi taveninou a tuhou fází o tloušťce $d\xi$ ve vzdálenosti ξ je rovinné.



Obr. 1. Tuhnutí polonekonečného odlitku podle Neumanna

Řešení jednorozměrných Fourierových rovnic psaných separátně pro teplotu tuhé fáze t_S (solid, index S , $x \leq \xi$) a pro teplotu taveniny t_L (liquid, index L , $x > \xi$) se předpokládá ve tvaru (3), ve kterém je zahrnut parabolický zákon tuhnutí pro ztuhlou kůru o tloušťce $\xi = f(\sqrt{a_L t})$, kde $a = \lambda/\rho c$ [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$] je teplotní vodivost, t [°C] teplota, A_N, B_N integrační konstanty.

$$t_S = A_N \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{a_S t}} \right) \quad t_L = t_{lit} + B_N \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{a_L t}} \right) \quad (3)$$

Rovnici tepelné bilance (4) pro fázové rozhraní o tloušťce $d\xi$, která je současně okrajovou podmínkou tzv. pátého druhu, ve které L [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$] je skupenské teplo fázové přeměny

$$\lambda_S \left(\frac{dt_S}{dx} \right)_{x=\xi} = \lambda_L \left(\frac{dt_L}{dx} \right)_{x=\xi} + L \rho_L \frac{d\xi}{d\tau} \quad (4)$$

Ize po dosazení derivací teploty podle souřadnice x a stanovených konstant A_N, B_N psát:

$$\frac{\exp(-s_N^2)}{\operatorname{erf}(s_N)} - \frac{\lambda_L}{\lambda_S} \sqrt{\frac{a_S}{a_L}} \frac{t_{\text{lit}} - t_{Kr}}{t_{Kr}} \frac{\exp\left(-\frac{a_S s_N^2}{a_L}\right)}{\operatorname{erfc}\left(\varepsilon_N \sqrt{\frac{a_S}{a_L}}\right)} = \frac{\sqrt{\pi} L \rho_L \varepsilon_N a_S}{\lambda_S t_{Kr}} \quad (5)$$

Kořen ε_N rovnice (5), ve které t_{Kr} je teplota tuhnutí (krystalizace), se řeší graficky a teploty pevné fáze t_S a taveniny t_L je možno potom vyjádřit vztahy (6):

$$t_S = \frac{t_{Kr}}{\operatorname{erf}(s_N)} \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{a_S \tau}}\right) \quad t_L = t_{\text{lit}} - \frac{t_{\text{lit}} - t_{Kr}}{\operatorname{erf}\left(\varepsilon_N \sqrt{\frac{a_S}{a_L}}\right)} \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{a_S \tau}}\right) \quad (6)$$

C. Schwarz [8] rozšířil Neumannovo řešení i o jednorozměrnou analýzu teplotního pole formy, ve které odlitek tuhne. Neumannův polomasiv taveniny se tedy rozšíří o polomasiv formy $x \in (-\infty; 0)$. Obě poloohraňčená tělesa přijdou v čase $\tau = 0$ v bodě $x = 0$ o teplotě $t_0 = 0$ °C do náhlého ideálního fyzikálního kontaktu, který bude zajištěn až do okamžiku úplného ztuhnutí taveniny (**Obr. 2**). I zde platí rovnice tepelné bilance (4).

Po dosazení derivací teploty podle x a další úpravě lze psát rovnici (7) analogickou k rovnici (5). Kořen ε_C se opět řeší graficky.

$$\frac{\lambda_f \sqrt{a_S} \exp(-s_N^2)}{\lambda_S \sqrt{a_f} + \lambda_f \sqrt{a_S} \operatorname{erf}(\varepsilon_C)} - \frac{\lambda_L}{\lambda_S} \sqrt{\frac{a_S}{a_L}} \frac{t_{\text{lit}} - t_{Kr}}{t_{Kr}} \frac{\exp\left(-\varepsilon_C^2 \frac{a_S}{a_L}\right)}{\operatorname{erfc}\left(\varepsilon_C \sqrt{\frac{a_S}{a_L}}\right)} = \frac{\sqrt{\pi} L \rho_L \varepsilon_C a_S}{\lambda_C t_{Kr}} \quad (7)$$

Po zavedení součinitelů tzv. tepelné akumulace $b = \sqrt{\lambda \rho c}$ pro solid, likvid a formu (index F) a po uplatnění vztahu pro konstantu tuhnutí $k = 2\varepsilon_C \sqrt{a_S}$ [m.h^{1/2}] dostane rovnice (7) tvar (8), ve kterém ji publikoval Chvorinov [9]:

$$b_S \frac{\exp\left(-\frac{k^2}{4a_S}\right)}{\frac{b_S}{b_F} + \operatorname{erf}\left(\frac{k}{2\sqrt{a_S}}\right)} t_{Kr} - b_L \frac{\exp\left(-\frac{k^2}{4a_L}\right)}{1 - \operatorname{erfc}\left(\frac{k}{2\sqrt{a_L}}\right)} (t_{\text{lit}} - t_{Kr}) = \frac{\sqrt{\pi} L \rho_L k}{2} \quad (8)$$

Teploty solidu a likvidu, navíc i teplotu formy t_F lze vyjádřit pomocí vztahů (9):

$$t_S = \frac{t_{Kr}}{\frac{b_S}{b_F} \operatorname{erf}\left(\frac{k}{2\sqrt{a_S}}\right)} \left[\frac{b_S}{b_F} + \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{a_S \tau}}\right) \right]$$

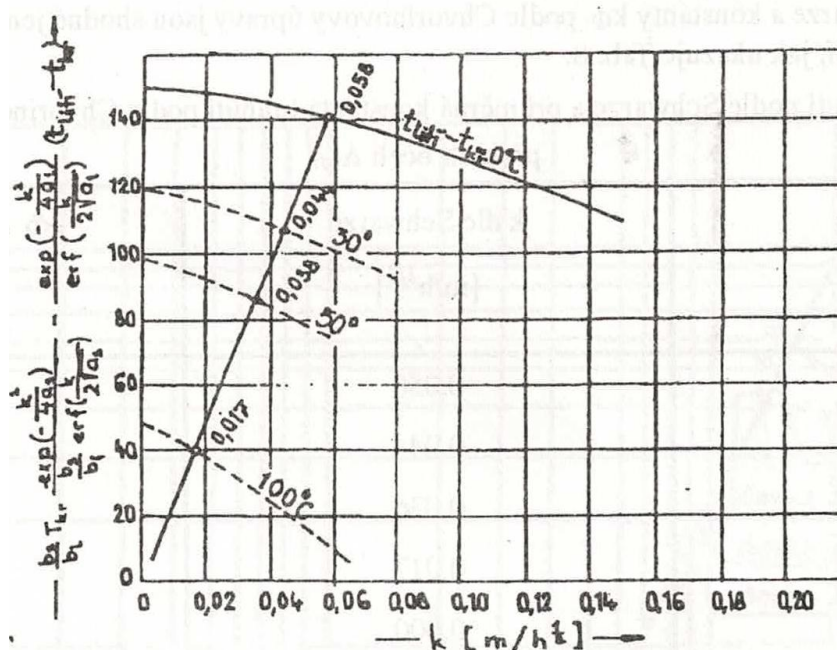
$$t_L = t_{\text{lit}} - \frac{t_{\text{lit}} - t_{Kr}}{\operatorname{erfc}\left(\frac{k}{2\sqrt{a_L}}\right)} \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{a_L \tau}}\right)$$

$$t_F = \frac{t_{Kr}}{1 + \frac{b_S}{b_F} \operatorname{erf}\left(\frac{k}{2\sqrt{a_S}}\right)} \left[1 + \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{a_F \tau}}\right) \right] \quad (9)$$

Konstanta tuhnutí k se jako v předchozích případech řeší z rovnice (8) graficky. Levá strana rovnice (8) je rovnice křivky, pravá strana rovnice přímkou. **Tab. 1** shrnuje termofyzikální vlastnosti oceli a písku do rovnice (8), které použil Chvorinov. Teplotu krystalizace oceli zvolil $t_{Kr} = 1465$ °C, teplotu lití volil ve čtyřech různých hodnotách, 1465, 1495, 1515 a 1565 °C. Grafické stanovení čtyř různých konstant tuhnutí v pískové formě pro přehřátí $t_{\text{lit}} - t_{Kr} = 0, 30, 50$ a 100 °C přináší **Obr. 3**. Skupenské teplo tuhnutí oceli je $L = 268$ kJ.kg⁻¹.

Tabulka 1. Termofyzikální vlastnosti do rovnice (8) podle Chvorinova

Materiál	λ	c	ρ	a	b
	kcal/mhK W/mK	kcal/kgK kJ/kgK	kg/m ³	m ² /h m ² /s	kcal/m ² Kh ^{1/2} kJ/m ² Ks ^{1/2}
tuhá ocel	25	0,165	7500	0,0202	176
	29,5	0,69		5,656.10 ⁻⁶	12,3
tekutá ocel	20	0,2	7000	0,0143	167
	23,2	0,835		3,972 ..10 ⁻⁶	11,65
forma (písek)	0,65	0,26	1730	0,0014	17,1
	0,755	1,09		3,88.10 ⁻⁷	1,19



Obr. 3. Grafické řešení konstanty tuhnutí k v pískové formě z rovnice (8) dle Chvorinova

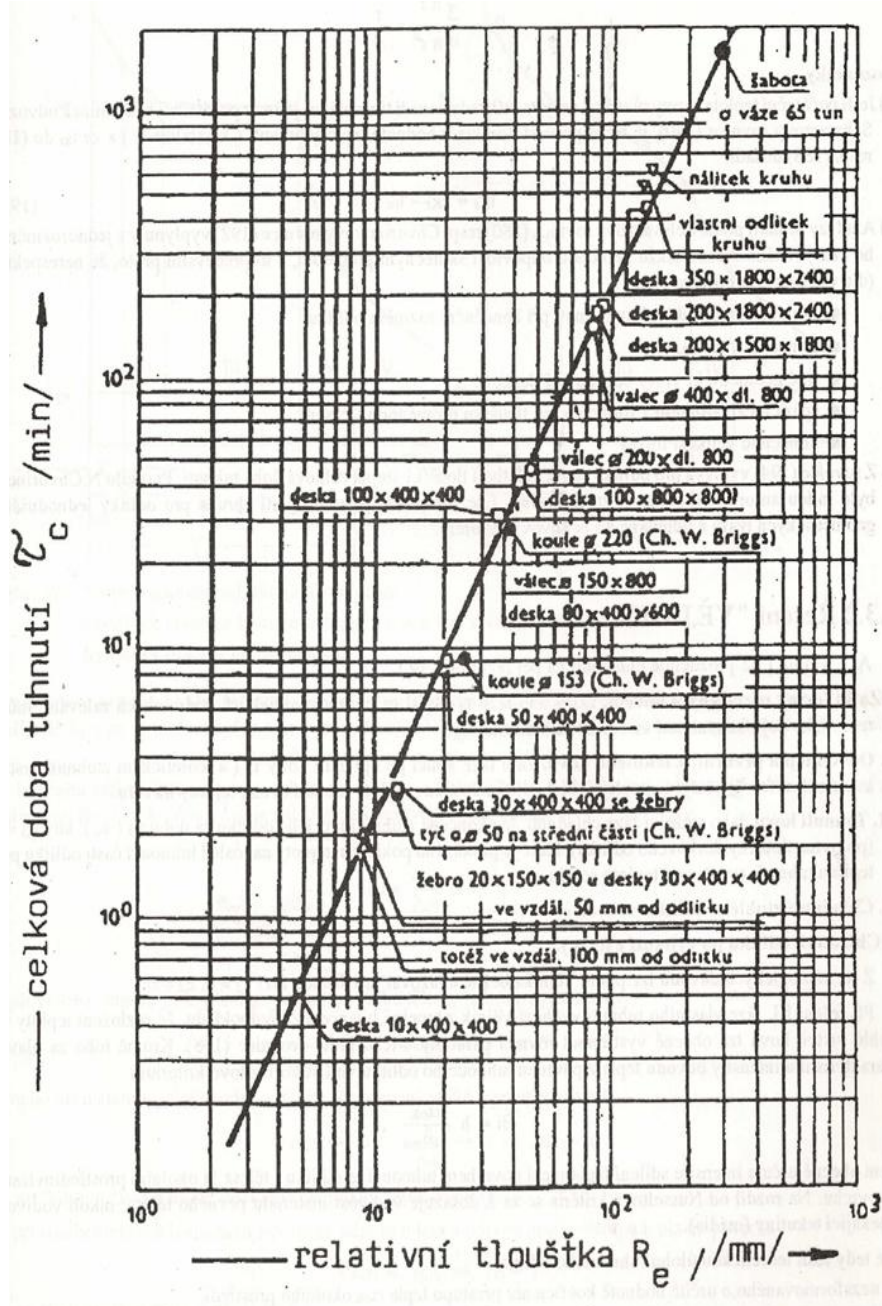
Podle Chvorinova platí Schwarzovo řešení pouze na počátku tuhnutí a proto rovnici tepelné bilance (8) korigoval přesunem vlivu přehřátí na pravou stranu rovnice a tím zvětšením hodnoty skupenského tepla fázové přeměny. Zavedl průměrnou konstantu tuhnutí k_ϕ (10).

$$\frac{b_S}{b_L} \frac{\exp\left(\frac{k_\phi^2}{4a_S}\right)}{b_S + \operatorname{erf}\left(\frac{k_\phi}{2\sqrt{a_S}}\right)} t_{Kr} = \frac{[L + c_L(t_{LH} - t_{Kr})]\sqrt{\pi\rho L}}{2b_L} k_\phi \quad (10)$$

Konstanta k_ϕ platí pro polonekonečný deskový odlitek o tloušťce $2h$; parabolický zákon tuhnutí lze psát ve tvaru $h = k_\phi \sqrt{\tau_C}$, kde τ_C je čas úplného ztuhnutí. Chvorinov svou úvahu ještě rozšířil a zavedl pojem „relativní tloušťka odlitku“ nebo „tloušťkový ekvivalent Re [m]“ jako poměr objemu odlitku V k jeho celkovému povrchu S , pro který platí

$$Re = \left(\frac{V}{S}\right)_{\text{odlitku}} = k_{CH} \sqrt{\tau_C} \quad (11)$$

Vztah (11), ve kterém k_{CH} [$m \cdot s^{-1/2}$] je Chvorinova konstanta, doložil jeho autor rozsáhlými experimentálními měřeními a publikoval v grafické podobě v logaritmických souřadnicích (Obr. 4.), dodnes citované ve světové literatuře [8].



Obr. 4. Závislost celkové doby tuhnutí na relativní tloušťce odlitku

Znalost základního analytického řešení teplotního pole tuhoucích (krystalizujících) odlitků, ingotů nebo předlitků při tuhnutí je nutná pro hlubší pochopení zákonitostí tuhnutí a pro posouzení způsobů simulace.

2.2 Metody experimentální

2.2.1 Metody přímé

Vylévací zkouška je jedna z dříve používaných přímých experimentálních metod. Po vylití tekutého jádra odlitku (ingotu) a po rozřezání ztuhlé kůry se zjistí tloušťka horizontálně i vertikálně ztuhlé vrstvy. Používala se pro zjišťování průběhu tuhnutí kovů nebo slitin v místech styku s různými materiály formy nebo izolace. Byla nevhodná pro slitiny s širokým pásmem tuhnutí.

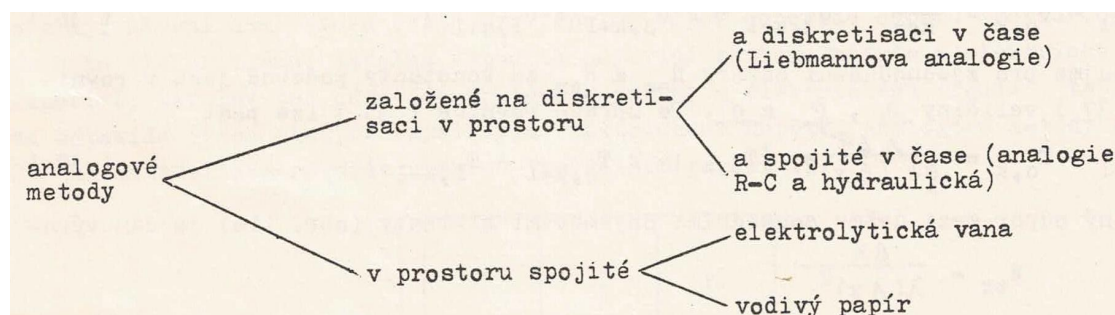
2.2.2 Metody nepřímé

Z nepřímých metod lze např. uvést metodu modelování lehkou tavitelnými materiály [10]. Metoda umožňuje odlít a rozřezat model tvarově shodný se zkoumaným kovovým objektem a sledovat vliv různých technologických postupů na velikost a polohu staženin, sledovat rozdíly průběhu tuhnutí v jednotlivých průřezích vizuálně nebo různě zbarvenou modelující hmotou. Při modelování je třeba uplatnit teorii podobnosti. Modelování se provádělo nejčastěji stearinem nebo parafinem.

Metoda měření teplot především pomocí termočlánků se jako metoda nepřímá používá dodnes, nyní však k ověření nebo upřesnění moderních numerických metod řešení teplotního pole.

2.3 Metody analogové

Podstatou analogových metod je formální shoda mezi rovnicemi popisujícími některé fyzikální jevy různých oborů. Jediná soustava rovnic tak může vyjadřovat ten či onen analogický děj podle toho, přisoudíme-li symbolům ten či onen význam. Proto se analogie nazývá též matematická podobnost [11]. Současně však musí být zachována i podobnost geometrická a podobnost počátečních i okrajových podmínek řešení. Velký praktický význam analogie je v tom, že průběhu jednoho fyzikálního děje lze vyvozovat závěry pro průběh děje druhého – analogického. Přehled analogových metod přináší **Obr. 5**.



Obr. 5. Přehled analogových metod

Teplné jevy lze sledovat např. v soustavě hydraulické a ve dvojí soustavě elektrické [12–15], R – C (odpor – kapacita) analogii a novější R – R analogii (tzv. Liebmannově analogii odporové sítě). Schéma alespoň těchto tří typů analogií je na **Obr. 6.**, analogické rovnice dokládají vztahy (12).

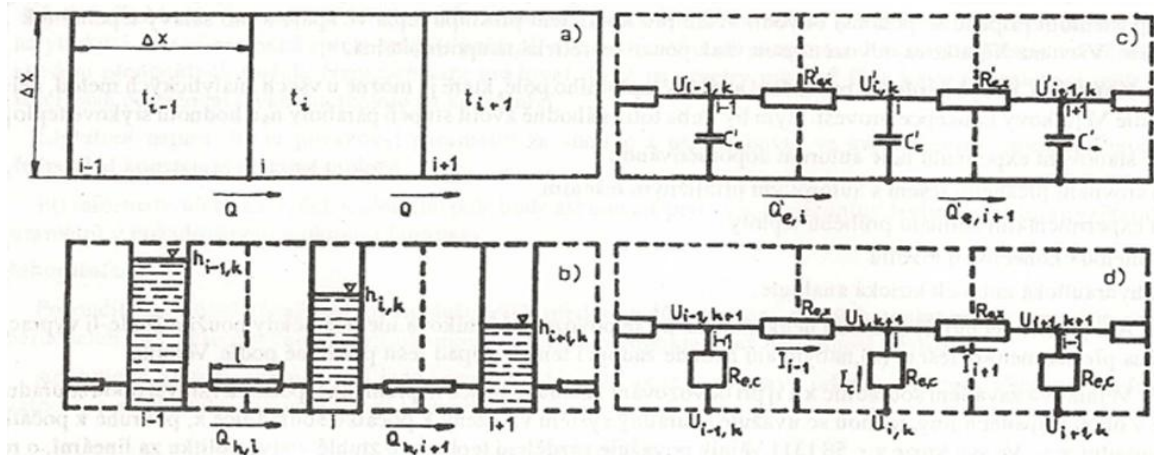
$$t_{i,k+1} - t_{i,k} = \frac{\alpha \Delta \tau_k}{(\Delta x)^2} (t_{i-1,k} - 2t_{i,k} + t_{i+1,k})$$

$$h_{i,k+1} - h_{i,k} = \frac{\Delta \tau_k}{S_h L_h} (t_{i-1,k} - 2h_{i,k} + h_{i+1,k})$$

$$U'_{i,k+1} - U'_{i,k} = \frac{\Delta \tau_k}{R_{ser} C_g} (U'_{i-1,k} - 2U'_{i,k} + U'_{i+1,k}) \quad (12)$$

$$U_{i,k+1} - U_{i,k} = \frac{R_{ec}}{R_{ex}} (U_{i-1,k+1} - 2U_{i,k+1} + U_{i+1,k+1})$$

$$\frac{R_{ec}}{R_{ex}} = \frac{\alpha \Delta \tau_t}{(\Delta x)^2}$$



Obr. 6. Schéma modelování teplotního pole v soustavě hydraulické, elektrické R–C (odpor – kapacita) a elektrické R–R (Liebmannově odpor – odpor)

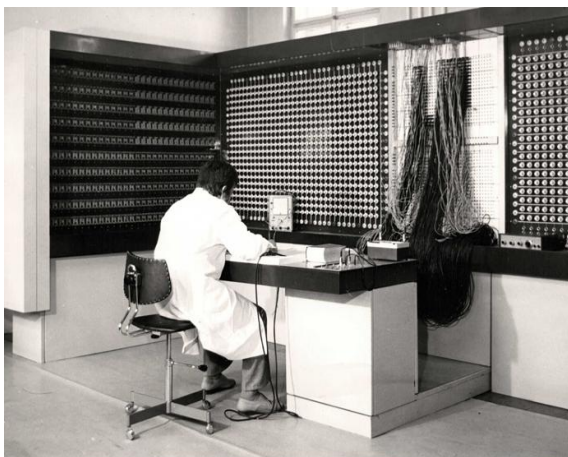
Na základě Fourierova zákona lze psát změnu teploty v uzlu i za časový krok $\Delta \tau_t$ (mezi časy $k + 1$ a k) způsobenou vedením v jednorozměrném směru x tepelné soustavy podle první rovnice vztahů (12); tomu analogicky odpovídá podle druhé rovnice změna výšky hladiny v nádrži i za časový krok $\Delta \tau_h$, podle třetí rovnice změna napětí v obvodu s kondenzátory v uzlu i za časový krok $\Delta \tau_e$. Ze čtvrté rovnice vztahů (12) vyplývá, že změna napětí v obvodu s ohmickými odpory v uzlu i nezávisí na časovém kroku ani době vlastního modelování. Proto se Liebmannově analogie říká též analogie s neskutečným časem.

Ze vztahů (12) vyplývají analogické veličiny u těchto tří analogií: Tepelný odpor odpovídá hydraulickému nebo elektrickému odporu, tepelná kapacita odpovídá průřezu nádrže nebo elektrické kapacitě kondenzátoru; teplota odpovídá výšce sloupce kapaliny nebo elektrickému napětí; tepelný tok odpovídá průtoku kapaliny nebo elektrickému proudu. Analogové metody tak vlastně řeší matematické rovnice fyzikálním pokusem. Lze je mimo jiné rozdělit podle toho, zda pracují s kontinuálně probíhajícím skutečným časem nebo, jak již bylo uvedeno, s neskutečným časem. U první skupiny, do které patří hydraulický a elektrický R–C analogon, se na modelu průběh veličiny analogické teplotě (tj. výška sloupce nebo napětí v uzlu) mění spojitě jako funkce času, který může být v určitém poměru zrychlen nebo zpomalen vůči času skutečného tepelného děje, nikoli však zastaven. Výšky sloupců nebo napětí musí být zaznamenán ve všech nádržích nebo uzlech sítě v požadovaných okamžicích zároveň, nejlépe fotograficky. U R–R elektrické analogie s neskutečným časem získáváme napětí odpovídající teplotě v jednotlivých uzlech v jednotlivých časových krocích $\Delta \tau_t$, totožných dle vztahu (13) s časovými kroky děje modelovaného. Napětí v novém okamžiku řešení je nezávislé na době, za kterou přestavíme model z předcházejícího časového kroku do následujícího. Modelování lze přerušit případně vrátit i o několik kroků zpět.

2.3.1 Liebmannův analogon R-R

Pro praktická řešení byla jako nejvhodnější ve své době vyhodnocena a zvolena Liebmannova elektrická analogie [15], protože v síti obsahuje pouze ohmické odpory (dostatečně konstantní), které simulují i tepelnou kapacitu. V r. 1969 proto byl ve SVÚM-VSL Brno postaven analogon R-R k řešení dvourozměrných teplotních polí tuhoucích odlitků a ingotů ve slévárnách a hutích (**Obr.**

7.) vzhledem k nedostupnosti digitálních počítačů v té době a nemožnosti tak aplikovat metody numerické [2].



Obr. 7. Analogový počítač SVÚM-VSL Brno

Řešení konkrétního zadání spočívalo:

a) ve shromáždění termofyzikálních vlastností materiálu tuhacího kovu (slitiny) a materiálu formy nebo krystalizátoru, a to i v závislosti na teplotě. To je tepelné vodivosti λ [$\text{Wm}^{-1} \text{K}^{-1}$], hustoty ρ [kg m^{-3}], měrné tepelné kapacity c [$\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$]; pro kov i jeho skupenské teplo tuhnutí L [J kg^{-1}], teplota krystalizace t_{kr} , u slitiny teplota likvidu t_{likv} a teplota solidu t_{sol} .

b) v definici počátečních a okrajových podmínek řešení, tj. ve stanovení koeficientů přenosu tepla α [$\text{Wm}^{-2} \text{K}^{-1}$] zahrnujících proudění i sálání na všech povrchových plochách tuhacího útvaru i formy

c) ve výběru charakteristického řezu tuhacím objektem, aby výsledný tepelný tok kolmý na rovinu řezu byl nulový

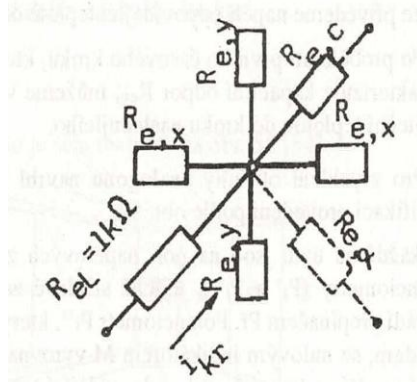
d) v návrhu 2D výpočtové sítě a ve výpočtu tepelných odporů ve směru os x a y (R_{tx} , R_{ty}) v případě válcového tvaru ve směru axiálním a radiálním, v návrhu kroku řešení $\Delta\tau_i$ a ve výpočtu kapacitních tepelných odporů (R_{tc}), odporů modelujících okrajové podmínky (R_{ta}), ve výpočtu hmotnosti výpočtových objemů a výpočtu skupenského tepla vyvinutého těmito objemy; uvažujeme-li rovnoměrnou síť ($\Delta x = \Delta y$), jsou tyto tepelné odpory dány vztahy (13).

$$\begin{aligned} R_{tx} &= \frac{\Delta x}{\lambda(\Delta x)^2} [\text{K} \cdot \text{W}^{-1}] & R_{ty} &= \frac{\Delta y}{\lambda(\Delta y)^2} [\text{K} \cdot \text{W}^{-1}] \\ R_{tc} &= \frac{\Delta\tau_t}{\rho c(\Delta x)^3} [\text{K} \cdot \text{W}^{-1}] & R_{ta} &= \frac{1}{\alpha \Delta x \Delta y} [\text{K} \cdot \text{W}^{-1}] \end{aligned} \quad (13)$$

e) v návrhu přepočtených koeficientů k_Ω , k_U , k_I mezi analogickými veličinami tepelného děje a jeho R–R modelu (14)

$$k_\Omega = 3 \cdot 10^3 [\Omega \cdot \text{W} \cdot \text{K}^{-1}] \quad k_U = 1 \cdot 10^{-3} [\text{V} \cdot \text{K}^{-1}] \quad k_I = \frac{k_U}{k_\Omega} = 1/3 \cdot 10^{-6} [\text{A} \cdot \text{W}^{-1}] \quad (14)$$

f) v provedení vlastního modelování a jeho vyhodnocení



Obr. 8. Schéma nastavení modelujících elektrických odporů v obecném uzlu sítě

Elektrické odpory modelující tepelné odpory z rovnice (13) se stanoví $R_e = k_\Omega R_t$ [Ω]. Při rozpojené elektrické síti se ve všech uzlech sítě nastaví hodnoty všech elektrických odporů R_{ex} , R_{ey} , R_{ec} a počáteční napětí odpovídající počáteční teplotě. Ve všech povrchových uzlech, které jsou v kontaktu s okolím, se nastaví odpor proti přenosu tepla na tento povrch a na jeho vnější konec se přivede napětí odpovídající konstantní teplotě okolí (**Obr. 8.**). Po proběhnutí prvního časového kroku řešení, který se realizuje sepnutím sítě a jehož délku $\Delta\tau_t$ charakterizuje elektrický kapacitní odpor $R_{ec} = k_\Omega R_{tc}$, lze v každém uzlu odečítat teplotu (napětí) na konci tohoto kroku. Ta bude počáteční do kroku následujícího. Jakmile kterýkoli uzel tuhnutí kovu o objemu ΔV dosáhne napětí odpovídající teplotě krystalizace $U_{kr} = k_{U.tkr}$, je udržováno na konstantní hodnotě dodáním elektrických proudů i_{kr} z vnějších proudových zdrojů analogonu v jednotlivých časových krocích tak, aby součet proudů z jednotlivých kroků byl roven I_{kr} (15). Tento součet musí hlídat obsluha analogonu. Protože na číslicovém voltmetru nebylo možné odečítat hodnoty elektrického proudu, proud modelující vývin latentního tepla se přiváděl do příslušného uzlu přes jednotkový odpor-normál $1k\Omega$, zabudovaný v ovládacím stole analogonu.

$$I_{kr} = \sum i_{kr} = k_L \cdot \frac{L \cdot \rho \cdot \Delta V}{\Delta \tau_t} \quad (15)$$

Analogová metoda se použila především k výpočtu teplotních polí soustav ocelářský ingot-kokila-okolí. Byla úspěšně optimalizována konstrukce 12 typů ocelářských kokil s významným prodloužením jejich životnosti [16–19]. Byla též využita k řešení projektů základního výzkumu, např. k optimalizaci krystalizace 99,99 % Al při návrhu krystalizátoru s axiálně usměrněnou sloupkovitou strukturou (lopatka rotoru plynové turbíny vojenského proudového letounu [20]

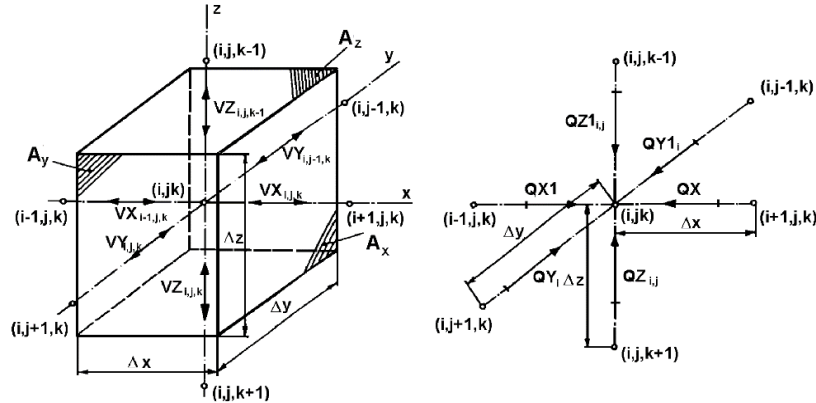
2.4 Metody numerické

Numerické řešení 3D teplotních polí tuhoucích kovů bylo ve SVÚM-VSL možné až začaly být běžně dostupné matematické stroje označené ADT (analogovo-digitální technika) vyráběné ve Výzkumném ústavu matematických strojů v ZPA Trutnov jako „klony“ počítačů společnosti Hewlett-Packard (např. ADT 4130 alias HP 2100). Při tvorbě původního 3D numerického modelu, jehož základem je explicitní diferenční metoda (metoda sítě) a zavedení funkce entalpie do Fourierovy resp. Fourier-Kirchhoffovy rovnice, se využilo zkušeností získaných s inženýrsky názornou R–R analogií, která je vlastně analogovou realizací implicitní numerické metody a spojuje její výhody s možností získat řešení explicitně [1].

2.4.1 Náznak sestavení modelu řešení teplotního pole tuhnutí předlitku na ZPO

Původní numerický 3D model teplotního pole krystalizátoru, řešící rovnici (1) i model vlastního předlitku, řešící rovnici (2) je založen na numerické metodě konečných diferencí s explicitním vyjádřením neznámé teploty obecného uzlu sítě (i, j, k) v následujícím časovém kroku ($\tau + \Delta\tau$), který

je funkcí teplot téhož uzlu a šesti uzlů sousedních v soustavě kartézských souřadnic v předchozím časovém kroku τ (**Obr. 9**). Model respektuje nelinearitu úlohy, tj. závislost termofyzikálních vlastností všech materiálů soustavy a závislost koeficientů přenosu tepla na teplotě všech povrchových ploch. Zahrnuje automatickou generaci výpočtové sítě (pre-processing) i vyhodnocení výsledků (post-processing).



Obr. 9. Schema tepelné bilance obecného uzlu výpočtové sítě (i, j, k)

Vektory tepelných vodivostí VX , VY and VZ [$W \cdot K^{-1}$] ve směru hlavních os jsou v rovnicích (16):

$$VX_{i,j,k} = \lambda_i \frac{A_x}{\Delta x} \quad VX_{i-1,j,k} = \lambda_{i-1} \frac{A_x}{\Delta x} \quad (16a)$$

$$VY_{i,j,k} = \lambda_j \frac{A_y}{\Delta y} \quad VY_{i,j-1,k} = \lambda_{j-1} \frac{A_y}{\Delta y} \quad (16b)$$

$$VZ_{i,j,k} = \lambda_k \frac{A_z}{\Delta z} \quad VZ_{i,j,k-1} = \lambda_{k-1} \frac{A_z}{\Delta z} \quad (16c)$$

Tepelné toky $\dot{Q}X$, $\dot{Q}Y$ a $\dot{Q}Z$ [W] elementárním objemem ve směru hlavních os:

$$\dot{Q}X = VX_{i,j,k} (T_{i+1,j,k}^{(\tau)} - T_{i,j,k}^{(\tau)}) \quad \dot{Q}X1 = VX_{i-1,j,k} (T_{i-1,j,k}^{(\tau)} - T_{i,j,k}^{(\tau)}) \quad (17a)$$

$$\dot{Q}Y_l = VY_{i,j,k} (T_{i,j+1,k}^{(\tau)} - T_{i,j,k}^{(\tau)}) \quad \dot{Q}Y1_l = VY_{i,j-1,k} (T_{i,j-1,k}^{(\tau)} - T_{i,j,k}^{(\tau)}) \quad (17b)$$

$$\dot{Q}Z_{lj} = VZ_{i,j,k} (T_{i,j,k+1}^{(\tau)} - T_{i,j,k}^{(\tau)}) \quad \dot{Q}Z1_{lj} = VZ_{i,j,k-1} (T_{i,j,k-1}^{(\tau)} - T_{i,j,k}^{(\tau)}) \quad (17c)$$

Tepelná bilance obecného uzlu:

$$(\dot{Q}Z1_{lj} + \dot{Q}Z_{lj} + \dot{Q}Y1_l + \dot{Q}Y_l + \dot{Q}X1 + \dot{Q}X) = \frac{\Delta x \Delta y \Delta z \rho c}{\Delta \tau} (T_{i,j,k}^{(\tau+\Delta \tau)} - T_{i,j,k}^{(\tau)}) \quad (18)$$

Neznámá teplota obecného uzlu v čase $(\tau+\Delta \tau)$ je vyjádřena rovnicí (19):

$$T_{i,j,k}^{(\tau+\Delta \tau)} = T_{i,j,k}^{(\tau)} + (\dot{Q}Z1_{lj} + \dot{Q}Z_{lj} + \dot{Q}Y1_l + \dot{Q}Y_l + \dot{Q}X1 + \dot{Q}X) \frac{\Delta \tau}{\rho c \Delta x \Delta y \Delta z} \quad (19)$$

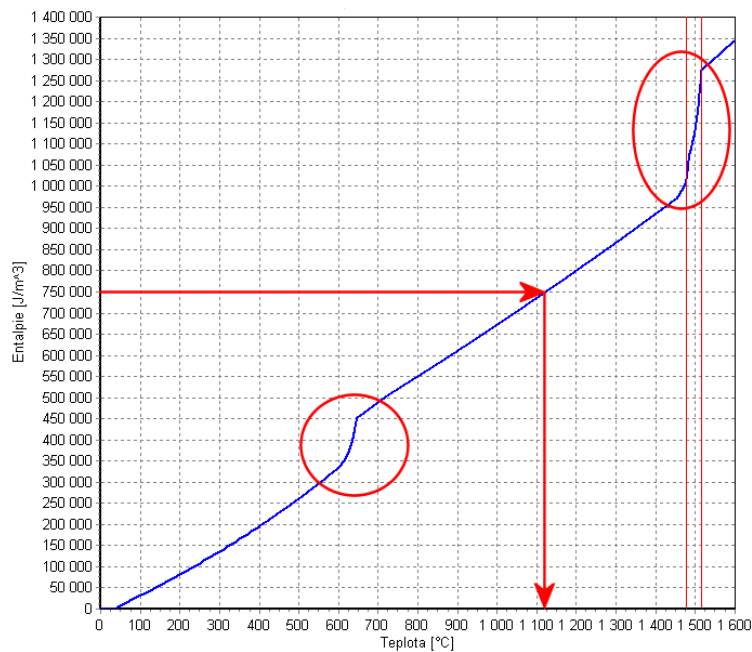
Tepelný tok v elementárním objemu předlitku je třeba na rozdíl od toku v krystalizátoru ve směru osy z (rovnice (17c)) psát:

$$\dot{Q}Z_{l,j} = VZ_{i,j,k} (T_{i,j,k+1}^{(\tau)} - T_{i,j,k}^{(\tau)}) - A_z w_z c T_{i,j,k} \quad (20)$$

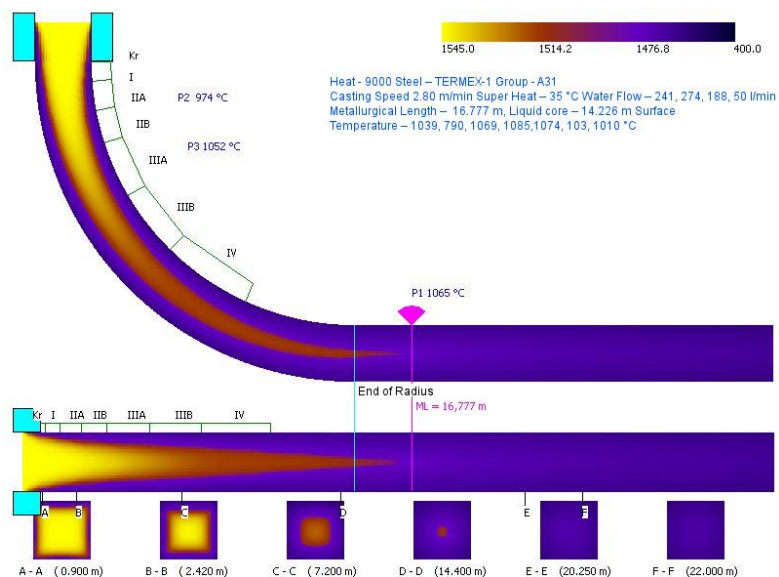
Neznámou entalpii obecného uzlu předlitku v následujícím čase $(\tau + \Delta \tau)$ vyjadřuje rovnice (21), analogická rovnici (19).

$$H_{v_{i,j,k}}^{(\tau+\Delta\tau)} = H_{v_{i,j,k}}^{(\tau)} + (\dot{Q}Z_{1lj} + \dot{Q}Z_{lj} + \dot{Q}Y_{1i} + \dot{Q}Y_i + \dot{Q}X_1 + \dot{Q}X) \frac{\Delta\tau}{\Delta x \cdot \Delta y \cdot \Delta z} \quad (21)$$

Grafickou nebo tabelovanou závislost entalpii např. uhlíkaté oceli (**Obr. 10.**) na teplotě je třeba znát [21]. Teplota z této závislosti stanovená musí vyjadřovat teplotu předlitku ve všech třech stavech: nad likvidem (t. j. v tavenině), v teplotním interval tuhnutí (v tzv. mushy zóně) a pod solidem (t. j. v tuhé fázi).



Obr. 10. Průběh funkce entalpie pro ocel s vyznačením fázových a strukturálních změn

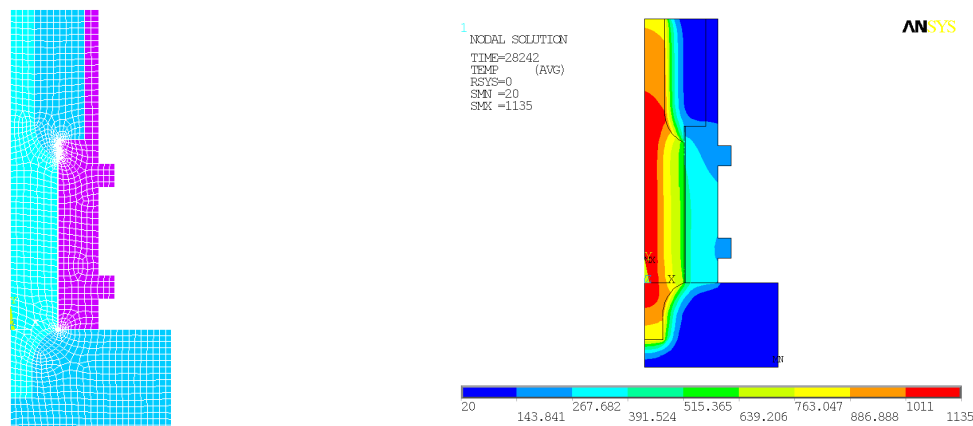


Obr. 11. Izotermické plochy sochoru 150 x 150 mm

Grafické výsledky numerického řešení teplotního pole např. ocelového sochoru [22] jsou na **Obr. 11.**

2.4.2 Řešení teplotního pole gravitačně litého válce softwarem ANSYS

Pro řešení např. teplotního pole gravitačně litého hmotného válce pro válcování kolejnic se použil software ANSYS včetně pre- a post-processingu. Model je založen na numerické metodě konečných prvků. Válec má průměr 1,18 a výšku 2,1 m. Odlévá se do válcové formy pískové a litinové. **Obr. 12.** ukazuje jednak výpočtovou síť pro vlastní odlitek, nálitek, kovovou nekovovou formu a jednak výsledné teplotní pole v podélném osovém řezu soustavou v rozhodujícím čase průběhu tuhnutí [23]. Proces lití válců byl optimalizován.



Obr. 12. Výpočtová síť a 3D teplotní pole hmotného válce pro válcování kolejnic

3. ZÁVĚR

Naděje na úspěch řešení 3D Fourierovy rovnice pro gravitační lití nebo 3D Fourier-Kirchhoffovy rovnice pro plynulé odlévání mají jen metody analogové, dnes již překonané, nebo metody numerické. Nekladou si za cíl exaktní řešení, protože řešení aproximují. Míra aproximace je dána prostorovou a časovou diskretizací. Čím je oko výpočtové sítě menší a čím je časový krok, ve kterém děj sledujeme kratší, tím je výsledek výpočtu blíže fyzikální realitě. V současné době řada firem nabízí software pro řešení tuhnutí a chladnutí kovů a slitin, ty však je nutné koupit včetně spolupráce jejich autorů na úpravě programu pro podmínky a zvyklosti daného slévárenského nebo hutního provozu. Nejlépe se však technologovi pracuje s vlastním programem, který může neustále zdokonalovat nejen v souladu s vývojem numerických metod ale též s rozvojem vědomostí a nových poznatých zákonitostí, které proces tuhnutí charakterizují. Základem je vlastní technologova představa o průběhu tuhnutí, nezastupitelná jakoukoli výpočetní technikou. Ta je při všech svých přednostech jen nástrojem dovolujícím rychle realizovat technologovy myšlenky, nápady a rozhodnutí. Takto vznikaly i v odst. 2.4.1 zmíněné „Brno Dynamic Solidification Models“ s ochrannou známkou EÚ “BrDSM“, které snesou i přísné mezinárodní měřítko.

Poděkování

Autoři chtějí poděkovat za finanční podporu projektu GAČR 19-20802S Spojený tepelně-mechanický model tuhnutí oceli pro predikci vzniku trhlin v reálném čase.

LITERATURA

- [1] KAVIČKA, F., et al.: *Numerical Models of Solidification and their Application in Metal and Ceramic Technology*. Brno: Brno University of Technology, 2016, 163 s.
- [2] KAVIČKA, F., ŠIMONÍK, S.: Shrnutí pramenů pro řešení teplotního pole odlitku a formy při tuhnutí. *Slévárství*, 1970, roč. XVIII, č. ¾, s. 157–160.
- [3] CARSLAW, H. S., JAEGER, J. C.: *Conduction of heat in Solids (Těploprovodnost' tvjordých těl)*. Moskva: Izdatel'stvo NAUKA, 1964, 350 s.
- [4] RUDDLE, R. W.: *The Solidification of Castings*. Londýn, 1950, 256 s.
- [5] RUSSEL, T. F.: *Journal Iron Steel Institute*, 1941, roč. 143, s. 163–175

- [6] VĚJNIK, A. I.: *Těorija zatvėrděvanija otlivki*, Moskva: Mašgiz, 1960, 240 s.
- [7] STEFAN, J.: *Ann. Phys. und Chem.* 1891, roč. 42, s. 269–275
- [8] SCHWARZ, C.: Die rechnerische Behandlung der Abkühlung-und Erstarrungsvorgange bei flüssigen Metall. *Archiv für der Eisenhüttenwesen*, 1931, roč. 5, s. 139–150
- [9] CHVORINOV, N.: *Krystalizace a nestejnorodost oceli*. Praha: ČSAV, 1954, 381 s.
- [10] ŠIMONÍK, S.: Nové metody studia tuhnutí za použití stearinu. *Slévárenství*, 1962, roč. X, č. 2, s. 249–258
- [11] DOLEŽALÍK, V.: *Podobnost a modelování v chemické technologii*. Praha: SNTL, 1959, 100 s.
- [12] KLUSKA, S.: Zasada dzialania maszyn analogowych i mozliwosci ich zastosowania w odlewnictwie. *Przegląd odlewnictwa*, 1966, č. 4, s. 122–131
- [13] JACKSON, R.: Variable Heat Flow in Steel. *Journal of the Iron and Steel Inst.*, 1944, č. 2, s. 211–219
- [14] GITTUS, J. H.: Electrical Analogy to the Flow of Heat Castings to Mould. *Iron and Steel*, 1960, 33, s. 91–99
- [15] LIEBMANN, G.: A new Electrical Analog Method for the Solution of transient Heat Conduction Problems. *Trans. ASME*, 1956, 78, s. 655–668
- [16] KAVIČKA, F. a kol.: Teplotní pole ingotu a kokily obdélníkového tvaru. *Hutnické listy*, 1977, roč. XXXII, č. 4, s. 247–253
- [17] KAVIČKA, F. a kol.: Výpočet teplotního pole ocelářské kokily z tvárné litiny. *Hutnické listy*, 1977, roč. XXXII, č. 7, s. 470–476
- [18] KAVIČKA, F. a kol.: Výpočet teplotního pole provozní kokily XB pro neuklidněnou ocel. *Hutnické listy*, 1980, roč. XXXV, č. 2, s. 93–100
- [19] KAVIČKA, F. a kol.: Výpočet teplotního pole kokily XE a ingotu. *Hutnické listy*, 1983, roč. XXXVIII, č. 9, s. 616–621
- [20] KAVIČKA, F. a kol.: Výpočet termokinetiky krystalizace válcového vzorku z čistého hliníku. *Kovové materiály*, 1977, roč. 15, č. 2, s. 167–185
- [21] MIETTINEN, J.: Calculation of solidification-related thermophysical properties for steels. *Metall Mater. Trans. B*, 1997, 28, č. 2, s. 281–297
- [22] ŠTĚTINA, J. a kol.: Mathematical model for the calculation of the temperature field of a billet in real time. In Book of Abstracts and CD ROM of the 13th International Heat Transfer Conference. Sydney: 2006, s. 26
- [23] KAVIČKA, F. a kol.: Temperature field and solidification structure of a ductile-cast-iron roller. *Key Engineering materials*, 2014, 592–593, č. 1, s. 197–200

Numerical analysis of the influence of thermophysical properties on calculation accuracy of solidification processes

Kavička, F.¹⁾, Katolický, J.¹⁾, Štětina, J.¹⁾, Mauder, T.¹⁾, Klimeš, L.¹⁾

¹⁾ Brno University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering, Technická 2, 616 69 Brno, Czech Republic, kavicka@fme.vutbr.cz

Key words

Thermophysical properties, chemical composition, temperature, steel, mould material, gravitational/continuous casting, numerical simulation, time of solidification, metallurgical length, accuracy

Abstract

Solidification and cooling of the gravitationally cast steels (technology A) or continuously cast steels (technology B) rank among the major technological processes. The thermophysical properties of steels dependent on the chemical composition and therefore on temperature have significant influence on the actual casting process, and on the accuracy of its numerical simulation and optimization.

A) On a steel sample casting of cylindrical shape that was cast in a metallic or non-metallic cylindrical mould the analysis of influence of the main thermophysical properties of casting steel or moulding material on calculation accuracy of temperature field in the system of casting-mould-environment has been performed. As a comparing datum of accuracy the total time of solidification (crystallization) have been selected. The influence of the individual parameters has been analysed separately, the other parameters have been taken for that once in their real value.

B) On a steel slab that was continuously cast in the concasting machine (so called the caster) the analysis of influence of the main thermophysical properties of casting steel on calculation accuracy of temperature field in the system of a slab-environment has been performed. As a comparing datum of accuracy the metallurgical length have been selected.

1. INTRODUCTION

The solidification and cooling-down of a casting and the simultaneous heating of a mould is, from the viewpoint of thermokinetics, a very complicated problem of 3D transient heat and mass transfer [1-4]. In the system of casting-mould-surroundings (technology A) or in the system concasting – surroundings (technology B), all three kinds of heat transfer take place. In such a range, the problem is unable to be solved accurately. It is not exactly solvable in the case when mass transfer is not under consideration and from the three kinds of heat transfer in the system the conduction is considered decisive. This exactly solvable is neither the Fourier equation (1a) (the melt does not flow) nor the Fourier-Kirchhoff one (1b) (the flowing melt).

In equation (1a),(1b) are T [K] temperature, τ [s] time, λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] heat conductivity, ρ [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$] density, c [$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] specific heat capacity, Q_{source} [$\text{W}\cdot\text{m}^{-3}$] heat flow from internal source, x, y, z [m] axes in given directions. In equation (1b) w_x, w_y, w_z [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] are velocity of the melt in given directions. The temperature field of the concasting passing through a radial caster of a large radius can be simplified by the Fourier-Kirchhoff equation where only the w_z component of the velocity is considered (1c).

All three equations are partial differential equations of the 2nd order. The solution is practically impossible without the numerical simulation of the temperature field of the casting (technology A and B) and the mould too (technology A).

$$\rho \cdot c \frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right) + Q_{source} \quad (1a)$$

$$\rho \cdot c \frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right) + Q \cdot c \left(w_x \frac{\partial T}{\partial x} + w_y \frac{\partial T}{\partial y} + w_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \dot{Q}_{source} \quad (1b)$$

$$\rho \cdot c \frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right) + Q \cdot c \cdot w_z \frac{\partial T}{\partial z} + \dot{Q}_{source} \quad (1c)$$

These equations are solvable only by means of modern numerical methods. Therefore original models of the transient temperature field of both systems A and B were developed. Both models are based on the first and second Fourier's laws on transient heat conduction, and the first and second law of thermodynamics. They are based on the numerical method of finite differences with explicit formula for the unknown temperature of the mesh node (i, j, k) in the next time step, which is a function of temperatures of the same node and six adjacent nodes in Cartesian coordinate system in the previous time step (Figure 1). Models take into account non-linearity of the task, it means dependence of thermo-physical properties of all materials of the systems on temperature and dependence of heat transfer coefficients (boundary conditions) on temperature of all external surfaces. Models are equipped with an interactive graphical environment for automatic generation of a mesh, and for evaluation of results, it means by so called pre-processing and post-processing.

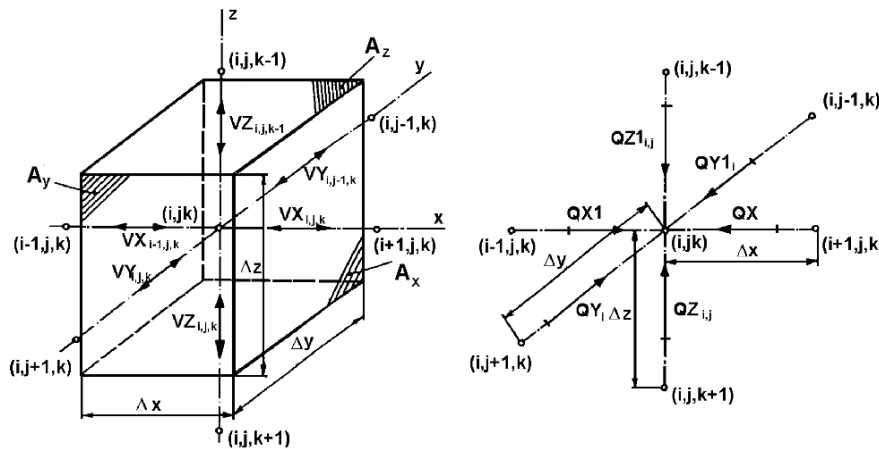


Fig. 1. The thermal balance diagram of the general nodal point of the network

For example Figure 1 shows the temperature balance of an elementary volume representing a general node of the numerical mesh (i, j, k) inside the casting, for technology A inside the mould.

The temperature balance of the general node:

$$(\dot{Q}Z1_{ij} + \dot{Q}Z_{ij} + \dot{Q}Y1_i + \dot{Q}Y_i + \dot{Q}X1 + \dot{Q}X) = \frac{\Delta x \cdot \Delta y \cdot \Delta z \cdot \rho \cdot c}{\Delta \tau} (T_{i,j,k}^{(\tau+\Delta\tau)} - T_{i,j,k}^{(\tau)}) \quad (1)$$

where the right hand side expresses the accumulation (or loss) of heat in the node i, j, k during the time step $\Delta \tau$. The unknown temperature of the general node of the mesh inside the casting or mould in the following instant $(\tau+\Delta \tau)$ is therefore given by the explicit formula:

$$T_{i,j,k}^{(\tau+\Delta\tau)} = T_{i,j,k}^{(\tau)} + (\dot{Q}Z1_{ij} + \dot{Q}Z_{ij} + \dot{Q}Y1_i + \dot{Q}Y_i + \dot{Q}X1 + \dot{Q}X) \frac{\Delta \tau}{c \cdot \rho \cdot \Delta x \cdot \Delta y \cdot \Delta z} \quad (2)$$

Equation (2) must cover the temperature of the casting in all three stages: above the liquidus temperature (i.e. the melt), in the interval between the liquidus and solidus temperatures (i.e. the so-called mushy zone) and beneath the solidus temperature (i.e. the solid phase).

2. THE INFLUENCE OF THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF STEEL CAST GRAVITATIONALLY (TECHNOLOGY A)

On a steel sample, casting of cylindrical shape that was casted in a metallic or non-metallic cylindrical mould the analysis of influence of the main thermophysical properties of cast steel on calculation accuracy of temperature field in the system of casting-mould-surroundings has been performed (Fig. 2). For the steel an influence of heat conductivity λ , density ρ and specific heat

capacity c , namely in the liquid (index L) or in the solid phase (index S), in addition of latent heat of phase transformation L [J.kg⁻¹] has been analysed [5, 6]. The average values have been selected $\lambda_L = 16.75$; $\lambda_S = 28.357$; $\rho_L = 7320$; $\rho_S = 7320$; $c_L = 810$; $c_S = 628$; $L = 2.679 \cdot 10^5$. In addition an analysis of the influence of thermophysical parameters of moulding material on solution accuracy of thermokinetics of solidification has been performed. For a metallic or non-metallic mould material, the influence of the same main parameters has been analysed (λ , ρ and c) and, furthermore, their combination: the influence of thermal conductivity $a = \lambda/\rho \cdot c$ [m².s⁻¹] and heat accumulation $b = \sqrt{\lambda \cdot \rho \cdot c}$ [J.m⁻².K⁻¹.s^{-1/2}] introduced for the characterization of a mould by foundry technologists. The standard values for metallic (cast-iron) mould material (index m) and non-metallic (fireclay) mould material (index nm) have been selected: $\lambda_m = 35$; $\rho_m = 7020$; $c_m = 606$; $a_m = 8.227 \cdot 10^{-6}$; $b_m = 1.22 \cdot 10^4$; $\lambda_{nm} = 1.59$; $\rho_{nm} = 1950$; $c_{nm} = 1075$; $a_{nm} = 7.58 \cdot 10^{-7}$; $b_{nm} = 1.826 \cdot 10^3$.

As a comparing datum of accuracy the total time of solidification of steel cylinder have been selected. The influence of the individual parameters has been analysed separately, the other parameters have been taken for that once in their real average value. The influence of each parameter has been studied within the range 50 to 150 % of its average real value. The influence of the parameter on the total solidification time has been studied the relative value of which towards the real solidification time (corresponding to the real average value of the just analysed property) is plotted on the axis of ordinates. The deviation of every parameter is plotted on the horizontal axes, the deviation of computed total solidification time (the relative value of the total solidification time) on the vertical axis (**Fig. 3–7**). The tangents slope to the curves is of different value for different parameters and even for the same parameter, the slope differs for the values of parameters to the left or to the right of their real value.

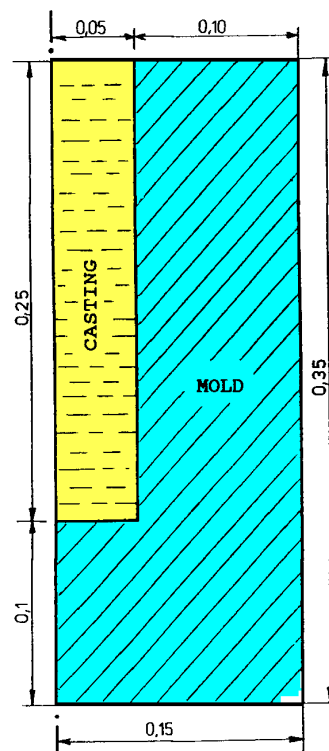


Fig. 2. Longitudinal section of the system casting-mould-surroundings

The order of the all properties of a casting material solidifying in a cast iron (metallic) mould on the total solidification time is as follows: λ_S , L , ρ_S , ρ_L , c_S , c_L , λ_L . The influence λ_S is the most considerable (**Fig. 3**). The order of influence of parameters of a casting solidifying in a fireclay (non-metallic) mould is as follows: L , ρ_L , ρ_S , c_L , c_S , λ_S , λ_L . The influence of latent heat L is the most

significant (**Fig. 4**). The order of importance differs from that one for the cast iron mould, only λ_L is in both cases on the last place.

The order of influence of the main parameters of metallic (index m) or non-metallic (index nm) mould materials on the total solidification time is as follows: λ_{nm} , ρ_{nm} , c_{nm} , λ_m , ρ_m , c_m . (**Fig. 5**). The curves for ρ and c for the both moulding materials practically coincide, for the influence is almost the same. Therefore the combined thermophysical properties of mould materials a or b were introduced. The dependence of the total solidification time on temperature conductivity of mould material a_m and a_{nm} brings **Fig. 6**, the dependence on heat accumulation of mould material b_m and b_{nm} **Fig. 7**. The influence of a_{nm} on the total solidification time is more considerable than a_m and b_{nm} more considerable than b_m .

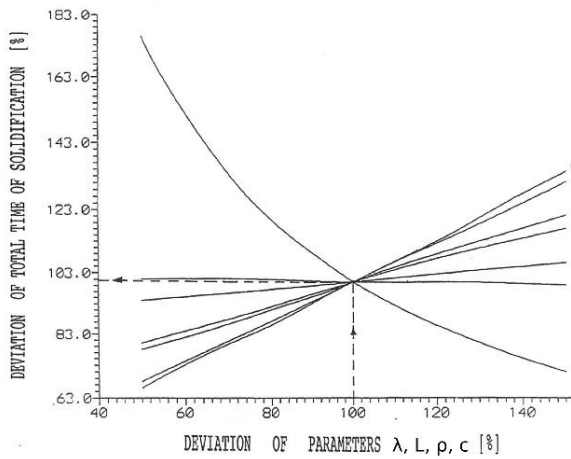


Fig. 3. Influence of the main thermophysical properties of steel on the total solidification time (in metallic mould)

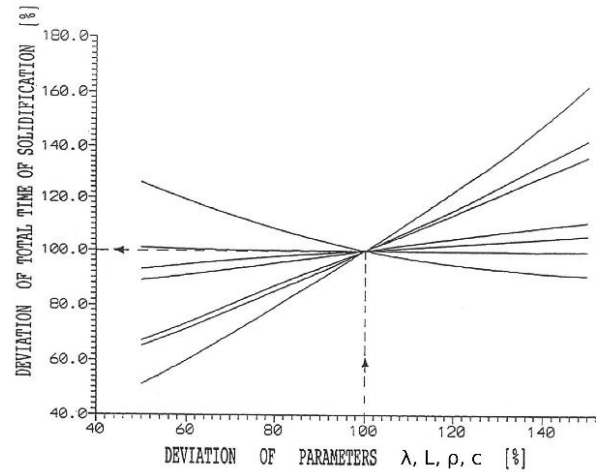


Fig. 4. Influence of the main thermophysical properties of steel on the total solidification time (non-metallic mould)

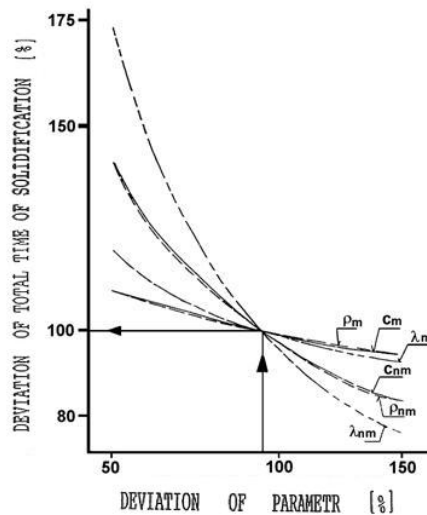


Fig. 5. Influence of the main thermophysical parameters λ , ρ , c of metallic or non-metallic mould on the total solidification time

In the case that the parameters of some materials entering into the solution are not sufficiently known and their values need to be estimated, the curve region of a lower slope is chosen and according to this the given property is either underestimated or overestimated towards the hypothetical real value in order to obtain more accurate results of calculation. If a requirement to an accuracy of calculation of solidification thermokinetics controlled by the total solidification time (in

a range of + 50 %) will be given in advance, then it is possible to estimate from the obtained graphs what error can burden the used thermophysical parameter.

As a comparing datum of accuracy of thermokinetics simulation of a solidifying casting mechanism of forming of temperature field represented by isotherms in longitudinal axial section through the casting and the mould have been selected. Generally, it can be stated that the properties (parameters), whose change had negligible influence on the total solidification time, can have greater influence on the forming of a temperature field. From the course of isotherms, it is most interesting to evaluate the width of a solidification (crystallization) band, i.e. the geometric distance on a corresponding scale between the isoliquidus and isosolidus line from which the primary crystallization character could be assessed.

Therefore, it is suitable before calculation of solidification thermokinetics to perform the calculation analysis of influence of thermophysical properties of particular materials entering into the system (material of a casting, of chills, of a mould, of cores, of powdered materials for covering the risers, insulants, etc.) on a simplified geometrical form of particular system. Only then, a qualified decision follows how accurate determination of parameters will be necessary for following routine calculation of the proper operating system in order to achieve the required accuracy of the results of the temperature field solution. The required accuracy will be basically given by a type of a setting according to the fact whether the main object of the solution will be the proper casting (directional solidification, determination of internal non-homogeneities and removing of them, the character of primary crystallization, shortening of solidification time, etc.) or a mould or cores (increasing of permanent moulds service life, use of different moulding materials into different mould parts, heat load of moulds, etc.).

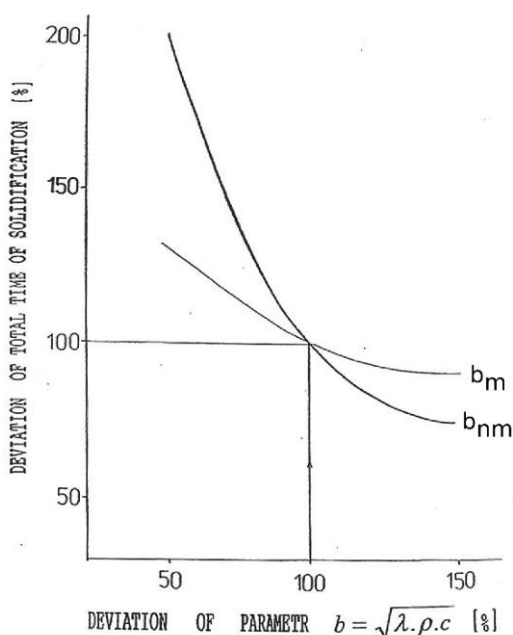


Fig. 6. Influence of temperature conductivity a of metallic or non-metallic mould material on the total solidification time

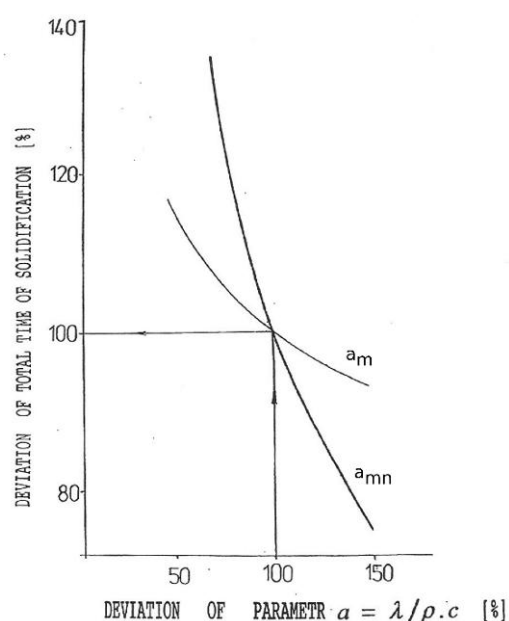


Fig. 7. Influence of heat accumulation b of metallic or non-metallic mould material on the total solidification time

3. THE INFLUENCE OF THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF CONTINUOUSLY CAST STEEL (TECHNOLOGY B)

The analysis of influence of the main thermophysical properties of a steel slab on calculation accuracy of temperature field in the system slab-surroundings has been performed on a 1530 x 250 mm steel slab (the slab has markedly a rectangular profile). As a comparing datum of accuracy, the metallurgical length has been selected (Fig. 8). The real and experimentally measured value of the metallurgical length is 17.4 m. The conditions of slab pouring were characterized by these

parameters: the temperature in tundish 1550 °C, the temperature of the liquid 1515 °C and of the solid 1494°C, the shift rate 0.71 m.min⁻¹. The chemical composition of the slab steel [wt. %]: 0.11 C, 0.49 Mn, 0.27 Si, 0.019 P, 0.009 S, 0.07 Cr, 0.04 Ni, 0.01 Mo, 0.06 Cu, 0.038 Altotal, 0.01 Nb, 0.01 V, 0.01 Ti [7-9].

The real values of heat conductivity λ [W.m⁻¹.K⁻¹], density ρ [kg.m⁻³], specific heat capacity c [J.kg⁻¹.K⁻¹] and enthalpy H [J.kg⁻¹] of the steel, and their dependences on temperature, are in **Figs. 9–12**. The enthalpy H includes also the latent heat of phase transformation L [J.kg⁻¹] (**Fig. 12**). It is convenient to introduce the thermodynamic function of specific volume enthalpy $H_v = c \cdot \rho \cdot T = H \cdot \rho$ [J.m⁻³], which is dependent on temperature.

The unknown enthalpy of the general node of the slab in the following instant ($\tau + \Delta\tau$) is given by the explicit formula (3), similar to equation (2):

$$H_{v_{i,j,k}}^{(\tau+\Delta\tau)} = H_{v_{i,j,k}}^{(\tau)} + (\dot{Q}Z_{1,i,j} + \dot{Q}Z_{2,i,j} + \dot{Q}Y_{1,i} + \dot{Q}Y_{2,i} + \dot{Q}X_{1,i} + \dot{Q}X_{2,i}) \frac{\Delta\tau}{\Delta x \cdot \Delta y \cdot \Delta z} \tag{3}$$

The thermophysical properties of steels have a significant influence on the actual concasting process, and on the accuracy of its numerical simulation and optimisation. The analysis of the effect of each parameter was also conducted separately. The remaining properties were considered with their real values. The influence of each property has been studied within the range 70–130 of its real value and plotted (**Fig. 13**).

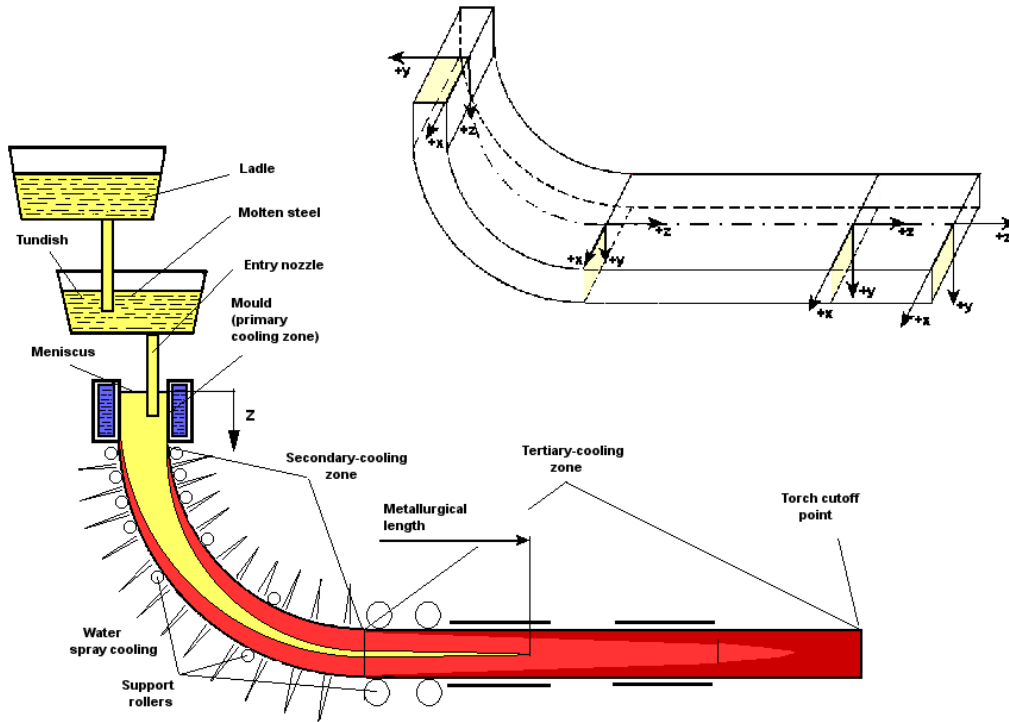


Fig. 8. The longitudinal section of the caster for radial pouring and the computing area

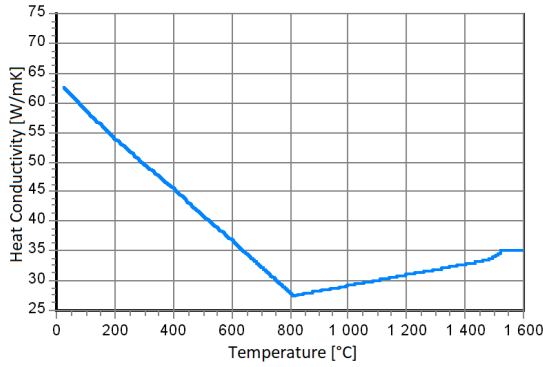


Fig. 9. The heat conductivity of the steel

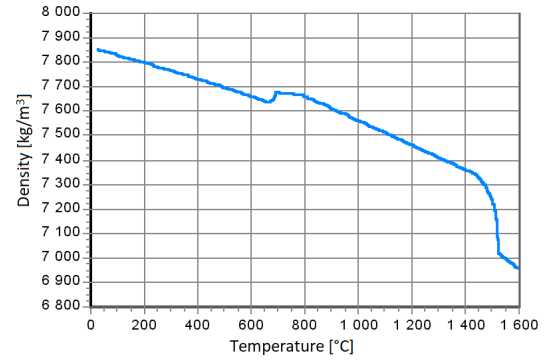


Fig. 10. The density of the steel

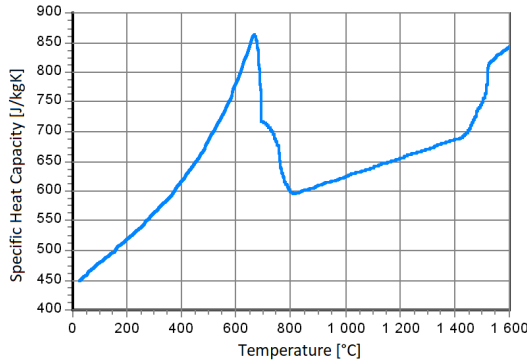


Fig. 11. The specific heat capacity of the steel

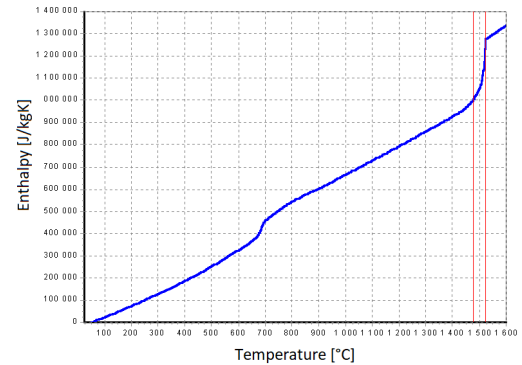


Fig. 12. The enthalpy of the steel

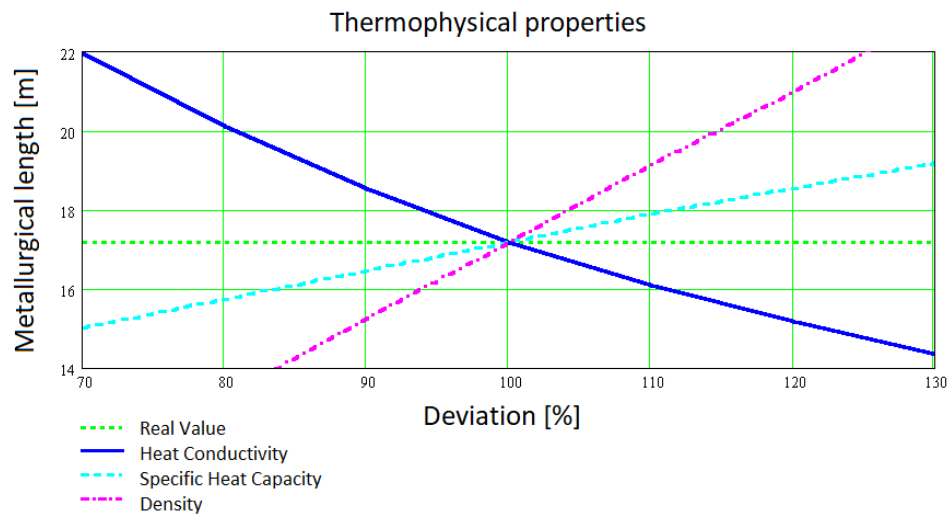


Fig. 13. The influence of the thermophysical properties of the concast steel on the accuracy of the calculation of the metallurgical length

The deviation of each parameter from its real value (100 %) is plotted on the x-axis. The deviation of the metallurgical length from its real value is plotted on the y-axis [10]. The order of the influence of the parameters on the accuracy of the calculation of the total solidification time is obvious in this graph. The influence of density is most significant.

To summarize the dependences of material properties, it could be stated that the tangent to the curves has a different slope for each parameter. There is even a different slope for the same parameter to the left of its real value, and a different slope to the right. Interesting is the negative slope of heat conductivity λ , when comparing other parameters of concast steel which have a

positive slope. It is possible to read from the graphs how accurate the parameters must be in order to achieve the required accuracy of the calculation of the metallurgical length.

In the case that the parameters of some materials entering the solution are not sufficiently known, and their values need to be estimated, the region of the curve with a reduced slope is chosen and, according to this, the given property is either under- or over-estimated toward the hypothetical real value, in order to obtain results that are more accurate. If a requirement of an accuracy of solidification, thermokinetically controlled by the metallurgical length (for example within a range of $\pm 30\%$), is given in advance, it is possible to estimate from the obtained graphs what error can affect the used thermophysical properties.

4. CONCLUSION

The thermophysical properties of steels dependent on the chemical composition and therefore on temperature have significant influence on the actual casting process of steel, and on the accuracy of its numerical simulation and optimization. It is anyway necessary to reduce energy and material consumption in foundry and metallurgical production using the numerical models of thermokinetics. An original numerical model of the 3D transient temperature field was used for the influence analysis of the properties of the cast steel on the accuracy of its calculated temperature field and its numerical optimization for both technologies A and B.

For gravitationally cast steels as a comparing datum of accuracy the total time of solidification of the steel cylinder in a metallic or non-metallic cylindrical mould have been selected. For the steel an influence of heat conductivity λ , density ρ , specific heat capacity c (for the steel namely in the liquid phase or in the solid phase) and specific latent heat of phase transformation L [$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$] has been analysed; for the moulding material λ , ρ and c too and furthermore temperature conductivity a and heat accumulation b . The influence of the individual parameters has been analysed separately, the other parameters have been taken for that once in their real value. The influence of each parameter has been studied within the range 50 to 150 % of its real value. If a requirement to an accuracy of calculation of solidification thermokinetics controlled by the total solidification time (in a range of + 50 %) will be given in advance, then it is possible to estimate from the obtained graphs what error can burden the used thermophysical parameter. The order of the influence of the all properties of the steel cylinder solidifying in a metallic mould on the total solidification time is: λ_s , L , ρ_s , ρ_L , c_s , c_L , λ_L (the influence λ_s is the most considerable); the order of influence of parameters of the steel cylinder in a non-metallic mould is: L , ρ_L , ρ_s , c_L , c_s , λ_s , λ_L (λ_L is in both cases on the last place). The order of the main parameters of metallic or non-metallic mould materials on the total solidification time is as follows: λ_{nm} , ρ_{nm} , c_{nm} , λ_m , ρ_m , c_m .

On a steel slab that was continuously cast in the caster the analysis of influence of the main thermophysical properties λ , ρ and c of steel on calculation accuracy of temperature field has been performed. As a comparing datum of accuracy the metallurgical length have been selected. The influence of the individual parameters within the range 70 to 130 % of its real value has been analysed separately. The order of the influence of the properties of the steel slab is: ρ , λ , c . A requirement to an accuracy of calculation of the metallurgical length is possible to estimate from the obtained graphs again.

Acknowledgement

This work was supported by the Czech Science Foundation under contract No. 19-20802S "A coupled real-time thermo-mechanical solidification model of steel for crack prediction."

LITERATURE

- [1] NAGASHIMA, A. Competition and cooperation in thermophysical properties research. In Book of abstracts of *The 15th European conference on European conference on thermophysical properties*. Wurburg, Germany: 1999, p. 29.
- [2] KAVICKA, F. et al.: Calculation analysis of influence of thermodynamical properties on calculation accuracy of thermokinetics of solidification. In Book of abstracts of *The 15th*

- European conference on European conference on thermophysical properties*. Wurzburg, Germany: 1999, p. 466
- [3] KAVICKA, F. et al.: A numerical model of the crystallization of pure aluminium. Chapter in *Fluid structure interaction and moving boundary problems*. UK: WIT Press, 2005, p. 619–629
- [4] KAVICKA, F., STETINA, J., KHODADADI, J. M.: Search for a new technology and its optimization using a numerical model. In Proceedings of *The world conference (CASTCON'97)*. Stratford, UK: 1997, p. 23–31
- [5] KAVICKA, F., HLOUSEK, J., STETINA, J.: Analysis of the effect of thermodynamic properties and boundary conditions on the calculation accuracy of solidification thermokinetics. In Proceedings of *The 62nd World Foundry Congress*. Philadelphia, USA: 1996, p. 2–10
- [6] KAVICKA, F., STETINA, J.: The influence of thermophysical properties of steels on the numerical simulation of a concasting process. Chapter in *Boundary elements XXII*. UK: WIT Press, 2000, p. 243–252
- [7] KAVICKA, F. et al.: Optimization of an industrial concasting technology via two numerical models. In Proceedings of *The international conference on computer, communication and control technologies (CCCT'03)*. Orlando, Florida-USA: 2003, p. 423–428
- [8] STETINA, J. et al.: Optimization of a concasting technology via a dynamic solidification model of a slab caster. In Proceedings of *The 5th pacific rim international conference on advanced materials and processing (PRICM-5)*. Beijing, China: 2004, p. 3831–3834
- [9] KAVICKA, F. et al.: The optimization of a concasting technology by two numerical models. In Proceedings of *The third international conference on advanced manufacturing technology (ICAMT 2004)*. Kuala Lumpur, Malaysia: 2004, p. 151–160
- [10] STETINA, J. et al.: The importance of thermophysical properties for the accuracy of the numerical simulation of a concasting process. In Book of abstracts of *The sixteenth european conference on thermophysical properties*. London, UK: 2002, p. 319–320

Klíčová slova

Reoxidace, Reynoldsovo kritérium, oxidické pleny

ÚVOD

Rychlost odlévání všech typů odlitků včetně ingotů v ocelárnách ovlivňuje tvorbu reoxidačních produktů, kterými jsou oxidy prvků s vysokou afinitou ke kyslíku. Některé z těchto prvků vytvářejí ploché a velmi tenké oxidické pleny a blány, ty pak z odlitků velmi špatně vyplavávají. Zůstávají ve stěnách odlitků a zhoršují tím jejich mechanické vlastnosti, přičemž také negativně ovlivňují jejich odolnost proti korozi a creepu. Tento příspěvek má za cíl představit způsob, kterým lze tvorbu oxidických plen a kůží zcela zatavit či alespoň částečně potlačit.

1. ZVÝŠENÝ VÝSKYT ZMETKŮ V S+C ALFANAMETAL

Vady, které reoxidační oxidy způsobují, jsou v případě výroby odlitků z korozivzdorných a žáruvzdorných slitin vadami velmi obtížně opravitelnými. Často vedou k nutnosti výroby náhradních kusů poté, co byly odlitky shledány jako neopravitelné po předchozím úsilí vady odstranit vybroušením a vzniklé objemy opravit svařováním. Vady způsobené reoxidací jsou příčinou zmetků nejenom po prvotní barevné penetrační zkoušce ale také po nezdařených opravách. V neposlední řadě je výskyt této vady spojen s vícenáklady na opravné svařování, které je zejména v případě žáruvzdorných ocelí a slitin finančně značně náročné. To kvůli cenám elektrod ale také díky nutnosti předešlému žáruvzdorných odlitků na vysoké teploty před svařováním a dohřívání odlitků v jeho průběhu. Ve slévárně S+C Alfanametal v Tršicích bylo na počátku roku 2019 instalováno nové tavicí zařízení typu duomelt, které umožňuje výrobu taveniny v množství 1200 kg, oproti dříve používané peci s kapacitou 500 kg. Nové zařízení bylo uvedeno do provozu na konci měsíce ledna a po tomto termínu došlo k podstatnému nárůstu zmetkovitosti i spotřeby elektrod pro opravné svařování.

2. ANALÝZA PŘÍČIN ZVÝŠENÉHO VÝSKYTU ZMETKŮ

Vady, jejichž výskyt se zvýšil, byly trojího druhu. V první řadě se zvýšil výskyt staženin, následně pak i výskyt oxidických plen a výskyt zavalenin. Společně s dalšími typy vad (například struskoplynovými), nezavdával zprvu tento nárůst staženin, oxidických plen a zavalenin podezření, že se jedná o vady způsobené reoxidací. Prvním indikátorem, že by tomu tak mohlo být, byl nadměrný výskyt zmetkových odlitků u opakované zakázky 288 Y-kusů stejného modelového čísla z materiálu G4852Micro, který činil v roce 2018 5 %, ale v prvním čtvrtletí roku 2019 již 18,5 %. Při bližším pohledu bylo zjištěno, že míra zmetkovitosti dosahuje u některých taveb řádově desítek, u některých pak jednotek procent, přičemž u dvou taveb nedošlo k vyřazení žádného kusu viz **Tab. 1**.

1. Typem vady, kterému byl problém přisuzován, byly trhliny. Stalo se tak po barevné kapilární zkoušce, která vykazovala lineární indikace shodné u všech postižených kusů. K podobnému případu došlo u odlitků z žáruvzdorné slitiny ET45LC, kterými byl tentokrát oblouk 180° opět stejného modelového čísla. I zde byly lineární indikace přisouzeny trhlinám, nicméně dvojnásobná analýza této vady na VUT v Brně – Ústavu slévárenství určila za příčinu vzniku trhlin mikrostaženiny, které ve spojení s pnutím při smršťování odlitků při tuhnutí a chladnutí byly jejich příčinou. Tato skutečnost umožnila změnit pohled na první uvedený případ Y – kusů a na jejich trojnásobný výskyt zmetků oproti blízké minulosti. Zmetky s vysokou mírou výskytu pocházely totiž od nejméně zkušeného slevače, zmetky s mírou jednotek procent od slevače zkušenějšího a výroba prostá zmetků pocházela od slevačů nejzkušenějších. Určujícím vlivem na takto diametrálně rozdílný výskyt vad se ukázala být rychlost odlévání.

Tabulka 1. Zmetky v závislosti na jednotlivých tavebách/odlíváních

tavba	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	[%]
6124	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	65	66	67	68	77	78	79	80	-	-	-	-	30
6133	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	41	42	43	44	45	46	47	48	61	62	63	64	12,5
6134	53	54	55	56	101	102	103	104	105	106	107	108	125	126	127	128	129	130	131	132	145	146	147	148	16,7
6142	13	14	15	16	17	18	19	20	33	34	35	36	37	38	39	40	49	50	51	52	57	58	59	60	29,2
6143	121	122	123	124	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	153	154	155	156	157	158	159	160	16,7
6144	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	109	110	111	112	113	114	115	116	149	150	151	152	16,7
6155	69	70	71	72	81	82	83	84	85	86	87	88	117	118	119	120	165	166	167	168	169	170	171	172	20,8
6156	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	229	230	231	232	8,3
6157	161	162	163	164	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	16,7
6171	225	226	227	228	233	234	235	236	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	25
6172	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	237	238	239	240	257	258	259	260	261	262	263	264	25
6159	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	8,3
6328	289	290	291	292	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	0
																			319	320					
6400	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334									0

3. PODMÍNKY VÝROBY OBOU ZAKÁZEK V LETECH 2018 A 2019

Ukázalo se, že v průběhu výroby obou identických zakázek došlo pouze k jedné změně, kterou bylo použití nového zařízení – středofrekvenční tavicí kelímkové pece kapacitě 1,2 tuny namísto dřívější pece o kapacitě 500 kg. Samotná pec kvalitu neovlivnila, co však mělo významný dopad na výsledek, byl jiný objem pánve, nyní 1200 kg oproti dřívějším pěti stům. Nové pánve mají sice oproti dříve používaným o něco větší průměr, mají však také o 30 % větší výšku, viz **Obr. 1**. Jedná se o pánve se zátkovým mechanismem se spodní výpustí, které v obou případech (500 kg i 1200 kg) využívají výlevku s průměrem 60 mm. Tento poněkud velký průměr pro pánve tak nízkých objemů je nutný pro odlévání jednoho konkrétního typu žáruvzdorné slitiny, která je kromě chromu legována také hliníkem – v řádu jednotek procent. Hliník totiž vytváří uvnitř výlevky vrstvu oxidu Al_2O_3 , kterou nelze po odlévání odstranit, je-li použita výlevka menšího průměru. Velký průměr výlevky (60 mm) společně s vyšší licí výškou a méně zkušeným tavičem způsobil turbulentní charakter plnění forem a tím i mnohem vyšší míru reoxidace se všemi negativními jevy, které jsou s ní spojené: vznik oxidických plén, vznik zavalenin, zvýšení viskozity taveniny a tím snížení schopnosti dosazovat do vzdálených míst od nálitku a v neposlední řadě též kontaminace odlitků oxidickými plénami a kůžemi. Za zmínku stojí také uvést fakt, že těžší pánve (pro 1200 kg taveniny) je při zavěšení na licím jeřábu stabilnější než dříve používané pánve (pro 500 kg taveniny), méně zkušenému slévači tato stabilita umožní lépe se trefit proudem taveniny do vtokového kuželu formy a paradoxně tím zvýší riziko nadměrné rychlosti plnění formy.



Obr. 1. Licí pánve se spodní výpustí 1,2 t a 0,5 t

4. POROVNÁNÍ ZMETKOVITOSTI U PRODUKCE JEDNOTLIVÝCH SLÉVAČŮ V OBDOBÍ 1/2018 AŽ 9/2019

Pro porovnání vlivu jednotlivých slévačů na vznik zmetků z nadměrné reoxidace byly identifikovány takové zmetky z předemtného období, které mohly být reoxidací způsobeny. Byly sem zahrnuty zmetky způsobené vadou oxidické pleny a zavaleniny, v jednom případě též trhliny, o

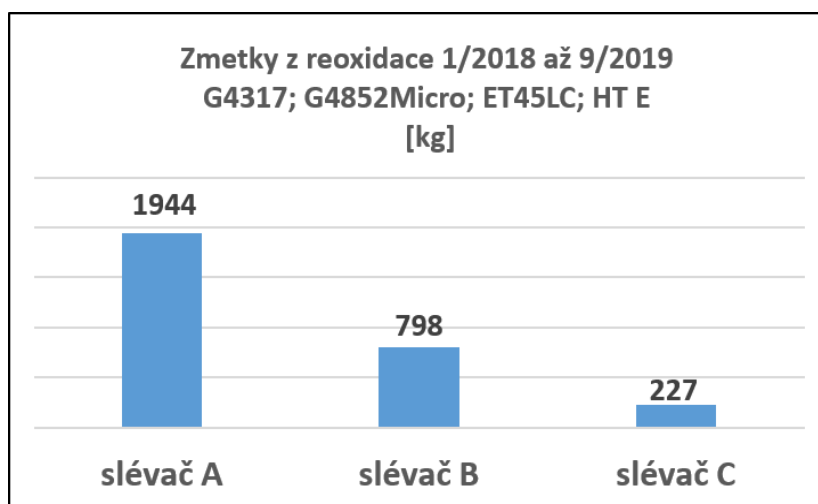
tom bylo referováno výše. Hodnoceny byly odlitky vyrobené ze čtyřech značek a zároveň dvou typů slitin viz **Tab. 2**.

Tabulka 2. Slitiny zmetků z reoxidace z období 1/2018 až 9/2019

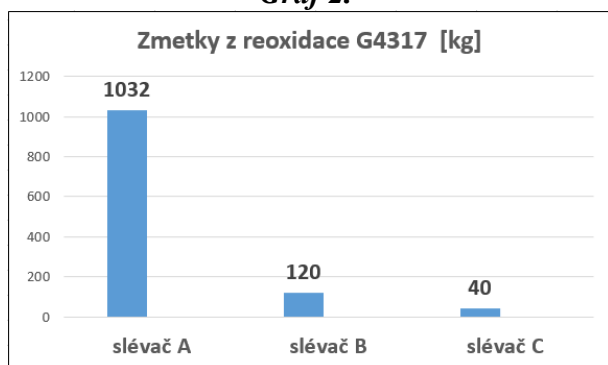
ocel/slitina	C	Cr	Ni	Nb	Ti	Ce	Y	Al
	[%hm]							
G4317	0,04	13	4	-	-	-	-	-
G4852Micro	0,45	25	35	1	0,1	-	-	-
ET45LC	0,1	35	45	1	0,1			
HT E	0,45	32	45	1	0,1	0,01	0,05	5

K hodnocení byli vybráni pracovníci, kteří byli v daném období využíváni k odlévání přibližně stejnou měrou, tzn., že slevači s dobrými výsledky ale nízkou produkcí byli z hodnocení vypuštěni. Zajímavým zjištěním je, že pouze jeden ze tří slevačů, kteří byli v daném období aktivní, byl vyhodnocen jako velmi dobrý, další dva byli výrazně horší, přičemž i mezi nimi byl značný rozdíl. Slevač, který byl vyhodnocen jako nejlepší, je v oboru vyučen a má v oboru slévárství dlouholetou praxi. Výsledky srovnání jsou uvedeny v **Grafech 1 až 5**.

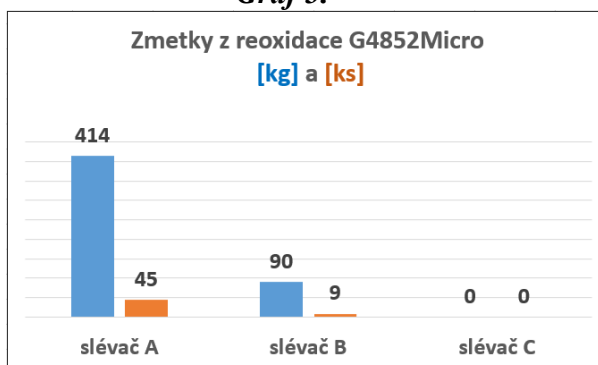
Graf 1.



Graf 2.

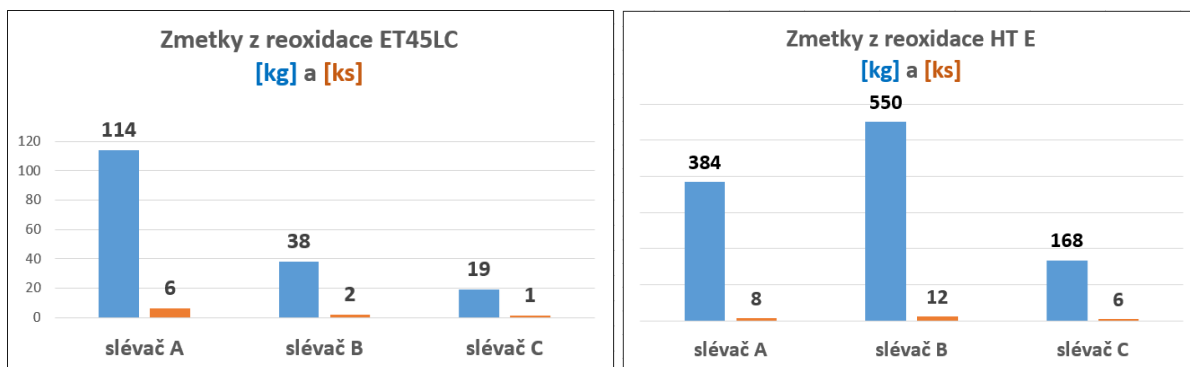


Graf 3.



Graf 4.

Graf 5.

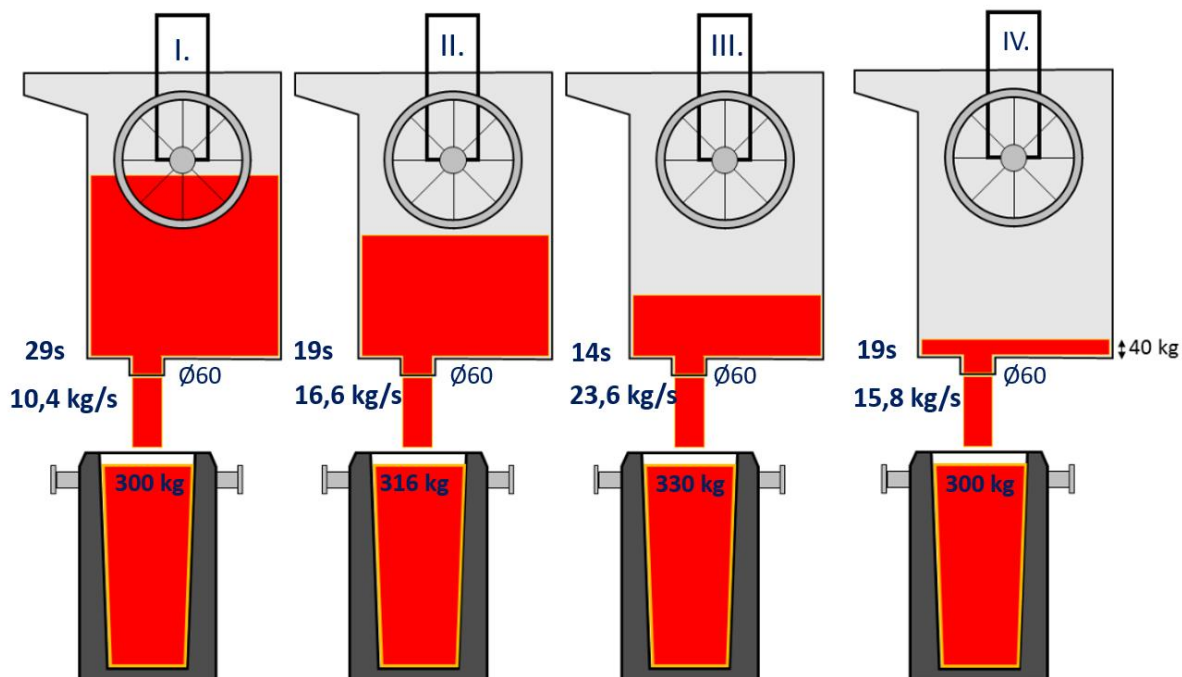


5. EXPERIMENT SNÍŽENÍ RYCHLOSTI PŘI ODLÉVÁNÍ

K ověření, zda může být vysoká rychlost odlévání příčinou vzniku vad, bylo použito výlevek s menším průměrem ($s \text{ } \varnothing 50$). Bylo odlito celkem 17 odlitků z 5-ti různých typů korozivzdorných či žáruvzdorných ocelí a slitin viz **Tab. 3**. Při odlévání byl zjišťován čas lití jednotlivých odlitků, ze známých hmotností byla pak spočítána průměrná rychlost odlévání v kg/s. Odlitky byly dále zpracovány běžným způsobem odpovídajícím povaze jejich tvaru a odlévány slitině. Hodnocen byl výskyt typických reoxidačních vad: zavalenin a oxidických plen a kůží. Pro porovnání reálných rychlostí konkrétních odlitků při použití výlevky s $\varnothing 50$ byly odlity obsahem celé pánve (1280 kg) čtyři válcové ingoty při použití výlevky s $\varnothing 60$. Odlévána byla přitom tavenina ze sintrace kelímku nově vydusané pece, do kokil byl odlit materiál G4852Micro (1200 kg) zředěný roztavenou ocelovou šablonou (80 kg). K lití byla nyní použita pánve s průměrem výlevky 60. Při použití výlevky $\varnothing 50$ se průměrné rychlosti odlévání pohybovaly v rozmezí 3,8 kg/s až 10,5 kg/s, naproti tomu výlevka $\varnothing 60$ umožnila plnit formy – kokily průměrnými rychlostmi v rozmezí 10 kg/s až 24 kg/s. Výsledky této zkoušky popisují **Obr. 2**.

Tabulka 3. Výsledky kvality odlitků a licích rychlostí

Ocel/slitina	Číslo tavby	Číslo modelu	Typ odlitku (tvar)	Výlevka \varnothing [mm]	Licí hmotnost [kg]	Čas lití [s]	Rychlost lití [kg*s ⁻¹]	Výsledek / kvalita
G4317 (Martenzit)	6715	11.13240.02.01	list kaplanovy turbíny	50	218	23	9,47	velmi dobrý
		1707-03	deflector	50	200	20	10,00	velmi dobrý
				50	200	19	10,53	velmi dobrý
		50	200	24	8,3	velmi dobrý		
	6716	1958.101	těleso ventilu	50	680	101	6,73	dobry
		19-02149TR	list kaplanovy turbíny	50	200	41	6,34	velmi dobrý
6635	899244604	vtokové těleso	50	1100	nezjištěn	nezjištěna	průměrný	
12Ch18N12M3TI (Austenit nepetrochemický)	6928	16506	dvojitě oběžné kolo	60	278	93	2,98	dobry
G4517 (Duplex)	6844	FGD1400	oběžné kolo	60/40	226	nezjištěn	nezjištěna	studené spoje
	6873	Redor		60/50	226	30	7,53	velmi dobrý
ET45Micro (Austenit petrochemický)	6912	E35749	oblouk 180° se závěsem	50	86	18	4,77	dobry
					86	25	3,44	dobry
					86	23	3,74	dobry
					86	19	4,52	dobry
					86	20	4,3	dobry
HT E (speciální austenit petrochemický)	6884	E45091	Y - kus	50	215	49	4,4	velmi dobrý
		E45092	Y - kus		150	36	4,16	velmi dobrý



Obr. 2. Zkouška rychlosti odlévání $\varnothing 60$ a 1,286 t

6. VÝSLEDKY EXPERIMENTU

Výsledky experimentu jsou shrnuty v **Tab. 3.** a **Tab. 4.** V **Tab. 3.** jsou uvedeny licí rychlosti, v **Tab. 4.** jsou k těmto rychlostem dopočteny hodnoty Reynoldsova kritéria pro oba průměry použitých výlevek ($\varnothing = 50$ a $\varnothing = 60$). Rychlosti při použití výlevek s $\varnothing = 60$ vyjadřuje **Obr. 2.**

Tabulka 4. Hodnoty Reynoldsova čísla

v	\varnothing	Re
[kg/s]	[mm]	-
3	50	11 000
5	50	18 000
10	50 60	36 000/30 000
15	60	45 000
20	60	60 000
24	60	72 000

ZÁVĚR

Výsledky z výroby 17-ti ks reálných odlitků z produkce slévárny S+C Alfanametal ukázalo smysluplnost regulace rychlosti plnění formy: výlevkou s menším průměrem ve srovnání s původní větší výlevkou či regulací změnou polohy zátky vůči výlevce obou průměrů. Ve všech případech bylo možno konstatovat velmi dobrý či dobrý výsledek z hlediska výskytu oxidických plén či zavalenin. Výsledky licích rychlostí při odlévání čtyřech kusů bloků ukazují, že odlévá-li zkušený slevač, je možno dosáhnout rozumných rychlostí odlévání i při použití výlevek s $\varnothing 60$. Výsledky Reynoldsova čísla ukazují, jak velký rozdíl způsobí poměrně malá změna rychlosti odlévání. Porovnání míry zmetkovitosti u jednotlivých slevačů ukázalo důležitost jejich praxe ale také jejich znalostí. Ukazuje se smysluplné volit, tzn. vybrat, slevače pro konkrétní zakázku podle náročnosti slitiny a tvaru vyráběného odlitku.

Informační systém slévárny VÚHŽ

Milata, P.¹⁾, Bár V.²⁾

¹⁾ Slévárna VÚHŽ a.s., Dobrá 240, 739 51 Dobrá u Frýdku-Místku, ČR, milata@vuhz.cz

²⁾ Slévárna VÚHŽ a.s., Dobrá 240, 739 51 Dobrá u Frýdku-Místku, ČR, bar@vuhz.cz

Klíčová slova

Elektronický výrobní informační systém, výrobně kontrolní listy, tavební list, vsázkový model, legovací model.

Abstrakt

Následující text vám poskytne představení elektronického výrobního informačního systému, který používá slévárna odstředivého lití společnosti VÚHŽ a.s. ve své výrobě. Seznámíme vás s jeho funkcemi, výhodami a přednostmi. Dále bude vysvětlen soubor činností, které musí provést technolog slévárny, aby bylo možné nový produkt co nejdříve zařadit včas do plánu výroby.

1. ÚVOD

Každá slévárna, které záleží na výrobě co možná nejkvalitnějších odlitků, musí dříve či později vyřešit svůj postoj k zápisu naměřených dat a jejich uchování pro potřeby technologie nebo technické kontroly. Uložená data pak slouží nejen ke statistickému vyhodnocení výroby, ale umožní i „vystopovat“ konkrétní odlitek v technologickém toku a poskytnout tak zpětnou vazbu například v reakci na negativní hodnocení od zákazníka. Formy komunikace mezi vedením slévárny a pracovními osádkami, zejména pak taviči, bývají různé – od prostých ručních zápisů do tavebních knih až po využití moderních sofistikovaných počítačových programů, které tuto činnost provádějí automaticky. Záleží na každé slévárně, zda si zvolí jednodušší cestu zakoupením komerčního počítačového programu nebo má natolik zdatné IT odborníky, kteří jsou schopni vyvinout svůj vlastní, na míru šitý, informační systém anebo zůstane u ručního zápisu do tavebních knih. Některé firmy, včetně slévárny VÚHŽ, pak v praxi úspěšně používají kombinaci komerčního programu, na který je napojen vlastnoručně vyvinutý informační systém. V našem případě se jedná o komerční počítačový program VISUAL INFOR 9.0.5., který se prioritně používá napříč všemi divizemi společnosti VÚHŽ a.s. Vzhledem ke skutečnosti, že program VISUAL je zaměřen převážně na obchodní a ekonomické aktivity firmy tak se oddělení technologie slévárny obrátilo na IT odborníky z třineckých železáren, zda by byli schopni, podle svého elektronického výrobně-informačního systému vyvinout speciální program pro naši slévárnu odstředivého lití. Výsledkem mnoha schůzek a jednání pak byl nejprve tzv. VIS (výrobně informační systém), který byl nedávno aktualizován na tzv. ELVIS (elektronický výrobní informační systém). Později, po velmi dobrých zkušenostech slévárny s tímto systémem, se do tohoto projektu postupně zapojily i ostatní divize naší společnosti jako jsou válcovna, nástrojárna, povlakovna a další.



Obr. 1. Úvodní menu elektronického výrobního informačního systému slévárny

Pokud získáme zakázku a chystáme se vyrábět nový typ odlitku tak musíme nejdříve v programu VISUAL založit objednávku, vytvořit novou položku a detailní technologický předpis (DTP). Všechny tyto údaje slouží k pozdějšímu vyčíslení skutečných nákladů na odlitek. Nově vytvořená položka se pak automaticky přenáší do systému ELVIS. Základní informace, se kterou všichni pracovníci denně pracují, včetně dělnických profesí na slévárně, jsou uvedeny v záložce **Plán výroby**, ale aby bylo možné novou položku zařadit do plánu výroby tak se musí nejdříve vytvořit tzv. VKL (*Výrobně kontrolní list*) – *Technologický předpis, Vsázkový příkaz a Požadavek na odlitek*.



Obr. 2. Základní menu informačního systému slévárny

2. CHEMICKÉ SLOŽENÍ PŘISAD

Abychom vytvořili vsázkový příkaz pro nový odlitek tak musíme především znát aktuální chemické složení vsázkových surovin a na základě tohoto chemického složení vypočítat procentuální zastoupení jednotlivých surovin ve vsázce. Chemické složení jednotlivých surovin je uvedeno v záložce *Chemické složení přísad*. Chemické složení každé nové šarže je ručně zaznamenáno do systému ELVIS na základě atestů od dodavatele případně si některé analýzy provádíme sami v naší laboratoři. Tyto údaje jsou pak provázány se *vsázkovým a legovacím modelem*. Samozřejmostí je zobrazení archivních záznamů, které nám umožní provádět statistické výpočty a sledovat výkyvy v chemickém složení jednotlivých šarží.

ID přísady	Název přísady	Verze	Platí od	Založil	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Mg	Fe	Cu	Al
350MS010	Cu čistá	12	6.8.2019 9:54	Milata Petr. Ing.											99.2	
350MS014	FeCr-69%	29	10.7.2019 12:17	Milata Petr. Ing.	0.095	0.55		0.025	0.01	69.58						
350MS016	FeCr-003	14	6.8.2019 9:46	Milata Petr. Ing.	0.03	0.65		0.018	0.002	70.3						
350MS018	FeMn	17	14.2.2019 14:08	Milata Petr. Ing.	1.01	0.233	81.60	0.168	0.007							
350MS019	FeMo	39	6.8.2019 9:56	Milata Petr. Ing.	0.047	0.74		0.031	0.082		66.48			0.45		
350MS020	FeNb	3	7.4.2017 7:57	Milata Petr. Ing.	0.15	2.78		0.12	0.06							1.84
350MS021	FeP	13	3.4.2019 9:47	Milata Petr. Ing.		0.23		27.01	0.03							
350MS023	FeSi	39	6.8.2019 9:58	Milata Petr. Ing.	0.17	73.90		0.026	0.003							1.4
350MS024	FeSiCa	13	1.2.2019 6:21	Milata Petr. Ing.	0.47	61.90		0.03	0.01							0.46
350MS025	FeTi 70 %	3	31.8.2018 13:43	Milata Petr. Ing.	1.12	1.11		0.005	0.01							2.56
350MS029	Grafitové nauhlíčovací	2	15.1.2014 7:32	Milata Petr. Ing.	98.5				0.25							
350MS030	Hliník	26	20.11.2018 13:02	Milata Petr. Ing.												99.2
350MS037	Ni katody	39	20.6.2019 9:47	Milata Petr. Ing.								99.83				
350MS038	NiMg	35	15.7.2019 9:35	Milata Petr. Ing.	0.1	0.1						82.5	16	2.5		0.1
350MS040	Ocel technologická	12	19.12.2018 9:01	Milata Petr. Ing.	0.168	0.316	1.494	0.013	0.0093	0.015	0.014	0.018		97.81	0.021	0.046
350MS041	Ocel po válcování H4	10	2.10.2018 12:07	Milata Petr. Ing.	0.198	0.210	1.255	0.014	0.010	0.035	0.013	0.014		98.12	0.017	0.024
350MS046	Surové železo slévárenské	41	20.6.2019 7:46	Milata Petr. Ing.	4.42	0.870	0.060	0.056	0.019	0.010						
350MS047	Surové železo ocelárenské	30	3.4.2019 9:44	Milata Petr. Ing.	4.5	0.62	0.40	0.141	0.025	0.07						
350MS052	Výřazené RV	2	16.1.2014 11:17	Milata Petr. Ing.	3.5	1.9	0.65	0.035	0.015	0.35	0.2	2				
350MS053	CuSn 12	1					0.01	0.03				0.03		0.01	87.92	

Obr. 3. Chemické složení přísad

3. VSÁZKOVÝ MODEL

Ve vsázkovém modelu se snažíme, v závislosti na doporučeném chemickém složení, vzájemnou kombinací hmotností jednotlivých legur a surovin najít tu nejlevnější variantu vsázky. Svou roli zde samozřejmě hraje i momentální dostupnost jednotlivých surovin. Ceny jednotlivých položek vsázky se pravidelně aktualizují a načítají z programu VISUAL. Takto vytvořený vsázkový příkaz se uloží do *Číselníku vsázkových příkazů*.

Chemické složení

Složení tekutého kovu	C	Mn	Si	P	S	V	Cr	Ni	Mo	Ti
Minimální	1,9									
Vypočtené	2,195	1,114	0,498	0,015	0,012	0,083	1,130	1,102	0,407	
Maximální	2,3	1,2	1,2	0,06	0,02	0,1	1,2	1,2	0,5	0
Doporučené	2,2	1,1	0,5			0,08	1,1	1,1	0,4	

Vsázkový model

Materiály do vsázky	[Kč/kg]	[kg]	[kg]	[Kč]
018 FeMn	37,68	2,00	2,00	75,36
019 FeMo	380,45	3,50	3,50	1331,58
023 FeSi	31,84	1,60	3,6	114,62
029 Grafitové nauř	20,51	17,00	18	369,18
037 Ni katody	304,77	8,00	8,2	2499,11
041 Ocel po válcov	6,01	341,00	341,00	2049,41
096 FeV	808,90	0,00	0,1	80,89
157 FERROGEN 8	40,25	1,00	1,00	40,25
159 Špony Cr-Ni	40,75	27,00	27,00	1100,25
176 Ocel H4 58Cr	4,71	600,00	600,00	2826,00

Vsázkové materiály - složení

Volba analýzy pro výpočet:

- minimální analýza
- středová analýza
- doporučená analýza

Seznam materiálů

- NiMg
- Ocel granulát S 550
- Ocel technologická
- Ocel po válcování H4**
- Surové železo slévárenské
- Surové železo ocelárenské
- Výřazené RV
- CuSn 12
- CuSn8Pb3Zn6
- CuSn5
- CuP10
- GZ - CuSnZnPb
- tyče kruhové
- Modifikátor VL63M
- CuSn2
- ECOSAL-CU 440
- ECOSAL-CU 510

Summary: Celkem: 1001,11 | 1004,41 | 10486,65

Obr. 4. Vsázkový model

4. ČÍSELNÍK VSÁZKOVÝCH PŘÍKAZŮ

Číselník vsázkových příkazů obsahuje kompletní seznam všech odlitků a jejich vsázkových příkazů. Z obrázku je patrné, že pro každý odlitek nebyl vytvořen jen jeden vsázkový příkaz, ale hned několik dalších variant, ve kterých se kombinují jednotlivé komponenty vsázky. V závislosti na momentální dostupnosti dané vsázkové suroviny zvolí metalurg číslo vsázkového příkazu, které v dostatečném časovém předstihu zapíše do plánu výroby. Dalším důležitým parametrem, který musíme zvláště sledovat je aktuální stav elektrické indukční pece, tj. zda poslední tavba na daném tavícím zařízení byla z šedé litiny, chromové či nástrojové oceli a tuto skutečnost vzít v potaz při volbě vsázkového příkazu v plánu výroby. Pro rychlejší orientaci v jednotlivých variantách vsázkových příkazů je v *Poznámce* vždy uvedena jeho stručná charakteristika.

ID odlitku	Název odlitku	Číslo příkazu	Verze	Specifikace	Poznámka
350P781	BANDÁŽ VUHŽ 540-225-1220_D70	2	2	OG10	EIP 1000 po Cr oceli (1200 + 510 kg)
350P781	BANDÁŽ VUHŽ 540-225-1220_D70	3	4	OG10	špony CrNi PSP PŘEROV (1200 + 450 kg)
350P781	BANDÁŽ VUHŽ 540-225-1220_D70	4	3	OG10	vrat bandáž 6.7 (1000+500+330 kg)
350P781	BANDÁŽ VUHŽ 540-225-1220_D70	5	2	OG10	vrat bandáže + ocel 19663 (1000+500+330 kg)
350P781	BANDÁŽ VUHŽ 540-225-1220_D70	6	1	OG10	vrat ocel 19663 (1000+500+330 kg)
350P781	BANDÁŽ VUHŽ 540-225-1220_D70	7	2	OG10	vraty různé (1000+500+330 kg)
350P952	BANDÁŽ VUHŽ 580-260-1225(4 vrstvý)_D70	1	3	OG 10	všechny pece po ŠL
350P952	BANDÁŽ VUHŽ 580-260-1225(4 vrstvý)_D70	2	2	OG 10	1040 kg vrat bandáž+100kg ŠL v EIP 100
350P952	BANDÁŽ VUHŽ 580-260-1225(4 vrstvý)_D70	3	1	OG 10	1000/ŠL 500/1 ŠL 500/2 Cr ocel
350P952	BANDÁŽ VUHŽ 580-260-1225(4 vrstvý)_D70	4	2	OG 10	vrat bandáž 6.2 + čep
350P952	BANDÁŽ VUHŽ 580-260-1225(4 vrstvý)_D70	5	2	OG 10	1000/ŠL 500/1 CBS 500/2 ŠL
350P952	BANDÁŽ VUHŽ 580-260-1225(4 vrstvý)_D70	6	2	OG 10	1000/ŠL 500/1 ŠL 500/2 Cr ocel
350P952	BANDÁŽ VUHŽ 580-260-1225(4 vrstvý)_D70	7	1	OG 10	vrat bandáž 6.8 + čep
350P952	BANDÁŽ VUHŽ 580-260-1225(4 vrstvý)_D70	8	1	OG 10	vrat bandáž 6.7 + čep
350P918	BANDÁŽ VUHŽ 580-260-1225_D70	1	2	OG 10	špony Cr ocel (1100+550+550 kg)
350P918	BANDÁŽ VUHŽ 580-260-1225_D70	2	1	OG 10	všechny pece po Cr oceli (1100+550+550 kg)
350P918	BANDÁŽ VUHŽ 580-260-1225_D70	3	1	OG 10	všechny pece po Cr oceli +vrat
350P918	BANDÁŽ VUHŽ 580-260-1225_D70	4	6	OG 10	všechny pece po ŠL+ocel 58CrMoV4

Obr. 5. Číselník vsázkových příkazů

5. ČÍSELNÍK POŽADAVKŮ

V číselníku požadavků se pro každý nový odlitek musí zavést technologické parametry, které se budou dodržovat během jeho výroby – týká se to především chemického složení předzkoušky, jež je napojena na tzv. *legovací model*. Záložky *Mechanické hodnoty*, *NDT* a *Tepelné zpracování* jsou zde pouze informativní a prozatím nejsou napojeny na žádný kontrolní systém.

The screenshot shows the 'Číselník požadavků' (Requirements Catalog) software. The top part is a table listing various castings with their IDs, names, sizes, and quality grades. The bottom part is a detailed view for casting 350P781, showing its name, type, size, and quality grade. Below this, there are fields for 'Servisní záznamy' (Service records) and 'ID záznamu' (Record ID), along with 'Založil' (Created by) and 'Platí od' (Valid from) fields. At the bottom, there is a table for 'Pracovní' (Working) conditions, showing various chemical elements and their limits.

ID odlitku	Typ odlitku	Rozměr	Norma	Jakost
350P869	BANDÁŽ VUHŽ	540-225-1415	stacionár	OG10
350P781	BANDÁŽ VUHŽ	540-225-975		OG10
350P918	BANDÁŽ VUHŽ	580-260-1225		OG10
350P952	BANDÁŽ VUHŽ	580-260-1225(4 vrstvý)		OG10
350P901	BANDÁŽ VUHŽ	580-300-1225		OG10

Pracovní	Al	B	Bi	C	Co	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Mo	N	Nb	Ni	P	P+S	Pb	S	Sb	Sc	Si	Sn	Ti	V	W	Zn
min				1,9		1				0,8	0,3			1							0,9	0	0,05			
max				2,3		1,2				1,2	0,5			1,2	0,06			0,02			1,2	0	0,1			
dop				2,11		1,1				1,1	0,4			1,1							0,35					

Obr. 6. Číselník požadavků – požadavek prohlížení

6. ČÍSELNÍK PŘEDPISŮ

Každý odlitek má svůj vlastní technologický předpis, který mistr nebo technolog na začátku směny vytiskne a předá směnovým předákům. Podle předepsaných parametrů obsažených v tomto technologickém předpisu se posléze vyrobí daný odlitek. Mezi hlavní technologické parametry patří především číslo kokilové vložky, hmotnost vsázky, lící teplota a otáčky odstředivě lícího stroje. Číselník předpisů pak obsahuje abecední seznam všech vyráběných odlitků. Velmi často se stává, zejména u složitějších odlitků, že na základě zkušeností z výroby se technologický předpis musí opravit případně doplnit o různé poznámky, takže potom máme několik verzí VKL, ale výroba probíhá vždy podle té nejaktuálnější verze s tím, že si samozřejmě můžeme prohlédnout i historicky starší verze.

Slévárna D7

TAVBA: 162879
 ID: 350P781 Typ: Bandáž VUHŽ ODLITEK: 1904399
 Specifikace: verze A Rozměr: 540-225-1220 ČÁST: P
 Směna: A Datum: 8.8.2019 Materiál: OG 10

Vedení tavby:	Pracovní vrstva		Středová vrstva		Mezivrstva	
	EIP:	1000	Předzkouška	EIP:		Předzkouška
Hmotnost [kg]	1830 kg		ANO	500 kg		ANO
Natavení [°C]						
Odpich [°C]	1530-1550 °C		1530-1550 °C		1530-1550 °C	
Odlévání [kg]	1000 kg		500 kg		330 kg	
	Místo:	V peci	V pánvi	V peci	V pánvi	V peci
	Slitina:	Al	FeSiCa	Al	FeSiCa	Al
	Čas	5 min před odpichem		5 min před odpichem		5 min před odpichem

Číslo kokily: 350-K567

Číslo vložky:

Číslo vsázk. příkazu: 7

Poznámky k vedení tavby: Odlévá se ze dvou pánví, 1. vrstva EIP1000+500/1 = 1000 + 500 kg

Odlévání			
Stroj	Otáčky	HOLS 450 O č.567(545-1250)	1150 ot./min.
Teplota kokily	100 – 130 °C, rozdíl teploty mezi kokilou a víkem nesmí být větší než 20 °C		
Licí žlábek	přímý, průměr 40 mm		
	Pracovní vrstva		Středová vrstva
Pánev / vyhřátí	Žárobeton č.1	Do červeného žáru	Žárobeton č. 4,8 Do červeného žáru
Teplota lití	1400 - 1420 °C		1420 - 1440 °C
Prodleva	5-7 min. ihned po výměně žlábků		
Poznámky	nástrík na Mazzon 2-2,5 mm. Pánev se po odpichu položí a zapne se druhá pánev. Flux do 1. vrstvy po nalití 1/2 kovu		Z druhé pánve se slévá do pánve č.1, po odlití 1. vrstvy ihned odpich středové vrstvy, promíchat dřevěnou tyčí, po odlití 1. vrstvy chladit kokilu vodní mlhou!
Dotáčení - ot. / čas	950 ot./min. (cca 60 min.)		1100°C
Dochlazování	na písek a pod izolační kryt 36 hod.		

Poznámky k odlévání a stripování:

vnitřní díra odlitku cca 190 mm.

Popis verze: chemie litina OG10

Obr. 7. VKL (Výrobně kontrolní list)

7. PLÁN VÝROBY

Jakmile máme vytvořen technologický předpis, vsázkový příkaz a v požadavcích máme stanovené předepsané chemické složení tak v podstatě nic nebrání tomu, abychom daný odlitek, v závislosti na požadovaném termínu expedice k zákazníkovi, naplánovali do výroby.

S plánem výroby pracují především směnoví mistři a taviči, kteří si z něj načítají *Výrobně kontrolní listy (VKL)* a *Tavební listy*. Na základě informací obsažených v těchto 2 dokumentech si tavič připraví vsázkový materiál a mistr zajistí výrobní prostředky pro hladký průběh směny (kokilové vložky + kokily).

Samozřejmostí je plán operativně měnit na základě urgentních objednávek od zákazníka. Ostatně skutečnost, že jsme schopni flexibilně zařadit nový výrobek během několika málo hodin do výroby, patří mezi jednu z největších výhod naší slévárny.

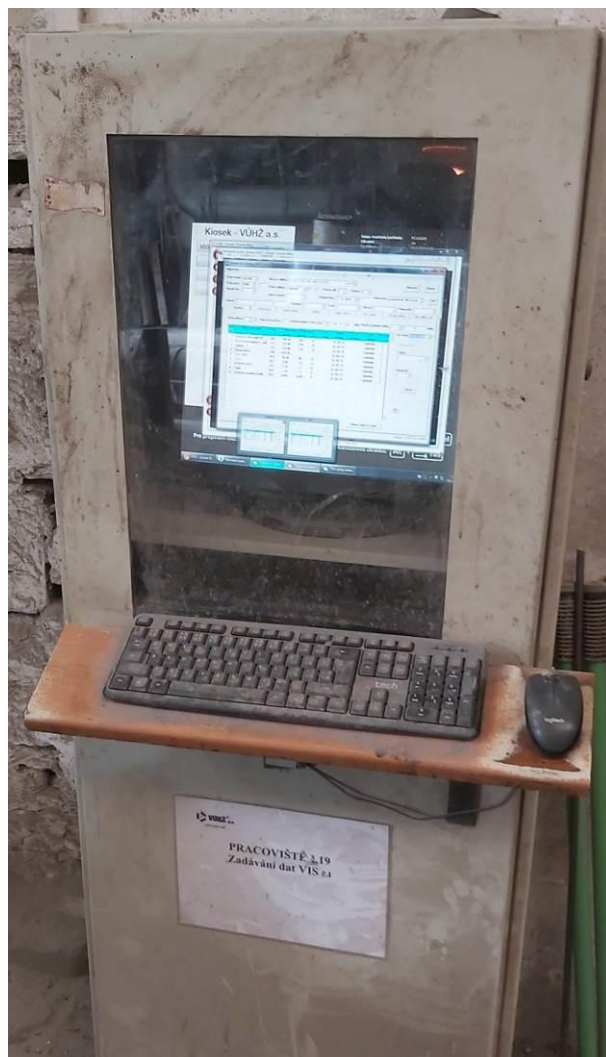
ID	Číslo	Stav	Datum	Čas	Číslo odl.	Část odl.	P.č.	Pec	Objedn.	Zákazník	ID odlítku	Popis odlítku	Hmot. [kg]	Sm.	Odpich datum čas	Čís. VKL	Čís. vlo.
69400	162531	LITK	22.07.19	17:25	1903928	C	1	100-1	3501903928		350P006	RV 275_I	42,88	2	22.07.19 17:07	10	
69400	162531	LITK	22.07.19	17:25	1903927	C	2	100-1	3501903927		350P006	RV 275_I	42,88	2	22.07.19 17:06	10	
69412	162543	LITK	22.07.19	15:56	1903925	C	2	100-1	3501903925		350P006	RV 275_I	42,88	2	22.07.19 15:40	10	
69412	162543	LITK	22.07.19	15:58	1903926	C	1	100-1	3501903926		350P006	RV 275_I	42,88	2	22.07.19 15:40	10	
69389	162520	LITK	22.07.19	14:50	1903923	C	1	100-1	3501903923		350P006	RV 275_I	42,88	2	22.07.19 14:31	10	
69389	162520	LITK	22.07.19	14:44	1903924	C	2	100-1	3501903924		350P006	RV 275_I	42,88	2	22.07.19 14:30	10	
69346	162477	LITK	22.07.19	13:25	1904121	C	1	1000	3501904121		350P037	MV	451,	1	22.07.19 13:05	29	
69347	162478	LITK	22.07.19	12:34	1904116	M	1	500-2	3501904116		350P781	BANDAŽ	334,33	1	22.07.19 11:22	5	
69399	162530	PLAN	20.07.19	07:52	1903922	C	2	100-1	3501903922		350P006	RV 275_I	42,88	1	22.07.19 11:10	10	
69349	162480	LITK	22.07.19	12:34	1904116	S	1	500-1	3501904116		350P781	BANDAŽ	506,52	1	22.07.19 11:08	5	
69345	162476	LITK	22.07.19	12:34	1904116	P	1	1000	3501904116		350P781	BANDAŽ	1013,11	1	22.07.19 11:08	5	
69399	162530	PLAN	20.07.19	07:52	1903921	C	1	100-1	3501903921		350P006	RV 275_I	42,88	1	22.07.19 10:30	10	
69361	162492	PLAN	20.07.19	07:52	1903920	C	1	100-1	3501903920		350P006	RV 275_I	42,88	1	22.07.19 09:50	10	
69361	162492	PLAN	20.07.19	07:52	1903919	C	2	100-1	3501903919		350P006	RV 275_I	42,88	1	22.07.19 09:10	10	
69406	162537	LITK	22.07.19	09:18	1903916	C	2	100-1	3501903916		350P006	RV 275_I	42,88	1	22.07.19 09:05	10	
69352	162483	PLAN	20.07.19	07:52	1903918	C	2	100-1	3501903918		350P006	RV 275_I	42,88	1	22.07.19 08:30	10	
69352	162483	PLAN	20.07.19	07:52	1903917	C	1	100-1	3501903917		350P006	RV 275_I	42,88	1	22.07.19 08:30	10	
69398	162529	LITK	22.07.19	08:03	1903914	C	2	100-1	3501903914		350P006	RV 275_I	42,88	1	22.07.19 07:50	10	
69406	162537	LITK	22.07.19	09:09	1903915	C	1	100-1	3501903915		350P006	RV 275_I	42,88	1	22.07.19 07:50	10	
69398	162529	LITK	22.07.19	08:09	1903913	C	1	100-1	3501903913		350P006	RV 275_I	42,88	1	22.07.19 07:45	10	
69379	162510	LITK	22.07.19	07:09	1903912	C	2	100-1	3501903912		350P006	RV 275_I	42,88	1	22.07.19 06:53	10	
69379	162510	LITK	22.07.19	07:03	1903911	C	1	100-1	3501903911		350P006	RV 275_I	42,88	1	22.07.19 06:50	10	

Obr. 8. Plán výroby

8. TAVEBNÍ LIST

Taviči mají na slévárně k dispozici počítače, ve kterých si před zahájením tavby musí vyhledat informace k danému odlitku. Na začátku směny si tavič z plánu výroby načte pro každý odlitek tzv. *tavební list*, ve kterém se mu po vložení čísla vsázkového příkazu zobrazí složení vsázky, podle kterého naváží jednotlivé suroviny. Do každého tavebního listu pak v průběhu směny zapisuje příslušná data. Některé údaje jako např. váha vsázkových surovin nebo teploty se zapisují pomocí čidel napojených na SIMATIC automaticky.

Na konci každé směny musí mistr jednotlivé tavební listy zkontrolovat a tzv. uzavřít. V praxi to znamená, že pečlivě projde všechny záložky a zkontroluje data v nich obsažená, případně doplní o některé údaje, které tavič ani systém nezapisují (např. prodleva mezi odlitím první a druhé vrstvy) ale může napsat i poznámku o technologické anomálii, která nastala v průběhu výroby odlitku a může mít vliv na jeho kvalitu. Po uzavření tavebního listu se v *Plánu výroby* položka Stav tavby PLAN změní na LITK (lití konec).



Obr. 9. Počítač používaný tavičem

8.1 Tavební list – vsázka

Po vložení čísla vsázkového příkazu se zobrazí seznam jednotlivých položek vsázky, které musí tavič navážít. Každá položka vsázky má svůj jedinečný kód a podle tohoto kódu jsou označeny i palety s uloženým materiálem. Plošinová váha, na které tavič vsázku váží je čidlem propojena přes SIMATIC a zaznamenává do systému hmotnost navážených surovin. V případě, že se hmotnost navážené složky vsázky liší o 20 %, objeví se na monitoru hláška, která na tuto skutečnost taviče upozorní a ten je pak nucen hmotnost upravit.

Tavební list slévárny VÚHŽ Dobrá

Nápověda

Číslo tavby: 162476 / Název odlitku: BANDÁŽ VUHŽ 540-225-1220_D70 / Obnovit / Konec

Číslo pece: 1000 / Číslo odlitku: 1904116 / Počet odl: 1 / Směna: 1

Pořadí tav: 1 / Jakost mater: / Datum/den: 22. 7 .2019 / Zobrazení: posledních 200 taveb / Tisk

Zapsal: Milata Petr, I. / 22.07.2019 / 14:13:15 / Vedoucí: Milata Petr I. / Tavič: Hradil René / Slévač: Buzek Mirosl. / Pomocník: Hlisenkovský

Vsázka / Technol.časy / Teploty, energ. / Analýzy / Doleg., dezox. / Info - pánev / Přísady celkem / Info odlitek, pec

Vsáz.příkaz: 5 / Dop.vsáz.příkaz: 5 / Kokila/průměr/délka: 567 / 545 / 1250 [mm] / Vložka/průměr/délka: / / [mm]

P.č.	Název přísady	Kód	Množství přísady [kg]			Stav	Datum	Čas	Číslo	Vrstva	Licí stroj: SHOLS450
			požad.	skuteč.	příz.						
1	Ocel po válcování H4	041	639,00	644,	R	22.07.19	:	1904116	P		
2	FeMo	019	3,00	3,	R	22.07.19	:	1904116	P		
3	FeV	096	0,001	0,001	R	22.07.19	:	1904116	P		
4	Grafitové nauhličovadlo	029	14,00	14,	R	22.07.19	:	1904116	P		
5	Ni katody	037	4,00	4,	R	22.07.19	:	1904116	P		
6	FERROGEN 8	157	1,00	1,	R	22.07.19	:	1904116	P		
7	FeCr- 69%	014	0,001	0,001	R	22.07.19	:	1904116	P		
8	FeMn	018	0,001	0,001	R	22.07.19	:	1904116	P		
9	Vrat Bandáže	178	300,00	300,	R	22.07.19	:	1904116	P		
10	FeSi	023	0,001	0,001	R	22.07.19	:	1904116	P		
11	Špony Cr-Ni	159	40,00	41,	R	22.07.19	:	1904116	P		

Celkem: 1001,004 / 1007,004 kg / Vymaž data k tavbě

Verze: 2.1.0 - 27.3.2019

Obr. 10. Tavební list – vsázka

8.2 Tavební list – technologické časy

Tyto údaje slouží k vyhodnocení délky tavby a k vyčíslení celkových nákladů na odlitek z hlediska spotřeby elektrické energie. Celková doba tavby nám může ale i poskytnout informaci o kvalitě odlitku. Údaje se zapisují jednak automaticky přes koncové spínače (odpich pece), ovládací tlačítka (tavení začátek) anebo dané údaje musí tavič zapsat ručně. Sledují se a zapisují následující časové údaje:

- SZ/SK sázení začátek/sázení konec
- TZ/TK tavení začátek/tavení konec
- OZ/OK odpich začátek/odpich konec
- LZ/LZ lití začátek/lití konec

8.3 Tavební list – teploty, energie

Spotřeba elektrické energie se zaznamenává automaticky stejně tak jako naměřené teploty, které se přes měřící termosondy a SIMATIC ukládají do systému. Tavič pouze ručně запиše celkovou spotřebu termosond. Celková suma za spotřebované termosondy se automaticky započítá do celkových nákladů na odlitek

8.4 Tavební list – analýzy

Naměřené hodnoty předzkoušek a výsledné analýzy se automaticky přenášejí do systému ELVIS přes počítač napojený na spektrometr. Poskytují taviči informaci o naměřených hodnotách, popřípadě ho červenou barvou upozorní na odchylku od předepsané normy.

Tavební list slévárny VUHŽ Dobrá

Nápopověda

Číslo tavby: 162476 Název odlitku: BANDÁŽ VUHŽ 540-225-1220_D70 Obnovit Konec

Číslo pece: 1000 Číslo odlitku: 1904116 Počet odl: 1 Směna: 1

Pořadí tav: 1 Jakost mater: Datum/den: 22. 7. 2019 Zobrazení: posledních 200 taveb Tisk

Zapsal: Málata Petr, I. 22.07.2019 14:13:15 Vedoucí: Málata Petr I. Tavič: Hradil René Slévač: Buzek Miroslav Pomocník: Hlissnikovský

Vsázka Technologický Teploty, energ. **Analýzy** Doleg., dezox. Info - pánev Přísady celkem Info odlitek, pec

Označení	Typ	Vrstva	Druh	Pořadí	Datum	Čas	Prvky						
							C	Mn	Si	P	S	Cu	V
analýzy	analýzy	V			22. 7. 2019	13:35:56	1.973	1.113	1.133	0.011	0.016	0.056	0.082
		V	P2	2	22. 7. 2019	16:42:47	2.034	1.073	0.406	0.011	0.019	0.057	0.078
		V	P1	1	22. 7. 2019	9:54:15	1.960	0.982	0.249	0.016	0.019	0.054	0.031
JakostP_min							1,9	0,8	0,9				0,05
JakostP_max							2,3	1,2	1,2	0,06	0,02		0,1

Obr. 11. Tavební list – analýzy

8.5 Tavební list – dolegování, dezoxidace

Po záložce vsázka se jedná o druhou nejdůležitější záložku. Informuje taviče jednak o hmotnosti dezoxidačních přísad a způsobu jejich aplikace, ale především je zde uvedeno množství legur, které musí navážit a dát do taveniny. Množství legur se vypočítá pomocí tzv. *legovacího modelu* na základě analýzy provedené na spektrometru.

8.6 Tavební list – info pánev

V závislosti na hmotnosti tavby předák vybere vhodnou pánev. V naší slévárně používáme především hrncové pánve různých objemů. Celkovou hmotnost odpichu a číslo pánve tavič ručně zapíše do tavebního listu. Systém automaticky vypočte ztráty, předvahu a zaznamená celkový počet odpichů na danou pánev.

8.7 Tavební list – přísady celkem

Informuje taviče o celkové hmotnosti tavby. Tento údaj je důležitý zejména v případech, kdy je na elektrické indukční peci naplánována výroba stejného druhu materiálu, takže v ní, vlivem neustálého dolegování, roste hmotnost. Aby byly výpočty pro dolegování co nejpřesnější, tak se zpravidla na konci směny celý zbytek pece vylije do housek, případně se použije ve formě vratného materiálu pro další směnu. Dále s touto záložkou pracuje ekonom, který má tak přehled o celkových nákladech na odlitek z hlediska vsázky.

8.8 Tavební list – info odlitek, pec

Tato poslední záložka z tavebního listu slouží výlučně ke shrnutí základních informací o odlitku, což využívá především technolog v případě, že potřebuje získat rychlý přehled údajů týkajících se daného odlitku.

8.9 Tavební list pro zápis dat u technologicky náročných odlitků

Pro každý komplikovanější odlitek si technolog vytvoří „papírovou“ verzi tavebního listu, ve kterém jsou uvedeny všechny důležité parametry, které je nutné během výroby pečlivě sledovat. Týká se to zejména nových výrobků, jejichž výroba probíhá pod technologickým dozorem. Pro běžnou výrobu se tyto listy nepoužívají – zde si vystačíme s údaji uvedenými v elektronickém tavebním listu.

Tavební list																									
Datum:		12.03.2018		ID odlitku:		350P797		Pec číslo:		500-1															
Směna:		A		ARDOKUM				Číslo tavby:		154838															
Předák:		Mrázek		360-310-1390				Pořadí tavby na směně:		2															
Pomocník:		Brůžek		č.1800967				Stav pece:		23 Tumba															
Tavič:		Bouše						Jakost materiálu:		GGG 60															
vsázka dodegování modifikace		Kód		Hmotnost [kg/tavbu]				Analýza tekutého kovu																	
		350M		Vsázka příkaz č.1		Skutečnost				C		Mn		Si		P		S		Cu		Mg		Sc	
Vsázka	PIG NOD	046	4	1	8	0	0	4	2	1	5	0	P1	4,02	0,10	0,87	0,046	0,024	0,90						
	Ocel H4	041	7	0	0	0	0	7	3	0	0		P2	4,09	0,25	1,21	0,047	0,022	0,97						
	SiC	167		3	0	0	0	3	1	0			K	3,08	0,32	3,90	0,044	0,015	0,95	0,049					
	Grafit	029		0	0	0	0							Čas odebrání předzkoušky z EIP:											
	Cu čistá	010		5	0	0	0	5	0	0				Informace o pánvích											
	Ferrogen	098		0	5	0	0							Číslo pánve:	3										
													Nahřátí pánve:	ok. č. 23 Tumba 212											
													Teplota pánve:	280°C											
Dodegování	Grafit												Hmotnost po odpichu:	496											
	Cu čistá							0	7	1			Hmotnost po stažení strusky:	492											
	FeMn							0	4	6			Pokles teploty odlitku v kokile po odliti [°C] [CYCLOPS]												
	FeSi							2	1	1															
Pánev č.1	Modifikátor	072		6	0	0							3 minuty:			15 minut:	1199								
	Inoculin	108		4	5	0							4 minuty:			16 minut:	1195								
	Plechý			5	0	0							5 minut:	1226		17 minut:	1189								
Pánev č.2													6 minut:	1211		18 minut:	1173								
													7 minut:	1209		19 minut:	1156								
													8 minut:	1210		20 minut:	1135								
													9 minut:	1209		21 minut:	1121								
Vsázka a přísady celkem		518,4(495 kg)												10 minut:	1209		22 minut:	1100							
Informace o kokile														11 minut:	1209		23 minut:								
														12 minut:	1207		24 minut:								
Licí stroj: HOLS 450														13 minut:	1207		25 minut:								
Kokila E ø450 mm		č.520-525(450-1700)												14 minut:	1204		26 minut:								
Kokilová vložka:		č.161(378-1410)												Teplota odpichu:		1790°C									
Nástřík: VUHŽ na litinu														1460-1480°C											
Teplota kokily vnější:	Začátek		Střed		Konec								Odpich začátek:		0:00										
	163		156		175								Odpich konec:		0:35										
													Začátek stahování strusky:		1:20										
Teplota kokily vnitřní:	Začátek		Střed		Konec								Konec stahování strusky:		2:25										
	135		130		141								Začátek modifikace:		2:55										
													Konec modifikace:		3:18										
Otáčky: 1050 ot/min. po odliti 950 ot/min														Konečná analýza:		4:20									
<ul style="list-style-type: none"> • PO ČELU DOBU LITÍ ZVÝŠEK PLYN • 2 MINUTY PLYNŮ OTÁČKY • STAVPÁNÍM BEZ PŘEBUŽNÍ • SUDAVŮ ODVĚK 371/290x1393 												Teplota v pánvi_1:		1360		4:48									
														Teplota v pánvi_2:		1348		6:15							
														Teplota v pánvi_3:											
														Teplota v pánvi_4:											
												Teplota lití:		1348+5"		1340-1360°C									
												Lití začátek:		6:25											
												Lití konec:		7:23											
												Celková doba lití:		58"											

Obr. 12. Tavební list

9. LEGOVACÍ MODEL

Chemickou analýzu tavby provádí mistr nebo technolog na spektrometru. V minulosti bylo nutné za pomoci kalkulačky ručně vypočítat množství legujících přísad, které se musí dodat do tavby, abychom docílili požadovaného chemického složení. Tento výpočet byl sice poměrně jednoduchý, ale na druhou stranu také poněkud nepřesný, neboť nezohledňoval aktuální chemické složení vsázkových surovin a vliv hmotnosti přidávaných legur na finální výpočet. Navíc mistr musel vypočtené údaje napsat na papír a osobně předat taviči čímž docházelo k určitým časovým prostojům a v případě odlévání většího množství odlitků nebyly už tyto ztrátové časy zanedbatelné. Tento problém jsme vyřešili instalací dalšího počítače do místnosti se spektrometrem. Do tohoto

počítače jsme nainstalovali informační systém ELVIS, který obsahoval tzv. legovací model. Analýza dané tavby se ze spektrometru odešle do legovacího modelu, kde mistr provede výpočet a výsledek zase odešle taviči na slévárnu. O ukončeném přenosu dat s výpočtem dolegování je tavič informován hláškou na monitoru svého počítače. Pro bezchybné fungování legovacího modelu potřebujeme znát aktuální chemické složení vsázkových surovin, okamžitou hmotnost tavby a samozřejmě v systému požadavků musí být definováno *Doporučené chemické složení*.

Obr. 13. Legovací model

Výše uvedené informace se víceméně týkají technologie slévárny, respektive povinností technologa, které musí splnit, aby bylo možné daný odlitek zaplánovat do výroby. Systém ELVIS slouží také i pro statistické vyhodnocení tavicích agregátů, licích strojů, žihacích pecí. Můžeme ale sledovat i počet taveb na určité EIP nebo počet odlití na pánev, celkovou spotřebu materiálu případně se vytisknout žihací diagram k danému odlitku a předat ho zákazníkovi. V plánu je implementace údajů z technické kontroly zejména pak řízení zmetkovitosti a v neposlední řadě začlenění skladových pohybů do systému.

Slévárna společnosti VUHŽ díky svému Elektronickému Výrobně Informačnímu Systému získává maximum informací o vyrobených odlitcích a je schopna, na základě uložených dat, poskytnout zpětnou vazbu jak technologům slévárny tak zákazníkovi. Rovněž máme dokonalý přehled o veškerých finančních nákladech spojených s výrobou daného odlitku, což v plné míře využívají naše ekonomické a obchodní oddělení.

Vliv tepelného zpracování na vlastnosti martenzitických korozivzdorných ocelí na odlitky

Čamek, L.¹⁾, Kaňa, V.²⁾, Záděra, A.³⁾, Myška, M.⁴⁾,

¹⁾ VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, odbor slévárenství, camek@fme.vutbr.cz

²⁾ VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, odbor slévárenství, kana@fme.vutbr.cz

³⁾ VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, odbor slévárenství, zadera@fme.vutbr.cz

⁴⁾ VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, odbor slévárenství, myska@fme.vutbr.cz

Klíčová slova

Korozivzdorné oceli, martenzit, zušlechtění, mechanické vlastnosti

Abstract

The article deals with the influence of chemical composition of martensitic stainless steel for castings GXCrNi13-4 on mechanical properties and structure of as cast steel after heat treatment. Chemical composition of the melt has been treated to the desired composition of the lower, middle and upper bounds of the nickel content in the steel within the limits allowed by the standard. Test blocks were gradually cast from the melt. The influence of the nickel equivalent value on structure and properties of the 1.4317 steel was determined from results of mechanical tests.

1. ÚVOD

Martenzitické korozivzdorné oceli (MS) jsou velice často používány pro výrobu odlitků určených pro hydroenergetiku, jako jsou například odlitky lopatek vodních turbín, oběžná kola čerpadel nebo tlakové nádoby. Pro tyto účely jsou používány zejména martenzitické oceli s nízkým obsahem uhlíku, kde je dosahováno unikátních poměrů mezi technologickými a mechanickými vlastnostmi a korozní odolností materiálu [1], [2]. Vlastnosti těchto martenzitických korozivzdorných ocelí jsou silně ovlivňovány chemickým složením a strukturou materiálu po tepelném zpracování. Struktura těchto ocelí je po kalení tvořena martenzitem a zbytkovým austenitem. Při popouštění oceli dochází ke snižování obsahu uhlíku v martenzitu a ke vzniku jemně vyloučených karbidů. Způsob tepelného zpracování má zásadní vliv na strukturu martenzitických ocelí s nízkým obsahem uhlíku a tím i na pevnost, tvrdost a tažnost těchto ocelí [3], [4], i nárazovou práci [5]. Jak uvádí autoři práce [5], je důležité, zda popouštění zakalené struktury MS probíhá jednostupňově nebo ve více stupních. Výskyt feritu v martenzitických korozivzdorných ocelích je považován za nežádoucí, protože dle některých výzkumníků dochází ke snížení nárazové práce v důsledku snížení koheze feritu s okolní maticí. Na druhou stranu zvýšení podílu feritu vede k růstu tažnosti. V práci [6] je popsán vliv tepelného zpracování a druhu korozního prostředí na odolnost oceli vůči korozi a tloušťku ochranné pasivační vrstvy. Chemické složení v jednotlivých fázích ve struktuře se mění v závislosti na tepelném zpracování, což ovlivňuje jak stabilitu jednotlivých fází mikrostruktury (zbytkový austenit a ferit), tak i podmínky jejich transformace, například změna teploty Ms a Mf [3–5]. Volbou chemického složení v rámci rozmezí dané normou a použitým tepelným zpracováním je možné ovlivňovat významně pevnostní vlastnosti i plasticitu a houževnatost oceli a dosahovat optimální technologické vlastnosti a korozní odolnost oceli.

2. PODSTATA EXPERIMENTU

Chemické složení martenzitické korozivzdorné oceli GX4CrNi13-4 používané pro výrobu součástí vodních turbín a složení oceli plánované pro experiment je uvedeno v **Tab. 1**. Maximální obsah uhlíku v oceli činí 0,06 %. Při výrobě odlitků pro hydroenergetiku z tohoto typu oceli je z důvodu opravného svařování požadován obsah uhlíku často v rozmezí pouze 0,01–0,02 hmot. %.

Snížení obsahu uhlíku o 0,04 % (z 0,06 % na 0,02 %) vyvolá změnu niklového ekvivalentu o 1,2 – viz rovnice (1). Hodnota chromového ekvivalentu se změnou obsahu uhlíku a niklu nemění.

$$Ni_{ekv.} = \%Ni + 0,5 \cdot \%Mn + 30 \cdot \%C + 30 \cdot \%N \quad (1)$$

$$Cr_{ekv.} = \%Cr + \%Mo + 1,5 \cdot \%Si + 0,5 \cdot \%Nb \quad (2)$$

Snížení $Ni_{ekv.}$ může vést ke zvýšení podílu feritu ve struktuře po zušlechťení oceli (Schaefflerův diagram) [1]. Obsah feritu ve struktuře je některými zákazníky požadován max. 2 %, případně 5 %. Změna obsahu uhlíku (snížení niklového ekvivalentu) by měla být kompenzována zvýšením niklového ekvivalentu přísadou niklu tak, aby výsledný podíl feritu nepřekročil požadavek zákazníka. V **Tab. 1.** je uvedeno rozmezí změny niklového ekvivalentu, ke kterému by mělo dojít změnou koncentrace Ni v oceli. Hodnota chromového ekvivalentu pro plánované chemické složení oceli činí kolem 13,5.

Tabulka 1. Chemické složení oceli

Prvek	norma [hmot. %]	plán [hmot. %]		
C max.	0,06	0,02		
Mn max.	1,00	0,80		
Si max.	1,00	0,40		
P max.	0,035	0,025		
S max.	0,025	0,005		
Cr	12,00–13,50	13,00		
Mo max.	0,70	0,20		
N	–	0,020		
Ni	3,50–5,00	3,5	4,2	5,0
$Ni_{ekv.}$	–	5,1	5,8	6,6

2.1 Příprava taveniny

Výroba oceli byla provedena v 80kg vakuové středofrekvenční indukční peci (VIF) s neutrální výduskou pece Wedorit FM12. Plánovaná hmotnost tavby byla 79,2 kg. Základem vsázky byl vratný kovový odpad, nelegovaná ocel. Podle výsledků analýzy chemického složení kovové vsázky bylo provedeno dolegování pomocí FeCr, FeMo, FeSi a Ni.

2.2 Příprava forem a odlévání

Zkušební odlitky byly odlévány do forem ze samotuhnoucích formovacích směsí. Materiál pro výrobu forem byl připraven z ostřiva SiO_2 pojeného fenol-alkalickou pryskyřicí (ALPHASET).

Zkušební odlitky byly Y bloky o tloušťce 60 mm (Y60). Pro kontrolu poklesu teploty v průběhu chladnutí byl v každém odlitém bloku umístěn termočlánek.

Z experimentu byly odlity tři zkušební bloky Y60 s odstupňovaným obsahem niklu a chemickým složením, které udává hodnoty $Ni_{ekv.}$ a $Cr_{ekv.}$ uvedené v **Tab. 2.**

Výsledné obsahy niklu velmi dobře pokrývají rozmezí dané normou a odpovídají plánovaným hodnotám niklových ekvivalentů.

Tabulka 2. Dosažené hodnoty $Ni_{ekv.}$ a $Cr_{ekv.}$

Blok	331-1	331-2	331-3
$Ni_{ekv.}$	5,01	5,61	6,45
$Cr_{ekv.}$	13,85	13,58	13,33

2.3 Postup tepelného zpracování

Z každého bloku byly vyřezány čtyři desky o rozměru 60 × 115 × 24 mm. Byly označeny číslem 1 až 4 doplněným za označení uvedené v **Tab. 2.** Tři desky s označením (313-1-1, 313-2-1 a

313-3-1) byly ponechány v litém stavu. Ostatní desky měly vyvrtány do středu desky otvor průměru 3,5 mm pro umístění plášťového termočláčku typu K. Tyto desky byly následně podrobeny tepelnému zpracování, kalení a popuštění.

Režim tepelného zpracování kalení sestával z ohřevu na teplotu 1030 °C s výdrží 1 h a následným ochlazením na teplotu okolí třemi rozdílně intenzivními způsoby:

- na klidném vzduchu / in quiet air (vzorky 313-1-2, 313-2-2 a 313-3-2);
- na proudícím vzduchu pomocí ventilátoru / on flowing air (vzorky 313-1-3, 313-2-3 a 313-3-3);
- na proudícím vzduchu s vodní mlhou / on flowing air with water mist (vzorky 313-1-4, 313-2-4 a 313-3-4).

Po kalení bylo zařazeno popuštění společné pro všechny zkušební desky, a to 620 °C / 2 h s ochlazením v peci. Ze záznamu termočládků byly stanoveny průběhy ochlazování z austenitizační teploty pro jednotlivé způsoby ochlazování. Dosažené průměrné ochlazovací rychlosti v rozmezí 960–600 °C jsou uvedeny v **Tab. 3**.

Tabulka 3. Průměrné rychlosti ochlazování vzorků

Intenzita ochlazování	klidný vzduch	proudící vzduch	proudící vzduch s vodní mlhou
rychlost ochlazování	98 [°C/min]	117 [°C/min]	124 [°C/min]

2.4 Mechanické vlastnosti

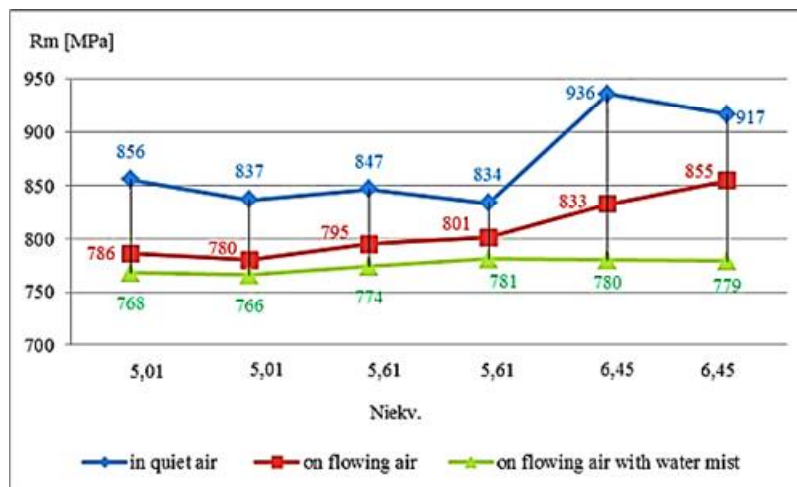
Každá tepelně zpracovaná deska byla rozdělena na 3 podélné části a vždy z krajních částí (označeny A a B) byla vyrobena zkušební tělesa pro tahovou zkoušku. Celkem bylo takto připraveno 18 ks zkušebních těles.

Byly testovány hodnoty meze pevnosti R_m [MPa], meze kluzu $R_{p0,2}$ [MPa] a tažnosti A [%]. V **Tab. 4** jsou uvedeny dosažené hodnoty mechanických vlastností při hodnotách Ni_{ekv} ze vzorků A a B (313-1-2, 313-2-2, 313-3-2) po tepelném zpracování na klidném vzduchu, ze vzorků A a B (313-1-3, 313-2-3, 313-3-3) po tepelném zpracování na proudícím vzduchu pomocí ventilátoru a ze vzorků A a B (313-1-4, 313-2-4 a 313-3-4) po tepelném zpracování na proudícím vzduchu s vodní mlhou.

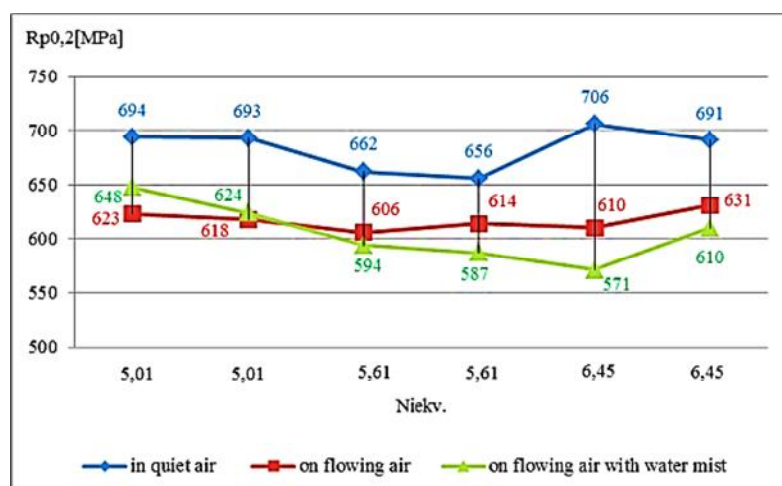
Tabulka 4. Dosažené výsledky vybraných mechanických hodnot

Vzorek č.	Ni_{ekv}	$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m [MPa]	A [%]	Z [%]
313-1-2 A	5,01	694	856	12,7	59,5
313-1-2 B	5,01	693	837	13,7	63,7
313-1-3 A	5,01	623	786	16,5	65,1
313-1-3 B	5,01	618	780	16,7	65,9
313-1-4 A	5,01	648	768	18,1	66,8
313-1-4 B	5,01	624	766	18,9	68,3
313-2-2 A	5,61	662	847	13,9	64,4
313-2-2 B	5,61	656	834	14,6	65,4
313-2-3 A	5,61	606	795	15,6	51,4
313-2-3 B	5,61	614	801	16,2	66,3
313-2-4 A	5,61	594	774	19,1	67,3
313-2-4 B	5,61	587	781	17,3	66,1
313-3-2 A	6,45	706	936	12,7	63,1
313-3-2 B	6,45	691	917	13,0	56,9
313-3-3 A	6,45	610	833	16,3	66,7
313-3-3 B	6,45	631	855	14,9	61,8
313-3-4 A	6,45	571	780	19,6	68,5
313-3-4 B	6,45	610	779	20,3	62,4

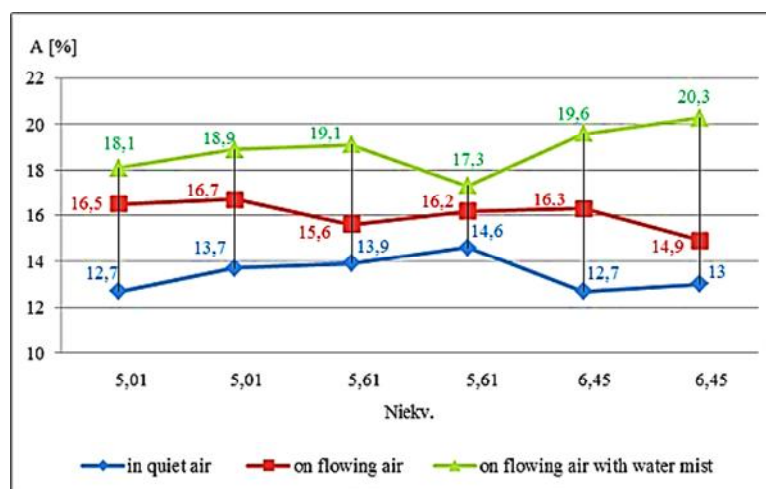
Jednotlivé výsledky byly zapracovány do grafického znázornění (**Obr. 1 až Obr. 3**). Pro všechna grafická znázornění jednotlivých mechanických hodnot platí, že na ose x jsou první dvě hodnoty $Ni_{ekv.}$ po tepelném zpracování na klidném vzduchu, druhé dvě hodnoty $Ni_{ekv.}$ po tepelném zpracování na proudícím vzduchu pomocí ventilátoru a poslední dvě hodnoty $Ni_{ekv.}$ po tepelném zpracování na proudícím vzduchu s vodní mlhou.



Obr. 1. Dosažené hodnoty meze pevnosti v závislosti na hodnotě niklového ekvivalentu a intenzitě ochlazování při kalení



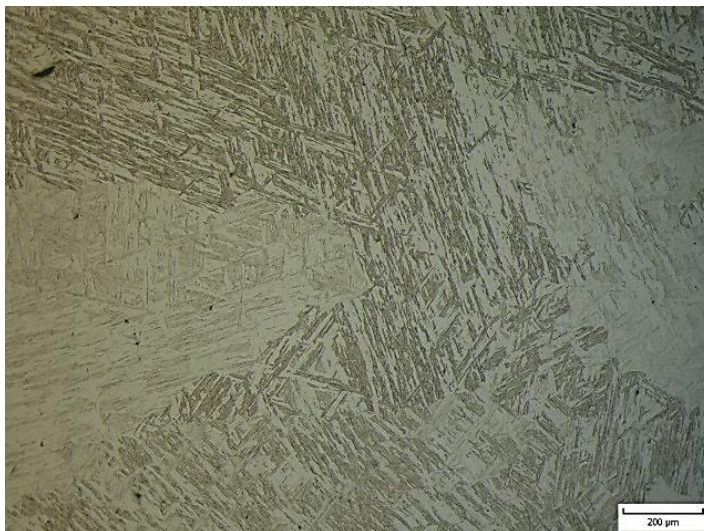
Obr. 2. Dosažené hodnoty meze kluzu v závislosti na hodnotě niklového ekvivalentu a intenzitě ochlazování při kalení



Obr. 3. Dosažené hodnoty tažnosti v závislosti na hodnotě niklového ekvivalentu a intenzitě ochlazování při kalení

2.5 Mikrostruktura

Materiály ze zkušebních bloků byly hodnoceny metalograficky v litém stavu a po tepelném zpracování. Metalografické vzorky byly odebrány z hlavové části zkušebních těles pro tahovou zkoušku po jejich přetržení. Na **Obr. 4** je znázorněna mikrostruktura v litém stavu materiálu s hodnotou niklového ekvivalentu $Ni_{ekv. 5,01}$ (obsah Ni 3,55 %). **Obr. 5** znázorňuje mikrostrukturu stejného materiálu $Ni_{ekv. 5,01}$, ale po kalení a popuštění při ochlazování materiálu při kalení na klidném vzduchu.



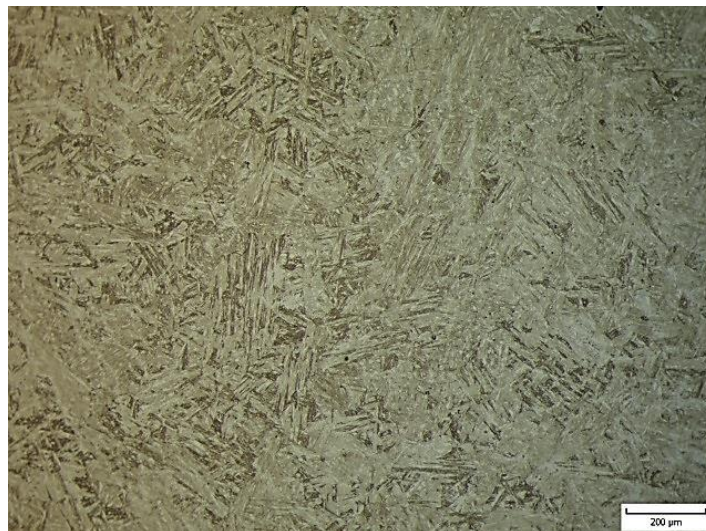
Obr. 4. Mikrostruktura oceli při $Ni_{ekv. 5,01}$ v litém stavu



Obr. 5. Mikrostruktura oceli při $Ni_{ekv. 5,01}$ po kalení a popuštění, kalení na klidném vzduchu

Mikrostruktura stejného materiálu s $Ni_{ekv. 5,01}$, ale po kalení na proudícím vzduchu pomocí ventilátoru materiálu a popuštění je znázorněna na **Obr. 6**. Na **Obr. 7** je zachycena mikrostruktura také materiálu s $Ni_{ekv. 5,01}$, ale po kalení a popuštění s použitím chlazení proudícím vzduchem a vodní mlhou.

V litém stavu se nachází ve struktuře poměrně hrubé částice martenzitu. Při pomalém ochlazování po kalení a popuštění (klidný vzduch) je struktura martenzitická s vyloučením drobných částic feritu na hranicích zrn.



Obr. 6. Mikrostruktura oceli při $Ni_{ekv. 5,01}$ po kalení a popuštění, kalení na proudícím vzduchu pomocí ventilátoru



Obr. 7. Mikrostruktura oceli při $Ni_{ekv. 5,01}$ po kalení a popuštění, kalení proudícím vzduchem s vodní mlhou

Použitím intenzivnějšího ochlazování (proudící vzduch, proudící vzduch + vodní mlha) dochází k významnému zjmenění latěk martenzitu a dochází také k potlačení vylučování feritu na hranicích zrn. Hodnocení podílu feritu ve struktuře z metalografických výbrusů po kalení a popuštění při použití intenzivnějšího ochlazování již není možné. Pro určení fázového složení je nutné použít buď rtg. difrakční analýzu, nebo obrazovou analýzu s využitím měření mikrotvrdosti. Lze rovněž využít poznatku, že ferit je v martenzitických ocelích významně obohacen o chrom a molybden oproti okolní matici.

3. DISKUZE VÝSLEDKŮ

V rámci vlastního výzkumu byly ověřovány vlastnosti martenzitické korozivzdorné oceli 1.4317. Výsledky experimentu ukázaly, že dosažené mechanické vlastnosti při tahové zkoušce vyhověly všem požadavkům normy. Hodnoty meze pevnosti a meze kluzu významně překročily požadavky tepelného zpracování QT1 dle DIN při třech různých hodnotách niklového ekvivalentu v rozmezí 5,01; 5,61 a 6,45. Požadované hodnoty meze pevnosti a meze kluzu vyhověly ve všech třech způsobech tepelného zpracování, na klidném vzduchu, na proudícím vzduchu pomocí ventilátoru a na proudícím vzduchu s vodní mlhou.

Dosažené hodnoty meze tažnosti vyhovují a překračují hodnoty materiálu s $Ni_{ekv. 5,01}$; 5,61 a 6,45 při tepelném zpracování na proudícím vzduchu pomocí ventilátoru a na proudícím vzduchu s

vodní mlhou. Výsledky hodnot materiálu s $Ni_{ekv.}$ (5,01; 5,61; 6,45) při tepelném zpracování na klidném vzduchu se nacházejí těsně pod hodnotami stanovenými normou. Z dosažených výsledků vyplývá, že pro požadované hodnoty tažnosti je nutné zajistit vyšší rychlost ochlazování materiálu při kalení než jen na klidném vzduchu. Důležité je dosažení určité rychlosti ochlazování v průřezu materiálu, nejedná se o povrchovou teplotu daného vzorku. Hodnoty ochlazovací rychlosti uvedené v **Tab. 3** odpovídají hodnotám naměřeným v materiálu v ose tloušťky stěny 24 mm.

Jak vyplývá z **Obr. 4–7**, dochází s rostoucí intenzitou chlazení během kalení k výraznému zjemnění látek martenzitu a potlačení vylučování částic feritu na hranicích zrn.

V dalším výzkumu budou zkoumány vlastnosti martenzitických korozivzdorných ocelí s hodnotou niklového ekvivalentu okolo 5,40.

4. ZÁVĚR

Byl prokázán vliv hodnoty niklového ekvivalentu a intenzity ochlazování při kalení na vlastnosti martenzitické korozivzdorné oceli na odlitky GX4CrNi13-4. Struktura ocelí byla sledována v litém stavu a po tepelném zpracování, mechanické vlastnosti pouze po kalení a popuštění. Změnou obsahu niklu při jinak konstantním složení byla měněna hodnota niklového ekvivalentu v rozmezí 5,01; 5,61 a 6,45.

Hodnocením mechanických vlastností při tahové zkoušce bylo potvrzeno, že vyhovujících hodnot mechanických vlastností je dosahováno bez ohledu na hodnotu niklového ekvivalentu pouze v případě vyšší intenzity ochlazování oceli při kalení. Zpracování oceli na klidném vzduchu nevedlo u žádného z testovaných materiálů k dosažení požadované tažnosti.

Poděkování

Příspěvek byl zpracován za finanční podpory TAČR v rámci projektu, ev. č. TH02020445 – „Výzkum a vývoj nové technologie výroby tvarově složitých a tenkostěnných součástí využívaných v hydroenergetice“.

LITERATURA

- [1] ŠENBERGER, J.; Z. BŮŽEK; A. ZÁDĚRA; K. STRÁNSKÝ; V. KAFKA.: *Metalurgie oceli na odlitky*. Brno VUT v Brně Nakladatelství Vutium. 311 p. 2008. ISBN: 978-80-214-3632-9.
- [2] ČIHAL, V.: *Korozivzdorné oceli a slitiny*. Praha: Academia. 1999. 437 s. ISBN 80-200-0671-0.
- [3] TSUCHIYAMA, T.; J. TOBATA; T. TAO; N. NAKADA; S. TAKAKI: Quenching and partitioning treatment of a low-carbon martensitic stainless steel. *Material Science and Engineering*, A. 532 (2012) 585–592. doi: 10.1016/j.msea.2011.10.125.
- [4] ISFAHANY, A. N.; SAGHAFIAN, H.; KBORHANI, G.: The effect of heat treatment on mechanical properties and corrosion behaviour of AISI420 martensitic stainless steel. *Journal of Alloys and Compounds*. 509 (2011) 3931-3936. doi: 10.1016/j.msea.2009.08.022
- [5] SONG, Y. Y.; X. PING; X. Y. YIN; X. Y. LI; Y. Y. LI: Microstructural evolution and low temperature impact toughness of a Fe–13%Cr–4%Ni–Mo martensitic stainless steel. *Material Science and Engineering A*. 527 (2010) 614–618. doi: 10.1016/j.jallcom.2010.12.174.
- [6] GERVASI, C. A.; C. M. MENDÉZ; P. D. BILMES; C. L. LLORENTE: Analysis of the impact of alloy microstructural properties on passive films formed on low-C 13CrNiMo martensitic stainless steels. *Material Chemistry and Physic*. 126 (2011), 178–182. doi: 10.1016/j.matchemphys.2010.11.043.

ZDAS



METALURGIE

TVÁŘECÍ STROJE
ZAŘÍZENÍ PRO
ZPRACOVÁNÍ
VÁLCOVANÝCH
VÝROBKŮ

VÝROBA ZAŘÍZENÍ
PODLE DOKUMENTACE
DODANÉ ZÁKAZNÍKEM

LISOVACÍ NÁSTROJE

NOVÁ ZAŘÍZENÍ PRO TRADIČNÍ TECHNOLOGIE



ŽDAS, a.s.

Strojírenská 6
591 71 Žďár nad Sázavou

tel.: 566 643 967
fax: 566 642 871
e-mail: or@zdas.cz

www.zdas.cz

SBORNÍK PŘEDNÁŠEK



sekce
metalurgie litin

56. SLÉVÁRENSKÉ DNY
12.-13. 11. 2019
Brno

Povrchové laserové kalení litiny s kuličkovým grafitem s různými výchozími strukturami

Mores, A.¹⁾, Horník, J.¹⁾, Odehnal, J.²⁾, Skrbek, B.³⁾, Němec, M.¹⁾, Krčil, J.¹⁾

¹⁾ ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Technická 4, 166 07 Praha 6

²⁾ PILSEN STEEL, S.R.O., Tylova 2/57, 316 00 Plzeň

³⁾ TU v Liberci, Fakulta strojní, Katedra materiálu, Studentská 2, 461 17 Liberec

Klíčová slova

Litina s kuličkovým grafitem se zpevněným tuhým roztokem, ausferitická litina s kuličkovým grafitem (ADI), povrchové kalení, povrchové laserové kalení, povrchové indukční kalení, tvrdosti po povrchovém kalení, strukturální vyhodnocení

Abstrakt

Odlitky z litiny s kuličkovým grafitem se zpevněným tuhým grafitem pomocí křemíku se používají hlavně v automobilovém průmyslu a v energetice v oblasti náročných hmotných odlitků pro konstrukce větrných elektráren. Obsah křemíku u těchto nelegovaných litin s kuličkovým grafitem (LKG) se pohybuje mezi 3,2–4,3 %. Tyto litiny mají strukturu feritickou s vyššími pevnostními vlastnostmi R_m , $R_{p0,2}$, A . I při feritické struktuře mají vyšší hodnoty tvrdosti ve srovnání s LKG s běžnou strukturou, ale s běžnými obsahy Si. Odlitky z litiny se zpevněným tuhým roztokem se zvýšeným obsahem Si lze povrchově indukčně kalit, rovněž je lze povrchově laserově kalit. /1,2/ Příspěvek se zabývá povrchovým laserovým kalením LKG z materiálu E-GJS-450-18 a provádí se srovnání s podobným materiálem EN-GJS-500-14, rovněž se zvýšeným obsahem Si. Díle se pojednává o povrchovém laserovém kalení vzorků z ausferitické litiny s kuličkovým grafitem (ADI) s izotermickým kalením s výdrží na různé teploty s vytvořením ausferitické struktury. Prověřovány byly rovněž vzorky, které před izotermickým kalením měly výchozí strukturu politickou a vzorky s výchozí strukturou převážně feritickou.

1. ÚVOD

Odlitky z LKG jsou v současné době materiálem ze slitin železa, kde v posledním desetiletí nedošlo k poklesu výroby, naopak výroba odlitků z LKG se zvýšila. Je to způsobeno hlavně tím, že odlitky z LKG nahradily převážnou část dílů z běžných litých uhlíkových ocelí. To platí hlavně u průmyslu spojeném s výrobou automobilů. Také v České republice i při celkovém poklesu výroby odlitků ze slitin železa, zůstává výroba odlitků z LKG přibližně stejná, to je cca 50 000 tun odlitků za rok.

Převážná část výroby odlitků z LKG spočívá v odlévání tradičních značek materiálů, to je s feriticko-perlitickou, politickou, hmotné odlitky i se strukturou převážně feritickou tak, jak uvádí již všeobecně používaná norma ČSN EN 1563.

Stále více se však rozšiřuje i výroba odlitků z LKG se zvýšeným obsahem V **Tab. 1** jsou uvedeny 3 druhy LKG se zvýšeným obsahem Si, které jsou rovněž uvedeny v ČSN- EN 1563.

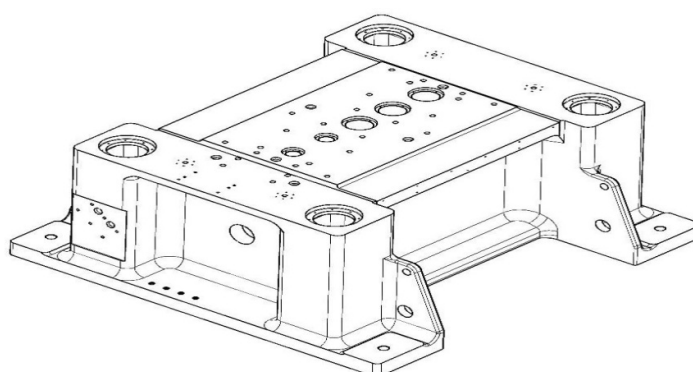
Materiál EN- GJS- 500-14 se používá hlavně pro výrobu odlitků pro automobilový průmysl. Tento materiál vykazuje velmi malé rozptyly tvrdosti v řádu jednotek HBW při vysokých pevnostních vlastnostech. Automobilky využívají tento materiál hlavně pro jeho stabilní malé rozptyly tvrdostí, což usnadňuje opracování na automatických obráběcích centrech.

Tabulka 1. Údaje z ČSN EN 1563 pro feritické značky ze zpevněného tuhého roztoku

Označení materiálu		Směrná tloušťka stěny [mm]	R _{p0,2} [MPa] min.	R _m [MPa] min.	A [%] min.	HBW	Si [hm. %] Cca
Značka	Číselné značení						
EN-GJS-450-18	5.3108	30- 60	340	430	14	170-200	3,20
EN-GJS-500-14	5.3109	30- 60	390	480	12	185-215	3,80
EN-GJS-600-10	5.3110	30- 60	450	580	8	200-230	4,30

V energickém průmyslu jsou využívány hlavně materiály EN-GJS-450-18 a EN-GJS-500-14 / 3,4/. Je zajímavé, že oba tyto materiály mají předepsané velmi blízké hodnoty mechanických vlastností. Může se tedy stát, že jedna tavba s dosaženými mechanickými hodnotami např.

R_m = 550 MPa, R_{p0,2} a A = 19 % bude vyhovovat pro oba materiály podle údajů normy ČSN EN 1563, liší se však v obsahu Si.



Obr. 1. Skica odlitku lisovacího stolu z EN- GJS- 450-18

Na **Obr. 1** je skica odlitku lisovacího stolu z materiálu EN- GJS-450-18, čistá hmotnost 46 754 kg. Rozměry odlitku: šířka 3800 mm x délka 3920 mm, výška 1719 mm, tloušťky stěn 90–300 mm. Při zkoušce pevnosti v tahu z vývrtu stěn tohoto hmotného odlitku bylo dosaženo velmi dobrých hodnot mechanických vlastností. Průměr ze tří zkoušek byl: R_{p0,2} = 365 MPa, R_m = 476 MPa, A = 18 %. Bylo tedy dosaženo velmi příznivého poměru R_m : R_{p0,2}, což je typické pro LKG se zvýšeným obsahem Si. Odlitek vyrobila jedna známá slévárna v ČR.

LKG se zvýšeným obsahem Si dosahují při feritické struktuře tvrdost HB do cca 230 HBW.

Byly proto provedeny zkoušky s povrchovým laserovým kalením, i když je výchozí struktura křemíkem zpevněný ferit. Zkoušky s povrchovým laserovým kalením jsou doplněním již dříve s provedených zkoušek s povrchovým indukčním kalením těchto materiálů /2, 5/.

V českých slévárnách se pomalu, ale jistě rozšiřuje i výroba odlitků z ausferitické litiny s kuličkovým grafitem, materiálem častěji známým jako ADI. U těchto materiálů se provádí izotermické kalení postupem, kdy po ohřevu nad teplotu A_{c1} z austenitizačních teplot s výdrží, nastává ochlazení v solné lázni na teploty stanovené v intervalu 220–450 °C s dostatečnou dobou výdrže. Při vyšší teplotě izotermického kalení se dosáhnou vyšší hodnoty tažnosti A a nižší hodnoty meze pevnosti R_m, naopak při nižší teplotě izotermického kalení se dosáhne vyšších hodnot pevnosti R_m. Nevznikne martenzit, ale struktura složená z feritu a martenzitu, která se nazývá ausferit.

Na **Obr. 2** je odlitek posuvného kloubu kardanu, hmotnost 8 kg, isotermická výdrž 350 °C, na **Obr. 3** je pouzdro náhonu vstřikovacího čerpadla motorů LIAZ/TEDOM, odlitky se vyrábějí s výdrží 310 °C při izotermickém kalení.



Obr. 2. Odlitek z ADI, hmotnost 8 kg



Obr. 3. Odlitek z ADI, hmotnost 0,6 kg

Výchozí struktura před izotermickým kalením má být perlitická, kov je případně legován Cu, Mo, Mn, Ni.

V příspěvku bude rovněž pojednáno o povrchovém laserovém kalení izotermicky kalených odlitků z LKG s výchozí strukturou převážně feritickou. Tato výchozí struktura se může u odlitků vyskytovat, bylo proto prověřeno, zda při povrchovém laserovém kalení vznikne na povrchu odlitků martenzit s využitím uhlíku z částic grafitu.

2. POVRCHOVÉ KALENÍ ODLITKŮ Z LKG

Povrchové kalení je rozšířeno hlavně u ocelových dílů, to platí i pro odlitky. Obsah uhlíku by měl být větší než 0,30 %, ale normy litých materiálů pro odlitky obecně udávají, že lze kalit i oceli s uhlíkem 0,17 %, což platí i pro povrchové kalení /6/. Je však vhodné, aby kov obsahoval více Mn, Mo, Ni, Cu, ovšem vždy v rámci povolených rozmezí.

Povrchově indukčně i laserově lze kalit i litiny s výchozí perlitickou strukturou. U materiálů z LKG se však rozšiřuje výroba detailů s feritickou základní strukturou (např. s vyšším obsahem Si), nebo struktury feriticko-perlitické. Výsledky zkoušek povrchového indukčního kalení byly popsány v pracích /5, 6, 7, 8/. Bylo zjištěno, že lze s úspěchem odlitky z LKG povrchově indukčně kalit, ovlivněná vrstva se zvýšenou tvrdostí je do cca 4 mm. Např. u feritické LKG s Si značky EN- GJS 500-14 došlo ke zvýšení povrchové tvrdosti o cca 100 HBW.

2.1 Povrchové laserové kalení

Při tomto způsobu kalení je energie laserového svazku materiálem pohlcována do podpovrchových částí. Okamžitě ale nastává ochlazování odvodem tepla do materiálu pod neovlivněnou vrstvou. Povrchová vrstva je zakalena s vyloučením jemného martenzitu a tím je dosaženo i poměrně vysoké tvrdosti. Musí se však dbát na to, aby při tomto způsobu povrchového kalení nedocházelo k natavení. Hloubka martenzitické zakalené vrstvy je při laserovém povrchovém kalení dosti malá, pouze 0,5 mm–max. 1 mm, u povrchového indukčního středofrekvenčního kalení se dosáhnou hloubky větší, ale přímo u povrchu tvrdosti nižší.

Odlitky z LKG se zvýšeným obsahem Si se ve světě používají ve stále větším rozsahu i v ČR nastává pomalý nárůst výroby odlitků z těchto materiálů. Využívají se nejen vysoké pevnostní vlastnosti, ale u odlitků velkých hmotností i stálá a dobrá obrobitelnost.

Křemík je silně grafitizační prvek a jeho přítomnost v litinách má velký vliv na jejich vlastnosti. Kromě zásadního vlivu na vyloučení uhlíku ve formě grafitu při krystalizaci má také velký vliv na strukturu základní kovové hmoty. Podporuje stabilní transformaci austenitu na grafitový eutektoid – ferit v průběhu chladnutí litiny a při vyšším obsahu snižuje tažnost a rázovou houževnatost. Křemík s výrazně menším poloměrem atomu oproti železu se rozpouští ve feritu, kdy společně vytváří substituční tuhý roztok označovaný jako silikoferit (ferit zpevněný křemíkem). /3, 7/. Feritická struktura LKG se pak zvýší tvrdosti na hodnoty cca 200–250 HBW a je stabilní.

Při perlitické základní struktuře při ohřevu austenit dostatečně nasytí uhlíkem z cementitu. Při laserovém povrchovém kalení LKG s feritickou strukturou austenitizace probíhá pomaleji a obtížněji. Uhlík do austenitu je dodán z nodulí grafitu, austenit pak je v okolí nodulí obohacen uhlíkem.

2.3 Povrchové kalení ausferitické litiny s kuličkovým grafitem

Odlitky s ausferitickou základní strukturou po izotermickém kalení vykazují vysoké hodnoty mechanických vlastností, tomu odpovídají i vysoké hodnoty tvrdosti.

Povrchové indukční kalení vysoké hodnoty tvrdosti u LKG litin ADI nemůže podstatně zvýšit, běžné hodnoty tvrdostí na povrchu po izotermických kaleních odpovídají pro značky EN-GJS- 1050 -6 a EN- GJS – 1200- 3 hodnotám 350–450 HBW, což jsou hodnoty vysoké odpovídající struktuře těchto materiálů. Bylo proto rozhodnuto, že se provedou zkoušky s povrchovým laserovým kalením s předpokladem, že nastane podstatné povrchové zvýšení tvrdostí, při poměrně vysokých tvrdostech základního materiálu, který je navíc houževnatý, to je se zaručenými hodnotami rázové energie na zkušebních tělesech s V vrubem.

Pro porovnání výsledků byly provedeny i zkoušky s ausferitickou litinou s kuličkovým grafitem, kde výchozí struktura je převážně feritická, což je v určitém rozporu s provozními zkušenostmi, kde základní výchozí struktura je perlitická.

3. ZKOUŠKY S POVRCHOVÝM LASEROVÝM KALENÍM

3.1 LKG se zvýšeným obsahem Si

V dřívější práci autorů bylo provedeno vyhodnocení povrchového laserového kalení u feritické LKG se zvýšeným obsahem Si, materiál EN- GJS- 500- 14 / 2,5 /. Byly zjištěny rovněž struktury v jádře vzorků a v zakaleném povrchu.

V dále uvedených zkouškách se srovnaly výsledky dvou druhů LKG se zvýšeným obsahem Si, byly zjištěny struktury a průběhy tvrdostí u podobného materiálu EN- GJS- 450-18, to je také materiál se zvýšeným obsahem Si. Chemické složení obou materiálů je uvedeno v **Tab. 2**.

Tab. 3 uvádí parametry laserového kalení. Po zakalení vzorky pomalu chladly na teplotu okolního vzduchu.

Vzorek byl povrchově zakalen na broušené ploše průjezdem laserové hlavy podle parametrů kalení. Proces byl řízen pyrometrem tak, aby byla dodržena definovaná povrchová teplota. Všechny vzorky byly zakaleny stejnými parametry.

Tabulka 2. Chemické složení a označení vzorků LKG

Vzorek Č.	Materiál dle ČSN-EN	Chemické složení [hm. %]								
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Mo	Mg
1	GJS- 450-18	3,20	3,25	0,03	0,030	0,015	0,05	0,05		0,045
2	GJS -500-14	3,05	3,75	0,23	0,023	0,018		0,013		0,043

Tabulka 3. Parametry laserového kalení

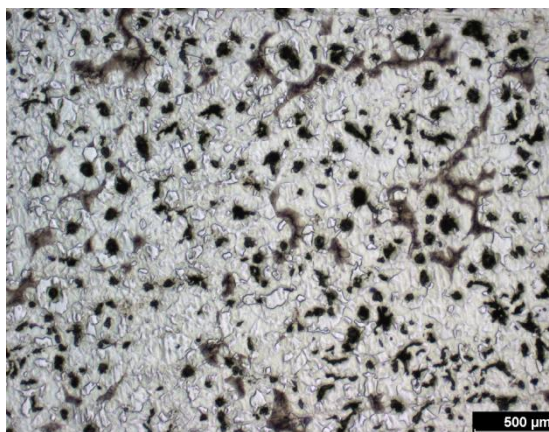
	Průjezd
Teplota	1120°C
Velikost laserového spotu	8x20 mm
Povrchová rychlost	45 cm/min
Použitý laser	Laserline LDF 10000-100
Fokusační vzdálenost	348 mm
Manipulátor	Robot Fanuc M710iC s jednoosým polohovadlem
Kalící optika	Laserline zoom optics (proměnný rozměr paprsku v obou osách 8-54 mm)

Parametry pro laserové povrchové kalení byly shodné pro všechny dále uvedené zkoušky. Vzorky byly válečky $d = 30$ mm, $v = 50$ mm, ty byly rozříznuty po výšce tak, aby vznikla rovná plocha pro laserové kalení

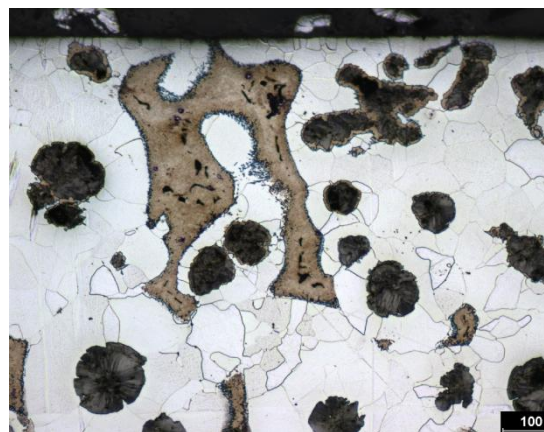
3.1.1 Výsledky laserového povrchového kalení feritické LKG s Si

Vzorek z materiálu EN- GJS- 450-18- průběh tvrdostí je uveden na **Grafu 1**. Jsou zde i obrázky struktury v jádře vzorku a v ovlivněném povrchu. Základní struktura v jádře je převážně feritická s malým obsahem perlitu. Po laserovém povrchovém kalení došlo ke zmenšení velikosti grafitových nodulí, v jejich okolí vzniknul martenzit a zbytkový austenit. Průběh tvrdostí ukazuje prudký pokles od povrchu z hodnot cca 700 HV na cca 230 HV v hloubce 0,5–1 mm. Vysoká tvrdost v povrchových vrstvách je ovlivněna distribucí martenzitických ostrůvků v povrchově zakalené vrstvě.

V **Grafu 2** jsou uvedeny průběhy tvrdostí materiálů EN- GJS- 450-18 a EN- GJS- 500-14. U obou materiálů je opět zřejmé, že povrchové laserové kalení ovlivňuje materiál do hloubky max. 1 mm.



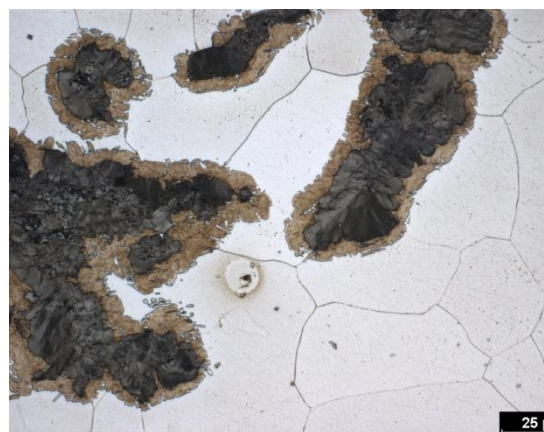
450-18 – jádro – přehled



450-18 – kalená vrstva – detail



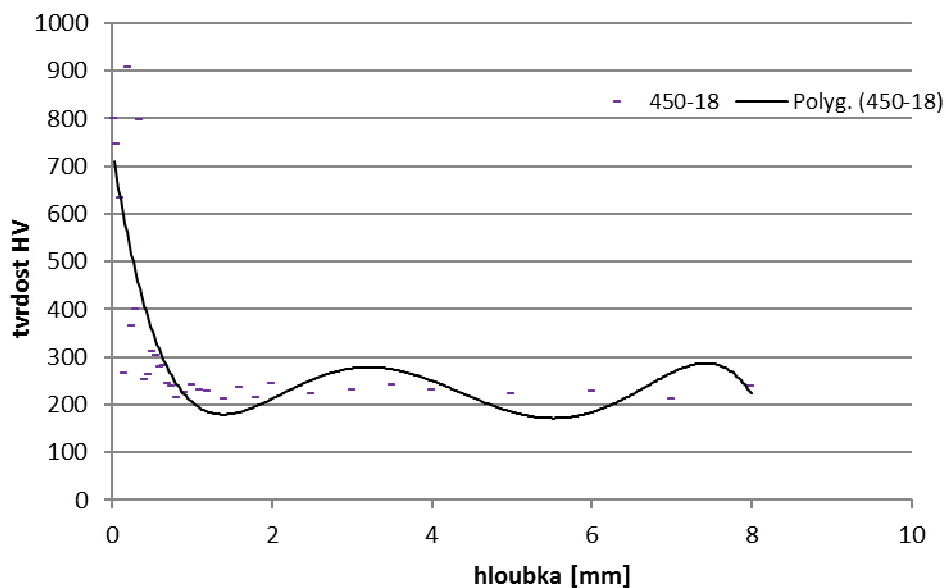
450-18 – kalená vrstva – detail



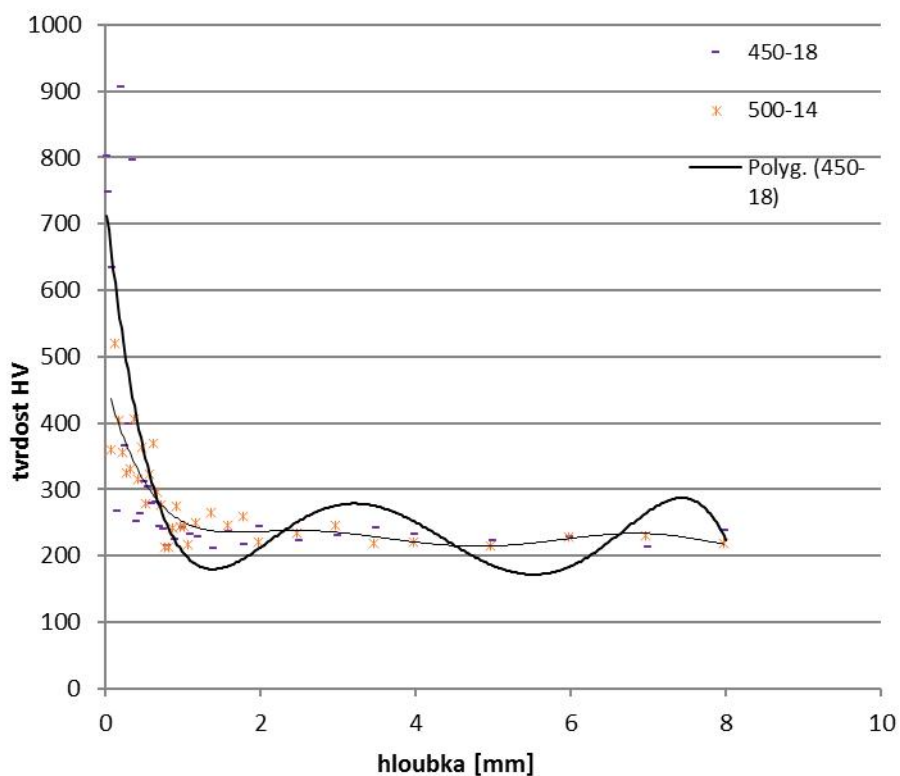
450-18 – kalená vrstva – detail

Materiál 450-18

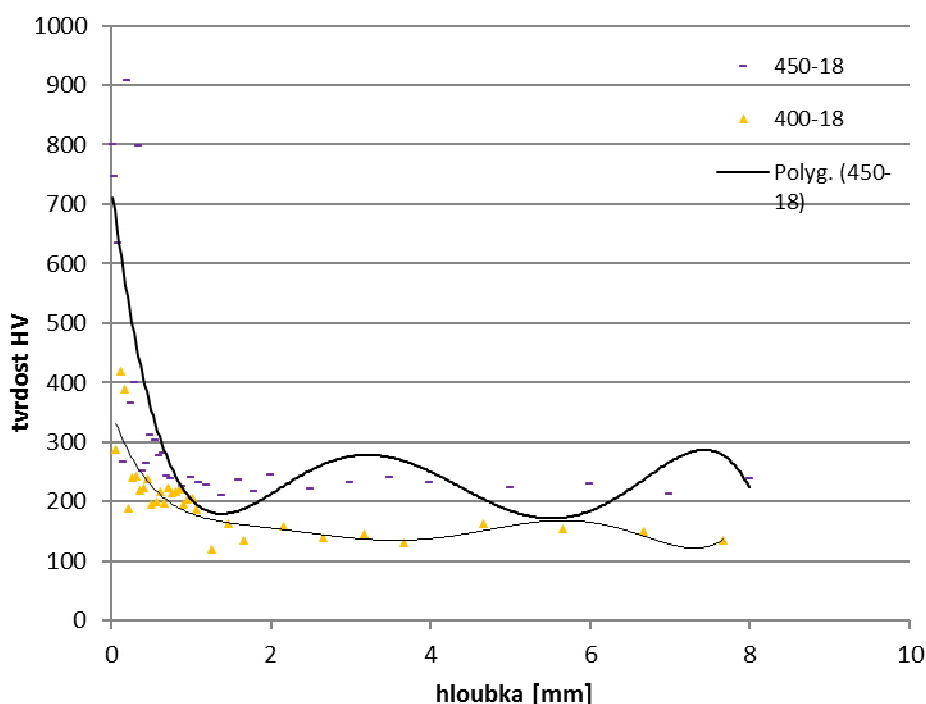
450-18



Graf 1. Materiál EN- GJS-450-18



Graf 2. Porovnání průběhu zakalené vrstvy pro EN-GJS-450-18 (fialová) a EN- GJS-500-14 (červená)



Graf 3. Porovnání průběhu zakalené vrstvy pro EN GJS 450-18 (fialová) a EN- GJS-400-18

Velmi zajímavé je srovnání dvou feritických materiálů EN- GJS- 450-18 se zvýšeným obsahem Si = 3,25 % a běžné feritické LKG zn. EN- GJS 400-18 s běžným obsahem Si = 2,34 %. Je vidět, že u materiálu s běžným obsahem Si po povrchovém laserovém kalení se zvýšila tvrdost pouze o cca 80–100 HV. Průběh tvrdostí u LKG s feritickou základní strukturou se zpevněným tuhým roztokem po povrchovém laserovém kalení dosahuje tvrdosti až trojnásobné. Průběh tvrdostí je na **Grafu 3**.

3.2 Ausferitické litiny s kuličkovým grafitem

Pro povrchové laserové kalení byly vybrány vzorky:

č. 122- základní struktura před izotermickým kalení perlitická

č. 96K 240 a 96K 400- základní struktura před izotermickým kalení převážně feritická

Chemické složení vzorků je uvedeno v **Tab. 4**.

Tabulka 4. Chemické složení vzorků ausferitických LKG

Vzorek č.	Chemické složení [hm. %]							
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Mg
122	3,20	3,25	0,03	0,030	0,015	0,05	0,05	0,045
96K240 96K400	3,05	3,75	0,23	0,023	0,018		0,013	0,043

Tvrdosti vzorku č. 122 před povrchovým izotermickým kalení.: 410–430 HV

Tvrdosti vzorků č. 96K240 a 96K400 před izotermickým kalení: 460,390, 398 HV

3.2.1 Základní materiál před izotermickým kalením perlitický

Na **Grafu 4** jsou uvedeny průběhy získaných tvrdostí po povrchovém laserovém kalení ausferitické LKG s výchozí strukturou perlitickou.

V grafu jsou rovněž obrázky získané struktury. Na obrázku struktury s velkým zvětšením je vidět hrubší martenzit a je zde více zbytkového austenitu.

Základní struktura v jádře je ausferit se zbytkovým austenitem do 1 %. Na povrchu vzorku je martenzitická struktura a zbytkový austenit ve větším množství než v jádře vzorku.

3.2.2 Základní materiál před izotermickým kalením převážně feritický

Skutečnost, že základní materiál před izotermickým kalením je převážně feritický, je neobvyklou záležitostí. Zkoušky byly provedeny proto, že struktury feriticko-perlitické, nebo perliticko-feritické jsou pro výrobu odlitků pro automobilovou výrobu základní- je to materiál EN-GJS- 500-7.

V označení vzorků znamená koncová část výši teploty izotermického zpracování

Vzorek 96K240: výdrž na austenitizační teplotě 30 minut

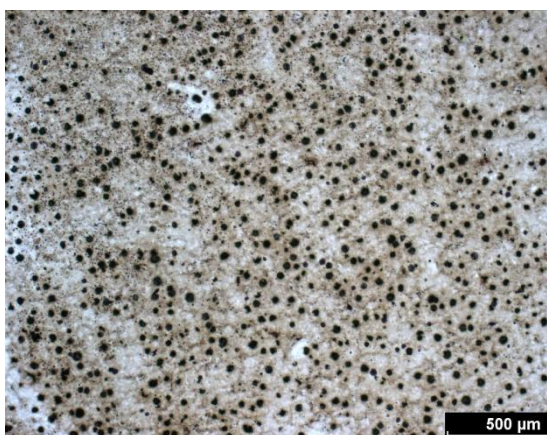
výše izotermické přeměny 240 °C

výdrž na izotermické teplotě 10 minut

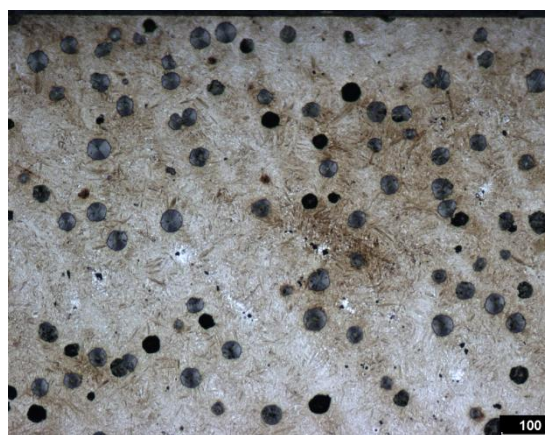
Vzorek 96K 400: výše izotermické přeměny 400 °C

Ostatní údaje shodné

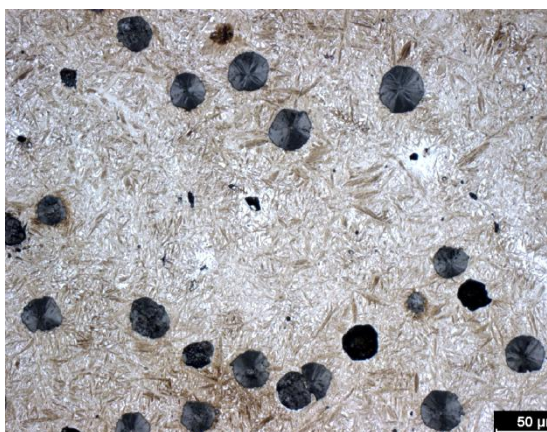
Na **Grafu 5** je uveden průběh tvrdostí po povrchovém laserovém kalení vzorku 9K6240, to je vzorku s izotermickým kalením při teplotě 240 °C.



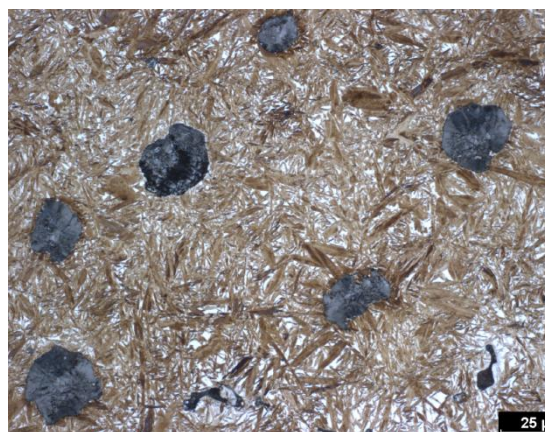
ADI 122 – jádro – přehled



ADI 122 – kalená vrstva – detail



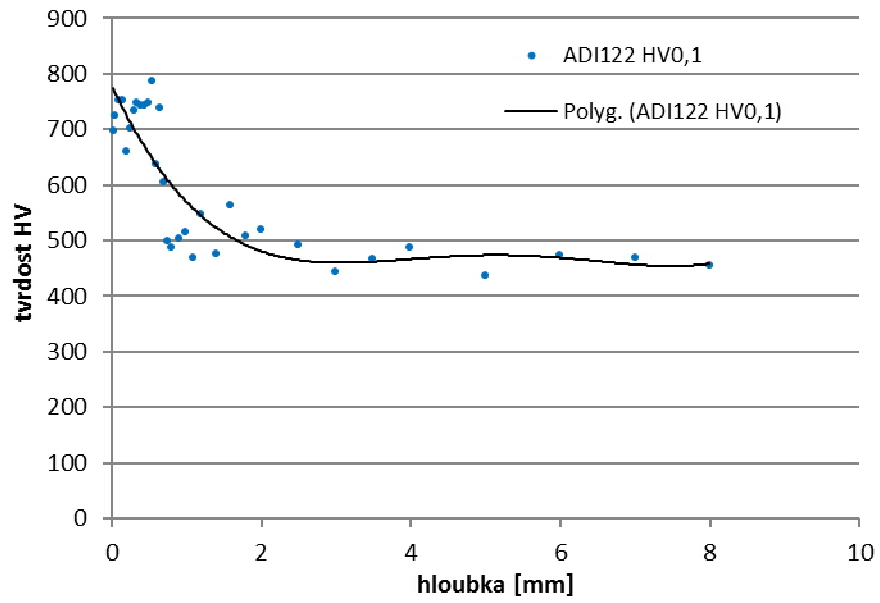
ADI 122 – kalená vrstva – detail



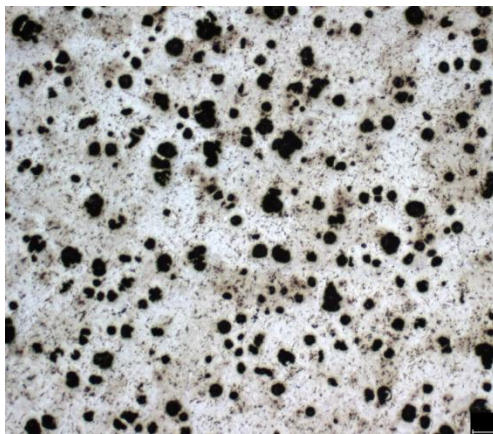
ADI 122 – kalená vrstva – detail

Materiál ADI 122

ADI 122



Graf 4. Povrchové kalení -ausferitická LKG, výchozí struktura perlitická



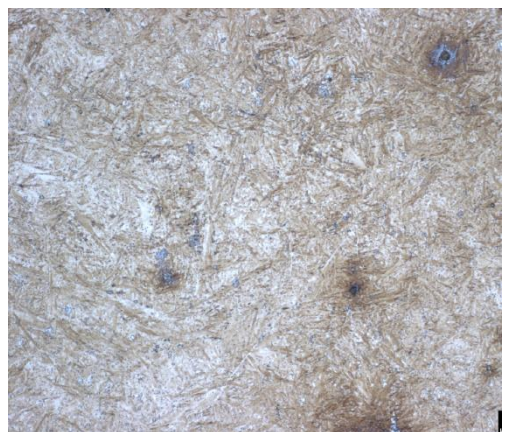
9K6-240 – jádro – přehled



9K6-240 – kalená vrstva – detail

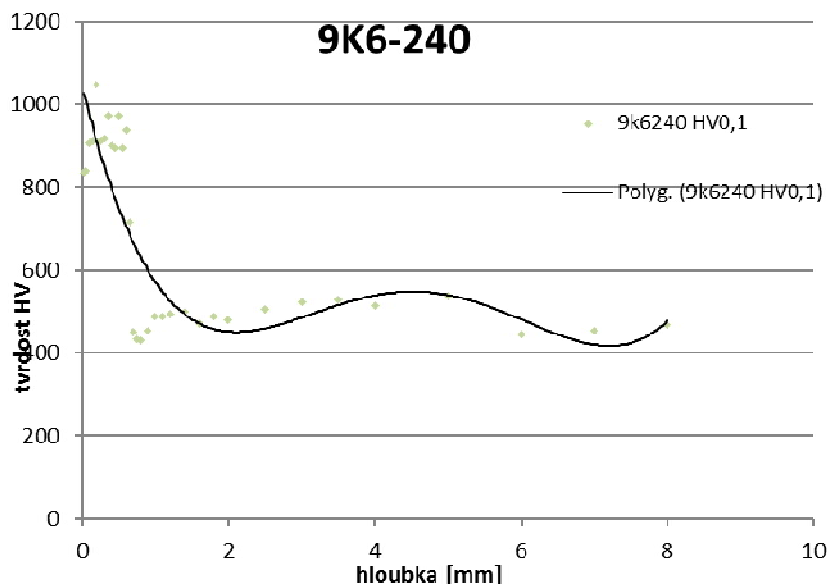


9K6-240 – kalená vrstva – detail



9K6-240 – kalená vrstva – detail

Materiál 9K6-240

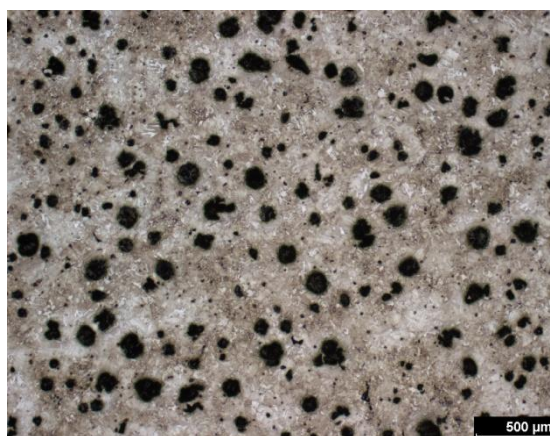


Graf 5. Povrchové kalení – ausferitická LKG, výchozí struktura feritická

Hodnoty povrchových tvrdostí jsou značně vysoké do hloubky cca 0,5 mm od povrchu. Struktura se skládá z grafitových nodulí, ausferitu a zbytkového austenitu. Na snímku se značným zvětšením je patrné, že došlo k ochuzení grafitových nodulí o C, případně některé grafitové nodule se úplně ztratily.

Na obrázku struktury s velkým zvětšením je vidět hrubší martenzit a je zde více zbytkového austenitu.

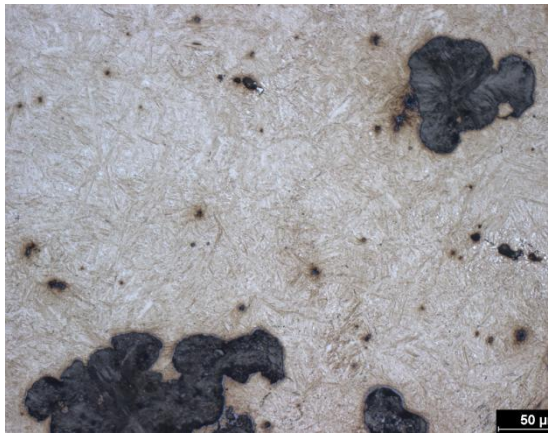
Na **Grafu 6** je uveden průběh tvrdosti po povrchovém kalení vzorku 9K6400- izotermická teplota je 400 °C. Dosažené tvrdosti po povrchovém laserovém kalení jsou zvýšené do hloubky cca 1 mm od povrchu. Na obrázku s velkým zvětšením je vidět, že struktura obsahuje jemný martenzit, málo zbytkového austenitu, tyto skutečnosti ovlivnily dosažené tvrdosti- do hloubky 0,5 mm jsou dosažené tvrdosti cca 900 HV.



9K6-400 – jádro – přehled



9K6-400 – kalená vrstva – detail



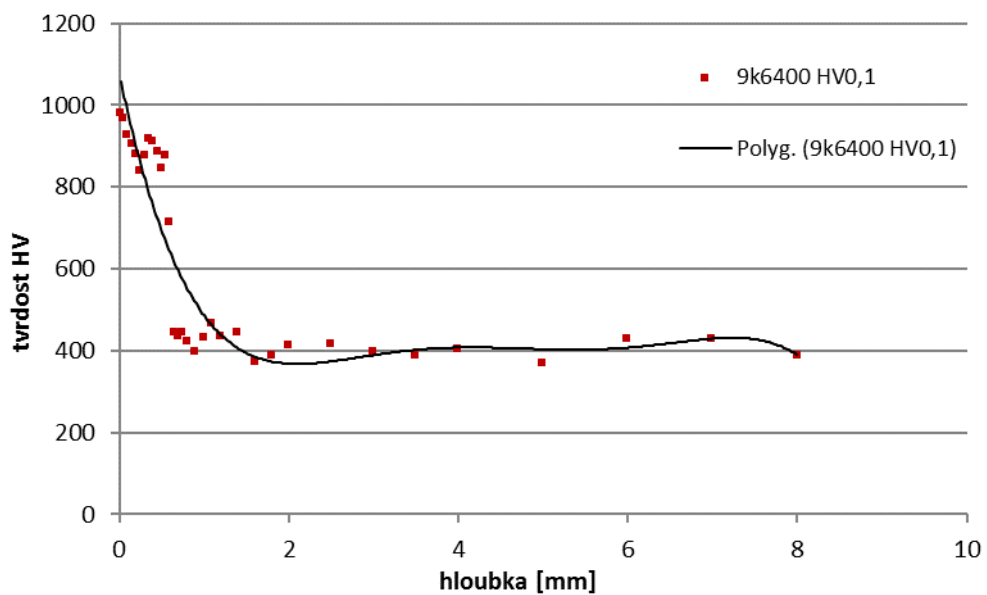
9K6-400 – kalená vrstva – detail



9K6-400 – kalená vrstva – detail

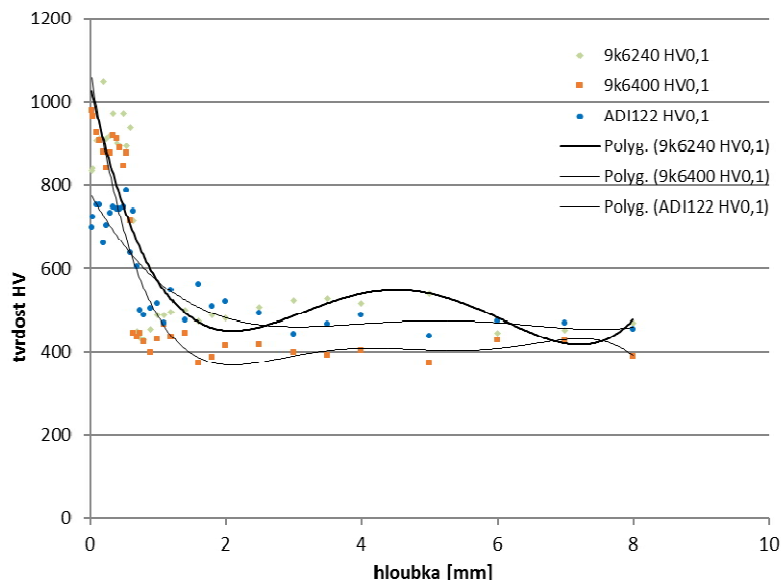
Materiál 9K6-400

9K6-400



Graf 6. Povrchové kalení -ausferitická LKG, výchozí struktura feritická, izotermická teplota 400 °C

Na **Grafu 7** jsou uvedeny průběhy tvrdostí všech tří vzorků, které byly izotermicky kaleny a následně provedeno povrchové laserové kalení. Průběh tvrdostí všech tří vzorků ausferitické litiny s kuličkovým grafitem je po povrchovém laserovém kalení přibližně shodný. Tvrdosti jsou zvýšené do hloubky cca 0,8 mm od povrchu a dosahují hodnot 700–1000 HV.



Graf 7. Celkové porovnání tvrdostí tří druhů ausferitické LKG po povrchovém laserovém kalení

4. ZÁVĚR

Povrchové laserové kalení potvrdilo, že u LKG se zvýšeným obsahem Si, s téměř čistě feritickou strukturou, lze získat zvýšené hodnoty tvrdosti do hloubky až 0,8 mm. Tyto hodnoty se pohybují od 320 HV do 450 HV, někdy i více až 700 HV. U vzorků z materiálu EN- GJS-450-18 se docílila vyšší povrchová tvrdost ve srovnání s materiálem EN-GJS-500-14, tato vyšší tvrdost byla ovlivněna distribucí martenzitických ostrůvků v povrchově zakalené vrstvě a rovněž výběrem náhodného místa pro měření.

Vyšší tvrdosti po povrchovém laserovém kalení jsou způsobeny nejen výskytem martenzitu na povrchu, ale i křemíkem zpevněným feritem. Ve srovnání např. s indukčním povrchovým kalením se dosáhlo vyšší povrchové tvrdosti, od 1mm jsou hodnoty tvrdostí po povrchovém laserovém kalení již téměř shodné se základním neovlivněným materiálem, to je cca 220 HV.

Důležitým poznatkem je, že LKG obou značek se zpevněným tuhým roztokem pomocí Si, je možno laserově povrchově kalit, i když výchozí struktura je feritická. Feritickou klasickou LKG značky EN- GJS-400-18 bez Si nemá smysl povrchově kalit.

Povrchově laserově kalit lze i ausferitické litiny s kuličkovým grafitem, kde je možno dosáhnout vysoké povrchové tvrdosti do hloubky 0,8 mm od povrchu. Dobré výsledky byly dosaženy i u vzorků, které měly před izotermickým kalením převážně feritickou strukturu.

Výsledky průběhů tvrdostí po laserovém kalení zejména u litin s kuličkovým grafitem vykazují veliký rozptyl hodnot. Tyto rozptyly vznikly vlivem vtlačování indentoru do různých fází mikrostruktury (ferit, perlit, martenzit), jejichž samotné hodnoty tvrdosti jsou značně odlišné. Nejvíce je to patrné právě u laserově zakalených vrstev. V jejich případě je hloubka zakalené vrstvy mnohem menší, než bývá u indukčně zakalené vrstvy /6, 7, 8, 9/. Z toho důvodu se průběh tvrdosti na laserově kalených vzorcích měřil na mnohem kratší vzdálenosti. Vzhledem k různému podílu martenzitu je rozptyl hodnot tvrdostí větší a průběh není tak plynulý, jako je tomu u povrchového indukčního kalení.

Zkoušky s povrchovým laserovým kalením prokázaly, že je možno ho provádět nejen u běžných LKG s výchozí perlitickou strukturou, ale rovněž u LKG s Si s perlitickou i feritickou výchozí strukturou.

Odlitky s ausferitickou litinou s kuličkovým grafitem (ADI) je možno povrchově laserově kalit s dosažením vysokých tvrdostí v povrchové vrstvě do 0,8 mm. Nezáleží na základní struktuře před izotermickým kalením.

LITERATURA

- [1] MUŽÍK, T.: Kalení laserem, Sborník Rychlé ohřevy v TZ, indukční kalení, elektronový paprsek, 25. 4. 2019, Praha
- [2] MORES, A., HORNÍK, J., ODEHNAL, J., SKRBEK, B., NĚMEC, M., KRČIL, J.: Povrchové laserové kalení feritické litiny s kuličkovým grafitem se zvýšeným obsahem Si, 55. Slévárenské dny 2018, Sborník sekce Metalurgie litin
- [3] BJÖRKEGREN, L. E., HAMBERG, K.: Silicon Alloyed Ductile Iron with Excellent Ductility and Machinability. In Proc. 2003 Keith Millis Symposium on Ductile Cast Iron, Hilton Head, SC, Oct. 2003
- [4] ODEHNAL, J., JAKUB, J.: Vliv zvýšeného obsahu křemíku na vlastnosti těžkých odlitků z EN-GJS.: Sborník přednášek z 51. Slévárenských dnů, Sekce Metalurgie litin, 2014, Brno
- [5] MORES, A., HORNÍK, J., ODEHNAL, J., SKRBEK, B., NĚMEC, M., KRČIL, J.: Povrchové kalení feritické litiny s kuličkovým grafitem se zvýšeným obsahem Si, 54. Slévárenské dny 2017, Sborník sekce Metalurgie litin
- [6] STOLAŘ, P., Materiálové základy rychlých ohřevů Sborník Rychlé ohřevy v TZ, indukční kalení, elektronový paprsek, 25. 4. 2019, Praha
- [7] BEZDĚK, P.: Povrchové kalení litiny výkonným polovodičovým laserem, Diplomová práce VUT v Brně, Brno 2015
- [8] KREISINGER, J., KREISINGER, T.: Indukční ohřevy, Asociace pro tepelné zpracování kovů, 17. 4. 2014 Praha
- [9] DAĐOUREK, K.: Povrchové kalení, 2007, dostupné z www.kmt.tul.cz/edu/podklady
- [10] ANDRŠOVÁ, Z.: Nedestruktivní strukturoskopie izotermicky kalených litin, doktorská dizertační práce, TUL Liberec, 2014
- [11] BJÖRKEGREN, L. E., HAMBERG, K.: Ductile iron with better machinability compared to convential grades, Foundryman, December 98
- [12] Normy ČSN EN 1563, ČSN EN 16124, ČSN EN 1561, SS 14 0720, SS 14 07 25
- [13] ŠMRHA, J.: Vliv zvýšeného obsahu křemíku na mechanické vlastnosti tenkostěnných odlitků z litiny s kuličkovým grafitem, Disertační práce, TU v Liberci, Liberec 2009
- [14] Laserové kalení- VUTS, dostupné z www.vuts.cz/kalení-1html
- [15] NĚMEČEK, S., MUŽÍK, T.: Tribotechnika. Dostupné z <http://www.tribotechnika/laserové-kalení-ozubených.kol.html>
- [16] ODEHNAL, J., HAMPL, J., KONEČNÁ, K.: Chunky grafit v těžkých odlitcích z litiny s kuličkovým grafitem, Slévárenství 5-6/ 2016, Brno
- [17] ODEHNAL, J.: Metalurgické a technologické aspekty odlévání hmotných odlitků ze slitin železa. Ostrava 2015, Disertační práce, VŠB-TU Ostrava, FMMI, Katedra metalurgie a slévárenství
- [18] ROUČKA, J.: Feritické litiny pro cyklické teplotní namáhání, Slévárenství 1-2/2017, Brno
- [19] HORKÁ, E., Tribologické charakteristiky kalených litin, bakalářská práce, ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Praha 2018
- [20] SKRBEK, B.: Vytváření a diagnostika povrchových vrstev na odlitcích z litiny s lupínkovým grafitem, Slévárenství 9-10/2016 Brno
- [21] KŘÍŽ, A.: Povrchové kalení v průmyslové aplikaci, 22 nd International Conference on Heat Treatment, 2013, Jihlava
- [22] NĚMEČEK, S.: Tepelné zpracování ocelí laserovým svazkem, 22nd International Conference on Heat Treatment 2013, Jihlava
- [23] Dostupné z [http // ttp.zcu.cz/laboratore/laserové.povrchy/laserove-povrchove.kaleni](http://ttp.zcu.cz/laboratore/laserové.povrchy/laserove-povrchove.kaleni)
- [24] Lokální mechanické vlastnosti laserově modifikovaných žárových nástřiků, Plzeň 2016 Dostupné z https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/25242/1/BS_Stanislav_.Rybar.pdf. BP.ZU Plzeň

Rozšířené využití zkušebních tyčí atestů odlitků

Mráz, J. ¹⁾, Skrbek, B. ²⁾

¹⁾ TEDOM, a. s., divize MOTORY, Jablonec nad Nisou, ČR, jakub.mraz@tul.cz

²⁾ TU v Liberci, katedra materiálu, ČR, bretislav.skrbek@tul.cz.

Klíčová slova

Zkušební tyče, provozní testy, litina s lupínkovým grafitem

Abstrakt

Porovnání užitečných vlastností zkušebních tyčí a odpovídajících odlitků je velmi důležitou informací pro řadu technický pracovníků. Měřením na odlitku polotvaru zkušební tyče lze získat řadu informací o materiálu a to např.: tvrdost, ultrazvukovou tloušťku, fyzikální konstanty a měřením na hotové zkušební tyči se závitovými či hladkými hlavami lze získat další informace. Informace následně slouží pro zdokonalování přesných matematických modelů pro simulace. Měřením modulu pružnosti, pevnosti apod. lze přesněji porovnávat jednotlivé dodávky polotovarů.

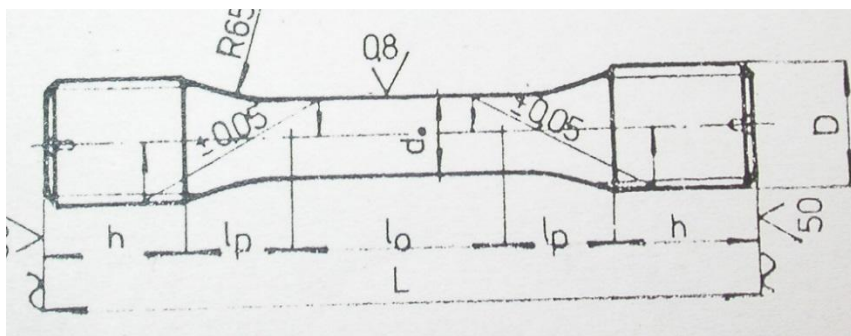
1. ÚVOD

TEDOM s.r.o., divize MOTORY produkuje spalovací motory na zemní plyn, skládkový plyn, BIO plyn pro použití v kogeneračních jednotkách a kolejových vozidlech. Motory jsou elektronicky řízeny, splňují emisní limit EURO 5 a produkují mechanický výkon nad 200 kW. Vzhledem na skutečnost že motory se dominantně využívají v kogeneračních jednotkách, používají se komponenty vyrobené z litiny a ne z hliníkových slitin, které jsou z pohledu hmotnosti příznivější. Litinové odlitky zabezpečují vyšší životnost a spolehlivost.

K vyšším užitečným vlastnostem produktu přispívá i nadstandardní využití zkušebních tyčí dodávaných paralelně s atesty důležitých odlitků jako jsou bloky motoru a hlavy válců.

2. ZKUŠEBNÍ TYČE K ATESTŮM

Všechny dodávky odlitků jsou deklarovány atesty různé vypovídací úrovně. Pro dodávky důležitých odlitků z litiny s lupínkovým a kuličkovým grafitem doplňuje atest polotvar zkušební tyče. Obvykle válcová tyč, nebo část zkušebního tělesa bez nálitku.



Obr. 1. Obecný výkres dlouhé tyče z LLG

2.1. Postup měření a zpracování

Dodané zkušební tyče nutno nejprve hrubovat na tvar válce soustružením. Středící důlky a sražení hran jsou na úkor přesnosti měřených vlastností. Ideální válec nemá středící důlky a je štíhlý alespoň v poměru $L/d = 7/1$. Standardní válcové tyče ve slévárnách litiny s lupínkovým grafitem o litém průměru 30 mm musí mít délku nejméně 210 mm. Osoustruží se na válec $d28 \times 205$ mm.

Hodnoty L a d se změří digitálním posuvným měřítkem na desetiny milimetru. Hmotnost M nutno zvážit minimálně na jednotky gramů. Ultrazvukový defektoskop se sondou přímo

jednoduchou nebo dvojitou s pracovní frekvencí 2 MHz a s průměrem měniče min. 15 mm, nutno zkalibrovat, nastavit časovou základnu, počátek a nastavit rychlost zvuku oceli 5920 m/s.

Po přiložení sondy na čelo válce přes vazební medium, se na displeji objeví první koncové echo a násobná echa jako důsledek odrazu a transformace podélné ultrazvukové vlny na příčnou o plášť válcové plochy (rozhraní litina/vzduch). Po nastavení dostatečně vysoké citlivosti defektoskopu, aby se zachytilo na monitoru kolmé čelo akustických ech při zobrazení A, se odečte ultrazvuková délka válce L_u a rozteč násobných ech τ v mm.

Hodnoty se zapíší do výpočtových tabulek. Ve středu délky L tyče se vybrousí plošky pro změření magnetické remanence H_r přístrojem DOMENA a tvrdosti HBS nebo HBW10/3000 vhodným tvrdoměrem.

Změřené hodnoty se průběžně zapisují do excelovských tabulek. Každá zvlášť pro jednu slévárnu a slitinu a rok. Příklady prvních řádků tabulek uvádí **Tab. 1** až **Tab. 3**.

Tabulka 1. Příklad hodnot změřených a vypočtených z tyčí k atestům odlitků z LKG

M [g]	d [cm]	l_0 [cm]	V [cm ³]	L_u	$L_u+\tau$	τ_1	τ	μ	ρ [kg/m ³]	K	E_0 [Pa]
714,0	2,355	23,17	100,9	24,26	26,2	1,93	1,93	0,30	7078,17	432396,79	$1,705 \times 10^{11}$
718,0	2,36	23,22	101,6	24,24	26,1	1,87	1,87	0,28	7072,43	439460,25	$1,772 \times 10^{11}$
714,0	2,345	23,20	100,2	24,2	26,1	1,88	1,88	0,29	7129,43	438295,99	$1,766 \times 10^{11}$
718,0	2,35	23,16	100,5	24,17	26,1	1,92	1,92	0,30	7151,23	434570,86	$1,734 \times 10^{11}$

Tabulka 2. Hodnoty stanovené pro Al slitinu odlitků do kokil pístů (Almet)

M [g]	d [cm]	l_0 [cm]	V [cm ³]	L_u	$L_u+\tau$	τ	μ	ρ [kg/m ³]	K	E_0 [Pa]
21,3	1,197	7,00	7,9	6,237	7,116	0,88	0,32	2704,19	259420,57	$8,484 \times 10^{10}$
21,3	1,197	7,00	7,9	6,256	7,126	0,87	0,31	2704,19	261457,74	$8,566 \times 10^{10}$
21,5	1,203	7,01	8,0	6,256	7,089	0,83	0,29	2700,11	268370,45	$9,04 \times 10^{10}$
21,5	1,203	7,01	8,0	6,256	7,106	0,85	0,30	2700,11	265385,32	$8,84 \times 10^{10}$

Tabulka 3. Hodnoty z tyčí k atestům odlitků z LLG slévárny SHB

M [g]	d [cm]	l_0 [cm]	V [cm ³]	L_u	$L_u+\tau$	τ	μ	ρ [kg/m ³]	K	E_0 [Pa]
1009,0	2,818	22,57	140,8	28,062	30,7	2,64	0,28	7171,47	444409,36	$1,27759 \times 10^{11}$
1007,0	2,81	22,63	140,3	28,081	30,74	2,66	0,29	7178,98	441665,13	$1,26686 \times 10^{11}$
1005,0	2,805	22,70	140,3	27,675	30,204	2,53	0,27	7168,11	448422,96	$1,35286 \times 10^{11}$
961,5	2,8	21,55	132,7	25,913	28,487	2,57	0,29	7249,64	443236,62	$1,35872 \times 10^{11}$

Konkrétní tvar výpočtových vzorců podává literatura [1].

2.2. Užitek

Známe průběžně měrnou hmotnost výrobků, Poissonovu konstantu. Konstrukteři vědí pro modelování skutečnou (ne tabelizovanou hodnotu z technických norem) modulu pružnosti E . Pro kontrolu kterýchkoli míst na odlitcích je důležitá konstanta K pro výpočet E dle (1).

$$E = (K \cdot L / L_u)^2 \quad [\text{MPa}] \quad (1)$$

Tabulka 4. Příklad průběžných hodnot K některých sléváren a slitin.

Slévárna	SHB	N. Ransko	Turnov		Almet
Slitina	LLG	LLG	LKG	LKG SiMo	AlSi12CuNi
K	443	439	435	438,9	261,2

Z válců se obrobí normalizované zkušební tyče – podle druhu odlitku a slitiny (**Obr. 1** pro LLG). Jejich přetržením na trhačím stroji se získá minimálně hodnota pevnosti Rm. U LKG ještě Rp0,2 a tažnost A. Hodnoty se porovnávají s deklarovanými hodnotami v příslušných atestech. Naměřené a vypočtené hodnoty slouží k zpřesňování výpočtových modelů v konstrukci motorů, na zpřesňování technologických procesů, pro nedestruktivní měření a výpočty Rm, HB na kritických místech hotových odlitků (potažmo výrobků z nich obrobených).

Pro litiny s lupínkovým grafitem:

$$HB = 0,6 \cdot Hr + 100 \quad (2)$$

$$Eo = (446,1 \cdot L/Lu)^2 \quad [MPa] \quad (3)$$

$$Rm = 7,211 \cdot (L/Lu)^{2,278} \cdot HB^{0,75} \quad [MPa] \quad (4)$$

Pro litiny s kuličkovým grafitem:

$$Rm = 8,54 \cdot (L/Lu)^{5,257} \cdot HB^{0,86} \quad [MPa] \quad (5)$$

$$Rp = 9,3 \cdot (L/Lu)^3 \cdot HB^{0,756} \quad [MPa] \quad (6)$$

$$A = 132000 \cdot (L/Lu)^{13} \cdot HB^{-1,635} \quad [\%] \quad (7)$$

3. ZÁVĚR

Zkušební tyče – jejich polotvary dodávané s atesty neslouží jen k ověření hodnot deklarovaných v atestech, nýbrž k získání cenných informací o fyzikálních vlastnostech slitin slévárnami produkovanými, k zpřesňování účinku nedestruktivní strukturoskopie. Rovněž přesné hodnoty mechanických vlastností, pomáhají konstruktérům efektivněji designovat jednotlivé součásti spalovacího motoru.

Tento příspěvek byl podpořen z fondu 117 pro vědu a výzkum Technické univerzity v Liberci.

LITERATURA

[1] SKRBEK, B. Nedestruktivní materiálová diagnostika litin, kandidátská disertační práce, VŠST Liberec 1988.

Technická přejímka důležitých odlitků produktu

Mráz, J.¹⁾, Skrbek, B.²⁾

¹⁾ TEDOM, a. s., divize MOTORY, Jablonec nad Nisou, ČR, jakub.mraz@tedomengines.com

²⁾ TU v Liberci, katedra materiálu, ČR, breislav.skrbek@tul.cz.

Klíčová slova

Odlitky, technické přijímací podmínky, litina s lupínkovým grafitem,

Abstrakt

Tento článek se zabývá příkladem tvorby Technických přijímacích podmínek TP pro největší a nejkomplicovanější odlitek (blok motoru) a nejmenší a zároveň nejjednodušší důležitý odlitek (sedla ventilů). Článek přibližuje zkušební atesty, zkoušení odlitků v rámci běžné výroby a při změnách, vytipovaná kritická místa vybraných odlitků na kontrolu mechanických vlastností. V článku je přiblížen vývoj předpisu chemického složení, běžných a speciálních vlastností materiálu, struktury.

1. ÚVOD

Technické dodací podmínky musí vyplynout z věcné diskuze mezi odborníky uživatele a slévárny [1]. Často obsahují pro firmy důvěrné informace. Nelze je proto v plné šíři v rámci veřejné publikace interpretovat. Omezený rozsah příspěvku dovolil uvést jen zajímavosti z TP odlitku bloku válců a sedel ventilů pístového spalovacího motoru TEDOM.

2. TECHNICKÉ PŘEJÍMACÍ PODMÍNKY

Pro zde uvedený příklad TDP bloků a sedel ventilů se uvádí především specifické kapitoly.

2.1. Blok válců

Tenkostěnné složité odlitky z litiny s lupínkovým grafitem, řadových šestiválcových motorů pro drážní vozidla či stacionární aplikace (záložní zdroje, kogenerační jednotky apod.), jsou předmětné bloky válců. První kapitoly TP bývají u důležitých odlitků podobné, s obchodně právním charakterem. Jsou zde uvedeny technické body TDP bloku válců o hmotnosti 350 kg a rozměrech 1050 × 550 × 500 mm.:

- Dodavatel je v plné míře odpovědný za dodání odlitků bloků válců č. v, z litiny s lupínkovým grafitem ČSN 42 2425. Ve stěnách 7 až 9 mm silných přepážek ložisek a válců je povolena min. pevnost v tahu R_m 250 MPa; přesnost odlitku dle ČSN EN ISO 8062-3 kromě tolerovaných rozměrů, drsnost povrchu odlitku $R_z = 100-160 \mu m$). Odlitky plně odpovídají uzavřené kupní smlouvě a technickým specifikacím na produkt. Neodpovídá-li jakýkoliv jakostní znak požadavku, je povinností dodavatele písemně oznámit tuto skutečnost odběrateli. Dodavatel vystaví návrh výjimky z technické dokumentace a zašle jej k odsouhlasení odběrateli.



Obr. 1. Obrobený blok válců připravený k montáži motoru

- Dodavatel vlastní „Osvědčení způsobilosti dodavatele“ vydané společností České dráhy a.s., ve shodě s ustanoveními interního předpisu Českých drah a.s. – Odborně technické posouzení dodavatelů železničních kolejových vozidel a jejich dílů.
- Zkoušení monitorováním - zkouškami vstupujících materiálů do procesů, realizačních procesů produktů a shodnosti konečného produktu s technickými specifikacemi (výrobní a výkresovou dokumentací) musí dodavatel zajišťovat stálou jakost odlitků.

3. NEDESTRUKTIVNÍ STRUKTUROSKOPIE

Nedestruktivní strukturoskopie, může být zajištěna zkouška vlastností materiálu odlitků, vzájemně odsouhlasenou metodou:

- Měření modulu pružnosti E_0 (min. 115GPa pro ložiska klikové hřídele s deskou hlav a min. 120GPa pro přepážky ložisek a válců) ultrazvukem podle vzorce:

$$E_0 = (K * L / L_u)^2 = (448,5 * L / L_u)^2 \quad [\text{MPa}] \quad (1)$$

L ...tloušťka stěny skutečná

L_u ... tloušťka stěny změřená zkalibrovaným ultrazvukem.

K - konstanta, která se získává měřením na záložních zkušebních tyčích.

- Měření tvrdosti na plochách silných stěn (ložiska, deska hlav, L nad 15 mm) s odbroušenou licí kůrou:
 - a) POLDI kladívkem – indentační kulička $d10$ mm - jedno měření
 - b) Shoreho odrazová metoda – sondy D, G apod. – průměr min. z 5 měření. Plocha pro měření tvrdosti bude vybroušena do hloubky min. 1 mm a vyleštěna na drsnost povrchu R_a max. $2\mu\text{m}$.
- Měření tvrdosti HBM magneticky přes otryskaný povrch rovných nebo vypuklých ploch metodou magnetické skvrny (přístroje řady DOMENA) – přepážky, deska hlav.

$$\text{HBM} = A * M + B \quad (2)$$

A , B konstanty, které nutno vložit do paměti přístrojů DOMENA po nakalibrování podle skutečných hodnot tvrdosti HB.

- Výpočet pevnosti v tahu R_m z hodnot tvrdosti HB a relativní (ve vztahu k oceli) rychlosti zvuku L/L_u

$$R_m = 1,37 * ((7,211 * (L/L_u)^{2,278}) * (\text{HB})^{0,75}) - 64,25 \quad (\text{MPa}) \quad (3)$$

(Měřit pevnosti R_m lze kombinovaným strukturoskopem TELIT).

- S každou dodávkou odlitků požaduje odběratel vystavení: „Inspekčního certifikátu – materiálové zkoušky“ – materiálová zkouška dle EN 10204/3.1 (materiálový atest) a zkušební tyč ke každé denní sérii lití bloků, „Inspekčního certifikátu“ – mechanická zkouška dle EN 10204/3.1. s výsledky měření každého odlitku (nebude-li dohodnuto jinak) v kontrolních místech.

4. KONTROLNÍ MÍSTA ODLITKU

- 1) Na desce hlav mezi 3. a 4. válcem
- 2) Z boku 7. nebo 1. ložiska.
 - Nedestruktivně se změří HB, E_0 , R_m v desce hlav a zejména přepážek ložisek
 - Destruktivně se prokazuje pevnost stěn přepážek zkouškou pevnosti plochých tyčí odebraných z míst přepážek

Tabulka 1. Dohodnuté složení litiny bloků válců

Prvek [%]	C	Mn	Si	Sn	Cr	Cu	P	P, S
Obsah	3,20-3,35	0,55-0,75	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX

Očkování	SE
Dvoustupňové	0,86– 0,93

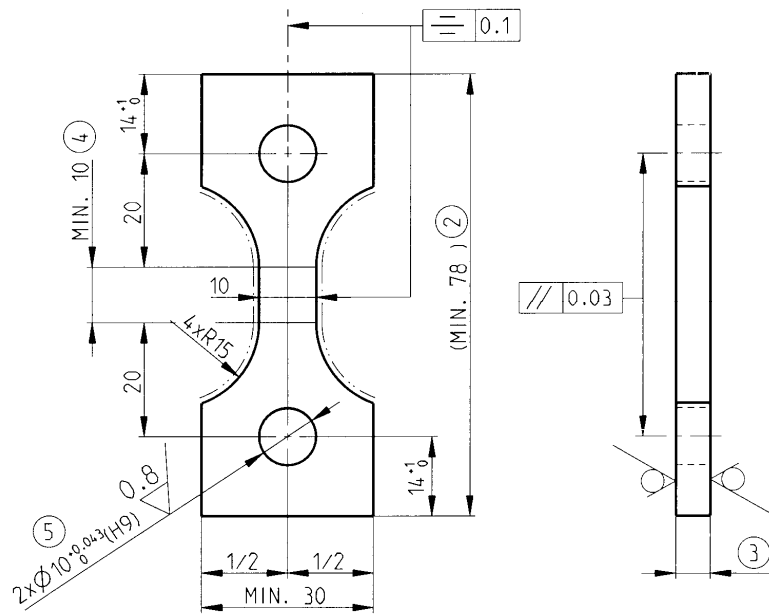
- Protože provádění požadovaných zkoušek podle této dohody o jakosti se má konat výlučně u dodavatele, provádí odběratel vstupní kontrolu jakosti dodávky při příjmu odlitků, pouze statisticky dle předepsaných přejímací kontrolních plánů.
- Odlitek bude dodáván částečně barvený. Barveny jsou vnější boky odlitku, přední čelo a zadní čelo. Tloušťka vrstvy základní barvy odstín červenohnědý bude min. 30 μm . Barva musí trvale odolávat motorovému oleji o teplotě 120 °C. Nebarveny zůstávají vnitřní prostory odlitku, spodní plocha pro spodní víko motoru a horní plocha pro hlavy válců.

5. PRAVIDLÁ PRO RUČENÍ

Příloha č. 1 – Metalurgická postupová a kontrolní karta odlitku.

Příloha č. 2 – Plochá tyč pro zkoušku pevnosti v tahu (a ohybu) stěn přepážek v. č.

Tyče se trhají přes čepy o průměru 10 mm v přípravku na upnutí do zkušebního stroje.



Obr. 2. Plochá tyč pro zkoušku pevnosti

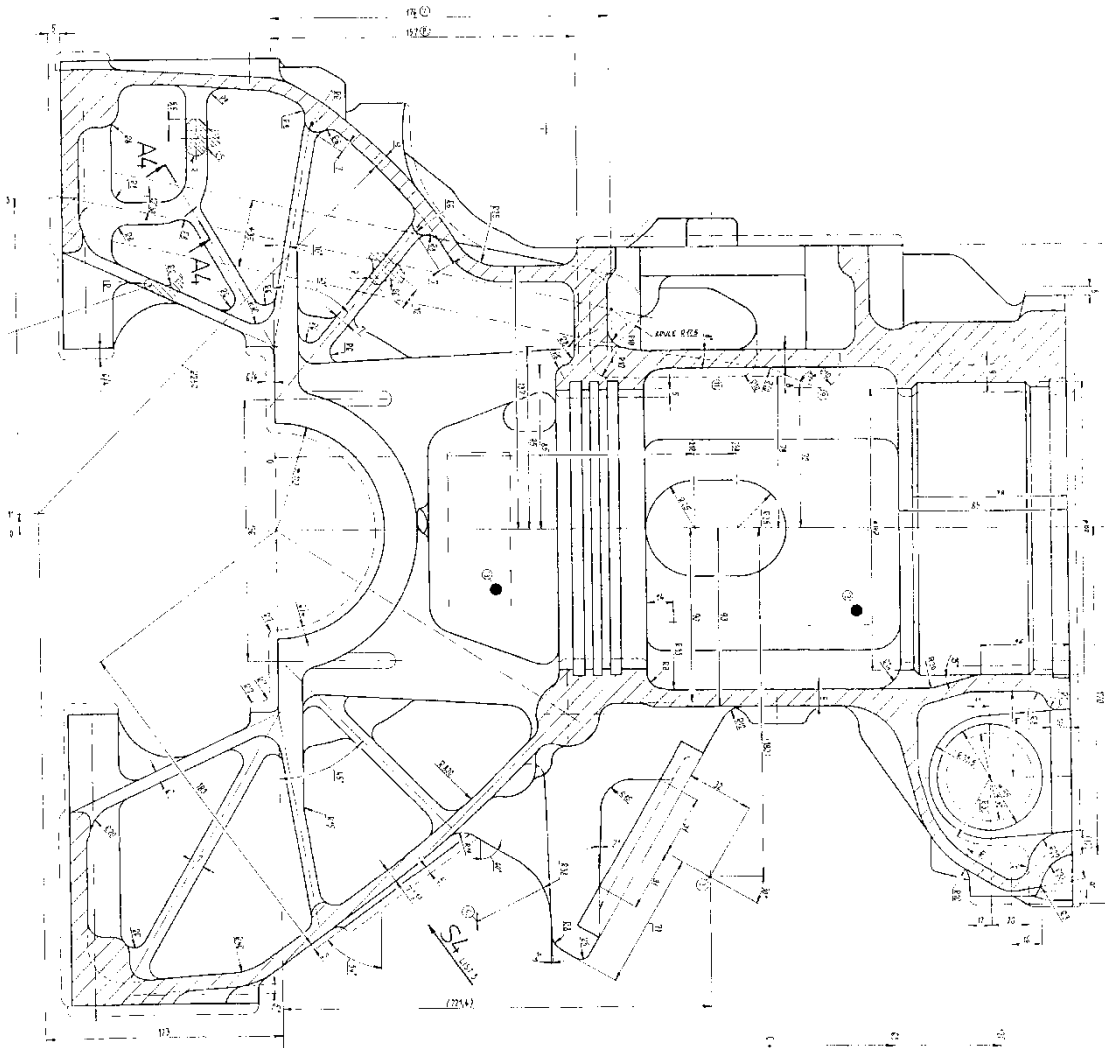


Obr. 3. Strukturoskop TELIT 3 se snímači hodnot L , L_u , M a HB

METALURGICKÁ POSTUPOVÁ A KONTROLNÍ KARTA ODLITKU
(kusová nebo malosériová výroba)

Název odlitku						Číslo výkresu			Číslo modelu	Pořadové č. odlitku	
MATERIÁL	ozn. vzor.	C	Mn	Si	P	S	CE	klín.	legury		
předpis									Cr	Ni	
zjištěno							měř. vyp.				
ÚPRAVA TAVENINY	způsob očkování – očkovač					měřidlo teploty		teplota při očkování	pecní agregát	pracovník	
	druh	dávka	způsob vnášení								
předpis											
zjištěno											
ODLÉVÁNÍ	místo	den	hodina	prac.	doba odlévání		měřidlo teploty	teplota při odlévání			
					před.	zjiš.		předpis	zjištěno		
VYTLOUK:	předeps. doba vytl.	skutečná doba vytl.	hodina vytlučení	den	pracov.	REŽIM TEPELNÉHO ZPRAC.					
TRYSKÁNÍ	předpis:					zjištěno:					
VLASTNOSTI MAT. NA ZKUŠ TYČÍCH		pevnost [MPa]		tvrdost [HB]		pracovník		STRUKTURA			
označ. vzorku	předpis										
	zjištěno										
TVRDOST ODLITKU	předpis:						hmotnost odlitku:				
	měřené místo:						nedestruktivní kontrola:				
	A	B	PV	PL	Lož		A	B	PV	PL	Lož
M							L				
HB							Lu				
Rm							Eo				
CHARAKTER FORMY:						CHARAKTER JADER:					
ZJIŠTĚNÉ VADY:											
POVOLENÝ ROZSAH OPRAV	tmelení:			zavařování – elektroda			zavařování – plamen				
POUŽITELNOST ODLITKU									metalurg		
EXPEDICE	dne:						expedoval:		OŘJ: výstup		
KARTU VYPRACOVAL:	dne:			pracovník:			převzal:				

Obr. 4. Příloha TP bloků válců



Obr. 5. Řez blokem válců s vyznačenými černými puntíky body nedestruktivního měření a obdélníky přerušovanou čarou značená místa odběru zkušebních plochých tyčí dle přílohy 2.

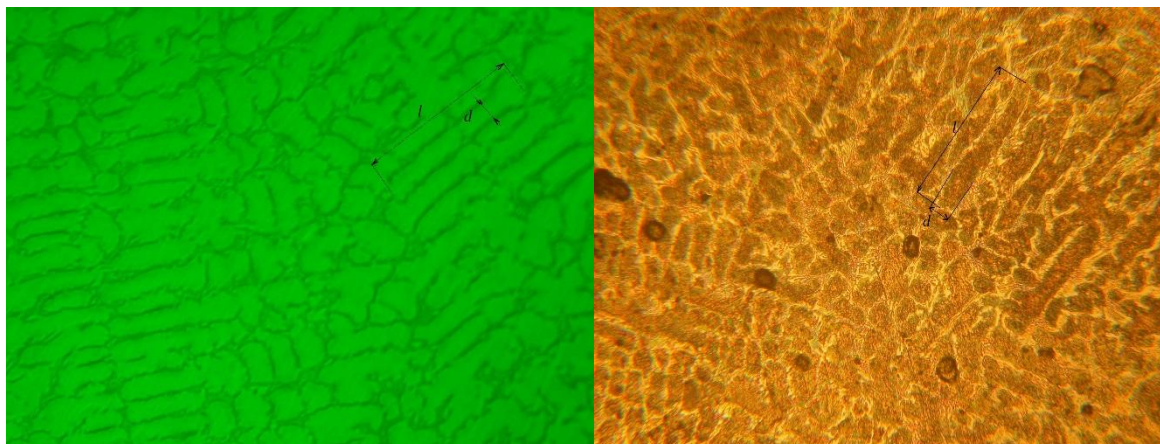
6. SEDLA VENTILŮ

Sedla ventilů se odlévají technikou přesného lití na vytavitelný model z kobaltových tvrdokovů typu STELLIT [4]. Hmotnost sacích sedel je cca 0,15 kg a výfukových 0,2 kg **Obr. 6.** Objednávku na sedla ze Stellitu možno běžně zaslat dvěma českým slévárnám.



Obr. 6. Odlitky sedel ventilů

- Dodavatel je v plné míře odpovědný za dodání odlitků sedel pro sací a výfukové ventily z materiálů STELLIT 6 a STELLIT 12.
- Tvrdost odlitků bude vyhodnocována dodavatelem ve shodě s požadavky normy EN ISO 6508-1 metodou HRC do 0,3 mm hluboko zabroušeném povrchu čel sedel na 1 % ze sériové dodávky. Místa pro měření tvrdosti jsou definována v bodu 5.3.1.



Obr. 7. Vzor odečtu velikosti větví $l \times d$ dendritů

- K dosažení předepsaných hodnot tvrdosti odlitků sedel se provádí vytvrzení STELLITU žíháním dle těchto TPP. Provádí se u dodavatele vždy, neboť potlačuje také vnitřní prnutí v materiálu odlitku, které je nepřípustné.
- Struktura po žíhání se snadno leptá (leptadlo VILLELA – BAIN). V litém stavu nelze běžnými činidly strukturu naleptat. Velikost jednotlivých větví dendritů (i u vtoku) nesmí překročit $d \times l = 0,015 \times 0,2 = 0,003 \text{ mm}^2$. Zhrubnutí dendritů u vtoku nesmí být větší jak dvojnásobné. Měřeno na metalografickém výbrusu z obrobku (na odlitku z oblasti pod přídatkem obrábění).
- S každou dodávkou odlitků požaduje odběratel vystavení: Dokumentu kontroly 3.1 dle ČSN EN 10 204, materiálový atest obsahující chemické složení každé tavby, kontrolní záznam o průběhu teplot a délce tepelného zpracování, dokument o struktuře materiálu na 1 ks z 1000 odlitých kusů a kontrolní záznamy z měření tvrdostí odlitků dle bodu 5.3.1.
- Kontrolní místa pro měření tvrdosti na odlitku:
Měření na odlitku se provádí vždy ve 4 místech po 90° . Jedno měření v oblasti vtoku.
Hodnota tvrdosti musí být v mezích požadované tvrdosti odlitků
Materiál STELLIT 12 48-52 HRC
Materiál STELLIT 6 42-48 HRC
- V případě kontroly tvrdosti na již opracovaném odlitku sedle platí:
Průměrný aritmetický rozsah tvrdosti na jednom opracovaném sedle nesmí překročit hodnotu 4 HRC (toleranční pole tvrdosti sedla) Do aritmetického průměru se zahrnuje i hodnota v oblasti vtoku. Aritmetický průměr se vyhodnocuje při min. 8 rovnoměrně rozložených měřeních po obvodu. Při 8 rozložených měření je předpoklad zachycení oblasti vtoku i u obrobeného sedla.
- Výskyt vad stelitových sedel na povrchu po odlití:
Povoleny jsou objemové vady do velikosti přídatku na obrábění. Obráběním musí být tyto vady odstraněny.
- Výskyt vad stelitových sedel po obrobení:
Po obrobení jsou vady odlitku (poróznost, trhliny, studené spoje, pleny oxidů, dutiny apod.) v rámci vizuální prohlídky (mezní rozměr pozorovatelný volným okem 0,25 mm) - NEPŘÍPUSTNÉ. Vady do velikosti 0,25 nejsou považovány za vady.
- Protože provádění požadovaných zkoušek podle těchto TDP se má konat výlučně u externího poskytovatele, provádí odběratel vstupní kontrolu kvality dodávky při příjmu odlitků, pouze statisticky dle předepsaných přijímacích kontrolních plánů.

- Pro odstranění vnitřního pnutí a zlepšení hodnot tvrdosti se odlitky žíhají v žíhací peci s pozvolným ohřevem na 900 °C až 950 °C s „výdrží“ na této teplotě po dobu 3 až 4 h. Poté jsou ochlazeny v peci do 500 °C.

Dohodnuté chemické složení odlitků:

STELLIT 6:

Prvek %	C	Cr	W	Fe	Ni	Si	Mn	B	Mo
obsah	0,9-1,4	26-32	3,5-6,5	Max. 3		Max.2	Max.1		

Zbytek Co.

STELLIT 12:

Prvek %	C	Cr	W	Fe	Ni	Si	Mn	B	Mo
obsah	1,4-1,9	26-33	7 -9,5	Max. 3		Max.2	Max.1		

Zbytek Co.

7. ZÁVĚR

Optimalizace TDP je poměrně složitý proces, jehož vyústěním je pak poměrně krátký text několika odstavců, ale se zásadním obsahem. U bloků válců se časem například vyvíjelo chemické složení, citlivá místa kontroly, u sedel parametry struktury, rozložení tvrdosti a homogenity.

Příspěvek byl podpořen z fondu 117 vědy a výzkumu Technické univerzity v Liberci.

LITERATURA

- [1] SKRBEK, B. TECHNICKÉ DODACÍ PODMÍNKY VÝROBKU. Skripta, FS TU v Liberci, 03-2013, ISBN 978-80-7372-892-2.
- [2] ŘEZÁČ, Z. Pevnost přepážek válců motorů z různých období. Diplomová práce, KMT 220, FS TU v Liberci, 2007.
- [3] BÍLEK, D. Parametrizace zařízení TELIT. Diplomová práce, KMT 248, FS TU v Liberci, 2009.
- [4] SUCHÁNEK, J., a kol. Abrazivní opotřebení materiálů. Praha, ČVUT, 2007, ISBN 978-80-01-03659-4.

Slévárenská napětí v odlitcích ze slitin železa

Hampl, J.¹⁾, Válek, T.²⁾, Zdařil, L.¹⁾

¹⁾ VŠB-TU Ostrava, katedra metalurgie a slévárenství, 17. listopadu 2172/15, 708 00 Ostrava-Poruba, jiri.hampl@vsb.cz

²⁾ Vítkovické slévárny spol. s r.o. valek@vitkovickeslevarny.cz

Klíčová slova

Slitiny železa, smrštění, napětí

Abstrakt

Příspěvek se zabývá analýzou deformací a napětí vznikajících při tuhnutí odlitků ze slitin železa. Pro zkoušky sklonu slévárenských slitin na bázi železa k trhlinám a prasklinám se odlévaly zkušební odlitky z litin legovaných Cr a Ni i ocelí legovaných kombinací Cr+Ni. Testované slitiny byly ve zvýšené míře náchylné k tvorbě trhlin a prasklin. Míra deformace zkušebních odlitků po odlití se vyhodnocovala měřením celkového smrštění a relativního smrštění i šířky trhlin-prasklin. Pro zjištění hodnoty relativního smrštění bylo použito upravené standardní zkušební těleso. Měření se provádělo na standardním a upraveném zkušebním odlitku pro slévárenskou zkoušku na trhliny a praskliny.

1. ÚVOD

Tuhnutí odlitků je doprovázeno objemovým a lineárním smrštěním slévárenských slitin. Objemové smršťování slitin železa je přímo závislé na teplotě a chemickém složení: tj. na obsahu železa, uhlíku-vázaného (Fe_3C) nebo volného (grafit) i obsahu křemíku. Průběh změn měrného objemu na teplotě lze stanovit na základě chemického složení a teploty - od počátku tuhnutí ve formě (zalití) až po ztuhnutí. Po objemovém smrštění tekuté fáze se slitiny železa v průběhu chladnutí smršťují lineárně. Slévárenská napětí vznikající při tuhnutí významně ovlivňují výsledné vlastnosti odlitků. Zvýšená napětí překračující mez pevnosti slitiny mohou být příčinou povrchových i vnitřních poruch souvislosti odlitků. Nad teplotou solidu způsobují trhliny a pod solidem praskliny v odlitcích. Napětí se začne zvyšovat již v prvních fázích tuhnutí pod teplotou likvidu a dále narůstá až do úplného vychladnutí odlitku ve formě. V průběhu dalšího chladnutí po ztuhnutí mohou dále v odlitcích vznikat fázová a tepelná pnutí. V počátku tuhnutí může napětí narůstat i v důsledku mechanického namáhání odlitku odporem formy a jádra. Také nevhodná slévárenská konstrukce odlitku s velkými rozdíly v tloušťkách stěn je příčinou zvýšené vnitřní napjatosti[2].

2. VZNIK PNUTÍ V ODLITKU

Endogenní pnutí je způsobeno vnitřními silami, vznikajícími složitými tepelně fyzikálními jevy v důsledku nerovnoměrného chladnutí nebo ohřevu. Vnitřní pnutí je spojeno s probíhajícími objemovými a dilatačními změnami v procesu tuhnutí. Matematicky je toto možné vyjádřit součinem modulu pružnosti E dané slitiny, součinitele tepelné roztažnosti α a teplotním gradientem při tuhnutí ΔT .

- **Pnutí I. Řádu** – makroskopické pnutí (makro-pnutí) působí (vyrovnává se) v celém objemu odlitku nebo jeho části. Pro odlitky je nejnebezpečnější. Může se sčítat s vnějším provozním napětím. Uvolňuje se v průběhu času plastickými deformacemi při stárnutí, žíhání a při opracování.
- **Pnutí II. Řádu** – mikroskopické pnutí (mikro-pnutí) působí v objemu jednotlivých krystalů - vyrovnává se v mikroobjemech. Může být příčinou mikropnutí.
- **Pnutí III. řádu** – submikroskopické pnutí. Působí a vyrovnává se v objemu jedné nebo několika elementárních mřížek. Zdrojem pnutí jsou poruchy atomové mřížky – cizí atomy a

dislokace [3].

Vnitřní tepelná pnutí působí od počátku tuhnutí odlitku, nejprve jako smršťovací napětí. Smršťování ztuhlé vrstvy zabraňuje mechanický odpor formy a jádra. Následně se po ztuhnutí většího objemu kovu pnutí zvyšuje v důsledku rozdílné dilatace jednotlivých vrstev nehomogenního teplotního pole odlitku. V této fázi tuhnutí je smršťovací napětí vyvolané odporem formy vzhledem k pevnosti odlitku vůči formě zanedbatelné.

Tepelná pnutí mohou být: **zbytková** (tj. trvalá, remanentní, residuální) a **dočasná**.

- **Zbytkové pnutí** narůstá při poklesu teplot v celém objemu odlitku pod kritickou teplotou T_{kr} do oblasti pružných deformací při určitém teplotním gradientu v okamžiku tohoto přechodu. Maximální hodnoty dosahuje při úplném vychladnutí odlitku.
- **Dočasné pnutí** vzniká v odlitku při teplotách pružných deformací (pod 600 °C) při náhlém ochlazení. Po úplném vychladnutí a vyrovnáním teplot v odlitku dočasné pnutí vymizí [4].

Pnutí v odlitcích ze slitin železa závisí na jejich chemickém složení, rychlosti chladnutí tj. modulu odlitku a způsobu metalurgického zpracování (vedení tavby, očkování, dezoxidace, teploty tavení a lití). Pnutí v litinách se zvyšuje se snižujícím se obsahem uhlíku a křemíku a s rostoucím obsahem karbidotvorných prvků. Velikost pnutí lze vyhodnotit na odlitcích změřením jejich smrštění. Při známé hodnotě smrštění a modulu pružnosti odlité slitiny železa lze stanovit úroveň vnitřních pnutí [5].

3. METODIKA EXPERIMENTÁLNÍCH TAVEB

Tavby byly provedeny na středofrekvenční indukční peci (Inductotherm) o obsahu 30 kg. Vsázku tvořil ocelový šrot nauhličovaný na požadovaný obsah uhlíku.

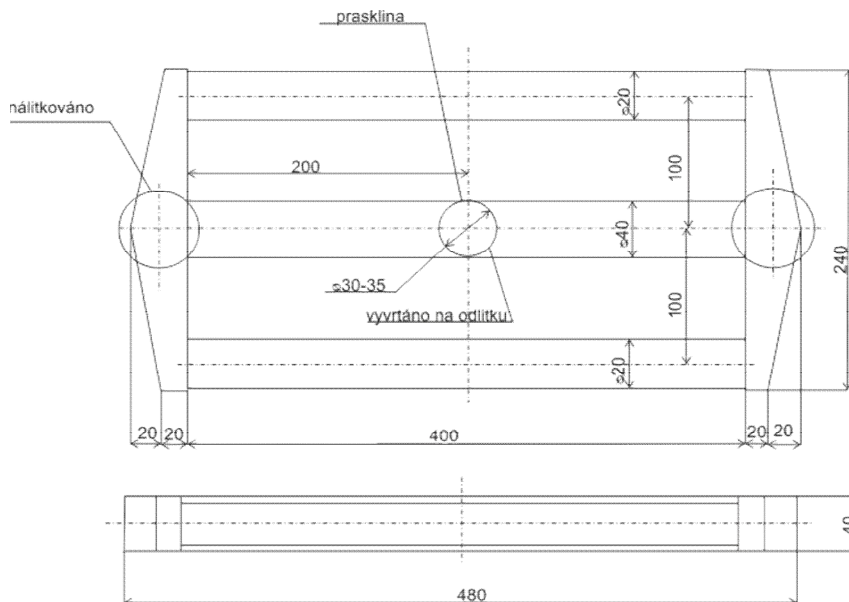
V první fázi experimentálních taveb se testovaly středně legované (Cr+Ni) podeutektické typy litin **Tab. 1** používané pro odlévání pracovní vrstvy odstředivě litých válců.

V druhé fázi se odlévaly zkušební odlitky ocelí s obsahem C od 2,04 do 0,27% mírně legované kombinací Cr+Ni **Tab. 2**.

Pro analýzu sklonu odlitků k tvorbě trhlin a prasklin se odlévaly z jedné tavby pro porovnání dva typy zkušebních těles - standardní mříž [1] pro zkoušku na trhliny a praskliny **Obr. 1** a upravená standardní pro měření tzv. relativního smrštění RS **Obr. 4**.

Cílem experimentálních taveb v první fázi bylo při tavných ověřit navrženou metodiku měření relativního smrštění (RS) tj. rozdíl délek tyčí Ø 20 mm a střední tyče Ø 40 mm po ztuhnutí, kdy $RS = l_{20} - l_{40}$ na upraveném zkušebním odlitku mříže. Dalším cílem bylo vyhodnotit sklon slitin železa s různými obsahy C, Si, legovanými Cr + Ni k tvorbě trhlin a prasklin. Testování se provádělo na standardním i upraveném zkušebním odlitku.

Na standardním odlitku **Obr. 1** se vyhodnocovaly rozměry trhlin-prasklin **Obr. 2** a **Obr. 3**. Na upraveném odlitku **Obr. 4** se měřilo celkové (CS) a relativní smrštění (RS) při nebrzděném (volném) smršťování.



Obr. 1. Standardní zkušební odlitek mříže pro měření trhlin a prasklin

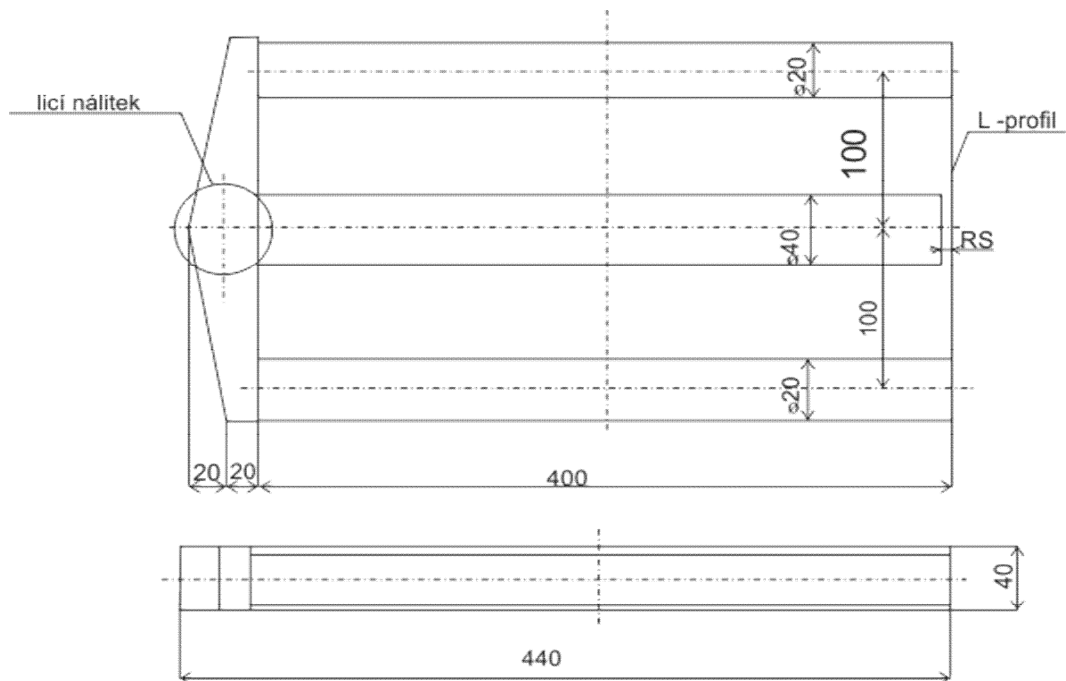


Obr. 2. Zkušební odlitek litinové mříže s trhlinou a její detail pod nálitkem



Obr. 3. Trhlina pod nálitkem střední tyče s nalomením krajní tyče

Rozměry povrchových vad se měřily jako maximální šířka trhlin a prasklin po odlití. Velikost relativního smrštění (RS) se měřilo na upravené mříži jako rozdíl délek krajních tyčí $\varnothing 20$ mm a střední tyče $\varnothing 40$ mm.



Obr. 4. Upravený zkušební odlitek mříže pro měření relativního smrštění (RS)

Tabulka 1. Chemické složení litin, smrštění a tvrdosti, odlitky vz. 1-9

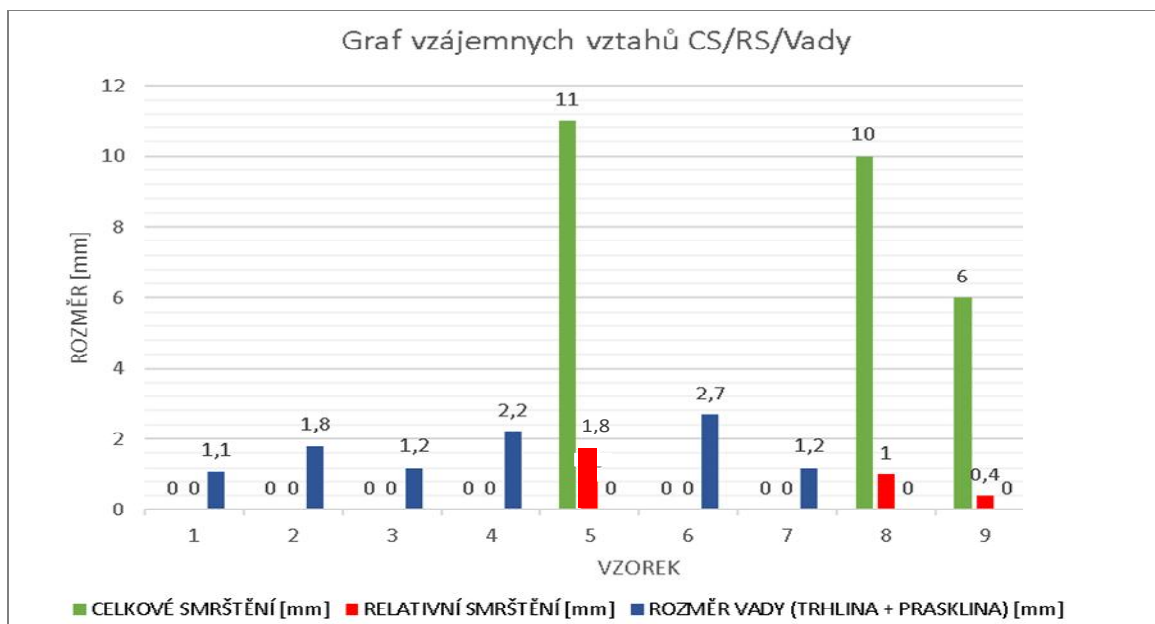
Vz.	C	Si	Mn	Ni	Cr	Celkové smrštění (CS)		Relativní smrštění (RS)		šířka trhliny (mm)	Tvrдость (HBW30)
						(%)	(mm)	(%)	(mm)		
1	3,28	1,7	0,63	0,05	0,9	x	x	x	x	1,1 p	x
2	2,83	1,29	0,64	0,02	0,07	x	x	x	x	1,8 p	206
3	3,4	0,9	1,03	3,5	0,04	x	x	x	x	1,2	342
4	3,19	1,09	1,26	3,55	1,63	x	x	x	x	1,6 + 0,6	515
5	3,17	1,1	1,26	3,44	1,71	2	11	0,46	1,8	x	503
6	3,36	1,06	1,21	3,35	1,67	x	x	x	x	1,6 + 1,1	530
7	3,13	1,14	1,04	2,91	1,55	x	x	x	x	1,2	x
8	3,13	1,14	1,04	2,91	1,55	2	10	0,26	1	x	x
9	3,59	2,18	0,59	0,03	0,07	1	6	0,13	0,4	x	561

t- trhliny v okolí náliťku

p- praskliny změřené po naříznutí tyče Ø 40 mm

Tahové napětí σ vz.5 pro $\Delta l = 1,8$ mm, $l = 389$ mm, $E = 150\,000$ MPa

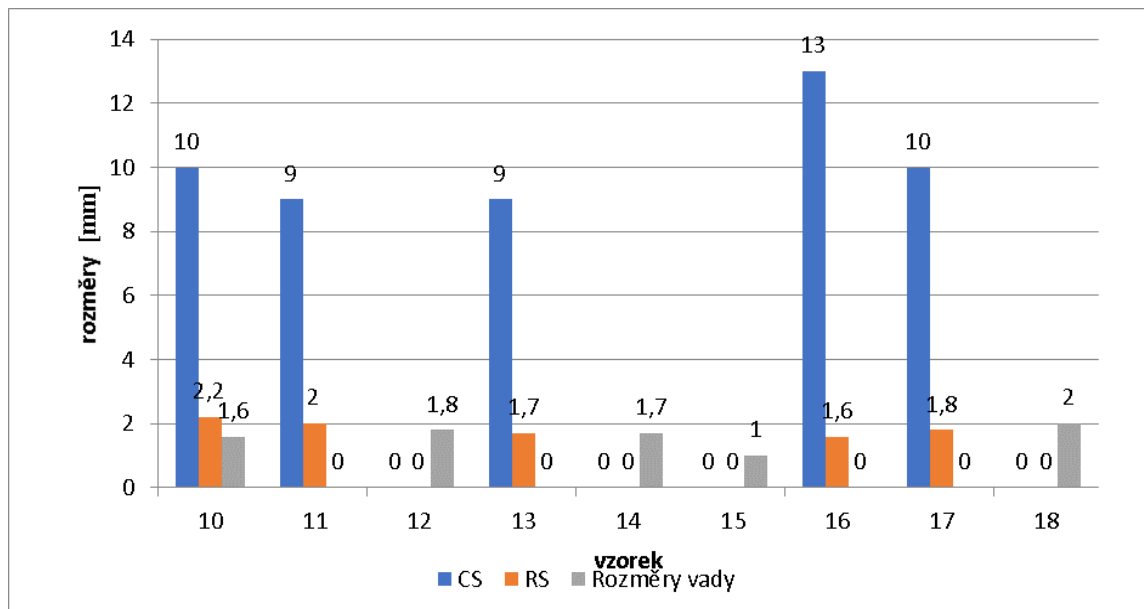
$$\sigma = \frac{\Delta l}{l} E = \frac{1,8}{389} 150000 = 694 \text{ MPa}$$



Obr. 5. Celkové (CS), relativní smrštění (RS) a šířka trhliny-praskliny

Tabulka 2. Chemické složení ocelí, smrštění a tvrdosti odlitků vz. 10-18

Vz.	C	Si	Mn	Ni	Cr	Celkové smrštění (CS)		Relativní smrštění (RS)		Šířka trhliny a praskliny	HBW30
	(%)					(%)	(mm)	(%)	(mm)	(mm)	
10	2,04	1,23	0,58	0,03	0,07	2,5	10	0,57	2,2	1,6 t	579
11	1,94	0,76	0,70	0,35	0,75	2,3	9	0,51	2,0	-	446
12	1,94	0,76	0,70	0,35	0,75	-	-	-	-	1,8 t+1,2 t	446
13	1,47	0,61	0,59	0,26	0,55	2,3	9	0,44	1,7	-	460
14	1,47	0,61	0,59	0,26	0,55	-	-	-	-	1,6 t + 0,1 p	460
15	0,27	0,26	0,80	0,05	1,13	-	-	-	-	1,4 p	272
16	0,27	0,26	0,80	0,05	1,13	3,3	13	0,41	1,6	-	272
17	0,84	0,23	0,83	0,04	1,14	2,5	10	0,46	1,8	-	351
18	0,84	0,23	0,83	0,04	1,14	-	-	-	-	2,0 p	351



Obr. 6. Celkové (CS), relativní smrštění (RS) a šířka trhlin-prasklin

Tahové napětí σ vz.17 pro $\Delta l = 1,8$ mm, $l = 389$ mm, $E = 200\,000$ MPa

$$\sigma = \frac{\Delta l}{l} E = \frac{1,8}{389} 200000 = 925 \text{ MPa}$$

4. ZÁVĚR

Z vyhodnocení provedených taveb vyplývá, že všechny zkušební odlitky z první (vz.1-9) i druhé série taveb (vz.10-18) vykazovaly trhliny a praskliny, které se lišily jen velikostmi. Porovnání rozměrů trhlin-prasklin na původním a upraveném zkušebním tělese, zejména u druhé série taveb **Tab. 2** a **Obr. 6** potvrdilo, že rozměry trhlin na původní mříži odpovídají velikosti relativního smrštění RS na upraveném tělese. Na základě této podobnosti se hodnoty RS na upraveném tělese použily pro výpočet tahového napětí vznikajícího při tuhnutí původního zkušebního tělesa. Hodnoty vypočítaných tahových napětí vysoce překračují meze pevnosti v tahu odlévaných slitin. Trhliny a praskliny se vyskytovaly na původním (i upraveném) tělese vždy v posledně tuhoucích tepelných uzlech pod nálitky. Z charakteru vad lze usuzovat, že šlo ve většině případů o trhliny. Výjimku tvoří jen vz. 18, kdy byla původní mříž po odlití zdeformována tahovým napětím střední tyče, které se uvolnilo jejím naříznutím. Následně se změnil rozměr vzniklé praskliny.

LITERATURA

- [1] Zkoušení a hodnocení slévárenských vlastností slitin. *Slévárenská ročenka 1975*. Brno:
- [2] ČÚV Slévárenské společnosti ČSVTS, s. 56–61, 1975
- [3] HAVLÍČEK, F.: *Teorie slévárenství: (výběr přednášek)*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 1992.
- [4] HAVLÍČEK, F.: Trhliny a praskliny v odlitcích. *Slévárenství*, XLVI, 1998, č. 1, s. 37–46.
- [5] HAVLÍČEK, F.: Vnitřní trhliny a praskliny. *Slévárenství*, XLVI, 1998, č.3–4, s. 109–116.
- [6] STEFANESCU, D. M.: *Science and Engineering of Casting Solidification*. Second. 2008. ISBN 978-0-387-74609-8.

Litina s kuličkovým grafitem – tepelné zpracování k získání specifických vlastností

Sýkora, P.¹⁾

¹⁾ ČVUT v Praze, Fakult strojní, Technická 4, 166 07 Praha 6

Klíčová slova

Litina s kuličkovým grafitem, tepelné zpracování, feritizace, vliv křemíku, interval eutektoidních teplot, precipitační vytvrzování, ausferit.

Abstrakt

Volba vhodného postupu tepelného zpracování odlitků z litiny s kuličkovým grafitem, k získání některých jejích specifických vlastností, na základě soudobých poznatků a možností sléváren a kalíren. K obdržení požadované struktury, feritické, perlitické, strukturně vyvážené, bainitické, ausferitické, ausferitické s podílem karbidů, nebo s vyloučenými precipitáty. Očekávaný výzkum a vývoj.

1. ÚVOD

Litina je celosvětově nejdůležitější kovový materiál na odlitky. Na tomto postavení se také dlouhodobě nebude nic měnit. Litina je principiálně slitinou železa a uhlíku, která obsahuje řadu dalších prvků. Produkce litiny je vyšší, než všech ostatních kovových materiálů na odlitky. Toto dominantní postavení spočívá především v obecné dostupnosti obou základních komponent, železa a uhlíku. Relativně nepřilíš nákladné výrobě litiny a odlitků a rozmanitosti vlastností, kterých lze s litinami dosáhnout. Litina se dnes převážně taví z ocelového šrotu s tím, že podíl surového železa se pohybuje pod 15 %. Litina je tímto výslovně recyklační materiál a může dokonce sloužit jako příjemce pro četné zbytkové látky.

Struktura litiny v zásadě sestává z kovové matrice s vloženými fázemi bohatými na uhlík, což jsou grafit anebo karbidy. Na základě utváření struktury jsou litiny rozděleny do různých druhů, které jsou převážně celosvětově normovány, přičemž většina těchto norem je založena na vlastnostech, nikoliv na chemickém složení. Ke zmíněným tematickým komplexům existuje skoro nepřehledné množství publikací. Je proto vhodné jmenovat jen některé základní práce, jakož i souhrnné notace resp. sekundární literaturu.

Konečná struktura při pokojové teplotě sestává z fází feritu a cementitu, přičemž uspořádání je ledeburit, tedy z taveniny vzniklý cementit s uloženým perlitem, který zase sestává z vrstev feritu a cementitu, vytvořených v pevném stavu. Litiny a oceli nejsou žádné binární slitiny železo – uhlík, obsahují však další prvky, které stavový diagram Fe – Fe₃C, resp. Fe – C změní. Pro litinu je nejdůležitějším a neopominutelným prvkem křemík. Nehledě k tomu, že křemíku se nelze z metalurgických důvodů vyhnout a bez křemíku se z šedé litiny nedají vyrobit žádné technické odlitky.

Existuje řada možností tepelného zpracování, které mohou výrazným způsobem měnit vlastnosti LKG. V tomto příspěvku se poukazuje na tři možnosti, které se často setkávají s nepochopením i u zkušených metalurgů a nevyužívají se při průmyslové výrobě odlitků.

2. VLIV KŘEMÍKU NA INTERVAL EUTEKTOIDNÍCH TEPLOT

Vlivem křemíku se místo jediné eutektoidní teploty vyskytuje interval eutektoidních teplot. Podobně je tomu i u eutektické přeměny. Dále se vlivem křemíku zmenšuje rozpustnost uhlíku v austenitu a zvětšuje se nestabilita cementitu. Interval eutektoidních teplot se s rostoucím obsahem křemíku zvyšuje, jak je vidět z obr. 1. (Dle Mayera, je teplota austenitizační teploty při ochlazování: $T_{př. °C} = 730 + 28 (\% Si) - 21 (\% Mn)$). Zvýšení eutektoidních teplot je způsobeno tím, že křemík zvyšuje stabilitu feritu proti austenitu. Proto je křemík označován jako feritotvorný

prvek. Vyšší obsahy křemíku se dále v litině projeví zpevněním feritu a snížením jeho houževnatosti.

K posouzení jakékoliv fázové přeměny musíme vždy přistupovat ze dvou hledisek:

1. nejdříve uvažujeme, která fáze nebo směs fází je při dané teplotě a chemickém složení stabilní,
2. potom zjišťujeme, jakou rychlostí se uskuteční přechod z metastabilního stavu do stavu stabilního.

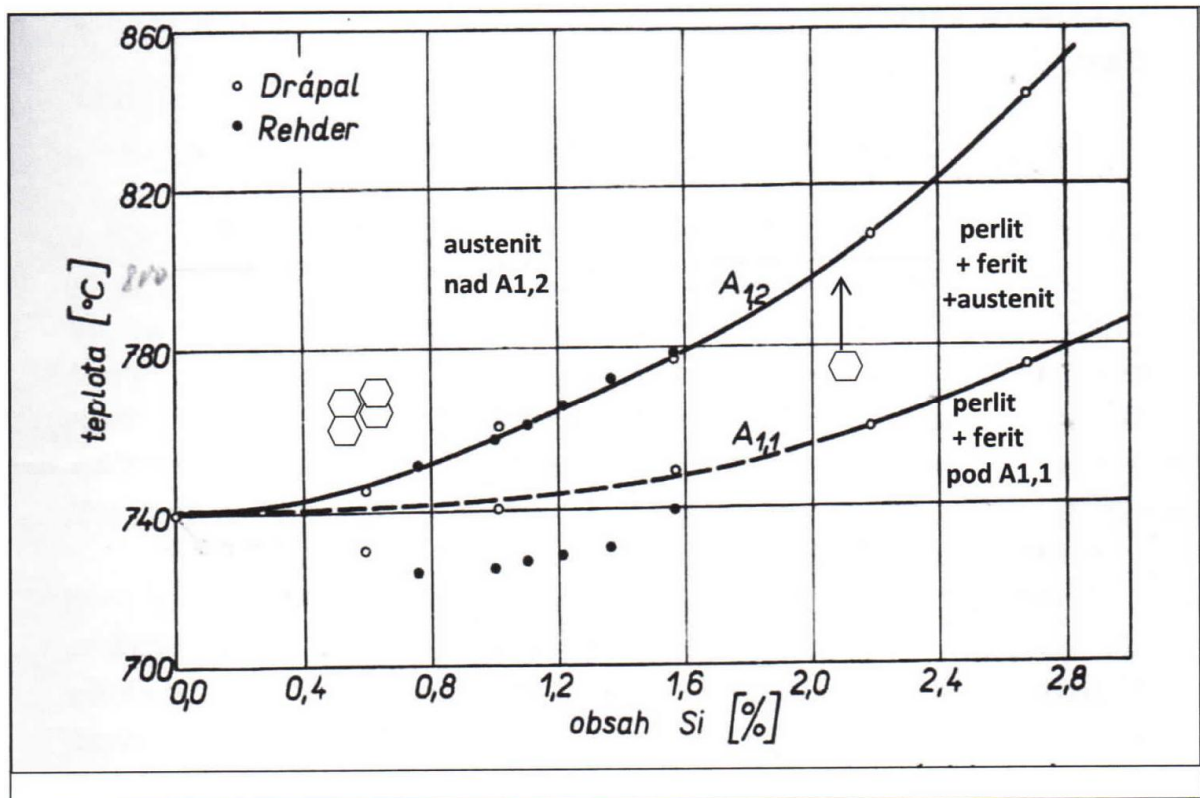
Odpověď na první hledisko získáme z rovnovážného diagramu. Jestliže například při dané teplotě a chemickém složení je slitina tvořena jinými fázemi, než odpovídá rovnovážnému diagramu, můžeme tvrdit, že slitina není v rovnovážném stavu, a dá se předpovědět fázová změna.

Pro odpověď na druhou otázku musí být pokusně sestrojen jiný diagram, který vystihuje průběh uvažované přeměny v závislosti na čase. Jedná se o možnost ochlazování buď plynule – pak k tomu slouží diagramy izotermické – IRA, nebo ochlazování při stálé teplotě – ARA diagramy.

Co to pro praxi znamená?

Vyrobí-li slévárna odlitky např. s perlitickou strukturou, nebo s vyšším podílem perlitu (nedodržení optimálního složení, v důsledku vyšší rychlosti ochlazování, použitím nevhodných, nebo ekonomicky výhodných vsázkových surovin s vyšším obsahem Mn, nebo Cr) než je optimální pro dosažení jakosti např. GGG 50 a je možná náprava. Zařazení tepelného zpracování a to bez zařazení teploty kdy dojde k úplné austenitizaci, tedy ohřevu nad $A_{1,2}$; v praxi většinou na teplotu kolem 900 °C (s výdrží 2–4 hod + 1 hod. na každých dalších 25 mm tloušťky stěny odlitku).

1. **Ohřev na teplotu pod $A_{1,1}$** ; po dostatečně dlouhou dobu v závislosti na skutečně použité teplotě, s respektováním vlivu obsahu křemíku, jak je patrné z **obr. 1**. To je prospěšné si v každé slévárně ověřit na reálných odlitcích, respektive blocích, z nichž se požadované mechanické hodnoty atestují. Čím blíže budeme k teplotní křivce $A_{1,1}$, tím rychleji se přeměna perlitu na ferit uskuteční. Přičemž následující ochlazování již na přeměnu (podílu perlitu k feritu) nemá vliv. Optimální teplota pro zvýšení podílu feritu je tedy např. při 2,4 % Si je kolem 740 °C. Rozpad perlitu na ferit nastává však již při delší výdrži nad teplotou cca 400 °C.
2. **Ohřev mezi $A_{1,1}$ a $A_{1,2}$** ; je z hlediska nastavení podílu feritu spolehlivější, v důsledku toho, že se v závislosti na teplotě ustaví určitý podíl perlitu k feritu, v závislosti na podílu austenitu, který při dané teplotě vznikne (podíl se zjistí podle pákového pravidla). Množství austenitu, které při dané teplotě ve struktuře vznikne, se jednoduše zjistí zakalením zkušebního vzorku, který obsahuje tolik karbidů, kolik se vytvořilo při dané teplotě austenitu. Tak se i sestrojil diagram znázorněný na **obr. 1**.



Obr. 1. Vliv křemíku na polohu a interval eutektoidních teplot, upraveno autorem

3. PRECIPITAČNÍ VYTVRZOVÁNÍ

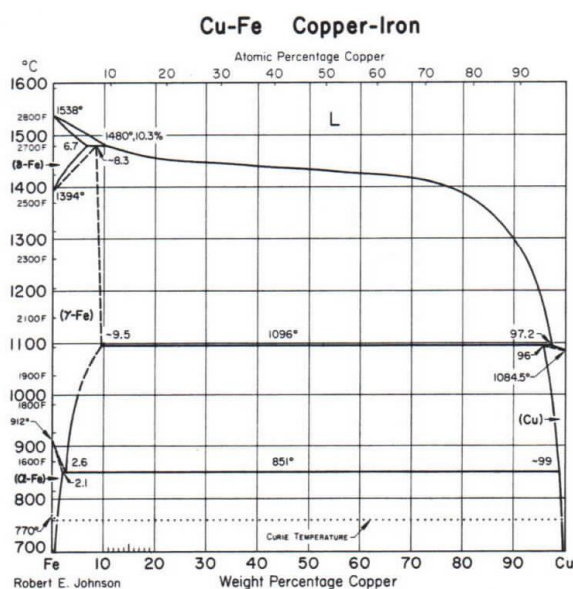
Poměrně málo využívaný postup tepelného zpracování, který však umožňuje zvýšení mechanických vlastností odlitků z LKG. Z uskutečněné studie v bývalé Slévárně ČKD v Praze se ukázalo, že i tento způsob tepelného zpracování může být perspektivní, což bylo v 80-tých letech minulého století zajímavé. Nebyly dostatečné znalosti o možnosti tepelného zpracování LKG v solných lázních a tedy výrobě ausferitických litin – ADI. Studiu vlivu mědi se věnovala velká pozornost, včetně výroby velkých odlitků se zaručovanými hodnotami při nízkých teplotách, zvýšení pevnosti perlitických litin a **precipitaci ve feritické matici**. Základní podmínkou pro uskutečnění precipitace je klesající rozpustnost přísady (v našem případě mědi) v základním tuhém roztoku. Jestliže vhodně zvolená slitina se zahřívá na teplotu, až se tuhý roztok nasatí přísadovým prvkem (rozpuštěcí žíhání) a pak následuje ochlazování takovou rychlostí, aby se nemohla vylučovat přidaná složka podle rovnovážného diagramu. Pak zůstanou atomy přidané složky v tuhém roztoku. Tento roztok je v metastabilním stavu a postupem doby se jeho stav přesunuje směrem k vyšší stabilitě. Tento proces probíhá tak, že přebytečné atomy přidaného prvku se vylučují z mřížky tuhého roztoku a na určitých vhodných místech struktury vytvářejí samostatné útvary. Ty se nakonec přemění na v částice druhotné fáze – **precipitát**.

Princip, tedy možnost precipitace (přítomnost vyloučených drobných částic v základní hmotě) je velmi dobře znám z výroby hliníkových slitin a i u oceli. Méně se uplatňuje při výrobě LKG. V tekutém železe je měď neomezeně rozpustná. Avšak již malá množství uhlíku snižují její rozpustnost, která pak při jeho obvyklých obsazích v litině je jen 3,5 až 4 % [1]. Většina slitinových prvků ovlivňuje rozpustnost mědi jen málo. Výjimku tvoří nikl, který rozpustnost mědi zvyšuje a hořčík který ji snižuje. Rozpustnost mědi v čistém γ - železe je max. asi 9,5 % při 1096 °C a klesá tak, že při eutektické teplotě, která je přibližně 851 °C je jen asi 2,6 %. Pro ilustraci, z literatury vybraný rovnovážný diagram Fe-Cu, **obr. 2**. Eutektoidní teplota termálního systému Fe-C-Cu leží však při teplotě značně nižší [3–5]. Podrobně se informuje o precipitačním vytvrzování pomocí mědi v našem příspěvku z roku 1983 [4]. Připravila se LKG o složení: 3,61 % C; 2,46 % Si; 0,12 % Mn; 0,034 % P; 0,005 % S; **1,50 % Cu**; 0,054 % Mg. Z celé řady uskutečněných režimů tepelného zpracování vychází precipitační vytvrzování nejlépe: rozpuštěcí žíhání 740 °C/4 hod/vzduch; precipitační vytvrzování 500 °C/4 hod/vzduch. Výsledná základní hmota je feritická s vyloučenými

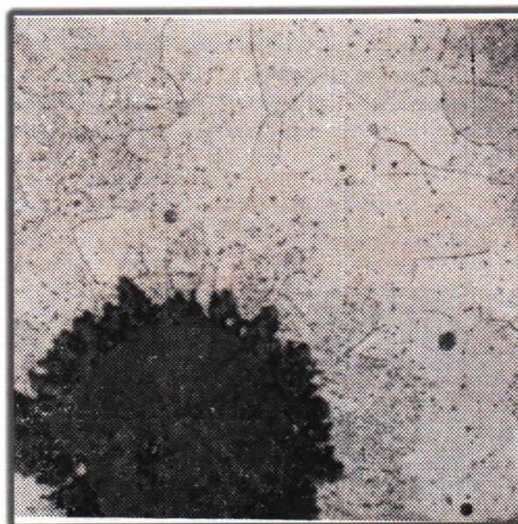
precipitáty, viz **obr. 3** [4]. Ukázalo se, že je možné při pevnosti v tahu téměř 500 MPa získat tažnost nad 15 % a dobrý poměr meze kluze k pevnosti, tedy $R_{p0,2} : R_m = 0,79$, **Tab. 1**.

Tabulka. 1. Mechanické vlastnosti z bloku Y2 (s = 25 mm) v litém stavu, po klasickém feritizačním tepelném zpracování a po nejlepším tepelném zpracování se zařazením precipitace při 500 °C

Stav	R _p [MPa]	R _m [MPa]	A ₅ [%]	R _{p0,2} /R _m	HB	KCO [J/cm ²]	KCV [J/cm ²]	Ferit [%]
Bez TZ	540	892	5,2	0,60	281	21		2
po klasické feritizaci	310	450	12	0,68	160	100		95
po precipitačním žíhání	393	498	16,8	0,79	200	114	11,9	95



Obr. 2. Rovnovážný diagram Fe-Cu



Obr. 3. Feritická litina s 1,5 % Cu po precipitaci, původní zvětšení 500x

4. AUSFERITICKÁ LITINA S KULIČKOVÝM GRAFITEM

I přes to, že již od roku 2012 je platná norma pro ausferitickou litinu s kuličkovým grafitem a to ČSN EN 420960, stále kolem její výroby panuje řada nejasností a rozdílných názorů. Odlitky z této litiny „pro nenáročné použití“, se většinou vyrábějí z běžné jakosti KLG. Odběratel odlitků, si však oprávněně pro ty náročné, a především když se jedná o bezpečnostní díl, předepisuje úzké rozmezí chemického složení, perlitickou výchozí strukturu a min. podíl zrnitého grafitu 90 %, a to i z přilité zkoušky k odlitku. Chemické složení se volí především s ohledem na modul odlitku, resp. dle tloušťky stěny a kde je odlitek z konstrukčního hlediska nutné zajistit. Stále ještě platí a u nás bez výhrad, že odlitky se tepelně zpracovávají mimo slévárnu a to ve specializovaných kalírnách vybavených solnou lázní. Musí být spolehlivě kontrolovány a dokladovány režimem – především s ohledem na dobu výdrže v solné lázni a rychlosti ochlazování.

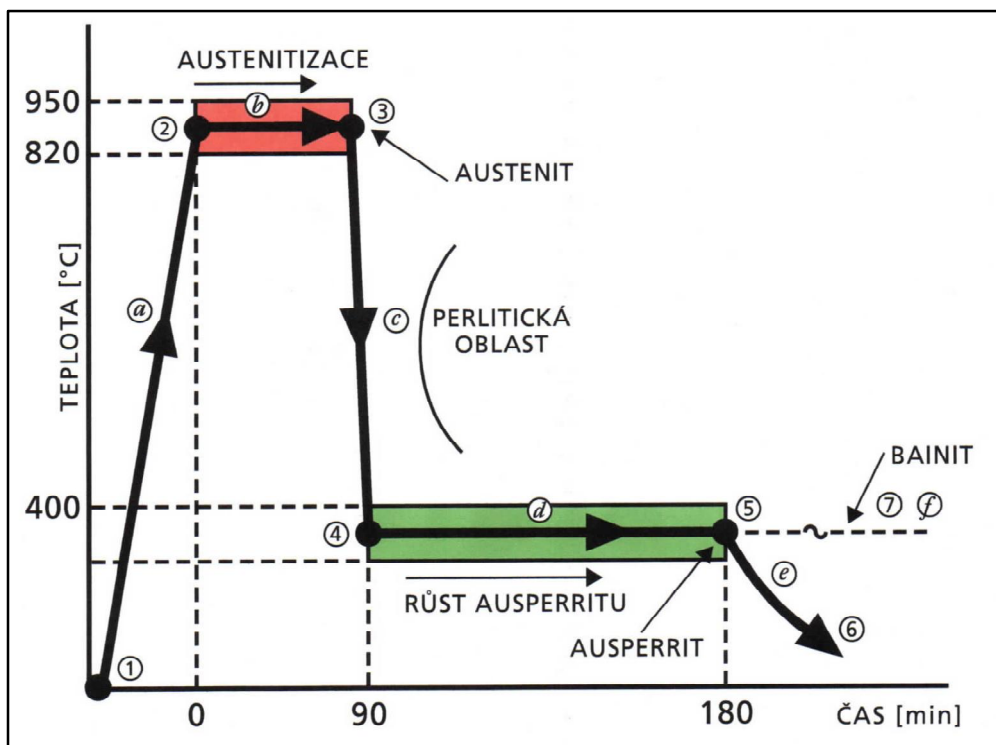
Tabulka 2. Mechanické vlastnosti měřené na zkušebních tělesech opracovaných z odlitých vzorků

Označení materiálu		Směrodatná tloušťka stěn ^{a)} <i>t</i> mm	Mez kluzu	Pevnost v tahu	Prodloužení
Značka	Číselné označení		<i>R_{p0,2}</i> MPa min.	<i>R_m</i> MPa min.	<i>A</i> % min.
EN-GJS-800-10 EN-GJS-800-10-RT	5.3400 5.3401	<i>t</i> ≤ 30		800	10
		30 < <i>t</i> ≤ 60	500	750	6
		60 < <i>t</i> ≤ 100		720	5
EN-GJS-900-8	5.3402	<i>t</i> ≤ 30		900	8
		30 < <i>t</i> ≤ 60	600	850	5
		60 < <i>t</i> ≤ 100		820	4
EN-GJS-1050-6	5.3403	<i>t</i> ≤ 30		1 050	6
		30 < <i>t</i> ≤ 60	700	1 000	4
		60 < <i>t</i> ≤ 100		970	3
EN-GJS-1200-3	5.3404	<i>t</i> ≤ 30		1 200	3
		30 < <i>t</i> ≤ 60	850	1 170	2
		60 < <i>t</i> ≤ 100		1 140	1
EN-GJS-1400-1	5.3405	<i>t</i> ≤ 30		1 400	1
		30 < <i>t</i> ≤ 60	1 100	Dohoda mezi výrobcem a odběratelem	
		60 < <i>t</i> ≤ 100			
POZNÁMKA 1 Směrodatná tloušťka stěny nemá vliv na minimální meze kluzu 0,2 %, předpokládaná charakteristická hodnota tepelného zpracování a chemického složení jsou přizpůsobené jak funkce příslušné tloušťky stěn.					
POZNÁMKA 2 Směrné hodnoty pro tvrdost podle Brinella pro tyto druhy jsou uvedené v příloze D.					
^{a)} Pro rozhodující tloušťku stěny větší než 100 mm dohodne výrobce a odběratel typ a velikost odlitého vzorku a obdržené minimální hodnoty.					

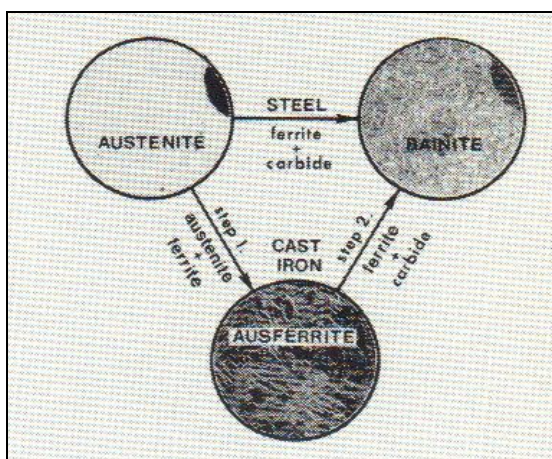
V obr. 4 je znázorněn cyklus tepelného zpracování litiny s kuličkovým grafitem s tím, že každý bod (1 až 6) a každá část režimu (a až f) vyžaduje přesnou znalost a především kontrolu ověřeného režimu pro konkrétní odlitek. V tomto příspěvku **blíže k části tepelného zpracování po austenitizaci** (tedy po nasycení austenitu uhlíkem). Do solné lázně se odlitky musí přemístit rychle, aby se zachoval austenit bez další přeměny a to v praxi mezi 230 až 400 °C. K tomu se musí někdy využít i mezistupeň ochlazování. Např. v první solné lázni po dobu několik sekund a pak rychlé přenesení do finální solné lázně. Rozhodně velmi náročný postup kalení, který nedovolí nepořádek a nekázeň.

V solné lázni dochází k rozhodujícímu procesu a to k vylučování feritu z austenitu. Vzniká tak struktura, pro kterou se ustálil název ausferit. (Po dlouhých diskusích zejména mezi anglicky a německy a i českými hovořícími výzkumníky). Tedy základní hmota složená z austenitu (rozhodně se nejedná o zbytkový) a jehlicovitého feritu. Podle teploty se mění charakter a rozložení feritu a tím i mechanické vlastnosti; pevnost od 800 MPa do 1400 MPa, tažnost od 10 % do 1 %. Normované hodnoty pro směrodatnou tloušťku stěny ≤ 30 mm jsou ve výše uvedené tabulce. Dnes jsou zpracovány detailní diagramy a postupy výdrže na teplotě a době setrvání v solné lázni a často se jedná o placené databáze.

Musí se pochopit, že proces vzniku ausferitu probíhá postupně, ale jen do určitého času. Pak nastává, v tomto případě nežádoucí vznik bainitu. Jedná se o mechanismus, často nepochopený. Ausferit je metastabilní struktura která se při delší výdrži na teplotě izotermické transformace přeměňuje částečně – nebo i více na bainit – z austenitu obohaceného uhlíkem se přece jen vyloučí cementit. Rozhodující je tedy, aby se při tepelném zpracování respektovalo dodržení určitého procesního okna. Musí se zamezit tomu, aby se z ausferitu, v důsledku příliš dlouhé doby prodlevy nestal bainit nebo aby se při příliš krátké době nezůstal nestabilní, na uhlík chudý austenit, který se při ochlazování na pokojovou teplotu transformuje na martenzit.



Obr. 4. Schéma tepelného zpracování ausferitické litiny – ADI



Obr. 5. Diametrální rozdíl mezi bainitickou přeměnou u oceli a litiny [5]



Obr. 6. Typická struktura ADI: 900 °C/60 min.; solná lázeň: 350 °C/60 min.; dochlazení ve vodě
Austenit světlý, ferit- laťky tmavý [6]

5. ZÁVĚR

Náležitá znalost možností jak upravit podíl feritu k perlitu umožňuje i **tepelné zpracování pod eutektoidní teplotou**, nebo v **intervalu eutektoidních teplot** ($A_{1,1}-A_{1,2}$). Tepelné zpracování LKG může být stále aktuální především při požadavcích zaručovat úzké rozmezí mechanických vlastností a i jako opravné při nedodržení požadované jakosti při výrobě odlitků bez jejich tepelného zpracování.

Precipitační vytvrzování feritické LKG, při obsahu mědi 1,5 %, umožňuje získat dobrou kombinaci vlastností. Především vyššího poměru meze kluzu k pevnosti v tahu.

Ausferitická litina – **ADI**, nebo ausferitická litina s volnými karbidy – **CADI** jsou stále ještě málo využívané vysoko pevnostní respektive otěru odolné LKG. Pro účelné využití při výrobě odlitků, je nutné se však detailně seznámit jak s metalurgií výroby, tak především s následným tepelným zpracováním a s jeho možnostmi.

Uvedené tyto tři oblasti se budou i nadále zkoumat a mohou být i vhodnými náměty pro dizertační práce. Dá se předpokládat další zvyšování výroby feritické LKG s vyšším obsahem

křemíku. Precipitační vytvrzování klasické feritické LKG bude, vzhledem k současnému stavu vyráběných jakostí, asi jen předmětem výzkumu. Je předmětem úvah i možnost využití precipitace u feritické litiny s vyšším křemíkem (se 3–4 % Si), které nahrazují feriticko- perlitické jakosti.

Litiny jakosti ADI a CADI rozhodně jsou a budou předmětem dalšího zkoumání, vývoje a využití. Jsou zpracovány a nabízeny placené programy pro výrobu s ohledem na zajištění požadovaných vlastností odlitků v závislosti na tloušťce stěny. Jsou i údaje o možnosti výroby legované ADI bez následné nutnosti tepelného zpracování.

LITERATURA

- [1] RÖHRIG, K.: Kupfer in Gusseisen mit Kugelgraphite. = „Giesserei“, 1964, č. 2, s. 9–12
- [2] SY, A. DE. -RÖHRIG: „Giesserei“, 1963, č. 2, s. 1–20
- [3] OLDFIELD, W.: „BCIRA Journal“, 1962, s. 17–27
- [4] SÝKORA, P.: Precipitační vytvrzování feritické tvárné litiny legované mědí. = Slévárenství 1983, č. 2/3, s. 114–120
- [5] KOVACS, V. Sr: Austempered Ductile Iron: Fact and Fiction, Modern Casting, 4. 1990
- [6] SÝKORA, P.: Izotemicky zpracované litiny s odlišně vyloučeným volným grafitem. Slévárenské dny Brno, 2018
- [7] ROUČKA, J., SÝKORA, P.: Tepelné zpracování grafitických litin. = Slévárenská ročenka, r. 2000
- [8] DORAZIL, E.: Vysokopevná bainitická tvárná litina, ACADEMIA Praha 1985, 170 str. 7

Výroba a vlastnosti legovaných litin

Kaňa, V. ¹⁾, Záděra, A. ¹⁾, Pernica, V. ¹⁾, Mokrý, J. ¹⁾

¹⁾ FSI VUT v Brně, ÚST, Odbor slévárenství, ČR

Klíčová slova

Legovaná litina, Fersilit, Pyroferal, Ni-resist

Abstrakt

Legované litiny jsou velmi zajímavou skupinou materiálů se specifickými vlastnostmi. Článek popisuje některé druhy, vlastnosti a použití středně a vysokolegovaných litin, kde hlavními legujícími prvky jsou křemík, hliník, chrom nebo nikl.

1. ÚVOD

Výroba legovaných litin je méně rozšířena než výroba legovaných ocelí [1]. Přitom legované litiny obecně, se podstatně lépe odlévají než legované oceli. Výhodou je nižší teplota tavení, takže způsobují nižší tepelné namáhání forem a nejsou náchylné ke vzniku povrchových vad odlitků, tzv. zapečenin. Dále legované litiny nabízí nižší smrštění, takže není nutné tolik nálitkovat, což vede k potřebě menšího množství tekutého kovu a tím k úspoře energie za tavení. Vyzdívka pecí i pánví vydrží déle než při tavně oceli. Pro výrobu forem se může používat levnější křemenné ostřívo, a přesto běžně nevznikají vady typu připečenin. Odlitky z litiny mohou být složitější než z oceli a mohou mít menší tloušťku stěn, jelikož litina má lepší zabíhavost. [2]

Pro výrobu odlitků z legovaných litin je potřeba hlubších metalurgických znalostí a vyšší pracovní úroveň organizace, např. důsledně třídit vratný materiál apod. Je to i důvod proč se dosahuje při výrobě legovaných litin vyššího zisku než u běžných značek litin i ocelí.

U legovaných litin je možné pozorovat některé zvláštní vlastnosti. Jedná se zejména o korozivzdornost, otěruvzdornost, žáruvzdornost nízký součinitel tepelné roztažnosti, nemagnetičnost aj.

Legující prvky mají pomoci zlepšovat mechanické vlastnosti, tj. získání optimální kombinace pevnosti a houževnatosti nebo k dosažení výhodnějších chemických, fyzikálních nebo technologických vlastností [1].

V databázi MatWeb je v kategorii legovaných litin k nalezení 93 známých slitin [2].

2. ROZDĚLENÍ LEGOVANÝCH LITIN

Litiny s lupínkovým grafitem (dále LLG) a litiny s kuličkovým grafitem (dále LKG) se legují za účelem:

- Ovlivnění mechanicko-technologických vlastností jako jsou tvrdost, pevnost, odolnost proti opotřebení, dobrá obrobiteľnosť při zachování pevnosti, stejnomernost struktury apod. Pro tento účel se nejčastěji používají legury jako Cr, Ni, Mo, Cu. Grafitické litiny se často legují za účelem zvýšení prokalitelnosti např. ADI litiny. Výše zmíněné legování je omezeno na koncentraci, při které vznikají karbidy.
- Ovlivnění vlastností za zvýšených teplot, jako je mez pevnosti při tečení, objemová stálost, žáruvzdornost, strukturní odolnost vůči změnám teplot, apod. Dosahuje se toho přísadou prvků jako Al, Si, Ni, Cr, Mo, Sn.
- Zvýšení korozivzdornosti v zásaditém, neutrálním nebo kyselém prostředí přísadou Ni, Cr, Si, Cu.

Legování karbidických litin se provádí za účelem zvýšení korozivzdornosti, odolnosti proti opotřebení a získání speciálních vlastností přísadou prvků jako Cr, Ni, Mn, Mo, V [1].

Dle různých hledisek lze legované litiny dělit:

Podle množství legujících prvků na:

- nelegované a nízkolegované litiny
- středně a vysokolegované litiny

Podle hlavního legujícího prvku na:

- litiny legované křemíkem (korozivzdorné, žáruvzdorné)
- litiny legované hliníkem (žáruvzdorné)
- litiny legované niklem (korozivzdorné, otěruvzdorné, žáruvzdorné)
- litiny legované chromem (otěruvzdorné, žárupevné, korozivzdorné)

Podle hlavního účelu použití na:

- žárupevné, žáruvzdorné
- korozivzdorné
- otěruvzdorné

Tento příspěvek bude věnován středně a vysokolegovaným litinám, které zde budou rozděleny podle hlavního legujícího prvku.

3. STŘEDNĚ A VYSOKOLEGOVANÉ LITINY

Vysoký obsah legujících prvků slouží v těchto litinách ke zlepšení vybraných vlastností (korozivzdornost, otěruvzdornost, nemagnetičnost, nízká teplotní roztažnost, apod.). Vysokolegované litiny zpravidla nedosahují takových mechanických vlastností (mez kluzu, pevnost) jako litiny nízkolegované či nelegované. V závislosti na hlavním legujícím prvku může být struktura vysokolegovaných litin nejčastěji feritická, perlitická, austenitická nebo martenzitická, příp. také obsahuje karbidy legujících prvků [1]. U legovaných bílých litin je veškerý uhlík vázán v karbidech [3].

Vysokolegované litiny lze podle hlavního přísadového prvku členit na křemíkové, chromové a niklové litiny. Mezi vysokolegované litiny se řadí i litiny legované hliníkem [1].

3.1 Litiny legované křemíkem

Jedná se o litiny s grafitem ve formě lupínků nebo kuliček, které jsou legovány křemíkem až do obsahu 20 hm. %. Křemík zde slouží k zajištění žárupevnosti a korozní odolnosti v kyselém prostředí. Vysoký obsah křemíku zajišťuje feritickou strukturu. Při požadavku pouze na zvýšenou korozivzdornost nebo žárupevnost odlitků se volí křemíkové litiny s lupínkovým grafitem. Jestliže je požadavek také na vyšší pevnost nebo tažnost, pak se volí odlitky z křemíkových litin s kuličkovým grafitem. Vysoké žáruvzdornosti se dosahuje u litin s jemně vyloučenými lupínky grafitu. Hrubě vyloučený grafit je naprosto nevhodný i z hlediska korozní odolnosti, jelikož kyslík proniká snadněji do materiálu a podporuje tak vnitřní oxidaci, což vede k objemovým změnám tzv. růstu litiny. Oproti křemíkové LLG má litina s kuličkovým grafitem a přísadou křemíku lepší mechanické vlastnosti a především větší odolnost vůči okujení a objemovým změnám [4]. Při obsahu 14,5 % Si nebo více, je korozní odolnost těchto litin lepší než u některých litin legovaných Cr, Ni nebo Mo. Křemíkové litiny mají špatnou svařitelnost, ale dobrou slévatelnost. Obsah Si musí být mezi 14 až 16 %, protože pak dochází k tvorbě souvislého ochranného filmu SiO₂. V angličtině se vysoce legované křemíkové litiny označují zkratkou HSCI (Hight Silicon Cast Iron). **Tab. 1** ukazuje chemické složení v souladu s Britskou normou BS 1591 a s americkou normou ASTM A518 [5].

Tabulka 1. Chemické složení dle normy ASTM 518 a BS 1591 [5]

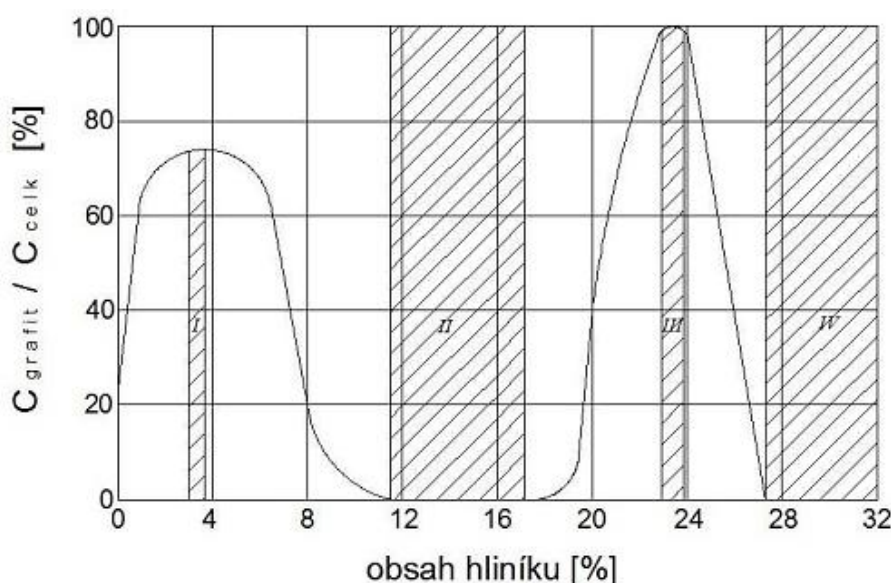
Norma	Chemické složení [hm. %]							
	Si	Cr	C	Mn	Cu	Mo	P	S
ASTM 518	14,20-14,75	3,25-5,0	0,7-1,1	≤ 1,5	0,5	0,2	-	-
BS 1591	14,25-15,25	4,0-5,0	< 1,4	≤ 0,5	-	-	≤ 0,25	≤ 0,1

Žárupevné křemíkové litiny s obsahem 14 až 18 % Si jsou označovány jako **Fersilit**. Jsou vhodné na odlitky pro chemický průmysl [4]. Litina označovaná jako Fersilit je normována podle ČSN 42 24 83 [4]. Vyznačují se vysokou chemickou odolností, především vůči kyselině dusičné, solné, sírové, fosforečné a chromové [3]. Fersilit je velmi tvrdý a obrábět se dá pouze broušením. Odlitky z něj jsou proto velmi křehké a je nutné postupovat opatrně při čistírenském zpracování. Proto se doporučuje provedení žihání na odstranění vnitřního napětí. Fersilit nesnáší rychlé změny teplot. [2]

Používá se především na odlitky čerpadel kyselin, mísiče, armatury a kotle v chemickém průmyslu [4]. Odolává i mořské vodě a tak se používá také pro krátká potrubí na ropných plošinách. V současnosti nacházejí odlitky z tohoto materiálu skvělé uplatnění jako anody, jelikož mají skvělou odolnost vůči elektrochemické korozi a dobrou elektrickou vodivost. Tyto anody mohou být dlouhodobě v zemi a odolávají působení bludných proudů [5].

3.2 Litiny legované hliníkem

Při legování hliníkem se na povrchu odlitku vytváří pasivační vrstva, která má velkou schopnost bránit kov proti oxidaci. Tím je dosaženo vysoké odolnosti proti vzniku okují a korozivzdornosti, zvláště v prostředí síry a jejích sloučenin. U litin legovaných hliníkem jsou výraznými rysy nízká hustota a vysoký elektrický odpor. Legování litin hliníkem je zajímavé také tím, že při určitém obsahu působí hliník silně grafitotvorně a při jiném silně karbidotvorně. Na **Obr. 1** je závislost podílu grafitického a celkového uhlíku na obsahu hliníku, tento graf je rozdělen na 4 oblasti, které jsou popsány v **Tab. 2**. Vhodné pro použití jsou tedy jen litiny s poměrně nízkým anebo velmi vysokým obsahem hliníku (1 až 8 hm. % Al, nebo 20 až 30 hm. % Al) [4]. Za výhodnou je považována struktura feriticko-grafitická. Pokud se čistě feritické struktury nedosáhne přímo v litém stavu, zařazuje se žihání při teplotách 930–1040 °C, kdy dojde k rozpadu zbytkových karbidů a ke zlepšení strukturní stability. Kuličkový tvar grafitu podstatně zlepšuje mechanické vlastnosti a také odolnost proti vzniku okují a objemovou stálost. [2]



Obr. 1. Závislost podílu grafitického a celkového uhlíku na obsahu hliníku [6]

Tabulka 2. Popis oblastí grafu z obr. 1 [6]

Oblast	Struktura	Složení	Použití
I	F + P + G	3–8 % Al (do 3 % Cr, do 3 % Si)	do 850 °C i v prostředí SO ₂ , nad 4 % Al vzrůstá tvrdost, zhoršená obrobitelnost, vyšší křehkost
II	F + karbidy Fe ₃ AlC _x	nepoužívá se	
III	F + G	19–24 % Al 1,5–2,5 % C 0,8–2,0 % Si	pro teploty do 1000 °C i vyšší, rovněž v prostředí SO ₂ , dobře obrobitelná, vhodná zejména jako LKG
IV	F + Al ₄ C ₃	28–30 % Al 1,2–1,4 % C max. 0,5 % Si max. 0,5 % Mn	název Pyroferal, pro teploty do 1200 °C, křehká, neobrobitelná, nevhodná pro kolísající teploty

Mezi vysokolegované hliníkové litiny se řadí litina s obchodním názvem **Pyroferal**, lze ji použít i při teplotách nad 1000 °C. Tento typ litiny je odolný vůči redukčnímu i oxidačnímu prostředí, solným lázním, spalínám, roztaveným kovům a má ze všech litin nejmenší růst způsobený oxidací. Je také odolná vůči nauhličení a sycení dusíkem, její nevýhodou však je, že špatně snáší změny teploty. Odlitky jsou křehké a někdy dokonce praskají během uložení před zahájením čistírenských operací. Metalurgie těchto litin je obtížná, hliník vyvolává značné komplikace a to v souvislosti s tvorbou oxidických vměstků, oxidických blan a mikroporozity. [4]

Litiny s 22 % Al a 2 % B se používají pro žáruvzdorné odlitky s vysokou pevností za tepla (350 MPa při teplotě 760 °C). Odlitky s 22 až 34 % Al a s obsahem 5 % Si a do 3 % Cu patří do skupiny nemagnetických feritických litin s velmi nízkou permeabilitou. Pyroferal se používá např. k lití na vytavitelný model pro přesné odlitky statorových lopatek turbíny s vnitřním spalováním. Další použití je pro nitridační pece, trysky hořáků, díly rekuperátorů, díly které přicházejí do styku s roztaveným barevným sklem. Skvělých výsledků bylo dosaženo při testování litých trubek z Pyroferalu pro krakování zemního plynu. [2]

3.3 Litiny legované chromem

Chrom v litinách podporuje vylučování uhlíku ve formě karbidů. Litina začíná tuhnout bíle při obsahu chromu větším než 2–3 %. V legovaných litinách je množství chromu až 35 %. Stupeň eutektičnosti (S_E) se blíží jedné, podle toho se volí obsah uhlíku. Množství karbidů chromu roste s rostoucím obsahem uhlíku a při obsahu cca 1,5 % uhlíku se litina stává neobrobitelnou. Struktura je složena z karbidického eutektika a základní kovové hmoty, která je buď perlitická, feritická, austenitická, martenzitická, nebo bainitická a je ovlivněna chemickým složením, rychlostí ochlazování a tepelným zpracováním [4]. Mikrostruktura bílých chromových litin je tvořena kovovou maticí a 25–35 obj. % karbidů. Uvádí se, že 50 % případů opotřebení v průmyslu je způsobeno procesy abraze. Zvláštní bílé litiny vyvinuté pro případy extrémního abrazivního opotřebení mají zvýšený obsah karbidů (40–70 %). [7]

Zcela feritické matrice se u chromových litin dosahuje až při téměř 30 % Cr. Litina legovaná chromem má vysokou odolnost vůči korozi, opotřebení a žáruvzdornost až do teplot kolem 1000 °C. Chrom má schopnost vytvářet pasivační vrstvu na povrchu materiálu a tím se stává litina vysoce korozivzdornou (minimálně 12–14 % Cr v matici). Téměř veškerý uhlík se váže na karbidy, jelikož chrom je silně karbidotvorný prvek. Pro dosažení alespoň 12 % Cr v matici tedy musí být obsah chromu zvýšen o koncentraci, která je vázaná na karbidy (přibližně 1 % C váže 10 % Cr). [4]

Vysokolegované chromové a chromniklové litiny se uplatňují jako materiály ožeruvzdorné, v jiných případech jako žáruvzdorné nebo žárupevné. Norma ČSN EN 12513 rozděluje litiny legované Cr do dvou základních skupin. Třetí skupinu tvoří nelegované a nízkolegované litiny.

Značky litin jsou definovány podle:

- chemického složení
- tvrdosti

Značky ořezuvzdorných litin uvedené v této normě jsou pro: [4]

- a) nelegované nebo nízkolegované litiny
- b) nikl-chromové litiny dvou hlavních typů:
 - litiny legované 4 % Ni a 2 % Cr
 - litiny legované 9 % Cr a 5 % Ni
- c) litiny s vysokým obsahem chromu, rozdělené do čtyř skupin podle obsahu chromu:
 - $11 \% < Cr \leq 14 \%$
 - $14 \% < Cr \leq 18 \%$
 - $18 \% < Cr \leq 23 \%$
 - $23 \% < Cr \leq 28 \%$

Poslední skupina litin legovaných Cr, označovaná též jako karbidické chromové litiny, jsou litiny s vysokým obsahem chromu. Cementit je ve struktuře nahrazen tvrdšími a stabilnějšími komplexními karbidy $(Cr, Fe)_7C_3$, eventuálně sekundárními karbidy $(Cr, Fe)_{23}C_6$. Tvrdost těchto karbidů přesahuje tvrdost křemene, což je pro odolnost proti opotřebení zásadní.

Uplatnění nacházejí jako díly pracující v silně agresivních prostředích. Chromové litiny dobře vzdorují nejen atmosférické korozi, ale i mořské vodě, koncentrované kyselině fosforečné, dusičné, převážně většinou zásad a roztokům solí. Používají se na výrobu čerpadel pro transport velmi znečištěných kapalin s vysokým podílem abrazivních materiálů [4]. V ořezuvzdorných aplikacích dále také pro nárazové lišty drtičů, rotory a skříně bagrovacích čerpadel, lopatky a obložení komor tryskačů, kolena potrubních tras na dopravu hydrosměsí apod., či pro součásti kalových čerpadel a další díly fungující v obtížných podmínkách (důlní stroje a zařízení, manipulace s materiálem, drcení a broušení) [7].

3.4 Litiny legované niklem

Grafitické litiny s austenitickou základní kovovou hmotou jsou známé pod názvem **Ni-resist**. Grafit v těchto litinách může být vyloučen ve formě lupínek nebo kuliček. U značek s obsahem chromu jsou ve struktuře navíc obsaženy karbidy. Tvar grafitu příliš neovlivňuje fyzikální vlastnosti. Tam kde je od odlitek požadována pouze zvýšená žáruvzdornost, korozivzdornost nebo specifické fyzikální vlastnosti stačí lupínkový grafit. Odlitky u kterých jsou zvýšené požadavky na pevnost a houževnatost je nezbytný kuličkový grafit. Nikl v litinách zvyšuje pevnost, korozivzdornost, odolnost proti opotřebení, žáruvzdornost a v litinách s lupínkovým grafitem zjemňuje částice grafitu. Odlitky z austenitické niklové litiny mají oproti oceli lepší povrch, s čímž souvisí nižší čistírenská pracnost.

Austenitické niklové litiny jsou uvedeny v normě ČSN EN 13835, často se však používají také normy ASTM A 439 nebo DIN 1694. Norma ČSN EN 13835 rozlišuje dvě skupiny austenitických niklových litin a to litiny pro zvláštní použití a litiny pro všeobecné použití.

Pevnosti v tahu jsou u austenitických litin s lupínkovým grafitem při 20 °C od 140 do 280 MPa a tažnosti 1 až 3 % (dle DIN a ASTM). Pevnosti austenitických litin s kuličkovým grafitem při 20 °C jsou v tahu 370 až 500 MPa s mezí kluzu 170 až 290 MPa při tažnosti 7 až 40 % (dle DIN a ASTM) [2].

S krystalografickou mřížkou austenitu (FCC) souvisí také vysoká houževnatost za nízkých teplot. Tyto materiály nevykazují tranzitní chování, proto se mohou používat i v kryogenní technice a to až do teplot -196 °C. [2]

V praxi nalézají tyto materiály široké uplatnění, např. pro čerpadla, filtry, ventily, součásti zařízení pracující v mořské vodě jako třeba zařízení na odsolování mořské vody, pístní kroužky pro písty z lehkých slitin, míchadla v chemickém průmyslu. Odlitky z nich se používají také jako skříně spalovacích turbín a turbokompresorů, vložky válců, výfuková potrubí apod. [2]

4. ZÁVĚR

Tento příspěvek má za cíl v krátkosti seznámit čtenáře s některými základními představiteli široké skupiny středně a vysokolegovaných litin. Jedná se o velmi zajímavé materiály, často s vyšší přidanou hodnotou, které vykazují některé unikátní vlastnosti.

Tato práce byla realizována za podpory TAČR v rámci projektu, ev. č. TH02020076 – „Výzkum a vývoj odlévání a svařování masivních odlitků z duplexních ocelí“

LITERATURA

- [1] ŠENBERGER, J., ZÁDĚRA, A., KAŇA V., ČECH, J.: Litiny pro speciální použití vyráběné ve slévárnách oceli. In: *Sborník přednášek XVIII. celostátní konference "Výroba a vlastnosti oceli na odlitky a litiny s kuličkovým grafitem"*. Svatka, 2008, s. 12
- [2] MOKRÝ, J.: *Legované litiny a jejich uplatnění v praxi*. Brno, 2017, 49 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie, odbor Slévárenství. Vedoucí práce Ing. Václav Kaňa, Ph.D.
- [3] PTÁČEK, L., a kol.: *Nauka o materiálu II*. Brno. 350 s. 1999. ISBN 80-7204-130-4
- [4] ŠENBERGER, J., BŮŽEK, Z., ZÁDĚRA, A., STRÁNSKÝ, K., KAFKA. V.: *Metalurgie oceli na odlitky*. V Brně: VUTIUM, c2008, 311 s. ISBN 978-80-214-3632-9
- [5] High Silicon Cast Iron. In: *Total materia* [online]. Zürich Švýcarsko: Key to Metals, 2015 [cit. 2017-04-06]. Dostupné z:
<http://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=CheckArticle&site=kts&NM=450>
- [6] ROUČKA, J.: *Metalurgie litin*. Brno: PC-DIR Real, 1998, 166 s. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-1263-1
- [7] SUCHÁNEK, J.: Abrazivní opotřebení bílých chromových litin. *Slévárenství*. 2017, LXV (1-2/2017), 21-25. ISSN 0037-6825



Z-MODEL, spol. s r.o.
Svitavská 500, 678 01 BLANSKO
T +420 516 411 488, 516 411 490
F +420 516 443 571



VÝROBKY A MATERIÁLY PRO SLÉVÁRENSKOU VÝROBU A METALURGIÍ

EXOTERMICKÉ A IZOLAČNÍ NÁSTAVCE PRO NÁLITKY

Exotermické nástavce EXO 25B

- pro odlitky a stacionárně lité válce ze slitin oceli a litiny.

Exotermické nástavce EXO 26 / EXO28

- pro strojně i ručně formované odlitky z oceli, litiny a barevných kovů.

Izolační a obklady a desky ISOL 27

- pro velké odlitky a ocelové ingoty (HOT TOP).

Izolační nálitky ISOL 53

- pro odlitky z neželezných kovů, slitin oceli a litiny.



MATERIÁLY PRO PŘÍPRAVU TEKUTÉHO KOVU

Nauhličovadla pro šedou a tvárnou litinu a ocel,

Brikety FeSi, FeMn, SiC, FeP pro kupolové pece od firmy LEMETCO,

Modifikátory a očkovačla FERROPEM, očkovačí tělíska,

Dezoxidáčnı přípravek pro odstranění pánevní a pecní strusky GRAFER,

Přípravek pro zahušťování a snadné stahování strusky KOAX.



PRODUKTY SLÉVÁRENSKÝCH MATERIÁLŮ PRO PÍSKOVOU METALURGIÍ

Slévárenské materiály firmy MAZZON,

Slévárenské nátěry na jádra a formy lihové a vodní,

Povrchová tvrdidla a impregnační nátěry,

Furanové a fenolové pryskyřice a tvrdidla (No-Bake proces),

Fenol-alkalické pryskyřice vytvrzující zastudena s organickými estery (Alphaset),

Pryskyřice a tvrdidla pro COLD BOX, HOT BOX,

Slévárenské ředidlo (lih) TECNOSOL pro výrobu a ředění slévárenských nátěrů,

Lepidla a tmely pro lepení a opravu jader i forem,

Separátory na bentonitové formy, pro modely a jaderníky,

Přísady pro formovací směsi, zlepšující rozpadavost jader.



www.z-model.cz

Verifikace modifikačního zpracování tvárné litiny injektáží směsi FeSiMg plněným profilem

Lána, I.¹⁾

¹⁾ Slévárna a modelárna Nové Ransko, s.r.o., Nové Ransko 234, 582 63 Ždírec nad Doubravou, ČR, лана.i@slevarna.cz, raur.l@slevarna.cz

Klíčová slova

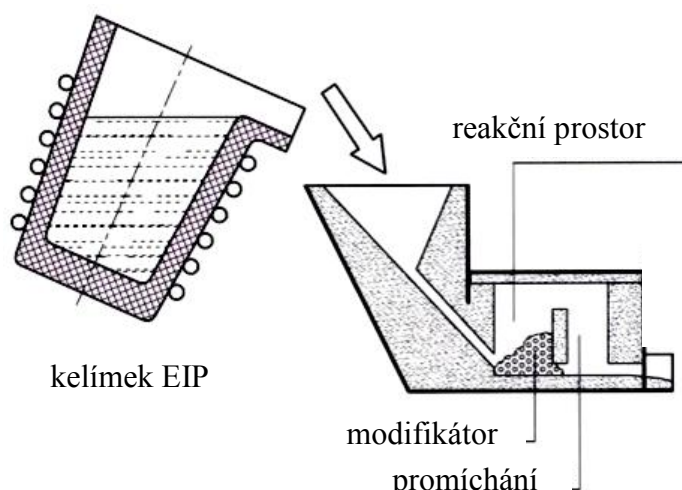
modifikace, očkování, plněný profil, tvárná litina, injektáž FeSiMg

Abstrakt

K výrobě litin s kuličkovým grafitem se v současnosti nejvíce uplatňuje plněný profil. Výhodou použití plněného profilu je zejména nejvyšší účinnost. Pozitivní je, že proces je řízen elektronicky, rychlost zavádění plněného profilu je přizpůsobena tak, aby počátek reakce nastával ve spodní třetině zpracovací pánve. Modifikace a očkování probíhá současně. Profil je obvykle naplněn granulátem z předslitiny FeSiMg. Byla odzkoušena kombinace FeSi a Mg srovnatelné granulometrie. Bylo ověřeno, že tato kombinace pracuje rovněž efektivně, s vysokou účinností, ale směsný granulát vychází nákladově lépe. Zavedení směsného granulátu nevyžaduje úpravy podavače plněného profilu. Odzkoušení je možné provést za provozu pouhou záměnou plněného profilu. V tomto příspěvku jsou porovnány výsledky ze dvou sléváren, v jedné je používán granulát FeSiMg, ve druhé směsný granulát FeSi a Mg.

1. POUŽITÍ PLNĚNÉHO PROFILU S GRANULÁTEM FESIMG

Slévárna zavedla výrobu odlitků z litin s kuličkovým grafitem před více než dvaceti lety, používala přelévací metody a metodu FLOTRET (tavenina ze středofrekvenční elektrické pece protékala zřízením **obr. 1.**, do transportní pánve). Tato méně známá metoda byla několik let používána, účinnost byla o více než 10% vyšší než u metod přelévacích.



Obr. 1. Zařízení FLOTRET

Po realizaci nové tavírny ABP se dvěma kelímkami o obsahu 4 t taveniny byla zavedena modifikace pomocí plněného profilu (trubice, plněná granulátem). Slévárna doposud tento postup modifikace úspěšně používá.

Současné zařízení používá štíhlé zpracovací pánve.

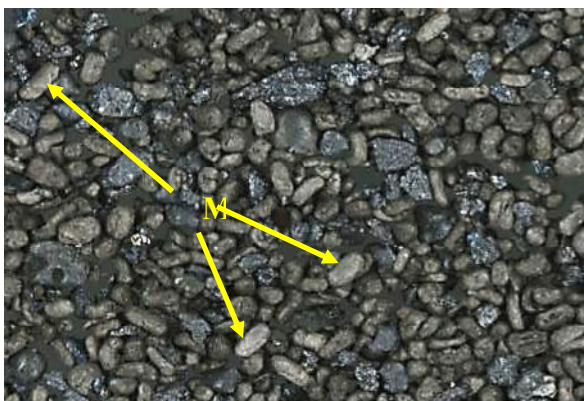
Specifikace PP $\varnothing 9$:

- průměr plněného profilu 9 mm;
- hmotnost plněného profilu 240 g/m;
- hmotnost náplně 110 g/m;
- složení náplně: Fe 30%, Si 45 %, Mg 25 % (27 g/m), tloušťka ocelového pláště trubice = 0,4 mm,
- rychlost zavádění plněného profilu 18 m/min.

Pokud průměrná spotřeba plněného profilu na modifikaci 1 t litiny činí 37,2 m, pak spotřeba PP na modifikaci 1 t litiny činí $37,2 \times 240 = 8,93$ kg/t litiny (nákladově při 57,2 Kč/kg odpovídá 511Kč/t), hmotnost hořčíku při 27 g/m je $37,2 \times 27 = 1,004$ kg/t litiny. Na **obr. 2.** je uvedena fotografie granulátu FeSiMg, na **obr. 3.** granulátu FeSi a Mg.



Obr. 2. Granulát FeSiMg PP $\varnothing 9$



Obr. 3. Granulát FeSi a Mg PP $\varnothing 13$

Granuláty FeSiMg PP $\varnothing 9$ a FeSi a Mg PP $\varnothing 13$ byly před pořízením makrofotografií na **obr. 2. a 3.** (zvětšení obou granulátů 6x) propláchnuty, tím došlo k vyplavení cca třiceti % jemných podílů o zrnitosti pod 0,2 mm. Granulát FeSiMg PP $\varnothing 9$ obsahuje tedy cca 30 % jemných podílů a zrna od 0,3 mm do 1,2 mm, granulát FeSi a Mg PP $\varnothing 13$ rovněž cca 30 % jemných podílů a zrna od 0,3 mm do 1,9 mm, oválná zrna Mg mají rozměry od (0,5x1,1) mm do (0,6x1,4) mm.

Hledáním úsporných opatření se slévárna zabývá po kontaktu s autory článku „Modifikační zpracování litiny s kuličkovým grafitem injektáží směsi FeSiMg plněným profilem“ [1].

2. POUŽITÍ PLNĚNÉHO PROFILU SE SMĚSNÝM GRANULÁTEM FESI A MG

Specifikace PP:

- průměr 13 mm;
- hmotnost 395 g/m;
- hmotnost náplně 240 g/m;
- složení náplně: Fe 34 %, Si 48 %, Mg 18 % (
- tloušťka ocelového pláště obalu 0,4 mm;
- rychlost zavádění profilu 12 m/min.

Granulát z PP $\varnothing 13$ více hrubších podílů, což nemá vliv na průběh modifikace přesto, že rychlost posunu do taveniny je o třetinu pomalejší (profilu 12 m/min.) a přitom hmotnost jednoho metru náplně je cca 2,2 krát větší.

Spotřeba hořčíku je však nižší o cca 25%-18%=7%. Při 57,2 Kč/kg PP, odborným odhadem při 18% obsahu Mg lze počítat 0,723 kg Mg/t litiny a 41,36 Kč/kg PP a odtud **úspora** (511,1-418,2) Kč/t = **29,9 Kč/t (5,85 %)**.

Pro případné zájemce o verifikovaný druh plněného profilu doporučen zejména pro slévárny, kde mají problémy při výrobě LKG s tvořením chunky grafitu [1].

3. POTŘEBNÉ ZMĚNY NA PRACOVISTI



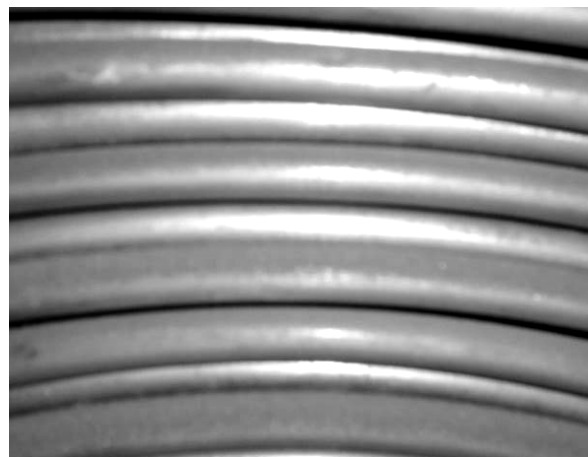
Obr. 4. Zpracovací pánve (pootočeno)



Obr. 5. Pracoviště pro modifikaci



Obr. 6. Stávající plněný profil Ø9



Obr. 7. Plněný profil Ø13

Zřízení pracoviště bude nutno upravit pro PP většího průměru zvětšením poloměru zaváděcí trubice, tato změna bude odzkoušena tak, aby PP vstupoval do zpracovací pánve bez významného tření a umožnil velmi snadné dosažení potřebné rychlosti.

4. ZÁVĚRY

Zatím nerealizovanou změnou pracoviště modifikace litinové taveniny je přechod na plněný profil $\varnothing 13$. Od této změny lze očekávat, že použití tohoto plněného profilu **sníží náklady** na modifikaci a současně bude dosaženo **vyšší účinnosti**, protože bude lépe využit hořčík. Proces elektronického řízení se nezmění, rychlost zavádění plněného profilu bude přizpůsobena tak, aby počátek reakce ve zpracovací pánvi byla efektivní. Modifikace bude, jako doposud probíhat současně s očkovaním. Zavedení směsného granulátu si vyžádá pouze úpravu oblouku trubice podavače plněného profilu. Odzkoušení bude provedeno za provozu. Výsledky ze slévárny, kde je již směsný granulát FeSi a Mg úspěšně používán, budou aplikovány na pracovišti modifikace porovnávané slévárny.

5. DOPORUČENÍ PRO REALIZOVÁNÍ PRACOVIŠŤ MODIFIKACE

Jakákoliv úspora nákladů vlivem snížení cen vstupních surovin a přípravků současně s úsporou pracnosti je důležitá pro dlouhodobý rozvoj sléváren.

Úspěšné provedení modifikace je zárukou nejen pro uvedené úspory, ale i pro dosahování potřebné kvality odlitků z litin s kuličkovým grafitem.

Doporučuji popsané změny na kterémkoliv pracovišti slévárny, která rovněž vyrábí odlitky z litin s kuličkovým grafitem, realizovat.

LITERATURA

- [1] HUNA, B., ROJÍČEK, V., PĚLUCHA, B. *Modifikační zpracování litiny s kuličkovým grafitem injektáží směsi FeSiMg plněným profilem*. Slévárenství 11, 12 2018, str. 431.

SBORNÍK PŘEDNÁŠEK



sekce ekonomická

56. SLÉVÁRENSKÉ DNY
12.-13. 11. 2019
Brno

Teorie omezení ve slévárenské výrobě

Kyncl, N.

Komerční slévárna šedé a tvárné litiny Turnov a.s., 512 61 Přepěře 326, ČR,
kyncln@slevarna-turnov.cz

Klíčová slova

Teorie omezení, TOC, plánování a řízení výroby, výrobní kapacita, úzké místo, průtok.

Abstrakt

Teorie omezení (Theory of Constraints - TOC) je ucelená manažerská filozofie nabízející nový přístup k řízení a trvalému zlepšování činnosti organizací. Tato filozofie, jejíž základní myšlenky rozvinul dr. Eliyahu M. Goldratt, pokrývá všechny základní funkční oblasti podniku.

Teorie omezení uchvacuje svou jednoduchostí a logikou na sebe navazujících kroků. Dále popírá obecně uznávaný fakt, že složité problémy musí mít i složitá řešení. S pomocí Teorie omezení lze řešit i zdánlivě neřešitelné problémy jednoduše. Kouzlo Teorie omezení spočívá v netradičním pohledu na problémy a v řešeních, která překvapí svou jednoduchostí s využitím selského rozumu.

Implementace Teorie omezení do podnikových procesů funguje tak dobře a efektivně, protože se najednou nezaměřuje na zlepšování celé organizace, ale jen na místo, které je největší "brzdou". Úsilí o zlepšení se tedy nerozměňuje do mnoha směrů, ale je zacíleno tam, kde je neúčinnější.

1. TEORIE OMEZENÍ A JEJÍ PRINCIPY

Teorie omezení vznikla v roce 1979 jako prozaický výsledek přátelské pomoci mezi autorem teorie omezení (TOC) Eliyahem M. Goldrattem a majitelem podniku na výrobu klecí pro drůbež. Goldratt, vlastním povoláním fyzik, aplikoval na problém svého přítele striktně logické zásady vědeckého přístupu, který každodenně uplatňoval ve svém pracovním životě. Ve svém řešení dal tak vzniknout zcela nové teorii, která staví na přísných logických zásadách, systémovém přístupu a tzv. selském rozumu (common sense) [1].

1.1 Cíl systému

Cíl hraje v TOC velmi důležitou roli, jelikož se od jeho stanovení odvíjí prostředky, kterými je dosahován. Goldratt ve své knize *The Goal* [2] se s pomocí hlavní postavy Alexe snaží identifikovat hlavní cíl podniku. Ve svých úvahách zpochybňuje příklady cílů jako je produkce výrobků, zaměstnání, kvalita, efektivita, technologie nebo odbyt. Výsledkem jeho snažení je identifikace obecného cíle podniku, kterým je vydělávání peněz, a to jak nyní, tak i v budoucnu [3].

1.2 Úzké místo

Úzké místo (Bottleneck) = omezení, které snižuje výkon celého systému. Většinou se jedná o pracoviště, které je kapacitně nejméně výkonné a brzdí tedy plynulost materiálového toku výrobou. Úzké místo může být ale i vně podniku – kdekoliv v dodavatelském nebo odběratelském řetězci, úzkým místem může být i samotná poptávka.

Termín bottleneck (hrdlo lahve) je převzat z metafory: „Zásoby jsou voda“. Množství výstupu z podniku je stejně jako voda vytékající z lahve limitováno šířkou výstupního otvoru – tedy hrdlem lahve (bottleneck). Rozšířením hrdla lze zvýšit množství vytékané vody o různou frekvenci [3].

1.3 Ukazatele TOC

Goldratt ve své práci poukazuje na to, že stávající finanční ukazatele nákladového účetnictví:

- čistý zisk (net profit),
- návratnost investic (Return on Investment – ROI),
- cash flow,

jsou nedostatečné pro vyjádření aktuálního stavu podniku. Považuje je za hodnoty, kterým rozumí akorát majitelé, podnikový management a banky. Pro řízení chodu podniku nemají valný význam. S klesající úrovní managementu se vytrácí srozumitelnost a jasný cíl. Přitom právě dobrá znalost cílů podniku a schopnost je při každodenním rozhodování naplňovat, a to navíc všemi zaměstnanci, se jeví jako jedna ze základních podmínek úspěšné firmy [1].

TOC nabízí vlastní soustavu ukazatelů, které lépe odrážejí flexibilní povahu dnešních podniků a překonávají mezeru mezi globálními finančními metrikami a ukazateli efektivity na provozní úrovni:

Průtok = peníze, které podnik obdrží za prodej svých výrobků. Přesněji se jedná o peníze z prodeje snížené o variabilní náklady (o cenu surovin), tedy příspěvek na krytí fixních nákladů a zisku.

Zásoby (investice) = peníze vydané na nákup potřebných komponent. Jedná se o veškeré peníze vázané v podniku.

Provozní náklady = peníze vydané na vlastní transformaci zásob na prodejné produkty. Jedná se o peníze potřebné k přetváření investic na průtok.

Teorie omezení vychází z předpokladu, že maximalizace průtoku spolu s minimalizací zásob a provozních nákladů, maximalizuje generování peněz jak v současnosti, tak i z hlediska dlouhodobého horizontu, což je základním posláním průmyslového podniku.

Změna provozních ukazatelů má ovšem přímý vliv na výše uvedené finanční ukazatele [1]. Zvýšený průtok znamená, že firma prodává více výrobků při udržování konstantní úrovně zásob a provozních nákladů. Zvýšení průtoku tak přímo zvyšuje hodnotu čistého zisku, ROI i cash flow. Snížení zásob při konstantním průtoku a provozních nákladech přímo ovlivňuje ROI a cash flow. Při zachování výše průtoku a zásob má snížení provozních nákladů za následek zlepšení všech tří finančních ukazatelů.

Goldratt zastává názor, že by se měly podniky zaměřit na zlepšení provozních ukazatelů v tom pořadí, jak byly uvedeny [3]. To znamená, že by se měla nejprve hledat opatření pro zvýšení průtoku, poté pro snížení zásob a až naposledy pro snížení provozních nákladů. Vychází přitom z předpokladu, že snižování zásob a provozních nákladů má své hranice, kdežto pouze zvyšování průtoku může garantovat trvalé dosahování primárního cíle podniku a tím je dlouhodobé generování zisku.

1.4 Nástroje TOC

Pět kroků k neustálému zlepšování (Five Focusing Steps for Ongoing Improvement):

1. Najdi omezení systému (úzké místo).
2. Rozhodni, jak ho lépe využít.
3. Podříd' vše ostatní provedenému rozhodnutí.
4. Pozvednutí omezení.
5. Je-li úzké místo odstraněno, cyklus se opakuje návratem ke kroku č. 1.

Systém Drum-Buffer-Rope (Buben-Zásobník-Lano)

Tento nástroj je provázán s prvními třemi Goldrattovými kroky neustálého zlepšování. Drum představuje úzké místo, které udává jako buben tempo celému výrobnímu procesu. Zásobník (Buffer) potom tvoří ochranu bubnu (úzkého místa) před kolísáním materiálového toku na předchozích výrobních zdrojích. Lano (Rope) potom slouží jako vodičko pro uvolňování materiálu do výroby, aby nevznikaly zbytečně velké zásoby rozpracované výroby.

Proces vyvozování (The Thinking process)

Neustálé zlepšování výrobního procesu postupně vede k přesunutí omezení do oblasti podnikových pravidel a ustálených zvyklostí. Pro dosažení inovativního zlepšení je nezbytné najít odpovědi na tři základní otázky [4]:

- Co změnit? (What to change?)
- Na co to změnit? (What to change to?)
- Jak změnu provést? (How to change?)

2. TOC V OBLASTI PLÁNOVÁNÍ A ŘÍZENÍ VÝROBY

Ve výrobním podniku mohou nastat dvě základní problematické situace:

1. výroba není schopna vyrobit dostatečné množství výrobků, které od ní trh požaduje, protože má malou kapacitu,
2. výroba má dostatečnou kapacitu, ale přesto zde dochází k problémům s plynulostí výroby a dodacími termíny.

V případě druhé situace lze pouze konstatovat, že omezení není ve výrobě. Bude-li takováto slévárna chtít zvýšit výkonnost firmy jako celku, bude muset řešit jiné oblasti než výrobu - pravděpodobně marketing nebo distribuci. Další text se zabývá pouze první situací, protože slévárny a ostatní průmyslové podniky mají primární omezení (úzké místo) ve výrobě.

Pokud chtějí slévárny navýšit zisk, je nutné zaměřit se na optimalizaci výroby, jejíž plánování a řízení bývá v průmyslových podnicích nejčastějším problémem. Mezi nejběžnější symptomy existence problému patří:

- časté nedodržování termínů dodávek,
- dodací lhůty a průběžná doba výroby jsou delší než je zákazník ochoten čekat,
- zatěžování výroby ve vlnách,
- časté změny plánu (nesoulad mezi plánem výroby a jeho realizací),
- nízká ziskovost (návrátnost investic),
- velké zatížení managementu řešením operativních problémů.

Pro oblast plánování a řízení výroby byly vyvinuty dva nástroje – pět kroků k trvalému zlepšování a systém plánování výroby Drum-Buffer-Rope. Podrobné schéma návrhu metodiky je znázorněno na **obr. 1**.

2.1 Identifikace omezení

Systémové omezení (úzké místo) ohraničuje materiálový tok a vytížení výrobních kapacit. Pro plánování a řízení výroby podle TOC je nejprve nutné omezení nalézt. Identifikaci systémového omezení lze provést:

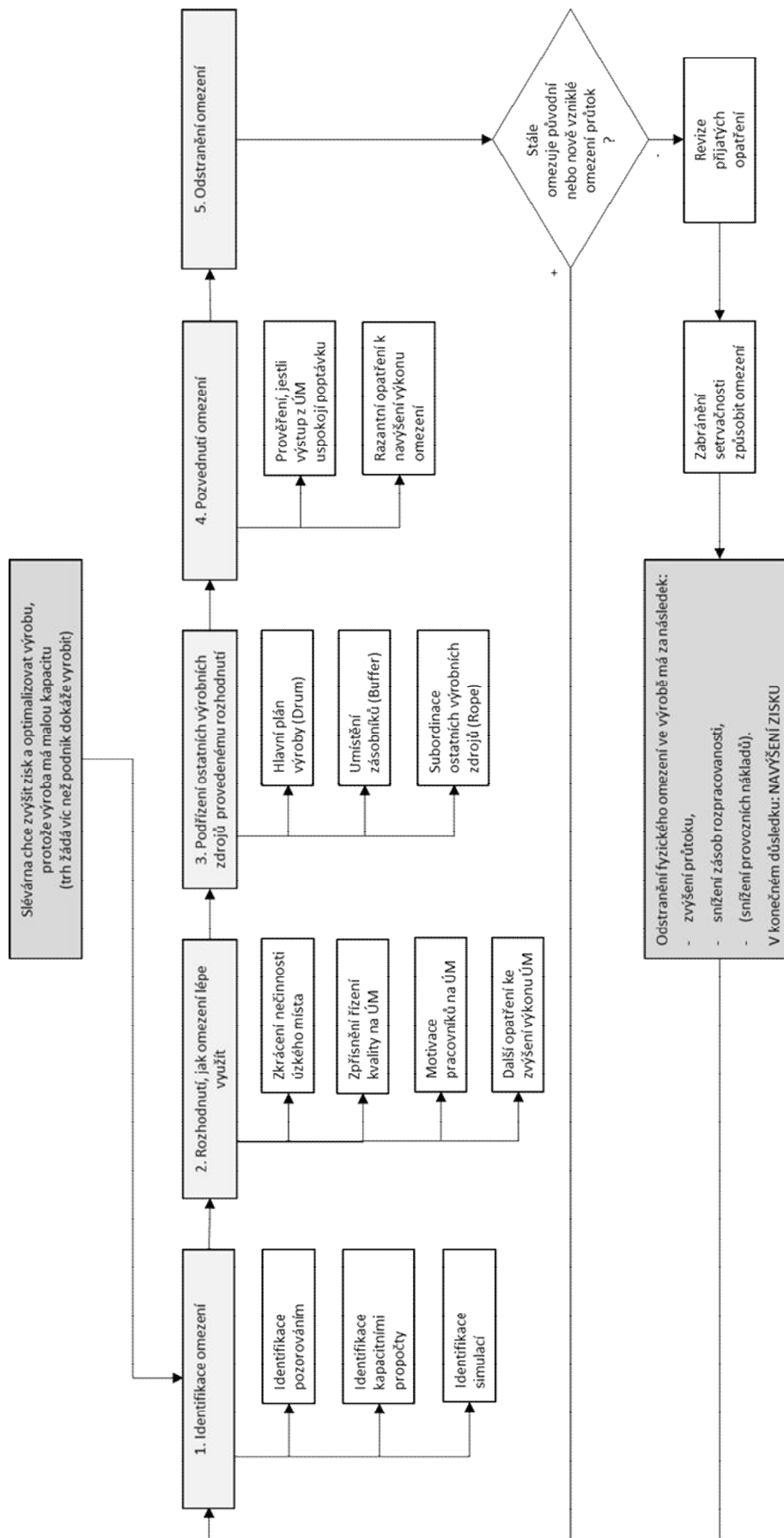
- pozorováním,
- kapacitními propočty,
- simulací.

V dobře řízených podnicích se zásoby rozpracovanosti kumulují před úzkým místem, v hůře řízených podnicích se povalují všude a identifikace opravdového omezení je o to těžší. Dalším faktorem, který znesnadňuje jednoznačnou identifikaci omezení, je různorodost produkce – různé materiály, rozměry, váhy a množství komplikují plánování a řízení výrobního procesu. V tomto případě je nemožné identifikovat úzké místo pozorováním.

Pokud slévárna, která chce zvýšit svůj zisk a optimalizovat výrobu, není dobře řízená a její zásoby rozpracované výroby se nekumulují před určitým výrobním zdrojem, nelze jí doporučit identifikaci omezení pozorováním. Taková slévárna musí přistoupit k identifikaci omezení kapacitními propočty nebo alternativně simulací, nebo nejlépe kombinací obou metod.

V praxi je nejvýhodnější využít stávající plánovací informační software k dynamické simulaci vytížení výrobních kapacit na základě již přijaté zakázkové náplně. Na základě výpočtu disponibilních kapacit výrobních zdrojů a jejich porovnáním se skutečnými nároky podle stanovených výrobních postupů, postačí vizuální kontrola vytížení výrobních zdrojů v následujících dnech nebo týdnech. Úzkým místem je potom pracoviště, které se v přehledu nejčastěji zobrazuje v „červených číslech“, která upozorňují na plánované využití pracoviště na 100 a více %.

Jakmile je systémové omezení identifikováno, je nezbytné podniknout taková opatření, která povedou k maximálnímu využití stávající kapacity omezeného zdroje, aniž by došlo k jeho přetížení. Jinými slovy, je potřeba eliminovat jakékoli plýtvání a neefektivní využívání omezení.



Obr. 1. Schéma návrhu metodiky k aplikaci nástrojů TOC v oblasti řízení a plánování slévárenské výroby

2.2 Rozhodnutí, jak omezení lépe využít

Analýza stávajícího kapacitního využití výrobních zdrojů vyžaduje potřebný čas a vizuální prozkoumání na místě. I nepatrný zásah může mít překvapivé výsledky. Po analýze stávajícího využití disponibilní kapacity identifikovaného úzkého místa, by měla být aplikována opatření, která respektují již v teoretické části popsaná pravidla, týkající se úzkého místa:

- snaha o maximální využívání kapacit všech pracovišť nemusí vést k maximálnímu vytížení celého systému,
- hodina ztráty na úzkém místě je hodinou ztráty celého systému,
- hodina ušetřená na pracovišti, které není úzkým místem, je pouze fiktivní,
- úzké místo ovlivňuje nejen výkon celé výroby, ale také zásoby rozpracovanosti.

Kapacitními propočty a následnou simulací přijaté zakázkové náplně může být identifikováno více než jedno omezení. V závislosti na odlévaném sortimentu se může stát úzkým místem jakékoliv pracoviště slévárny. Pokud bude výrobní sortiment tvořen složitými odlitky, které vyžadují výrobu většího počtu ručně vyrobených jader, stane se úzkým místem ruční jaderna. Pokud bude aktuální výrobní sortiment tvořen velkými a těžkými kusy, bude úzkým místem tavárna, protože nestihne natavit potřebné množství litiny, atd. Slévárna musí prověřit všechna identifikovaná omezení jedno po druhém, přijmout rozhodnutí k jejich lepšímu využití, aby došlo k eliminaci kritických výrobních zdrojů.

Mezi velmi efektivní opatření k lepšímu využití úzkého místa patří *zkrácení doby nečinnosti z důvodu*:

- Seřizování. Tato opatření se týkají především strojních pracovišť (například seřizování automatické formovací linky na nový model nebo vstřelovacího automatu na jiný typ jaderníku).
- Údržby. Především plán preventivní údržby by měl respektovat týdenní model pracovních směn a údržba výrobního zařízení by měla probíhat mimo aktivní čas.
- Prostojů. V rámci zachování kontinuity výrobního procesu by měl být vytvořen harmonogram pracovní doby tak, aby pracovníci dodržovali zákonné přestávky, ale pracoviště vykonávalo svou činnost po celou směnu nepřetržitě.

Zpřísnění řízení kvality na úzkém místě. V rámci jakostní politiky by mělo být úzké místo chráněno před vstupem neshodných produktů, aby omezená kapacita pracoviště byla využita na výrobu výrobků, které mají odpovídající kvalitu. Na úzkém místě by potom měla být dodržována důsledná jakostní politika, aby se eliminoval vznik zmetků na tomto omezeném zdroji. Výstup z úzkého místa odpovídá výstupu celého systému.

Motivace pracovníků na úzkém místě. Ve slévárnictví je lidská práce nezanedbatelným výrobním faktorem. Jedním z nejzákladnějších opatření k navýšení kapacity jakéhokoliv pracoviště slévárny je vhodný motivační systém. Za zvážení stojí zavedení úkolové mzdy a přiměřeného bonusového programu. Motivační systém by měl respektovat desáté pravidlo TOC, týkající se lokálních optim – tedy neodměňovat pracovníky za dosažení maximálního vytížení jejich pracoviště, ale za udržení nebo další navýšení průtoku celého výrobního procesu.

Přijetí dalších opatření ke zvýšení výkonu úzkého místa. Konkrétní rozhodnutí, která by měla slévárna v závislosti na identifikovaném úzkém místě přijmout, vyplývají z materiálového toku slévárenské výroby. V následujícím přehledu jsou navržena opatření, která pomohou zamezit vzniku úzkých míst nebo alespoň přispějí k navýšení výkonu výrobních zdrojů, v rámci jednotlivých stupňů výrobního procesu.

- *Vstupní suroviny.* V první řadě je nutné najít spolehlivé dodavatele a navázat s nimi úzkou spolupráci. Všechny suroviny musí být dodávány v konstantní kvalitě, složení, za rozumnou cenu a včas. Není žádoucí přesouvat primární omezení ven z podniku – natož směrem k dodavateli.
- *Výroba jader.* Výroba jader je důležitou součástí sléváren. V souladu s používanou technologií je nutné vytěžovat jednotlivé strojní i ruční pracoviště tak, aby se zabránilo vzniku omezení na úrovni výroby jader. Z pozorování autorky postačí plánovat výrobu s dostatečným předstihem, protože ne všechny odlévané pozice obsahují jádra. Zatímco je odléván bezjádrový sortiment,

jaderny doženou případný skluz. V případě přetížení vstřelovacích strojů je na místě podrobit analýze technologický postup, a pokud je to možné, přesunout výrobu jader na ruční pracoviště nebo jiný vstřelovací stroj. Řešením také může být nákup jader, i když v tomto případě není jednoduchá logistika. Jádra jsou velice křehká, mají omezenou životnost, ale zároveň musí být vyrobena s dostatečným předstihem před samotným použitím, aby byla dostatečně odvětraná, a nevznikaly nežádoucí chemické reakce při jejich zalití tekutým kovem.

- *Výroba forem.* Formování může být prováděno ručně, poloautomaticky nebo automaticky. Záleží na velikosti odlitku, tvaru, hmotnosti a zákazником požadovaném množství kusů. V případě poloautomatického a automatického formování je nejdůležitější maximální využití kapacity. Pokud jsou tato pracoviště kritickými zdroji nebo rovnou úzkým místem, je velmi užitečné přijmout opatření k odstranění zbytečných prostojů a plýtvání z důvodu seřizování a údržby. Operátoři linky by se měli střídát v čase přestávek tak, aby formovací zařízení pracovalo nepřetržitě. Nezanedbatelný vliv má také vhodně nastavený plán preventivní údržby.
- *Tavení a odlévání.* Všechny slévárenské operace jsou zaměřeny na hledisko úspory energie. Pece musí být dostatečně izolovány, aby se zabránilo nadměrným ztrátám tepla sáláním. Kromě tohoto aspektu, teplo může z pecí unikat, pokud není řádně udržována. Každý únik tepla znamená dodatečné navýšení spotřeby energie a prodlužuje čas natavení vsázkových surovin. Dalším důležitým faktorem je načasování lití. Není žádoucí, aby tavící pece musely příliš dlouho čekat na samotné odlévání. K tomuto účelu se používá předpecí, které vytváří zásobník tekutého kovu. Tato volba je také velmi užitečná pro homogenizaci taveniny. K přispění do jakostní politiky také stojí za zvážení použití filtrů a exo-nálitků.
- *Dokončovací operace.* Při vyjímání odlitků z forem je třeba respektovat specifika každého odlévaného materiálu, aby nedošlo k poškození odlitku při odstranění vtokové soustavy. Další komplikací může být stav, kdy pracovníci velmi ledabyle využívají prostor tryskačů. Využitím maximálního prostoru tryskací komory může dojít k navýšení kapacity až o desítky procent. Brusírna - podle autorčinných zkušeností největší personální problém ve slévárnách. Většina sléváren brousí odlitky ručně. Fluktuace zaměstnanců je obrovská a zaškolení nově příchozích je časově náročné. Nedostatek kapacity v brusírně není technologický problém, ale problém personální - především motivační politiky slévárny. Další operace, mezi které patří žíhání, „základování“, obrábění, atd. jsou z hlediska slévárenské výroby pouze „kosmetikou“, která sice navyšuje přidanou hodnotu odlitků, ale přesahuje rámec této práce.

Implementace všech doporučených opatření má za následek nejen navýšení disponibilní kapacity úzkého místa, ale také jeho zafixování. Navýšení výkonu kritických zdrojů zabrání vzniku pohyblivých úzkých míst v závislosti na sortimentu. Je nemožné ochránit všechna pracoviště slévárny. Úzké místo by mělo vytvořit jediné omezení v systému a stát se bubnem, který udává tempo výrobnímu procesu. Výstup z úzkého místa určuje průtok celé slévárny.

2.3 Podřízení ostatních výrobních zdrojů provedenému rozhodnutí

Pokud by se v předchozím kroku podařilo úplně odstranit identifikované omezení, proces zde končí a management se vrací k prvnímu kroku a hledá nově vzniklé omezení. Ve většině případů tomu tak ovšem není a následuje krok třetí.

V tomto kroku se vše v systému podřizuje omezenému zdroji. Uplatňují se zde taková rozhodnutí, která zabrání jakémukoli narušení maximálního využívání omezení. Tento krok bývá jedním z nejdůležitějších a zároveň nejtěžších v celém procesu zlepšování. Vyžaduje totiž od ostatních zdrojů v systému přehodnocení jejich priorit a autonomie ve prospěch zdroje, který je pro dosažení globálního cíle vitální. V praxi se tak v tomto kroku lze setkat se značným nepochopením a odporem, jelikož to pro mnoho řídicích pracovníků znamená zásadní odklon od dosavadních norem efektivity.

Klasickým požadavkem subordinace bývá nutnost využívat ostatní zdroje v mnohem menší míře, než jakou jim dovoluje jejich kapacita. Toto opatření se poté negativně projevuje v různých metrikách efektivity, na základě kterých se obvykle hodnotí výkon jednotlivých prvků v systému. Pokud se některé činnosti nepodřídí novým pravidlům subordinace a dále pracují na úrovni svých

kapacit, zahrnují tím celý výrobní proces. Tvoří se zásoby nedokončené výroby a tímto chováním ohrožují maximální využívání omezeného zdroje.

V případě slévárenské výroby se, v rámci třetího kroku neustálého procesu zlepšování ohledně subordinace ostatních výrobních zdrojů, bude jednat především o změnu plánování výroby. Návrh nového systému plánování a řízení výrobních kapacit vychází z Goldrattova Drum-Buffer-Rope (Buben-Zásobník-Lano) plánovacího systému. *Plánování a řízení výroby podle metodiky DBR lze shrnout následovně:*

1. vytvoření hlavního plánu výroby podle optimálního plánu úzkého místa (DRUM),
2. ochrana propustnosti výroby před nevyhnutelnými problémy umístěním časových zásobníků práce (BUFFER),
3. odvození práce (subordinace) ostatních pracovišť od plánu úzkého místa (ROPE).

Sestavení hlavního plánu výroby vychází z optimálního plánu výroby na úzkém místě, plány výroby na ostatních pracovištích se tomuto plánu přizpůsobí. Hlavní plán je tedy bubnem, který udává rytmus celé výrobě. Teorie omezení zjednodušuje plánování a řízení materiálového toku, protože vyžaduje detailní výrobní plán pouze pro úzké místo, ať už je jím jakékoliv pracoviště slévárny. Pro tvorbu plánu výroby je nutné stanovit tyto parametry [5]:

- *Priority ve výrobě.* Jsou většinou dány termínem dodání, ale některé výrobní operace navíc vyžadují synchronizaci pracovišť (např. operace lití, resp. pracoviště formovna a tavárna, kde se koordinuje druh nataveného materiálu, počet naformovaných rámců a čas připravenosti tavby k odlévání).

- *Optimální výrobní dávka.* Nesmí být ani malá ani velká. Velká dávka způsobuje, že jsou některé zakázky dodané pozdě a některé dříve. Malá dávka vyžaduje časté seřizování výrobního zařízení a tím prodlužuje čas výroby.

- *Přepravní dávka.* Většinou je dána kompromisem mezi rychlejším tokem materiálu výrobou a náklady na častější manipulaci. V oblasti slévárenské výroby je tento parametr dán nosností jeřábů a vysokozdvíhových vozíků spolu s objemem licích pánví.

Různé kombinace těchto tří parametrů určují výkonnost celé slévárny – např. změna ve velikosti optimální výrobní dávky způsobuje změnu ve výrobních prioritách, protože dochází ke slučování zákaznických objednávek. Snaha vytvořit hlavní plán výroby je ve skutečnosti snahou o maximalizaci výkonnosti výroby v rámci daných omezení systému. Tedy za daných kapacitních podmínek co nejlépe vyhovět zákaznické poptávce.

2.4 Pozvednutí omezení

Jakmile je úzké místo identifikováno, dostupná kapacita je maximálně vytížená, všechna ostatní pracoviště podřízená, je další krokem prověření, jestli výstup z úzkého místa stačí na uspokojení tržní poptávky. Pokud ne, je nutné najít ještě další kapacitu k „pozvednutí“ omezení.

V případě, že se v předchozích krocích nepodařilo odstranit omezení systému, může si být slévárna jistá, že výroba v dané situaci pracuje s maximálním možným výkonem. Tento výkon již nelze dále zlepšovat pouze na úrovni změn parametrů materiálového toku, ale nyní je zapotřebí poskytnout omezenému zdroji více času, což znamená finanční výdaje. Typickým příkladem odstranění omezení v této fázi je investice do dalších zařízení, zaměstnání více lidí, přesčasy a dodatečné směny.

V tomto kroku musí slévárna zvážit, jestli k odstranění omezení vynaloží finanční prostředky. Nákup nového technologického vybavení se pohybuje v řádu jednotek až desítek milionů korun. Mzdové náklady a ostatní výdaje spojené s navýšením počtu zaměstnanců v případě nové směny nebo posílení stávající sestavy také nejsou zanedbatelné. Důležitým aspektem v této fázi je výběr konkrétního opatření pro případné odstranění stávajícího omezení. Jak je z předchozího textu patrné, alternativ na odstranění omezení může být více, přičemž všechny zvýší kapacitu omezení. V čem se ale liší, je místo, kam se omezení v systému přesune. Jak vyplývá z myšlenek TOC, v systému vždy existuje alespoň jedno omezení. Odstraněním omezení, které bylo identifikováno v prvním kroku, se jeden z dosud neomezujících zdrojů změní na aktivní omezení. Ne všechny typy omezení ovšem bývají pro slévárnu stejně dobře říditelné a odstranitelné. Proto je vhodné při

rozhodování mezi alternativami odstranění stávajícího omezení jednat s ohledem na budoucí omezení tak, aby jeho existence nebyla větší přítěží, než jakou ospravedlňuje zvýšený výkon systému.

2.5 Odstranění omezení

V tomto pátém, posledním kroku neustálého procesu zlepšování dochází k prověření, jestli opravdu bylo fyzické omezení odstraněno. Tento proces prověření v případě odstranění omezení má dvojí účel:

Na konci čtvrtého kroku bylo dosaženo zvýšení kapacity omezeného zdroje, čímž bylo aktivní omezení odstraněno. Vzniklo nové omezení na jiném místě v systému, a je proto zapotřebí jej opět identifikovat a odstranit pomocí principu pěti kroků. Tímto způsobem se v systému uplatňuje princip trvalého procesu zlepšování.

Druhým účelem je revize opatření, která byla v systému zavedena během procesu odstraňování minulého omezení. Opatření přijatá v druhém a třetím kroku totiž mohou po kompletním odstranění minulého omezení nejen ztratit svůj smysl, ale mohou být dokonce kontraproduktivní a svou existencí tak omezovat výkon celého systému. Tím, že byl problém již vyřešen, a tudíž není zapotřebí jej znovu procházet, se vedení slévárny dostává do nebezpečí podnikové slepoty, která většinou ústí do vytvoření nových omezení ve firemní politice. Aby se této situaci předešlo, je nutné znovu vyhodnotit prospěšnost opatření přijatých v předchozím procesu odstraňování omezení a zabránit tak setrvačnosti způsobit systémové omezení.

Může se zdát, že implementace TOC povede k nekončící sérii pěti kroků k neustálému zlepšování – jako nástroji k perfektnímu vybalancování výrobního procesu. O tom to ale není. Fundamentální princip Teorie omezení spočívá v kombinaci závislých faktorů (jako je posloupnost kroků ve výrobním postupu) a normálních variací (pokaždé jsou přítomny), které způsobují to, že je prakticky nemožné kompletně vybalancovat celý proces. Vždy tu bude nějaké omezení v systému. Co ale způsobuje chaos je nechat omezení, aby se pohybovala všude možně. Slévárna musí vykonat strategické rozhodnutí, kde chce, aby omezení bylo. Potom přizpůsobí veškeré operace (marketing, kapitálové investice, lidské zdroje, atd.) v souladu s tímto rozhodnutím. To umožní slévárně řídit své omezení ke svému prospěchu, než aby omezení řídilo ji.

LITERATURA

- [1] NOREEN, E., SMITH, D., MACKEY, J. T.: *The Theory of Constraints and its implications for management accounting*. The North River Press, 1995.
- [2] GOLDRATT, E. M., COX, J.: *The Goal*. The North River Press, 2 Revised edition, 1992.
- [3] GOLDRATT, E. M.: *It's not Luck*. The North River Press, 1994.
- [4] GOLDRATT, E. M., COX, J.: *Cíl: Proces trvalého zlepšování. 2. vydání*. Praha: INTERQUALITY, 2001.
- [5] BASL, J., MAJER, P., ŠMÍRA, M.: *Teorie omezení v podnikové praxi. Zvyšování výkonnosti podniku nástroji TOC*. Grada Publishing, 2003.

Třetí země jako zdroj nové pracovní síly pro slévárny (HAMAG, spol. s r.o.)

Závrbská, M.

HAMAG, spol. s r.o., Malotova 5672, 760 01 Zlín, ČR, ekonom@hamag.cz

Klíčová slova

Míra nezaměstnanosti, trh práce, pracovníci z třetích zemí, Režim Ukrajina, Režim Ostatní státy

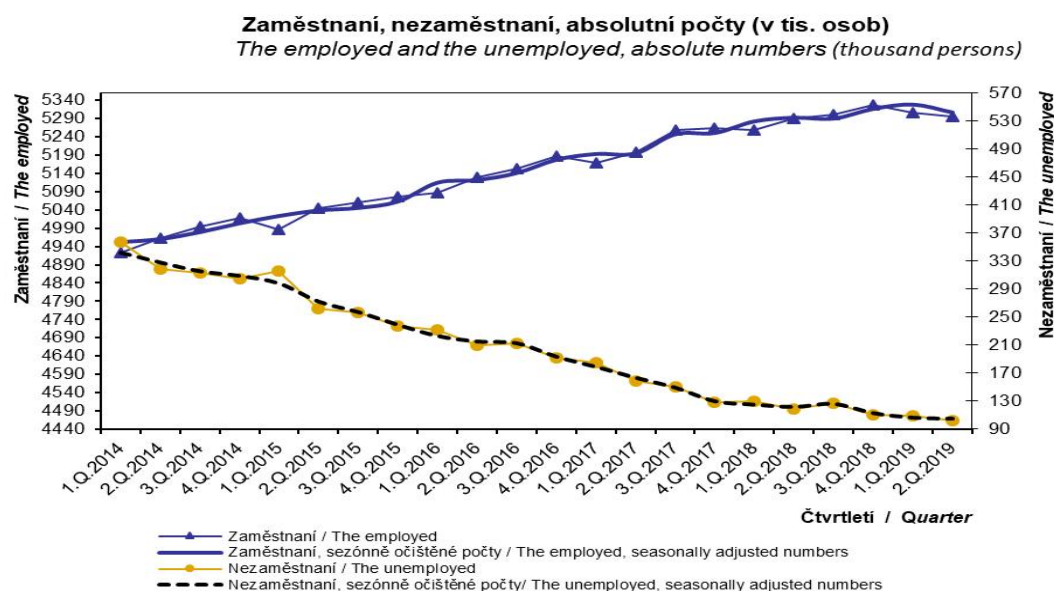
Abstrakt

Príspevek se zabývá nedostatkem pracovní síly a hledáním nových zdrojů k získání zaměstnanců. Shrnuje praktické zkušenosti slévárny HAMAG se získáváním pracovníků z třetích zemí prostřednictvím projektů ekonomické migrace Ministerstva průmyslu a obchodu. Popisuje možnosti, jak získat nové zaměstnance ze zemí mimo Evropskou unii. A nabízí subjektivní zhodnocení procesu přijímání zaměstnanců z Ukrajiny a Mongolska z pohledu slévárny.

1. ÚVOD

Situace na pracovním trhu v České republice dosahuje rekordních čísel. Nezaměstnanost nedosahovala nikdy dříve tak nízkých hodnot a počet volných míst se vyšplhal do dosud nepoznaných výšin. Česká ekonomika se stále drží v dobré kondici i přes varovné signály ze zahraničí, které predikují blížící se recesi. Nadále trvá masivní zájem zaměstnavatelů o nové zaměstnance, a to napříč všemi obory. Pracovní trh má akutní nedostatek kvalifikovaných uchazečů s technickým vzděláním či IT specialistů, což vytváří zásadní bariéru pro budoucí růst a konkurenceschopnost českých strojírenských firem.

Vývoj poměru zaměstnaných a nezaměstnaných od 1. čtvrtletí 2014 do 2. čtvrtletí 2019 zachycuje následující **obr. 1** [1].



Obr. 1. Vývoj zaměstnanosti a nezaměstnanosti ČR v časové řadě 2014-2019[1]

Co z toho plyne? Firmy „uplácí“ schopné pracovníky a přetahují se o ně. Zaměstnanci se stali tím, kdo si diktuje podmínky. Loňským vítězem pracovního trhu jsou jednoznačně zaměstnanci. Firmy musí plošně zvyšovat mzdy, aby si udržely pracovníky a byly konkurenceschopné. Růst mezd meziročně zrychlil a dá se očekávat, že akcelerace bude pokračovat i nadále. Meziroční růst

mezd je rychlejší než zvyšování produktivity práce ve firmách. A takový vývoj je dlouhodobě neudržitelný.

Nelehkou úlohu aktuálně mají i personalisté. Nejenže musí čím dál více pracovat s pasivními kandidáty, kteří aktivně práci nehledají, ale zároveň obsazovat nové pozice, které vznikly s rozvojem technologií a robotiky. Role personálních oddělení proto hraje čím dál podstatnější úlohu v každé firmě, musí inovovat a neustále urychlovat a zefektivňovat náborů pracovníků.

Situaci na českém trhu práce potvrzuje i analýza Českého statistického úřadu (ČSÚ) za 1. čtvrtletí 2019. Ukazatelé trhu práce nevykazují v posledním období příliš změn. Míra nezaměstnanosti se drží na nízké úrovni 2,1 %, výsledky výběrového šetření pracovních sil v domácnostech přinesly nový vrchol v míře zaměstnanosti 75,0 %. Růst průměrné mzdy 7,4 % byl v 1. čtvrtletí srovnatelný s předchozím rokem a reálný nárůst byl zbrzděn inflací na 4,6 % [2].

A jaký bude následující vývoj na trhu práce?

Podle názorů odborníků se nezaměstnanost zřejmě zastaví na současném historickém minimu. Je tak nízká, že příliš prostoru pro její další pokles již není k dispozici. Z celkového pohledu bude pracovní trh váhavý. Jedním z důvodů je, že naši výrazně exportní a průmyslovou ekonomiku ovlivní zahraničně-politické události (např. konečná podoba brexitu atd.).

Nezapomínejme však na skutečnost, že nezaměstnanost je zpožděný makroekonomický ukazatel a vykazuje příznivé výsledky i v době, kdy už jiné makroekonomické ukazatele, zejména ty předstihové, zachycují nadcházející útlum. V případě recese by mohlo dojít k částečnému „uvolnění napětí“ na trhu práce. Ale je tady ještě jeden problém, poptávka po pracovnících se často neshoduje s nabídkou. Neshoduje se profesní a vzdělanostní struktura volných míst a uchazečů. Ale co hlavně hraje roli, to je rozmístění volných pracovních míst a uchazečů v rámci regionů.

Přetrvávající problém na českém trhu práce s nedostatkem zaměstnanců může být řešen z části investicemi do robotické automatizace a také nábořem cizinců prostřednictvím projektů ekonomické migrace.

2. POSTAVENÍ ČESKÉHO TRHU PRÁCE V RÁMCI EVROPSKÉ UNIE (EU)

Situaci na českém trhu práce potvrzují i výsledky analýzy Eurostatu, která se zaměřuje na porovnání vybraných indikátorů trhu práce v členských zemích EU.

V 1. čtvrtletí 2019 míra zaměstnanosti v zemích EU28 dosahovala v průměru 73,2 %. Česká republika (ČR) se zařadila na třetí místo mezi zeměmi EU28, když míra naší zaměstnanosti dosáhla 80,1 %. Před naší republikou je Švédsko a Německo. Z dalších sousedních zemí, jež splňuje stanovenou průměrnou hranici zaměstnat alespoň 75 % populace ve věkové kategorii 20 až 64 let, je Rakousko (s mírou zaměstnanosti 75,9 %). Na Slovensku (73,5 %) a v Polsku (72,0 %) byl splněn národní cíl v dosažení dané míry zaměstnanosti. Nejnižší míra zaměstnanosti je v Řecku (59,6 %), kde pracuje méně než polovina žen v produktivním věku.

V 1. čtvrtletí roku 2019 jedenáct států EU28 (Švédsko, Německo, ČR, Estonsko, Litva, Lotyšsko, Malta, Slovinsko, Portugalsko, Irsko a Maďarsko) překročilo stanovený cíl, podle kterého má míra zaměstnanosti členských zemí EU v průměru dosahovat 75 % (podle strategie Evropa 2020) [3].

Celková průměrná nezaměstnanost států EU dosáhla úrovně 6,9 % v 1. čtvrtletí 2019. Míra nezaměstnanosti meziročně klesla kromě Dánska a Švédska ve všech členských zemích EU. V ČR byla míra nezaměstnanosti v daném období nejnižší mezi sledovanými zeměmi EU, když dosahovala 2,1 %, a u mužů 1,9 %. Také míra nezaměstnanosti žen, která dosahovala nejnižší hodnoty od roku 2002, byla v tomto období nejnižší v ČR a činila 2,3 %. Druhé po ČR s celkovou úrovní nezaměstnanosti 3,4 % se zařadilo Německo.

V porovnání s ostatními sousedními státy se také Polsko (4,0 %) drží v horní části tabulky s nízkou mírou nezaměstnanosti. Rakousko (s 5,0 %) je ve druhé třetině uvedeného žebříčku seřazeného od nejnižší nezaměstnanosti evropských zemí. Slovensko (5,9 %) se umístilo pod evropský průměr. Nejvyšší míru nezaměstnanosti mají ve státech jižní Evropy. Řecko v 1. čtvrtletí vykazovalo nezaměstnanost 19,4 % [3]. Míra nezaměstnanosti ve vybraných členských zemích EU je znázorněna v **tab. 1**.

Tabulka 1. Míra nezaměstnanosti 15–64letých ve vybraných členských zemích EU (v %) [3]

Země	1. čtvrtletí 2019			Rozdíl v p. b. 1. Q 2019 - 1. Q 2018		
	celkem	muži	ženy	celkem	muži	ženy
Česká republika	2,1	1,9	2,3	-0,3	-0,1	-0,7
Německo	3,4	3,8	3	-0,3	-0,4	-0,1
Maďarsko	3,6	3,5	3,6	-0,3	-0,1	-0,7
Spojené království	3,8	4	3,7	-0,4	-0,3	-0,5
Polsko	4	3,5	4,6	-0,2	-0,6	0,3
Rumunsko	4,2	4,7	3,6	-0,6	-0,7	-0,4
Rakousko	5	5,3	4,6	-0,3	-0,5	-0,2
Slovensko	5,9	5,8	6	-1,3	-1,1	-1,4
EU28	6,9	6,6	7,1	-0,6	-0,7	-0,7
Švédsko	7	7,1	6,9	0,2	0,1	0,3
Finsko	7,2	8	6,4	-1,7	-1	-2,5
Francie	9,2	9,2	9,1	-0,5	-0,4	-0,7
Itálie	11,3	10,6	12,3	-0,5	-0,3	-0,7

3. PROJEKTY EKONOMICKÉ MIGRACE

Přetrvávající problémy s nedostatkem zaměstnanců částečně řeší ekonomická migrace. Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR (MPO) v úzké spolupráci s Ministerstvem vnitra ČR (MV), Ministerstvem zahraničních věcí ČR (MZV) a Ministerstvem práce a sociálních věcí ČR (MPSV) postupně od roku 2012 realizuje několik projektů ekonomické migrace. Jejich hlavním smyslem je cíleně řízená migrace za účelem získání pracovníků z vybraných třetích zemí tak, aby byl zajištěn dostatečný soulad mezi poptávkou a nabídkou na českém trhu práce.

Cílem projektů je umožnit a zjednodušit příchod vysoce a středně kvalifikovaných a nedostatkových pracovníků ze zahraničí na naše území. Dostatek kvalifikovaných pracovníků je základní podmínkou pro udržení a růst konkurenceschopnosti českých firem a zvyšování přidané hodnoty. Dalším cílem je dosáhnout časové úspory pro firmy, které splní příslušná kritéria, případně samotné umožnění podání žádosti o zaměstnaneckou či modrou kartu na „přetížených“ zastupitelských úřadech ČR v zahraničí.



Obr. 2. Projekty ekonomické migrace

Fast Track

Zrychlená procedura pro vnitropodnikově převáděné a lokalizované zaměstnance zahraničních investorů (manažeři, specialisté, statutární orgány). Očekávaným přínosem je rychlejší převod vysoce kvalifikovaných a vedoucích pracovníků ze třetích zemí, kteří jsou dočasně vysláni v rámci společnosti do jednotky umístěné v ČR.

Welcome Package

Projekt ve spolupráci s agenturou CzechInvest – pro zahraniční investory, kteří v ČR nově založili organizační složku nebo kapitálově propojenou společnost, ale pro zahájení podnikání potřebují přemístit know-how činnosti zahraničního investora do ČR.

Projekt Ukrajina a Indie

Ve spolupráci s MPO a Ministerstvem zdravotnictví (MZ) v případě zdravotnických profesí byl zahájen pilotní projekt "Zvláštní postupy pro vysoce kvalifikované zaměstnance z Ukrajiny a Indie". Projekt umožňuje specialistům z Ukrajiny a Indie rychlejší přijímání a vyřizování jejich žádostí o zaměstnanecké, respektive modré karty na zastupitelských úřadech ČR na Ukrajině a Indii. Tito specialisté budou vykonávat vysoce kvalifikovanou práci (CZ-ISCO 1–3).

Režim Ukrajina

Projekt byl zahájen ve spolupráci s Hospodářskou komorou ČR (HKČR) v srpnu 2016. Byl vytvořen za účelem zrychlení procesu při vyřizování žádostí o zaměstnanecké karty pro občany Ukrajiny, kteří budou na území ČR vykonávat středně a nízko kvalifikovanou práci (dle Klasifikace zaměstnání CZ-ISCO třída 4-8 v oblasti výroby, služeb nebo veřejného sektoru). Režim je určený primárně pro technické profese.

Zásadní novinkou, v režimu schváleném vládou ČR dne 3. června 2019, je zavedení mzdového kritéria pro zařazení volného pracovního místa, které lze obsadit v rámci Režimu Ukrajina na úrovni 1,2násobku zaručené mzdy odpovídající příslušné skupině prací. Kritérium vychází z nařízení vlády č. 567/2006 Sb., o minimální mzdě, nejnižších úrovních zaručené mzdy, vymezení ztíženého pracovního prostředí a o výši příplatku ke mzdě za práci ve ztíženém pracovním prostředí. Od 10. 6. 2019 lze do Režimu Ukrajina zařadit pouze žadatele splňujícího zavedené mzdové kritérium) [4].

Režim ostatní státy – Mongolsko, Filipíny, Srbsko

Režim „ostatní státy“ byl spuštěn dne 11. 4. 2018 MPO a je zaměřen na Mongolsko, Filipíny a Srbsko. Slouží k vyřizování žádostí o zaměstnanecké karty pro tyto občany, kteří budou na území ČR vykonávat středně a nízko kvalifikované profese dle CZ-ISCO 4-8 (řidiči, skladníci, montéři, svářeči, švadleny, atd.)

S účinností od 1. září 2019 jsou všechny výše uvedené projekty nahrazeny vládními programy, a to: **Programem klíčový a vědecký personál** (nahrazuje Fast Track a Welcome Package), **Programem vysoce kvalifikovaný zaměstnanec** (nahrazuje Projekt Ukrajina a Indie) a **Programem kvalifikovaný zaměstnanec** (nahrazuje Režim Ukrajina a Režim ostatní státy). V nově transformovaném, vládou regulovaném, Programu kvalifikovaný zaměstnanec bude HKČR přijímat žádosti firem o pracovníky z osmi zemí – Ukrajiny, Srbska, Mongolska, Filipín a nově z Indie, Kazachstánu, Moldavska a Černé Hory [4].

4. POSTUP PŘI PROCESU ZÍSKÁVÁNÍ ZAMĚŠTNANCŮ Z UKRAJINY A MONGOLSKA

Nedostatek zaměstnanců dlouhodobě řeší i slévárna HAMAG. Používá dostupné nástroje pro získávání nových zaměstnanců včetně spolupráce s agenturami práce. Z dlouhodobého aspektu to není dostatečné řešení, a proto začala hledat pracovní sílu mezi pracovníky z třetích zemí. Nejprve se zaměřila na pracovníky z Ukrajiny, protože jejich pracovní návyky jsou srovnatelné. V roce 2017 získala nové zaměstnance prostřednictvím „Režimu Ukrajina“. Z důvodu promptního nárůstu poptávky po zaměstnancích z Ukrajiny a časově náročnému procesu se slévárna rozhodla další zaměstnance hledat v Mongolsku prostřednictvím „Režimu ostatní státy“. Prostřednictvím „Režimu“ slévárna získala pracovníky z Mongolska v dubnu 2019. Průběh procesu přijímání zaměstnanců z Ukrajiny a Mongolska zachycuje **tab. 2**.

Tabulka 2. Proces náboru zaměstnanců z Ukrajiny a Mongolska

Proces přijímání zaměstnanců: Ukrajina, Mongolsko		
Etapa procesu	Pracovník Ukrajina	Pracovník Mongolsko
Zaměstnavatel ohlásí krajské pobočce ÚP volné pracovní místo (souhlas se zařazením volného pracovního místa do centrální evidence volných pracovních míst pro držitele zaměstnanecké karty).	ano	ano
Zajištění kvalifikovaných pracovníků (spolupráce při vyřízení zaměstnaneckých karet, monitoring pracovníků během procesu).	česká personální agentura	soukromá osoba
Žádost firmy o zařazení do „Režimu“. Zásadní rozdíl: Režim Ukrajina – přijímání žádosti bez omezení tzv. nekonečná řada. Režim Ostatní státy přijímá žádosti do naplnění měsíční kvóty (tzv. generování pořadových čísel – jedinečný kód).	Krajská hospodářská komora ZK	MPO
Zastupitelský úřad (ZÚ) informuje zaměstnavatele o termínu, kdy se žadatel dostaví na Generální konzulát ČR (GK ČR).	GK ČR ve Lvově	GK ČR v Ulanbaataru
Žadatelé se dostaví na GK s žádostí o zaměstnaneckou kartu. Příslušný ZÚ zašle žádosti Odboru azylové a migrační politiky Ministerstva vnitra (OAMP) ke schválení.	ano	ano
V případě schválení žádosti o vydání zaměstnanecké karty vydá příslušný ZÚ pokyn k udělení dlouhodobého víza za účelem převzetí zaměstnanecké karty.	ano	ano
Žadatel do 3 pracovních dnů po příjezdu do ČR na pracovišti OAMP Ministerstva vnitra poskytne své biometrické údaje. Je vydáno „Potvrzení o splnění podmínek pro vydání zaměstnanecké karty“ (do 30 dnů je vydána zaměstnanecká karta).	ano	ano

5. REKAPITULACE PROCESU PŘIJÍMÁNÍ ZAMĚSTNANCŮ Z UKRAJINY A MONGOLSKA

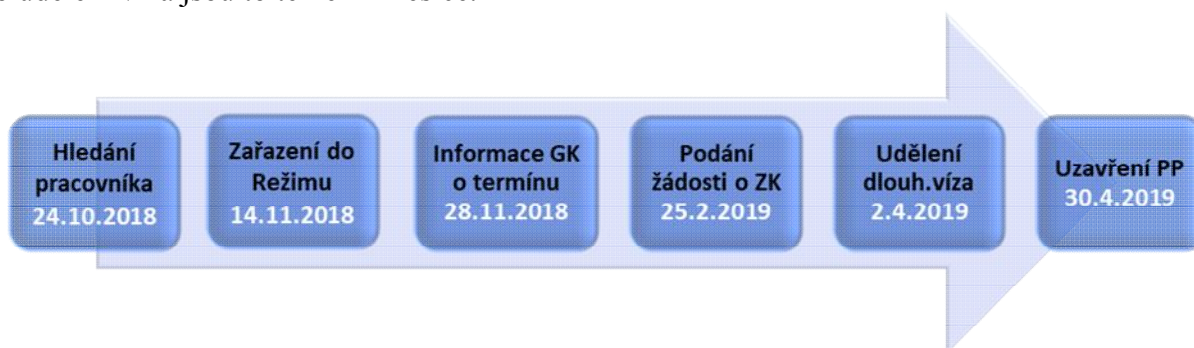
Celý proces náboru zaměstnanců ze zahraničí je nejen zdlouhavý, ale také finančně nákladný. Závěrem bude provedena rekapitulace z hlediska časové náročnosti, nákladů na nábor a celkových „výhod a nevýhod“ přijímání zaměstnanců z Ukrajiny a Mongolska. Cílem rekapitulace není porovnání jednotlivých Režimů, neboť každá firma je ovlivňována různými vnějšími faktory a porovnání by nebylo objektivní. Jde o shrnutí základních ukazatelů „Režimů“.

V první fázi rekapitulace se zaměříme na první ukazatel – čas. Časový průběh náboru zaměstnanců z Ukrajiny a Mongolska znázorňuje **obr. 3** a **obr. 4**.



Obr. 3. Časová osa náboru zaměstnance z Ukrajiny

Nábor zaměstnanců z Ukrajiny z pohledu časové náročnosti zachycuje **obr. 3**, kde je zřejmé, že byl zahájen v březnu 2017. Zařazení uchazečů do režimu proběhlo v 4/2017 a GK ve Lvově určil datum podání žádosti na 8/2017. Vízum bylo uděleno 10/2017 a pracovní smlouva s pracovníky byla uzavřena 7. 11. 2017. Celý proces trval 8 měsíců (včetně hledání pracovníků). Pokud bychom ale sledovali časový úsek od zařazení do režimu do získání víza, je to 6 měsíců a od podání žádosti do udělení víza jsou to téměř 2 měsíce.



Obr. 4. Časová osa náboru zaměstnance z Mongolska

Časový průběh náboru zaměstnanců z Mongolska zachycuje **obr. 4**. Byl zahájen v listopadu 2018, kdy také proběhlo zařazení uchazečů do režimu a GK v Ulanbaataru stanovil datum podání žádosti na 2/2019. Vízum bylo uděleno 4/2019 a pracovní smlouva byla uzavřena 30. 4. 2019. Celý proces trval 6 měsíců (včetně hledání pracovníků), ale pokud bychom sledovali časový úsek od zařazení do režimu do udělení víza, jsou to čtyři a půl měsíce. A od podání žádosti do udělení víza je to 1 měsíc.

Dalším ukazatelem, který je předmětem rekapitulace, jsou náklady spojené s náborem cizinců, které jsou nad rámec nákladů na získávání pracovníků z ČR nebo EU. Jednotlivé druhy nákladů jsou uvedeny v **tab. 3**.

Celkový náklad na nábor jednoho pracovníka z Ukrajiny je 61 100,- Kč a na pracovníka z Mongolska 8 000,- Kč. Rozhodujícím faktorem, který ovlivnil výši nákladů, byl způsob vyhledání pracovníka v dané zemi. Pracovníky z Ukrajiny zajišťovala česká personální agentura a pracovníky z Mongolska soukromá osoba, což způsobilo relativně velký rozdíl v nákladech. Další fáze náboru (lékařské prohlídky atd.) probíhaly za srovnatelných podmínek, a tak i vzniklé náklady jsou v podobné výši.

Tabulka 3. Náklady na nábor zaměstnance

Náklady na nábor zaměstnance		
Druh nákladu	Kč/osoba	
	Pracovník Ukrajina	Pracovník Mongolsko
Náklady na vyhledání pracovníka-provize	57 500	5 000
Zařazení do Režimu-poplatky	1 200	300
Získání zaměstnanecké karty	1 000	1 000
Tlumočnick	900	900
Mzda personalisty-cizinecká policie, lékařské prohlídky	500	800
celkem	61 100	8 000

Na základě zkušeností slévárny s pracovníky z třetích zemí (spolupráce trvá již tři roky) byla provedena predikce vývoje nákladů příštího období. Náklady na udržení pracovníků, které jsou nad rámec nákladů na udržení pracovníků z ČR, jsou uvedeny v **tab. 4**.

Tabulka 4. Náklady na udržení zaměstnance

Náklady na zaměstnance z Ukrajiny a Mongolska v dlouhodobém horizontu	
Druh nákladu	Kč/osoba
Ubytování	3 500/měsíčně
Zaměstnanecká karta-prodloužení-poplatky	1 000 /1 x za 2 roky
Tlumočnick	1 800/ročně
Mzda personalisty-cizinecká policie, lékařské prohlídky	750/ročně
Zvyšování kvalifikace (v rámci slévárny)	2 700/ročně

Na závěr provedeme shrnutí „výhod a nevýhod“ přijímání pracovníků z Ukrajiny a Mongolska. Zápory v zaměstnávání cizinců z třetích zemí:

- Administrativní náročnost.
- Finanční náklady spojené s náborem.
- Vyhledání kvalifikovaného pracovníka.
- Délka náborem cizinců.
- Posuzování zdravotní způsobilosti k práci (nedostatečná zdravotní dokumentace).
- Jazyková bariéra-ovlivňuje efektivitu pracovního procesu.

Výhody v zaměstnávání cizinců z třetích zemí:

- Pracovitost srovnatelná s českými zaměstnanci.
- Snadná integrace do pracovního týmu.
- Ochota vykonávat profese, které se nedaří obsazovat českými zaměstnanci.
- Dobrá úroveň měkkých dovedností – zodpovědnost, samostatnost, týmová spolupráce.
- Větší flexibilita-ochota pracovat i o víkendech, na směny, přesčas, apod.
- Kulturní obohacení prostředí firmy.

6. ZÁVĚR

Závěrem lze konstatovat, že celý proces získávání pracovníků z třetích zemí je finančně, časově a administrativně náročný. Projekty řízené ekonomické migrace fungují od roku 2012 a v intenzivnější podobě od roku 2015. Je nutné ocenit, že vláda je ve zvláštních režimech pro regulované zaměstnávání pracovních sil z ciziny relativně pružná.

Usiluje o rychlé přizpůsobení těchto programů potřebám trhu. Nově se mají všechny vládou regulované režimy procesně sjednotit a firmy tak vše potřebné k náboru pracovních sil ze zahraničí vyřídí na jednom místě, což jim ušetří práci a čas.

Zefektivňování projektů je zásadní, protože by to mohla být cesta pro řešení nedostatku pracovních sil. Musíme se připravit na skutečnost, že stejně jako v jiných západních zemích bude ČR trvale závislá na pracovní síle ze zahraničí.

LITERATURA

- [1] Zaměstnanost a nezaměstnanost podle výsledků VŠPS – 2. čtvrtletí 2019 | ČSÚ [online]. 2019 [cit. 2019-08-27]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/cri/zamestnanost-a-nezamestnanost-podle-vysledku-vsps-2-ctvrtleti-2019>
- [2] Vývoj českého trhu práce – 1. čtvrtletí 2019 | ČSÚ [online]. 2019 [cit. 2019-08-27]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/cri/vyvoj-ceskeho-trhu-prace-1-ctvrtleti-2019>
- [3] Postavení českého trhu práce v rámci EU – 1. čtvrtletí 2019 | ČSÚ [online]. 2019 [cit. 2019-08-27]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/cri/postaveni-ceskeho-trhu-prace-v-ramci-eu-1-ctvrtleti-2019>
- [4] Ekonomická migrace | MPO [online]. 2019 [cit. 2019-08-30]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/zahranicni-obchod/ekonomicka-migrace>

Ako znížiť dôležité osobné prekážky v práci

Červeň, R.

ZLH Plus a.s. Hronec, SK, cerven@zlhhronec.sk

Klíčová slova

Zákoník práce, pracovné voľno, ošetrovanie zamestnanca v zdravotníckom stredisku, zníženie nákladov

Abstrakt

Príspevok sa zaoberá skúsenosťami **ZLH Plus a.s. Hronec** v oblasti znížovania nákladov, (respektive v niektorých prípadoch zneužívání) na vyšetrenie a ošetrovanie zamestnancov v lekárskom stredisku. Jsou popsány 3 etapy (od r. 2017) tohoto úsilí.

Zákoník práce presne definuje dôležité osobné prekážky v práci, pri ktorých zamestnávateľ poskytne zamestnancovi pracovné voľno s náhradou mzdy v sume jeho priemerného zárobku alebo mu poskytne pracovné voľno, ale bez náhrady mzdy. Tieto dôležité osobné prekážky v práci sú taxatívne vymedzené v § 141 Zákonníka práce a to takto:

Zamestnávateľ poskytne zamestnancovi:

➤ *pracovné voľno s náhradou mzdy na nevyhnutne potrebný čas najviac na 7 dní v kalendárnom roku na vyšetrenie alebo ošetrovanie zamestnanca v zdravotníckom zariadení, ak vyšetrenie alebo ošetrovanie nebolo možné vykonať mimo pracovného času, a ďalšie pracovné voľno bez náhrady mzdy na nevyhnutne potrebný čas, ak vyšetrenie alebo ošetrovanie nebolo možné vykonať mimo pracovného času a zamestnanec už vyčerpal pracovné voľno, za ktoré patrí náhrada mzdy. Do nevyhnutne potrebného času sa započíta nielen čas vlastného vyšetrenia alebo ošetrovania, ale aj cesta tam a späť, pokiaľ zasiahla do pracovného času.*

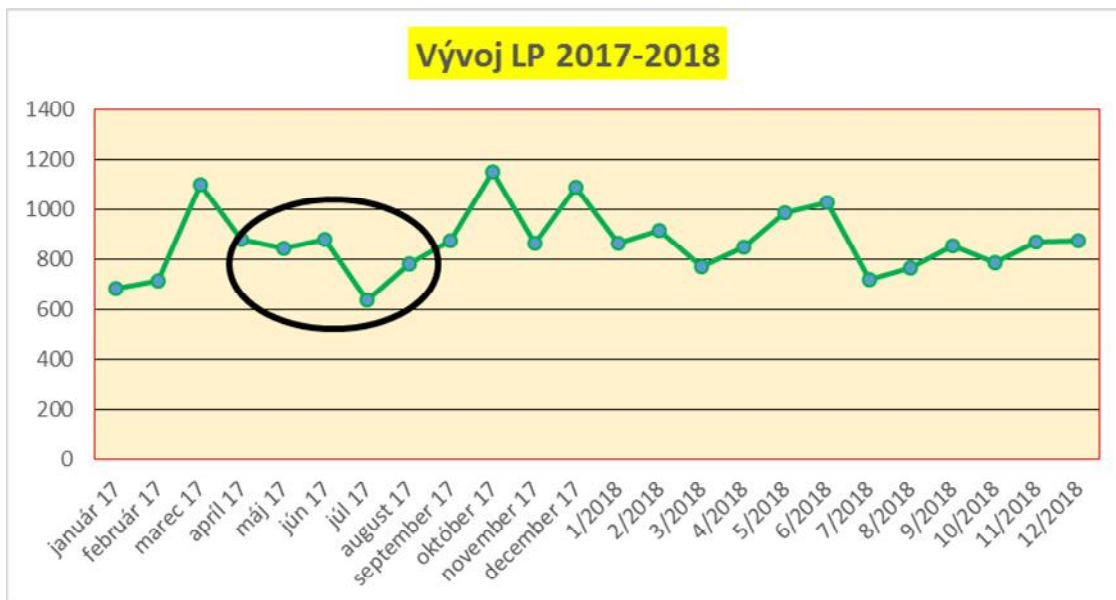
Ako aj na sprevádzanie:

➤ *rodinného príslušníka do zdravotníckeho zariadenia na vyšetrenie alebo ošetrovanie, ak bolo sprevádzanie nevyhnutné a nebolo ho možné vykonať mimo pracovného času, pracovné voľno s náhradou mzdy na nevyhnutne potrebný čas najviac na 7 dní v kalendárnom roku.*

Toto je čo umožňuje zákoník práce, avšak realita je taká, že zamestnanec si čerpá LP aj keď by mohol absolvovať návštevu lekára mimo pracovnej doby.

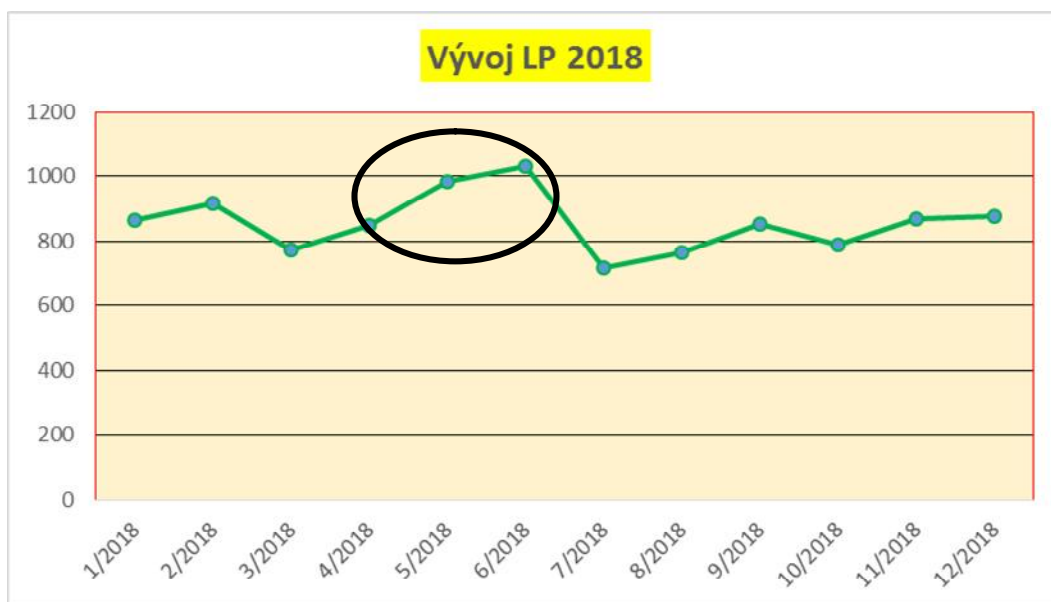
Tato možnosť spôsobuje značné problémy každej spoločnosti ak si toto čerpanie v plnej uplatňujú zamestnanci nakoľko pre zabezpečenie plynulej výroby je potrebné nájsť náhradu za daného pracovníka, čo je vo väčšine prípadov riešené nadčasom. Čiže čerpajúcejmu pracovníkovi platíme mzdu aj keď nie je v práci a ďalší pracovník má zaplatenú mzdu a príplatok za nadčas. Takto vyplatené mzdy na ročnej báze tvoria zaujímavú čiastku, ktorá firme zvyšuje mzdové náklady.

V našej spoločnosti sme hľadali možnosti obmedzenia čerpania LP zamestnancami už v roku 2017, potom čo v mesiaci marec sme prekročili hranicu 1000 hodín. Začali sme dôslednou kontrolou potvrdení od lekára, požadovali sme informácie o minimálne deň dopredu. A podobne administratívne opatrenia priniesli očakávané zníženie čerpania ako je vidieť na grafe. Po čase tieto opatrenia nemali dlhodobý efekt a zamestnanci pokračovali v čerpaní a opäť prekročovali pre nás magickú hranicu 1 000 hodín.



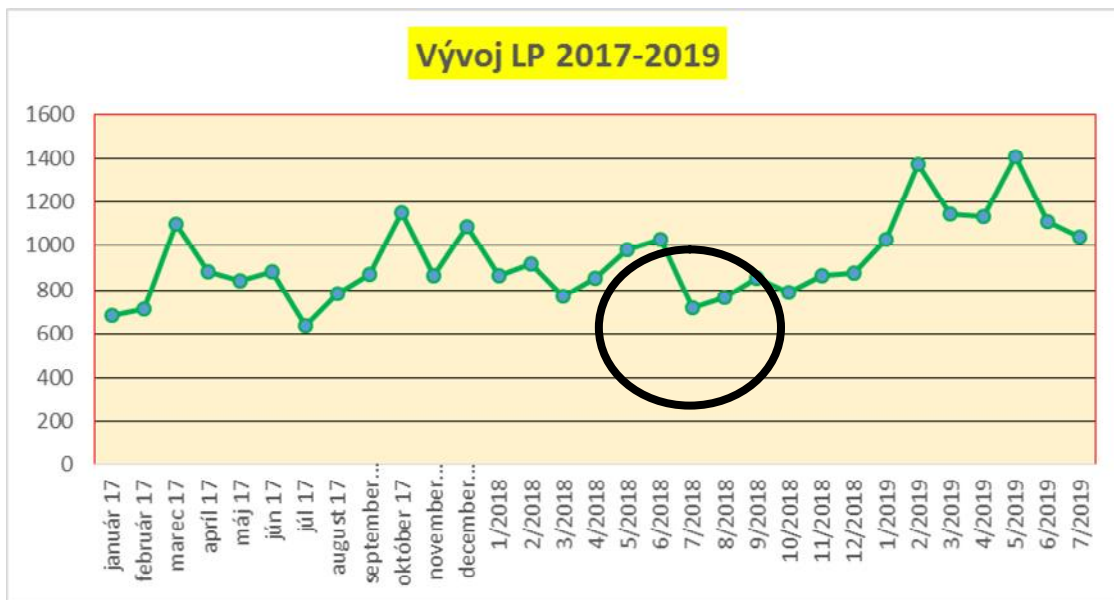
Pre rok 2018 sme zaznamenali viac ako 25 % nárast výroby. A pre zabezpečenie tohto nárastu sme zareagovali na toto navýšenie stanovením motivačnej odmeny v priemere od 100€ až do 170€ na jedného výrobného zamestnanca, pri splnení výrobných cieľov. A zároveň sme stanovili, že tato odmena nebude vyplatená zamestnancom, ktorý neodpracovali celý mesačný pracovný fond. Týmto opatrením zamestnanci pri čerpaní LP riešili tento výpadok v pracovnom fonde odpracovaným nadčasmi čím sme zabezpečili plynulý chod oddelení.

Na druhej strane niektorí zamestnanci to zneužili tak, že mali 3 a viac LP, ktoré si odpracovali cez časy a tak splnili stanovenú podmienku na vyplatenie odmeny odpracovať plný plánovaný mesačný fond. Pre našu spoločnosť to znamenalo zvýšene mzdové náklady a preto sme hľadali spôsob zníženia čerpania LP.

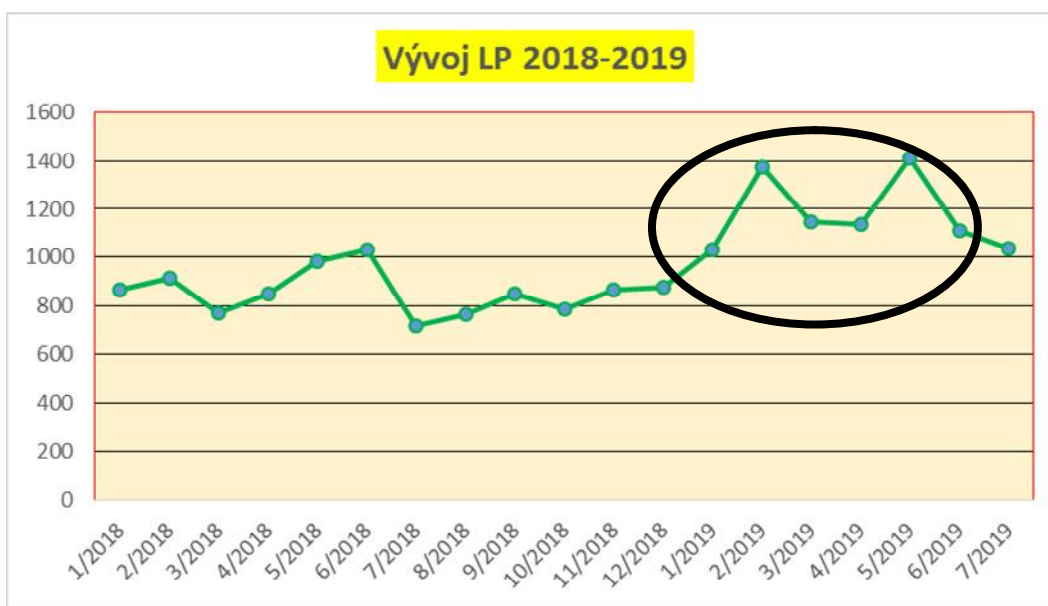


Keďže pravidla na vyplácanie odmeny si určuje zamestnávateľ, rozhodli sme sa stanoviť pravidlo vyplácať motivačnú odmenu len pracovníkom, ktorí odpracujú celý mesačný pracovný fond a nemajú čerpané LP.

Ako je vidno na grafe, toto opatrenie prinieslo zníženie čerpania počas celého obdobia vyplácania motivačnej odmeny v roku 2018.



V roku 2019 sme sa z odborovou organizáciou dohodli na navýšení miezd avšak nedohodli sme sa na pokračovaní v motivačnej odmene. Toto opatrenie okamžite znamenalo opätovný nárast čerpania LP ako vidno grafe.



Na základe týchto zistení môžem povedať, že najúčinnější spôsob obmedzenia čerpania LP je stanoviť si firemne pravidlo vyplatiť odmenu len zamestnancom, ktorý si zorganizujú návštevu lekára počas pracovného voľna. Tato odmena musí byť vyššia ako je jeho priemerná denná náhrada mzdy v spoločnosti.

Poslání ředitele slévárny v podmínkách českého tržního hospodářství

Cileček, J.

Alucast, s.r.o., ČR, jarmil.cilecek@alucast.cz

Klíčová slova

Hnací síla ředitele, úspěšná firma, People, Produkt, Profit

Abstrakt

Příspěvek se zaměřuje na hlavní oblasti, kterým se ředitel věnuje (nebo by měl) v oblasti českého tržního hospodářství. Vychází z vnitřní hnací síly ředitele. Dále vztahu k vývoji a oblasti 3P (PEOPLE, PRODUKT A PROFIT).

Dámy a pánové.

Opět před Vámi stojím na Slévárenských dnech, již po čtvrté a měli bychom si vyměňovat moudra, jak vést naše slévárny k prosperitě.

Nevím jak Vy, ale já si často kladu otázky, zda je u nás v České republice vlastně skutečné tržní hospodářství. Měli jsme a máme všichni ať jako manažeři, nebo vlastníci, stejné podmínky pro rozvoj svých firem. Vystartovali jsme všichni ze stejné startovní čáry? Komu z Vás stát věnoval pozemek na založení firmy, kdo z Vás byl oprostěn na řadu let od daní. Jsou dotace z EU vynakládány objektivně a prospěšně, máme stavět za dotace čapí hnízda, golfová hřiště, či budovat něco, co nám bude přinášet nejen profit, ale díky čemu se staneme zemí, která bude něco, po čem šílí celý svět, konečně vyrábět také ve své vlastní režii a nejenom to montovat? Nečekejme dnes odpovědi. Já je neznám a ani jsme se zde nesetkali, abychom si tyto otázky zodpověděli. Ale je třeba je položit.

Mluvit na téma **“Poslání ředitele slévárny v podmínkách českého tržního hospodářství“** před takovým shromážděním jako je zde, na Slévárenských dnech, to chce notnou dávku drzosti a odvahy. Koneckonců to také patří mezi nutné vlastnosti šéfa firmy, v našem případě slévárny.

Svou presentaci, rád bych raději společnou diskusi, především postavil na mých 27 letech ve funkci vedoucího slévárny, později spoluzakladatele společnosti ALUCAST a jeho jednatele, dnes již ve funkci honorárního ředitele. Na pomoc jsem si vzal knihu od J. Colinse **„Jak vybudovat trvale úspěšnou firmu“** a myšlenky třídil dle této knihy.

Dovolte mi, abych se na začátku zamyslel nad tím, proč řada společností existuje a proč jsou zde a daří se jim dobře. Jsem přesvědčen, že řada lidí se domnívá, že společnosti podnikají pouze proto, aby vydělávaly peníze. Je třeba uznat, že se jedná o důležitý předpoklad existence společnosti. Je třeba si uvědomit, že společnost, firma je organizované seskupení lidí, kteří se spojili, které někdo spojil, a ti kolektivně dosahují něčeho, čeho nemohou dosáhnout individuálně.

Rád bych zde uvedl, co všichni my zde nepochybně víme, naše společnosti vyrábějící odlitky – slévárny, musí umět vyrobit formu, natavit kov, odstranit formu, očistit odlitky, kontrolovat odlitky povrchově i strukturálně a pokud chcete mít vyšší přidanou hodnotu, pak provádět obrábění svých odlitků, povrchové úpravy atd. To představuje vysoké investice. Není proto jednoduché a prakticky možné začít podnikání ve slévárenství doma v garáži, bez nutných a poměrně značných vstupních investic. Dnes mě nikdo nevěří, pomalu ani já nevěřím tomu, že ALUCAST jsme rozjeli v roce 2000 v pronajatých prostorách s půjčeným obnosem 7,5 mil. Kč. Již v roce 2001 jsme dostali zakázku na výrobu nádherných odlitků od izraelské firmy TADIRAN, dnes ELBIT. Jednalo se o výrobu přesných Al odlitků poměrně značných rozměrů, které tenkrát v ČR nikdo nedokázal ke spokojenosti zákazníka vyrobit. Chtělo to od nás nutnou dávku odvahy i drzosti a to jsme měli. Také k tomu bylo potřeba nepochybně trochu umu k této výrobě. To jsme asi také měli.

Dovolte mě, že ještě chvíli zůstanu u ALUCASTu. Půjčku 7,5 mil. Kč jsme do 3 let vrátili a do dalších 3 let jsme si postavili své vlastní prostory o velikosti 1200 m² již z vlastních prostředků.

Ještě k výrobě odlitků pro Izrael. Byly jsme nadšení z této výroby, dělalo nám to až 60% naší produkce, což bylo krásné, ale velmi nebezpečné. Zvládli jsme to. Odlitky vyrábíme dodnes, tato výroba však dělá již nepatrné % z celkové produkce.

Naše radost z této zakázky však upadala stejně rychle jako dolar. V době, kdy jsme výrobu rozjížděli, měli jsme na výběr – platby v EUR, nebo USD. EURu jsme tenkrát ještě moc nevěřili, šli jsme na USD. V roce 2001, kdy jsme výrobu zahájili, byl USD 34 Kč. Záhy začal padat a spadl až na 24 Kč. Smlouva byla podepsána na 5 let. I s tím se však musí šéf firmy vypořádat.

Jsou firmy, kde jsou ředitelé odměňováni dle zisku, profitu firmy a zajímá je tedy jen zisk. Jenomže základní hnací silou musí být touha vyniknout se svým výrobkem, produktem, dělat to, co nikdo nedělá. A pokud něco podobného již někdo vyrábí, je nutné to dělat lépe, mít vyšší kvalitu, kvalitnější službu, dělat tedy něco, co má vysokou přidanou hodnotu.

Bohatství akcionářů je nutné stavět až na konec seznamu. Zisk je základem toho, co děláme – je měřítkem našeho přínosu a prostředkem našeho růstu – ale nemůže být cílem sám o sobě. Zisk není správným cílem managementu – je tím, co umožňuje, aby bylo všech správných cílů dosaženo. Cílem je ve skutečnosti zvítězit a vítězství se posuzuje z pohledu zákazníka a tím, že děláme něco, na co můžeme být hrdí. Když reálným zákazníkům poskytneme reálné uspokojení, věřte, že budeme dlouhodobě úspěšní a ziskoví.

Vnitřní hnací síla ředitele slévárny

Hnací síla pokroku je vnitřní síla každého šéfa slévárny. Každého, který má snahu a touhu být neustále lepší a lepší, vyrábět to, co nikdo nevyrábí. Hnací síla každého šéfa, každého vizionáře, nečeká, až okolní svět zavolá „potřebujeme mobilní telefony“, „potřebujeme větší letadlo – BOEING 747“. „Potřebujeme samolepící bločky“, „potřebujeme odlitky z hořčíku vyrobené přesným litím metodou vytavitelného modelu“. Já jsem bezmála 20 let mého aktivního života prožil v systému plánovaného hospodářství. Nejsem zde sám takových, je nás tady více. Byla to doba, kdy konstruktéři byli před technology. Byli to technologové a tehdejší socialistické výrobní technologie, které nedokázaly uspokojit požadavky řady konstruktérů. Dnes si troufnu říci, že ALUCAST nabízí odlitky, které často předčí požadavky konstruktérů. Ve vizionářské společnosti hnací síla být lepší, jít dál nebo objevit něco nového nepotřebuje žádné vnější zdůvodňování. Vizionářská společnost prostě neuvažuje nikdy o tom, že nemá šanci, že nemůže dosáhnout něčeho velkého, nebo že nemůže být opravdu výjimečná.

Když jsem mé společníky seznamoval v roce 2007, kdy jsme se nastěhovali do svých vlastních prostor, s mou vizí stát se evropskou slévárnou a vyrábět odlitky pro letouny typu AIRBUS a BOEING, klopili hlavy, abych neviděl jejich nevěřící pohledy. Dělníci byli otevřenější, ti se smáli veřejně. Po pár letech se někteří z dělníků omluvili, společníci mlčí. Dnes dělá ALUCAST více než 30% své produkce pro letouny AIRBUS a BOEING.

Je nezbytně nutné neustále vymýšlet a pracovat na tom jak být stále lepší. Je to nikdy nekončící proces odhalování toho, jak daleko ještě můžeme dojít. Neexistuje žádná cílová čára, jejíž překročení by nám umožnilo prohlásit – „jsme u konce“. Není možné se uspokojit svými úspěchy, protože v tom okamžiku začínáme upadat. Určit směr, vizi na 5–10 let dopředu je nepochybně určitý risk a těžko můžete předvídat, o jak velký risk půjde. Je třeba však věřit, lidi přesvědčit, sázet na jejich zvědavost a zvědavost a přesvědčit je, že nám to víc dá, než sebere.

Na začátku 60. let prohlásil americký prezident J. F. Kennedy: „...ještě v tomto desetiletí budeme na měsíci“. Bylo to v té době dle odborníků NASA tak „50 na 50“. Bylo to v době, kdy Amerika neměla rakety ani poznatky o tom, jak se dostat za hranice atmosféry, natož doletět na Měsíc, přistát tam a pak se zase vrátit. Díky svým řečnickým schopnostem a přirozené autoritě J. F. Kennedyho všechny o tom přesvědčil a vyburcoval. Ano, šéfové firem, vize, plány na 5, lépe 10 let musíte mít. Kam se chcete dostat, jaké budou Vaše odlitky, musíte vytýčit směr, cíl, i když v daném okamžiku je to třeba na oněch „50 na 50“.

Na některé vysoké škole u státnic, kde jsem byl jako člen komise, byla otázka: „Popište, studente, rozdíl mezi lídrem, vizionářem, manažerem, kdo to je a co vlastně dělají“. Student tápal a profesor říká: „Vizionářem by měl být přece každý představitel firmy, lídrem by měl být představitel státu, president, který vede svou zemi“.

Bylo to v době presidenta Obamy. Zdálo se mně to velmi rozumné. Dnes jako občan této země České se mě to jeví jako šílenost a doufám, že se nestane to, aby lid český směřoval dle současného českého lídra – svého presidenta.

Vývoj a ředitel slévárny

Často jezdím v Brně kolem bývalé budovy slévárenského vývoje a je mě smutno. Přitom jsme měli významné kapacity v oboru slévárenství. Prof. Píšek, Dr. Petržela, Dr. Doškář. Určitě byste sami jmenovali ještě další. Brno bylo centrum slévárenství. V době reálného socialismu jsme si často namlouvali, že jsme špičky. Již pouhý fakt, že hlavním ukazatelem každé československé slévárny v době reálného socialismu byly odlité tuny, je v dnešní době velmi těžko pochopitelný a v době nastupujících ekologických katastrof až trestuhodný.

Takže po roce 89 se centrální slévárenský vývoj zrušil, zanikl. Slévárny, které žily v izolaci Rady vzájemné hospodářské pomoci – RVHP a nežily tedy v opravdovém konkurenčním prostředí, se ze dne na den ocitly v tvrdé konkurenci. Všichni víme, jak to dopadlo. Mnohé slévárny se zavřely, mnohé, které měly chytré šéfy, se „samy“ prodaly zahraničním konkurentům. A pár nadšenců, se pustilo do podnikání v oboru slévárenství bez cizího kapitálu, bez pomoci státu. Těmto slévárnám, těmto šéfům nezbylo nic jiného než v první řadě přijmout tvrdé podmínky zahraničních odběratelů, rychle nastartovat inovační technologie a procesy, převychovat lidi a začít tvrdě pracovat vlastními silami na vlastním vývoji.

ALUCAST měl to štěstí, že jsme se zaměřili na přesné odlitky, na odlitky o minimální hmotnosti a maximální složitosti. Před rokem 1989 se vyráběla v Československu 1 tuna přesných Al odlitků. Dnes je to cca 250 tun těchto odlitků s průměrnou kilogramovou cenou 1000, 2000 až 5000 Kč/kg, při ceně slitiny Al 60 Kč/kg. To se samozřejmě neobešlo bez vývoje nových procesů, nových technologií, nových strojů a zařízení. Vše bylo nutné vyvíjet vlastními silami, vlastními prostředky. A to je v kompetenci šéfa firmy.

Za to však nečekejte obdiv a uznání od svého okolí. Když Robert Edwards, původce umělého oplodnění, pracoval na tomto vývoji, doprovázelo ho nejen „udivení“, k čemu to je, ale také samozřejmě odpor a to nejen církevních a náboženských kruhů, ale také vědecké komunity, která se v 70. letech, v době populační exploze, ptala, k čemu to bude, kdo to bude chtít!!!

Ano, každý vývoj něčeho nového musí být podpořen emocemi a vášní toho, kdo na tom pracuje. Bez emoce a vášně není touha po něčem novém, po něčem, co se mnohým momentálně jeví jako naprostá zbytečnost. Připravte se, že uslyšíte kolem sebe, k čemu to bude, kdo to bude chtít!!! Ale vy jste vizionáři, vy sledujete trendy v oboru, vy víte, kam vaše odvětví směřuje, a tedy víte, kam nasměrovat vaše úsilí i úsilí vašich kolegů.

People, Product, Profit – 3P

O důležitosti profitu, jsem se zmínil zde již několikrát. Rád bych v závěru mého vystoupení ještě znovu zopakoval a zdůraznil posloupnost priorit, které je nezbytně nutné v dobře fungující firmě dodržovat.

Ano, ta posloupnost je **lidé – výrobek – zisk**.

Když slyším odborové předáky, jak hřímají na majitele, ředitele, šéfy firem, jak utiskují pracující, mám pocit, že žijí v jiné zemi. Pokud by šéfové firem skutečně terorizovali své zaměstnance, pak je to začátek konce dané firmy. Přece největším odborářem – ochráncem a zastáncem pracujících musí být šéf firmy, zvláště dnes, kdy je fatální nedostatek lidí.

Každý šéf profitující firmy přece musí vědět, pokud chce firma vyrábět unikátní výrobek, že k tomu potřebuje lidi.

Zde bych rád připomněl, co nepochybně mnozí víme a uvědomujeme si to. Mluvíme-li o lidech, pak máme na mysli lidi, které zaměstnáváte ve firmě, tedy zaměstnance a také lidi, kteří žijí v okolí firmy, no a lidi – zákazníky.

Nebudu zde vyjmenovávat benefity, které všichni máte pro své zaměstnance. Mě se osvědčilo, mimo řady benefitů, které ve firmě máme, přidat normální lidské chování, např. vzpomenout narozeniny pracovníka firmy, předat růži každé ženě v den jejího narození, chlapovi podat ruku, poděkovat za práci, oběma popřát v osobním i pracovním životě úspěch. Lidé ve firmě musí vědět,

že si jich i jejich práce vážíte. Je nutné, aby vaši podřízení vás viděli neustále optimisticky naladěné, chmury a starosti nepřenášíte na lidi, naopak chmury a starosti jednotlivých pracovníků buďte nápomocni s nimi řešit.

Není možné zapomínat na lidi v okolí firmy. Mnozí víte a zažili jste, jak okolí dokáže vyvádět, pokud hodláte vybudovat slévárnu v jejich okolí. Ne jiné to bylo také v případě ALUCASTu. S okolím jsme začali komunikovat, lidi do firmy zvát, výrobní prostory stejně jako okolí firmy jsme vybudovali a udržujeme ve vysokém standartu. Sponzorsky podporujeme své okolí. Dobré vztahy udržujeme s radnicí, se starostou s krajem i s hejtmanem.

Další z 3P je product – výrobek

Proto, abychom vyráběli své produkty – výrobky, jsme založili, udržujeme, rozvíjíme a řídíme své firmy, ať již jako najatí manažeři, nebo jako majitelé či spolumajitelé. Jak jsem již zde uváděl, musíme udělat vše proto, aby náš výrobek byl unikátní. Unikátní provedením, kvalitou povrchu, přesností, strukturou. Snažme se udělat vše proto, aby zákazník byl nejen spokojen, ale aby byl překvapen provedením, servisem a vším co k dodávce patří. Všichni žádáme výrobky co nejvyšší kvality. Kam se dostala kvalita aut za posledních 20 let, kam se dostalo provedení a úroveň spotřebního zboží a kam se dostala kvalita odlitků, které opouštějí naše slévárny? Neustále pracujeme na zvyšování kvality svých odlitků, i když zákazník odlitky odebírá momentálně bez závažných připomínek.

Profit – zisk

Je to jako příběh „Chytré Horákyňe“. Nedávejte ve svých firmách zisk na prvé místo! Je to však zisk, díky kterému můžete uspokojovat lidi a investovat do technologie, která vám umožní vyrábět kvalitní odlitky.

Dbejte na spokojenost všech Vašich pracovníků, dbejte na vysokou kvalitu Vašich odlitků a všech služeb, které po Vás požaduje zákazník. A Vaše firmy budou profitovat – budou ziskové. Při výši hrubého zisku min. 15 % budete mít spokojené zaměstnance, spokojené zákazníky a budete spokojeni také vy šéfové sléváren.

Praktické poznatky z implementace kontinuálního zlepšování ve slévárnách

Grzinčič, M.

DETYCON Solutions s.r.o., Mozartova 656/23, 460 01 Liberec – Staré město, Česká republika,
grzincic@detycon.com

Klíčová slova:

Firemní kultura, kontinuální zlepšování, Six Sigma, Kaizen, Kata

Abstrakt

Příspěvek pojednává o nutnosti kontinuálního zlepšování pro udržitelnost plnění ekonomických cílů výrobní společnosti a její konkurenceschopnost. Oblast slévárenství je typická zdrženlivostí při implementaci forem kontinuálního zlepšování nebo jejich efektivním využíváním. Nabízí se doporučení především top-managementu, jak postupovat a kde hledat příčiny nespokojenosti s hospodářskými výsledky.

1. ÚVOD

Jak je důležité kontinuální zlepšování a inovace? Proč lidi systematicky trénovat, aby mohli podat nejlepší výkon? Proč k tomu přistupovat podobně vážně jako ve sportu?

Klademe si takové otázky při ročním hodnocení, měsíčním strategickém mítinku, nebo tím žijeme v denní operativě? Vědomí, že schopnost se zlepšovat, patří mezi *dovednosti*, je v tomto ohledu klíčová. Všem nám je určitě jasné význam dovednosti jízdy na lyžích, odpalu golfového míčku nebo plavání. K dovednosti se každý jednotlivec musí dopracovat. Dovednost vzniká proměnou *znalosti*, když jsme se ji naučili využívat ve svém běžném životě. Ve fabrice mohu tomuto procesu nechat volný průběh, nebo jej systematicky řídit. Zároveň ve funkčních pružných systémech přesnými a včasnými *informacemi* rozvíjíme znalosti zaměstnanců. Informace jsou k dispozici jen za předpokladu kvalitních dat, která organizace umí sbírat a vyhodnocovat s minimální chybivostí.

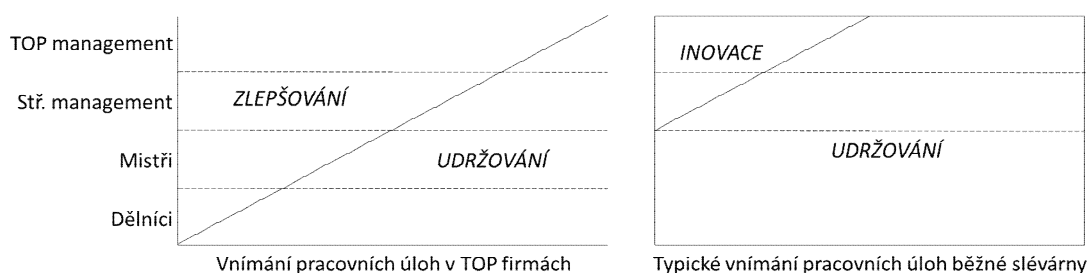
Kontinuální zlepšování nemá nic společného s investicemi do výrobních strojů a zařízení, které nemají statut inovace. Nová formovací linka namísto neproduktivní nepřesné staré linky, nové hospodárnější tavící agregáty nebo automatizace snižující pracnost jsou inovace, což je součást zlepšování příslušící do rozhodování TOP-managementu. Kde jsou však všechny další formy zlepšování, které v důsledku mají vydělat na investice do inovací? My se musíme bavit o procesech a zlepšování procesů je kontinuální proces analyzování plýtvání, hledání a realizování opatření za účelem jeho odstranění a zvýšení výkonnosti procesů. Kontinuální zlepšování je cesta ke zvyšování efektivnosti fungování firmy prostřednictvím štíhlých procesů s minimálními ztrátami, nacházení cest k odstranění překážek. Rovněž tak kontinuální zlepšování není o znalostech, jak zlepšovat. To by pak mělo stačit poslat vybrané zaměstnance na školení, a když se vrátí, tak je to nechat dělat a již jen čekat na efekty v produktivitě, rostoucích prodejkách. Ale ono to většinou nezafunguje. Kde jsou tedy pak ty hlavní překážky?

Úspěšné prosperující společnosti mají robustně implementované kontinuální zlepšování jako součást firemní kultury, denního života, ovládají metodiky tréninku nebo metodiky analýzy a řešení problémů, digitalizují, a proto mají spolehlivá data, atd.

Příspěvek zmiňuje část překážek bránících rozvoji firmy, pokud nepochopí a nerealizuje kontinuální zlepšování. Zároveň se lze dočíst pár typů, jak se vyhnout chybám a jak potřebná je role managementu.

2. REALITA, ANEB JAK TO DĚLAT PO SVÉM

Klíčové překážky shledáváme ve vnímání managementu a vlastníků firem cesty k úspěchu a vlastní akceschopnosti. Jestliže se ředitel slévárny, její vlastník, jednoduše nejvyšší manažer osobně brání změnám tohoto charakteru, jako je přístup ke zlepšování, tak nikdy nedojde k žádnému průlomů. Firma zůstane průměrná či balancující na hraně „červených a černých čísel“. Každý rok se opakují velmi kvalitní konference ke kontinuálnímu zlepšování a na trhu je řada velmi dobrých institucí, které nabízí zavedení vybrané formy zlepšování, ale nejvyšší šéf nevěnuje svůj čas detailnímu seznámení. Tím pádem nerozumí celému systému, tzn. jaké úlohy jakou formou řešit, a především jaká je jeho osobní role. Role, jak na začátku implementace změn, tak i v budoucnu, aby systém nezdegeneroval či „nevyšuměl“. Nejvyšší management se má věnovat většinu svého času zlepšování a střední management více jak polovinu času. Realita může vypadat docela odlišně, viz **obr. 1**.



Obr. 1. Rozdílné vnímání udržování a zlepšování [1]

Kromě již zmiňovaného posílání lidí na školení, to je tragický „mikromanagement“, kdy si to šéf stejně vlastně všechno „udělá sám“. Ovšem záměrem zlepšování procesů je aktivně zapojit co nejvíce pracovníků do řešení problému odstraňování plýtvání ve firmě. S tímto individualismem hodně souvisí chyba v důrazu na zlepšování jedinci, přičemž minimálně stejně tak důležité je zlepšování od zlepšovatelských týmů. Pak ovšem týmy musí fungovat, což má svá pravidla. V této souvislosti je nutné zmínit další zásadní překážku, a to je statut nenahraditelnosti jednotlivců, kteří takto zcela jednoznačně brzdí jakýkoliv pokrok, pokud se změnou neprijdou právě oni, nebo to oni sami (milostivě) neposvětlí. V tom jim ovšem obvykle brání nekonečné ego. Je jednoznačnou chybou jejich nadřazených, že se takto ve firmě „nenahraditelní“ chovají, resp. ještě jsou zaměstnanci společnosti. Na řešení takových situací není nikdy pozdě, ale jako překážka se MUSÍ vyřešit. Existují na to postupy a je docela efektivní si na pomoc vzít externistu, který má výhodu absence osobních vazeb na dotčené osoby.

Další parádní častý nesmysl je postoj, že kontinuální zlepšování je drahé. Myslí se tím především cena školení a změny v organizační struktuře. Pokud je celý proces implementace kontinuálního zlepšování myšlen vážně, tak skutečně školení stojí min. 200 tis. Kč. Ve struktuře firmy se vybere pracovník, příp. přijme nový, který zastává funkci koordinátora zlepšování, lean managera, vedoucího průmyslového inženýrství apod. (nová pracovní pozice). Výdaj se nevnímá jako *investice*, která se má násobně vrátit. Kapacita osoby na nové pozici se nedá nadávkovat do pracovního času manažerů ve středním managementu. Jinými slovy se při správném uchopení uplatňuje *projektový přístup* ke zlepšování.

Jinou oblastí nepochopení ekonomiky při kontinuálním zlepšování je nutnost *investovat, abych získal*. Je naivní předpokládat, že všechny možné úsporné opatření se dají implementovat do předseriového nářadí (modely, kokily, jaderníky). V oblasti automotive je naprosto běžné, že se v sérii upravuje nářadí, aby se snížila kvalitativní neshoda, dala zkrátit doba tuhnutí, doba tryskání, zmenšují či odstraňují se některé nálitky. Úpravy se dějí i v dalších procesech. To samozřejmě stojí peníze, nebo si změny vyžadují komunikaci se zákazníkem. Ale je to úplně normální investice do změny, abych získal jinde úspory (počítá se návratnost). Je pozoruhodné, s jakou se lze setkat rezistencí proti jakýmkoliv změnám. Úplné neštěstí je postoj, že „když to jede, tak proč do toho šahat.“

Pokud již běží pilotní projekt, tak nejvyšší manažer firmy musí osobně věnovat dostatek svého času přítomností na jednáních týmů – min. pracovní den s externím konzultantem společně zahájít a

i uzavřít. Nejenom, že se v projektu řeší největší a obvykle chronické problémy, takže by měl top-management věnovat řešení svoji podporu, ale nastavuje se nová *firemní kultura*. Zároveň takový nejvyšší šéf musí zajistit, že mu kdokoliv ze struktury firmy nebude do aktivity „házet vidle“. Odpor k strategickému směřování firmy musí být řešen jen naprostou eliminací.

3. KDY, CO A JAK

Nejvhodnější dobou na implementaci jedné z forem kontinuálního zlepšování je doba ekonomického zpomalování nebo dokonce krizí. To je doba, kdy již nelze přehlížet nedostatky, plně vytižené kapacity nestačí utáhnout plnění hlavních cílů. Slévárny jsou nuceny plánovat výrobu jen na 2 směny, nebo ruší výrobu v pátek, a tak paradoxně slévárny místo mobilizace vnitřních sil často sáhnou k plošnému šetření a vyčkávání, až „blbé“ období odejde.

Měli bychom si umět odpovědět, co je cílem podniku. Skutečným cílem ziskové společnosti je dlouhodobě dosahovat maximální zisk. Samozřejmě nikoliv na úkor životního prostředí, mizerného odměňování zaměstnanců, vyplácení maximálních dividend apod. Naše aktivity musí směřovat ke zlepšení finančních ukazatelů, cash flow, návratnosti investic a čistého zisku. Co bychom měli zlepšováním řešit, bychom správně směřovali?

- Zvyšování bezpečnosti práce, pracovního a životního prostředí (nejvyšší priorita)
- Zlepšení podnikové kultury, komunikace a organizace práce
- Řešení problémů v duchu principu interní dodavatel a zákazník
- Zlepšování pořádku a čistoty na pracovištích (bez tohoto bodu není udržitelné kvality a produktivity)
- Snižování nákladů (náklady na vsázku, využitelnost tekutého kovu, spotřeba očkovačů nebo exoobkladů, dávkování pojiva, spotřeba náhradních dílů, doba tryskání...)
- Zvyšování kvality
- Zvyšování produktivity (vykázaných hodin na odvedenou výrobu, prostoje, výkon-čas tuhnutí)
- Snižování oběhových zásob
- Zlepšování materiálových toků (nadbytečná manipulace)

Abychom byli úspěšní, je potřeba dodržovat určitá pravidla.

- a) *Udržovat atmosféru důvěry, porozumění a optimizmu* – lídři by se měli jasně postavit k aktuální situaci a srozumitelně komunikovat požadované akce. Týmové semknutí a disciplína jsou základ přežití.
- b) *Zaměřit se na klíčové aktivity, neplytvat zdroji* – vždy bude více práce než časového fondu možných řešitelů. Vybrat správně projekty pro zvýšení výkonnosti pomůže udržet v rovnováze výnosy a náklady.
- c) *Dotahovat aktivity do konce* – nepřeskakovat z aktivity na aktivitu. Vytvořit pravidelný cyklus revizí progresu realizovaných aktivit nám v tom může pomoci.
- d) *Hledat způsob, jak nabídnout vyšší hodnotu pro zákazníka* – udržet důvěru ve vlastní inovační proces je jednou z cest, jak redukovat klesající nové objednávky. Začít lépe komunikovat o skutečných problémech zákazníka může být úplně první krok.

Forem zlepšování je celá řada:

- KAIZEN
- KVP2 (ze zkratky Kontinuierlicher Verbesserungsprozess, 11-krokový model)
- Six Sigma
- TOC – Theory of Constraints (teorie omezení)
- Workshop Quick Win Week (týden rychlých výher)
- Projektové řízení

Jestliže slévárna nemá implementovanou žádnou z těchto forem zlepšování, resp. je nefunkční, tak se nabízí správnou implementací zvýšit o 20 % efektivitu hospodaření.

4. SIX SIGMA

V kapitole se soustředíme pouze na popis nejčastějších problémů a jejich řešení, viz tabulka.

Fáze	Chyba	Důsledek - riziko	Řešení
DEFINE – Definování projektů, jeho rozsahu a cílů	Velký počet zahájených projektů	Zahlcení pracovníků a riziko vzniku množství chyb	Vybrat prioritní projekty v návaznosti na strategické záměry firmy
	Pasivní převzetí projektového záměru	Rezignace na cíle; frustrace členů týmu	Důsledná analýza zadání (blackbelt s odběratelem a sponzorem)
	Nesprávně stanovené cíle	Potřeba změn; plýtvání zdroji	Zpřesnění cílů po analýzách
	Podcenění složení projektového týmu	Nutnost měnit členy týmu během projektu	Sponzor a blackbelt navrhuji složení týmu
	Chybějící harmonogram projektu	Nerovnoměrné vytížení prací na projektu – opožděné ukončení	Definovat jasný harmonogram celého projektu a řídit se podle něho
	Opomenutí prvních etap projektu	Realizace nepromyšlených řešení	Disciplinovaně vykonat úvodní etapy projektu
MEASURE – Měření současné úrovně výkonnosti	Výběr velkého objemu dat	Můžeme se ztratit v měřeních a odklonit od cílů projektu	Výběr hlavního představitele v návaznosti na ukazatele projektu
	Používání neaktuálních dat	Nesprávné výstupy projektu; zmařená práce	Používat jen korektní a ověřená data
	Nejednotný sběr údajů	Nekorektní data; zamotání se v měřeních	Data musí být sbíraná stejným způsobem a ideálně těmi samými lidmi
	Nejasné definování veličiny	Slovní popis může mít vícero významů – nejasnost měření	Kvantifikace: délkové časové, hmotnostní, specifické, procentuální... metriky
ANALYSE – Analýza problému a určení hlavních příčin	Podcenění potřebných analýz z důvodu nedostatku času	Nedůsledné a nevyužitelné analýzy pro další zlepšování a realizaci řešení	Rovnoměrné rozdělení úloh na analýzách pro každého člena týmu
	Nesprávný poměr analýz k syntéze	Nedostatek času na řešení	Paretovo pravidlo 80/20
	Uspokojení se s prvotní příčinou	Výsledek může být jen povrchním, a ne systematickým řešením	Hledat skutečnou kořenovou příčinu problému
	Skeptický přístup k zjištěným příčinám	Ztráta energie pro pokračování v řešení	Uvědomit si „nalezená příčina“ = příležitost k zlepšení
	Nevyužívání sedláckého rozumu	Zahlcení různými analýzami, metodami a postupy; ztráta orientace	Nakreslit na flipchart současný stav, budoucí stav a diskutovat s využitím logického myšlení
IMPROVE – Zlepšení/Opatření	Soustředění se jen na jedno nebo dvě řešení	Nenašli jsme nejlepší řešení; nejistota odběratele	Vygenerovat vícero variant řešení splňujících cíle projektu
	Dělat kompromisy vůči návrhu	Tlak realizátorů na požadavky	Společné hledání řešení s realizátory
	Rezignace při prvních neúspěších	Ohrožení celého projektu	Operativní změny; nová řešení

	Nehledání skutečných novátorských řešení	Uspokojení se s jednoduchými řešeními a menšími benefity	Využívat plnohodnotně čas určený na projekt; využití inovačních technik
	Slabá příprava pilotu	Možné selhání řešení	Stejná pozornost při pilotu jako v jiných etapách
	Uspokojení se s výsledky z pilotu	Možné problémy při plném provozu	Zodpovědnost projektového manažera za projekt i při plném nasazení
CONTROL – Sledování a řízení procesu a zabezpečení trvalého udržení zlepšení	Věnuje se slabá pozornost návrhu realizace	Zpoždění realizace nákladné korekce	Návrh realizace musí být simultánní a integrovaný s návrhem řešení
	První neúspěchy brzdí celý projekt	Zpoždění realizace nákladné korekce	Rychlé vyřešení neúspěchů, nebo nalezení nových řešení
	Projekt je ukončený a zákazník s ním má problémy	Dodatečné zdroje, nespokojenost	Projekt je ukončený až když dosáhl cíle podle zákazníka
	Odevzdání výsledků zákazníkovi je unáhlené	Problém s novými postupy	Zákazníkovi musí být odevzdané nové řešení ve zvládnutelné formě
	Efektivnost projektu se nerovná efektivnosti řešení	Částečná splnění cílů projektu	Důsledná kontrola splnění všech cílů projektu
	„Zaprášení“ dokumentace projektu	Návrat ke starým neefektivním postupům	Uvedení nových postupů do života, v prvních etapách zavést systém drobných auditů

5. KATA

O příčinách výkonnosti společnosti Toyota existuje obrovské množství známých poznatků a různé organizace po celém světě se snaží různé formy zlepšování (postupy a principy) implementovat ve svých podmínkách. O úspěšnosti lze polemizovat. Všechny viditelné systémy a metody štíhlé výroby jsou pouze taktické nástroje, skutečně strategický je způsob myšlení a práce s lidmi. Existuje něco jako soubor základních vzorců myšlení a jednání, který popsal ve svých přednáškách a publikaci M. Rother [2]. Uvádí, že bohužel nemáme v hlavě od narození rutinní postup, jak systematicky zlepšovat. Mentální procesy se dají trénovat. Náš mozek sice není sval, který můžeme vytrénovat, ale stále je to fyzický orgán. Jako takový se časem mění podobně jako svaly. Když náš mozek trénujeme, vytvářejí se nové neuronové spojení a náš mozek se učí. Tato spojení se neustále mění podle našich zážitků a zkušeností.

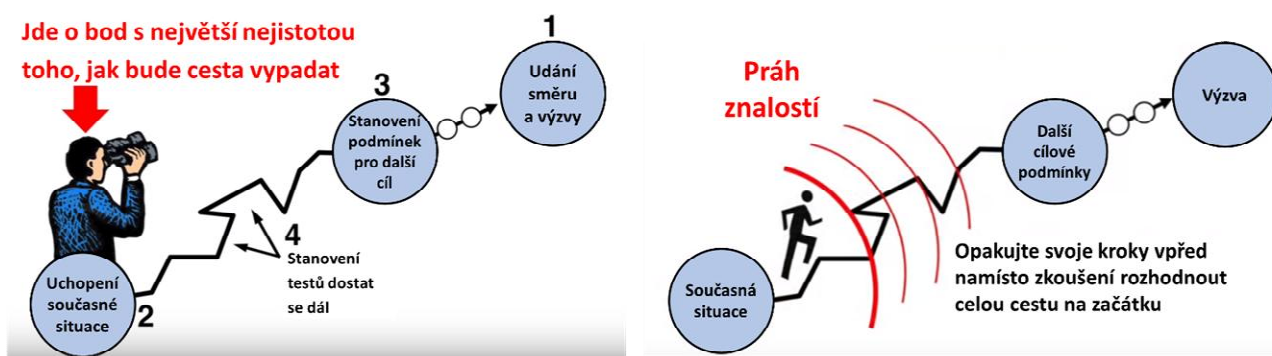
Takže cokoli jsme si v životě vícekrát vyzkoušeli, okoukali, že se stalo opakovaně kolegům či okolí, tak si to mozek zakóduje jako strategii a stane se to instinktivní. Je potřebné něco zlepšit? OK. Musíme to hlavně *přežít*, a proto mozek nabídne rychlé řešení. Má přirozenou tendenci přicházet s řešeními založenými na našich minulých zkušenostech, postojích a předsudcích. V realitě proto často odpovídá, že **se to nedá**, že **to nejde**. Objevuje se rezistence ke změnám. Alternativně nám nabízí automaticky řešení největších negativ, symptomů, a ne kořenových příčin. Takto se dají dobře pochopit postoje dělníků při nových požadavcích na hale, specialistů při konfrontaci s novým přístrojem na trhu nebo ředitele slévárny, když má osobně podpořit zavedení Six Sigma.

Konkrétně při zlepšování, máme sice znalost, jak to dělat, například prostřednictvím cyklu PDCA, ale ne rutinní dovednost. Toyota KATA je účinným způsobem, jak to zvládnout. Skládá se z modelu KATA ZLEPŠOVÁNÍ, který představuje rutinní postup pro systematické zlepšování a modelu KATACOACHING, který umožňuje efektivně trénovat správný postup zlepšování. Kombinací obou modelů jsou firmy schopné měnit chování lidí ve firmách, aby začali víc myslet a

jednat "Outofthe box", aby byli víc otevření novým myšlenkám. KATA mění manažerský styl z operativy ke strategii. Od pohledu zpět směrem dopředu.

Takže pokud chce organizace profitovat z neustálého zlepšování a rozvoje, potom potřebuje rutiny, systematické postupy či metody, které jí umožní využít schopnosti lidí.

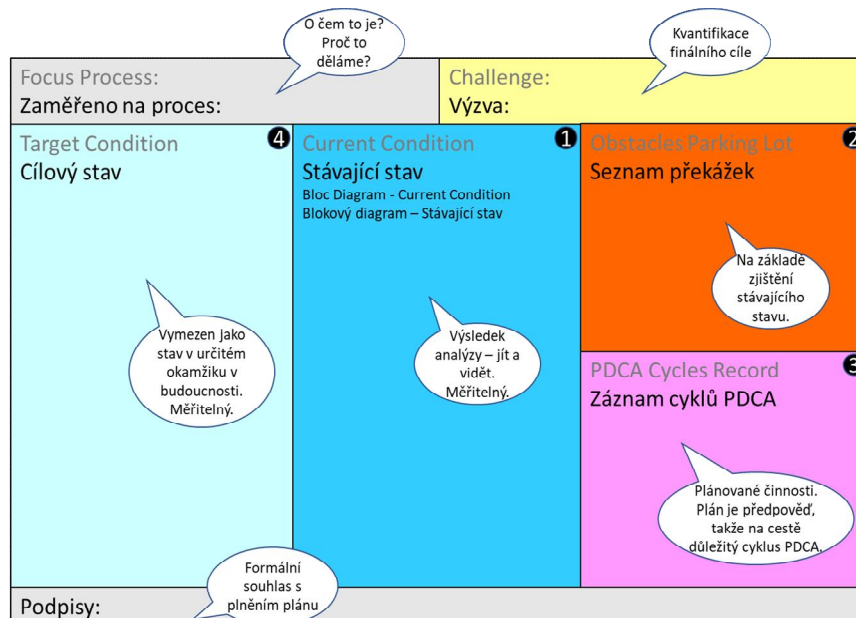
V příspěvku se lehce dotkneme KATA zlepšování. V Toyotě se při zlepšování vždy začíná bodem č. 1, označeném na **obr. 2**, tj. nejprve definujeme výzvu, konečný cíl. Následně se musí precizně uchopit současná situace, krok 2. Poté stanovení dílčího cíle (cílového stavu), na který jsme schopni dohlédnout, kam sahají naše znalosti, krok 3. Cílový stav obecně zahrnuje následující informace: kroky, sekvence a doby procesu; charakteristiky procesu; ukazatele průběhu procesu; ukazatele výstupu procesu. Až poté začneme experimentovat, přičemž využíváme cyklus PDCA. Celý dílčí cyklus je relativně krátký, záměrně. Proces má být dynamický. Zásadní je se z „experimentů“ poučit a důsledně zůstat v kurzu cílové vize, kvůli překážkám neodbočovat a hlavně se nezastavit.



Obr. 2. Čtyři kroky na „schodišti“ vědeckého zlepšování KATA

Obr. 3 popisuje dokument sloužící k záznamu 4krokového zlepšování. Jednostránkový dokument musí být dostačující vše zásadní stručně a výstižně zaznamenat (i dokumentace má být štíhlá). Vyhneme se riziku pouze při ústním sdělení, kdy vzniká tendence se vyjadřovat jen k tomu, co si lidé myslí, že chce manažer slyšet. V případě A3-Kata je o „příběh“ vycházející z dat. Uspořádání dokumentu podněcuje způsob „pěti otázek“, jakým směrem postupuje Toyota k dosažení cílového stavu, když jsme na „schodišti“:

1. Jaký je cílový stav? (výzva)
2. Jaký je stávající stav?
3. Jaké překážky Vám brání dosáhnout cílového stavu? Kterou z nich právě řešíte?
4. Jaký je Váš další krok? (začátek dalšího cyklu PDCA)
5. Kdy můžeme jít a vidět, co jsme se díky tomuto kroku dozvěděli a naučili?



Obr. 3. Příklad dokumentu A3 Kata

6. ZÁVĚR

Strategickým záměrem programu kontinuálního zlepšování je vyšší spoluúčast pracovníků, jejich vzdělávání a hmotné a nehmotné přínosy. Je třeba si uvědomovat, že při osvojování si nových technik především znamená, že se člověk musí naučit něco, co až doposud nedělal a že jiná efektivní cesta k cíli nevede. Tým slévárny musí zlepšit schopnosti systematicky řešit problémy a být inovativní. Největší překážkou zlepšování je, že jsme lidi nenaučili dovednost zlepšovat. Dostali školení a nechali jsme je „plavat“. Tudíž je nutné změnit svůj manažerský styl, začít být více trenérem. Tím se manažeři zbavují velké části operativy a stresu.

Přístup „to stačí“ je přesný opak „dělat to jinak“ a je na každém, co si zvolí.

LITERATURA

- [1] webové stránky <https://www.ipaslovakia.sk/>
- [2] ROTHER, M.: *Toyota KATA*. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, 2017, 288 s.
- [3] GRZINČIČ, M.: Budování excelence ve slévárenském prostředí. *Slévárenství LXVI*, 11-12 2018, s. 452–463.

Problematika motivace pracovníků a nákladovosti tekutého kovu (Projekt XIX)

Sýkora, M.⁵⁾, Závřbská, M.¹⁾, Kafka, V.⁶⁾, Carbol, Z.²⁾, Herzán, M.⁸⁾, Lána, I.³⁾, Mazur, T.⁵⁾, Mrózek, M.⁴⁾, Pělucha, B.⁷⁾, Turoň, L.⁴⁾, Novobilský, M.⁴⁾, Opler, A.²⁾

¹⁾HAMAG, spol. s r.o., ²⁾Heavy Machinery, a.s., ³⁾SLÉVÁRNA A MODELÁRNA NOVÉ RANSKO, s.r.o., ⁴⁾SLÉVÁRNY TRINEC, a.s., ⁵⁾VÍTKOVICKÉ SLÉVÁRNY, spol. s.r.o., ⁶⁾RACIO & RACIO, ⁷⁾Metalax, Frýdlant nad Ostravicí, ⁸⁾Brno

Klíčová slova

Motivace, firemní kultura, neúplné vlastní náklady, náklady na tekutý kov

Abstrakt

Příspěvek stručně představuje Projekt XIX, který je dalším v řadě projektů řešitelského týmu OK ekonomické ČSS. V úvodu je popsána výchozí situace projektu a jeho cíle. Od roku 2000 řešitelský tým prostřednictvím Projektů I–XVIII posuzuje nákladovou náročnost jednotlivých fází výroby odlitků. Aktuální Projekt XIX navazuje na problematiku sledování nákladů výroby odlitků a zaměřuje se na dvě nové oblasti. První je motivace pracovníků, v současné době velmi aktuální téma a druhá oblast je nákladovost tekutého kovu. V části motivace pracovníků je nejprve posuzován současný stav v jednotlivých slévárnách a dále jsou zkoumány optimální způsoby motivace, které by mohly být využity. V druhé části Projektu jsou analyzovány náklady tekutého kovu cestou neúplných vlastních nákladů. Východiskem je sledování výběrových souborů taveb a následné hodnocení technologií včetně návrhů možné optimalizace.

1. ÚVOD

Od roku 2000 odborná komise ekonomická ČSS prostřednictvím Projektů posuzuje nákladovou náročnost jednotlivých fází výroby odlitků. Aktuální Projekt XIX navazuje na problematiku sledování nákladů výroby odlitků a zaměřuje se na dvě nové oblasti. První je motivace pracovníků a druhá oblast je nákladovost tekutého kovu. Vznik a zadání Projektu XIX bylo do jisté míry odlišné od předcházejících projektů, kdy se vždy po absolvování semináře plynule zahájil následující projekt. V případě P XIX se první schůzka uskutečnila až 1. 11. 2018 a náplň řešení včetně vytvoření řešitelského týmu byla také rozsáhle diskutována.

2. VÝCHOZÍ SITUACE PROJEKTU XIX

Do řešení PROJEKTU XIX se zapojili zástupci následujících sléváren: SLÉVÁRNY TRINEC, a.s., VÍTKOVICKÉ SLÉVÁRNY s. r. o. Ostrava, SLÉVÁRNA A MODELÁRNA NOVÉ RANSKO, s.r.o., HAMAG, spol. s r.o., HEAVY MASCHINERY, a.s. A dále jsou členy týmu příslušní odborníci a pracovníci vysokých škol.

3. CÍLE PROJEKTU XIX

Projekt XVIII má za cíl hledání řešení problematiky nákladovosti tekutého kovu a motivace pracovníků ve slévárnách. Cílem práce nebylo žádné rozsáhlé teoretické bádání v oblasti hledání nejvhodnějších metod motivace v slévárnách. Řešitelský tým došel k závěru, že pro slévárny je zásadní seznámit se se stavem uplatňování motivace ve slévárenské praxi a posoudit další možné využití těchto zkušeností v jejich výrobních jednotkách.

V oblasti nákladovosti tekutého kovu se vracíme na začátek projektů před cca 20 lety. Cílem projektu XIX bylo stanovit metodiku posuzování nákladů tekutého kovu cestou neúplných vlastních nákladů. Dále provést sběr výběrových souborů taveb a jejich analýzu. Následně realizovat první zhodnocení technologií včetně návrhů a doporučení.

4. MOTIVACE

Úvodem lze zcela rigorózně konstatovat, že můžeme mít jakkoli efektivní technologie a vypracované pracovní postupy, ale pokud nebudou pracovníci motivováni k jejich plnému využívání, tak přínos bude minimální. Co z toho plyne? Motivace pracovníků je jeden ze základních kamenů efektivního fungování každé slévárny.

Prvním krokem v této oblasti bylo seznámení se s vybranou literaturou [2], kterou mohl řešitelský tým využít jako teoretický základ. Následně jsme přistoupili k seznámení se se stávajícími způsoby motivace v zúčastněných slévárnách. V první řadě jsme tedy provedli ve slévárnách řešitelského týmu „dotazníkovou“ akci, která měla naznačit, jak na „tom v oblasti motivace naše slévárny jsou“.

4.1 Stávající používané způsoby motivace ve slévárnách

„Dotazníková“ akce naznačila, že prakticky všechny zúčastněné slévárny nabízejí svým pracovníkům dosti rozsáhlé benefity. Řešitelský tým po diskusi v této oblasti dospěl k závěru, že benefity se v současné době považují téměř za samozřejmost. Skladba a rozsah poskytovaných benefitů je motivující spíše pro nově přicházející zaměstnance. Dále bylo zjištěno, že v některých slévárnách si zaměňují existenci benefitů s motivačními nástroji.

V dalším kroku jednotlivé zastoupené slévárny provedly shrnutí současných způsobů motivace ve svých jednotkách. I když způsoby motivace v jednotlivých slévárnách nebyly popsány do stejné hloubky, můžeme konstatovat dosti odlišné nazírání na motivaci. Dále je třeba uvést, že velká část členů řešitelského týmu se na zadaný úkol dívá zejména pohledem odměňování pracovníků a jejich benefitů. Například jedna ze sléváren si rozdělila své motivační faktory do tří skupin „pozitivní, neutrální a negativní“. U řady motivačních faktorů podrobně zdůvodnili jejich zařazení. Jiná slévárna si rozdělila motivační faktory na „finanční a nefinanční“ a k hodnocení zvolila pětistupňovou stupnici. Při pokusu o rámcové porovnání obou sléváren pojmenovaných opatření jsme zjistili, že minimálně z poloviny se shodují. Očekáváme, že shoda bude vyšší, poněvadž některá motivační opatření jsou definována velice volně a dále, že další nejsou vůbec uvedena, poněvadž se daná slévárna může domnívat, že do motivace nepatří. Na druhé straně bylo zjištěno, že některé slévárny mají skutečně zavedený a poměrně propracovaný systém motivace v celém provozu, který funguje dlouhodobě a přináší výsledky. Shrnutí stávajícího stavu motivace v jednotlivých zúčastněných slévárnách je součástí zprávy P XIX.

4.2 Hledání nových „optimálních“ motivačních postupů

V dalším kroku byl řešitelský tým vyzván k posouzení získaných motivačních informací ze sléváren s cílem pokusit se hledat návrhy dalšího postupu v zavádění účinných způsobů motivace. Jednotlivé motivační náměty, ke kterým řešitelský kolektiv během práce na projektu dospěl, jsou součástí závěrečné zprávy P XIX.

Například jedna ze sléváren vypracovala návrh systému odměn: 20 % odměny na základě rozhodnutí vedoucího pracovníka a 80 % odměny stanoveno dle objektivních a měřitelných kritérií-ukazatelů. Prvním krokem bylo stanovení prémiových ukazatelů. Každý úsek (profese) dostala přiděleny prémiové ukazatele, podle kterých bude odměňována. V druhé fázi budou ke každému ukazateli stanovené přesné podmínky vzniku nároku na odměnu a její výši:

- jaké hodnoty má ukazatel dosáhnout, aby vznikl nárok na odměnu,
- jak bude forma odměny – % z daného základu nebo v Kč,
- jaká bude periodicita odměny.

Tato fáze bude náročná a bude vyžadovat účast všech vedoucích pracovníků. Bude potřeba stanovit kritéria, která mají vypovídající úroveň. Jejich získání nebude administrativně náročné.

4.3 Závěr bloku motivace

Závěrem je třeba připomenout, že základ práce řešitelského týmu byl v kvalifikované diskusi k připraveným materiálům. Při této diskusi se došlo k názoru, že zásadní podmínkou zavádění a zejména uplatnění motivačních opatření je vhodná firemní kultura.

Dále řešitelský tým konstatoval, že pro zavádění jakéhokoli způsobu motivace je obecně vhodné zohlednit následující:

- Spojit motivaci s vhodným zveřejňováním jmenovitých výsledků (zapojení prestiže pracovníků).
- Výsledky hodnocené motivační veličiny (kupř. spotřeby el. energie) vyhlášovat v co nejkratších časových úsecích.
- Nezavádět motivaci najednou v celé slévárně, když pro ni nejsou podmínky. Zavést ji třeba jenom na jednom úseku, kde jsou vhodné předpoklady.
- Zavádění motivace organizovat tak, aby mělo pozitivní ohlas, jak v morálním ohodnocení zapojených pracovníků, tak i v jejich vyšším finančním profitu.

Cílem projektu bylo „seznámit se se stavem uplatňování motivace ve slévárenské praxi a posoudit další možné využití těchto zkušenosti v našich výrobních jednotkách“. Závěrem je třeba říci, že touto prací nepovažujeme problematiku zavádění motivace v slévárnách za vyřešenou. Pouze můžeme konstatovat, že máme do jisté míry „zmapovaný“ současný stav.

5. NÁKLADY TEKUTÉHO KOVU

Druhá oblast, která je řešena v Projektu XIX je nákladovost tekutého kovu, kdy se vracíme na začátek projektů před cca 20 lety. Cílem bylo stanovit metodiku posuzování nákladů tekutého kovu cestou neúplných vlastních nákladů. Dále provést sběr výběrových souborů taveb a jejich analýzu. Následně realizovat první zhodnocení technologií včetně návrhů a doporučení k jejich optimalizaci. Do této problematiky se zapojili zástupci čtyř výrobních sléváren.

5.1 Metodika

Tekutým kovem výrobní proces ve slévárnách začíná a tekutá fáze je nákladově nejnáročnější. Prvním krokem bylo stanovení metodiky. Jako kalkulační jednice byla určena tuna tekutého kovu. Dále byl sestaven kalkulační vzorec, který je tvořen z vybraných nákladů tavby pro příslušný tavící agregát (neúplné vlastní náklady NVN) a to: kovová vsázka, kovové přísady, modifikátory a očkovačla, nekovové přísady, elektrická energii pro tavení a nepřímé náklady jako jsou analýza kovu, měření teploty, chladicí voda, pohon čerpadla, odsávání, mzda osádky, výduska kelímku a je doplněn i o naturální ukazatele. Výsledná hodnota je vyjádřena v Kč/t tekutého kovu (viz **tab. 1**).

Tabulka 1. Kalkulační vzorec NVN

ÚDAJE PRO SLEDOVÁNÍ TAVEB								
1	č. tavby sledování					1		
2	č. tavby tavební list					28023		
3	Datum					14.01.2019		
4	Den (1,2,3,4,5,6,7)					1		
5	pec č.					1		
6	jakost					422420		
7	Směna (R,O,N)					R		
8	Osádka (A,B,C,D)					A		
9	Start (S,T)					T		
10	Údržování (Ano, Ne)					A		
10.a	Čas od posledního vzorku po odpichu min					20		
Náklady								
	1	2	Jednotky	Cena, sazba		Natur. spotřeba (jednotky)		Náklady
				na jednotku		/tavbu	/tunu	skutečnost [Kč/t]
				3	4	5	6	11
11	Kovová vsázka	výpalky	[kg]	7,66	300	143	1 094	
12		tekutý vrat	[kg]	6,60	750	357	2 357	
13		vratný materiál LLG	[kg]	6,40	250	119	762	
14		špony	[kg]	2,30	400	190	438	
15		surové železo Si 0,8%	[kg]	9,99	450	214	2 141	
16		balíky	[kg]	9,10	50	24	217	
17		celkem	[kg]		2 200	1 048	7 009	
18	Kovové přísady	FeMn C	[kg]	26,69	0	0	0	
19		FeSi 75 %	[kg]	35,75	0	0	0	
20		FeMn Af	[kg]	43,53	0	0	0	
21			[kg]		0	0	0	
22			[kg]					
23		celkem	[kg]		0	0	0	
24	Modifikátory a očkovadla:	modifikátor VL 63(o)	[kg]	44,62	0	0	0	
25		očkovadlo Foundrisil	[kg]	53,56	0	0	0	
26		očkovadlo FeSi 75 %	[kg]	35,75	4	2	68	
27			[kg]					
28		celkem	[kg]		4	2	68	
29	Nekovové přísady	silikokarbit (SiC)	[kg]	19,45	30	14	278	
30		nauhličovadlo	[kg]	21,93	16	8	167	
31			[kg]			0	0	
32			[kg]					
33		celkem	[kg]		46	22	445	
34	Kov. vsázka, modifikátory, očkovadla, kov. a nek. přísady celkem			[kg]			7 522	
35	Elektrická energie	celkem	[kWh]	2,50	737	351	877	
36	Nepřímé náklady	analýza kovu	[počet]	172,00	2,0	1,0	164	
37		měření teploty	[počet]	47,22	7	3,3	157	
38		chladící voda	min	0,77	70	33	26	
39		pohon čerpadla	min	0,15	70	33	5	
40		odsávání	min	1,35	70	33	45	
41		mzda osádky	min	5,05	70	33	168	
42		výduska kelímku	min	11,72	70	33	391	
43		celkem					956	
44	Neúplné vlastní náklady tavby						9 355	
Naturální ukazatele								
45	Hmotnost tekutého kovu tavby		t		2,10		2,10	
46	Předváha		kg/t				1048	
47	Doba tavby		min				70	
48	Analýza závěrečná	C	%				3,1	
49		Mn	%				0,73	
50		Si	%				1,87	
51		P	%				0,028	
52		S	%				0,014	
53		Mg	%				0	
54	Teplota: lící		°C				1328	
55	odpichová		°C				1380	

5.2 Sběr dat pro výběrové soubory taveb

Dalším krokem bylo stanovit podmínky sběru dat:

- Tavicí agregáty: indukční kelímkové pece.
- Sledovaná jakost: LLG (EN GJL-200), LKG /EN-GJS-400).
- Výběrový soubor: min 30-50 taveb.
- Zdroj dat: tavební listy (hmotnost vsázky a přísad zjištěna vážením).
- Výpočet nákladů a pomocných údajů: použit Excel.

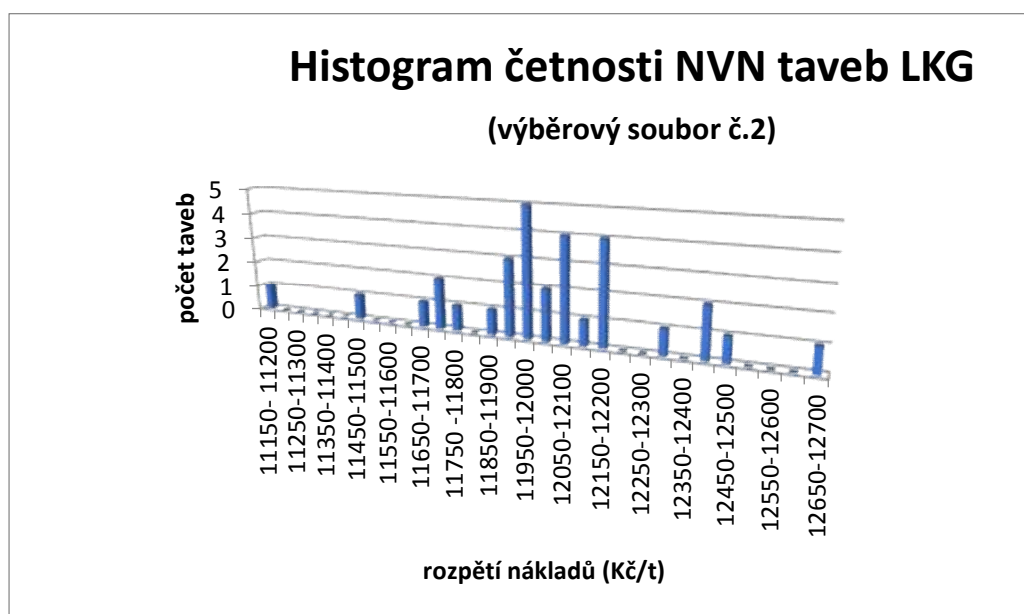
Zúčastněné slévárny (A, B, C) používají indukční pece. Slévárna A používá 2*6 t pece s kyselou výduskou. Slévárna B používá 2*2 t pece s neutrální výduskou, slévárna C používá indukční pece 2*4 t s kyselou výduskou.

Informace o spotřebě surovin pro tavení se získávaly z tavebních listů. Další hodnoty potřebné ke kalkulaci jako spotřeba chladicí vody, pohon čerpadla, odsávání, které jsou závislé na době tavby a spotřebě, slévárny sledují v interní evidenci. Pokud slévárna neneviduje potřebné informace, tak byla použita vytvořená metodika k jejich stanovení. Mzda osádky je vypočtena hodinovým průměrem, kde jsou započtení pouze taviči podílející se na tavení. Podrobná charakteristika sběru dat je uvedena v zprávě Projektu XIX.

5.3 Analýza výběrových souborů

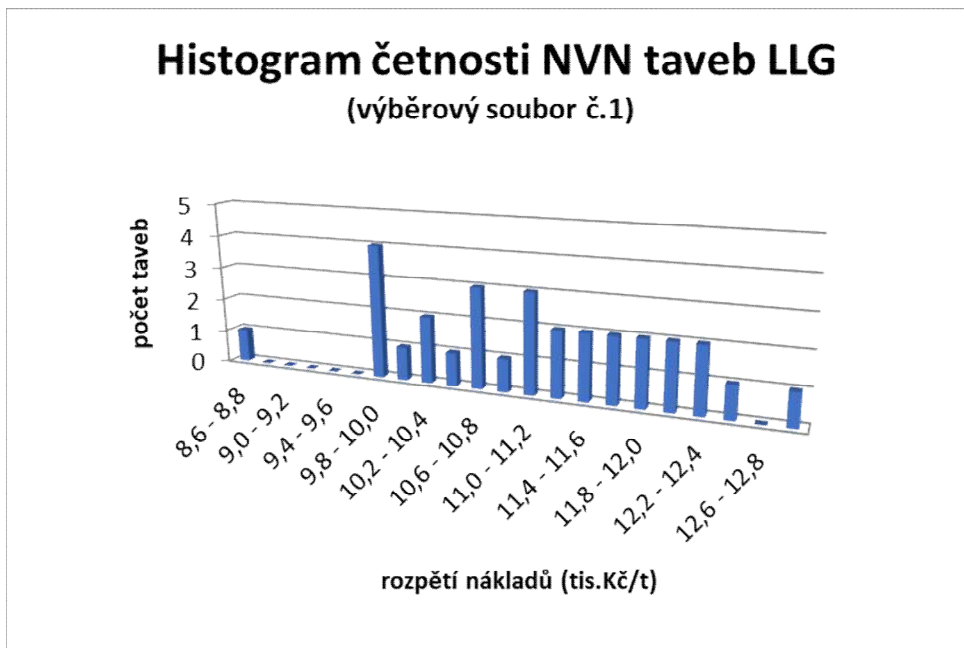
Následně byla provedena analýza výběrových souborů pomocí základních metod matematické statistiky. Byl vypracován histogram četnosti NVN, doby tavby, spotřeby el. energie, předváhy, apod. K posouzení vlivu dílčích faktorů na náklady byly zkoumány závislosti: NVN tavby na době tavby, na předváze, na spotřebě elektrické energie. Bylo použito pravidlo: posuzovaná závislost je statisticky významná pokud koeficient $R_{skut} > R_{krit}$.

Podrobná analýza výběrových souborů je zahrnuta v zprávě Projektu XIX. V následujícím **obr. 1-2** je ukázka výsledků analýzy výběrových souborů.



Obr. 1. Histogram četnosti NVN taveb LKG

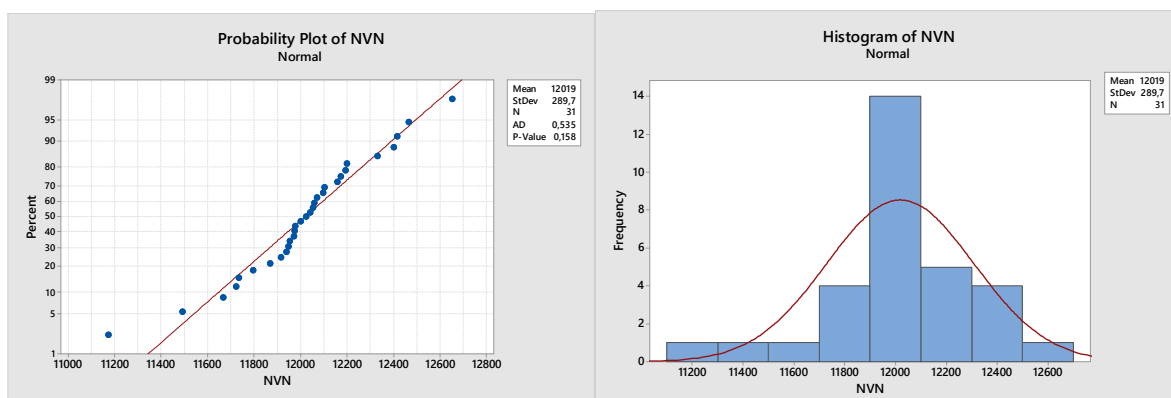
Histogram četnosti NVN (jakosti LKG) ukazuje variační rozpětí menšího rozsahu (11 200-12 600 Kč/t). Naznačuje přiblížení Gaussovu normálnímu rozdělení.



Obr. 2. Histogram četnosti NVN taveb LLG

Histogram četnosti NVN (jakosti 422420, LLG) ukazuje rozsáhlé variační rozpětí 8 600–13 000 Kč/t. Výběrový soubor nenaznačuje přiblížení ke Gaussovu normálnímu rozdělení.

Dále bylo provedeno statistické zpracování souboru dat naměřených při sledování nákladů na tekutý kov v programu MINITAB. Ukázka výsledku viz **obr. 3**, kde je uveden test rozdělení u souboru NVN slévárny, kde se sledovaly náklady na LKG. Soubor má normální rozdělení P Value = 0,158. Směrodatná odchylka souboru činí $s = 289,7$. Při zvolené hladině pravděpodobnosti lze očekávat rozptyl hodnot $\pm 379,4$ Kč/t. Lze předpokládat náhodnou chybu NVN. Závěrem můžeme konstatovat, že technologie výroby je dodržována a interval spolehlivosti výsledků je použitelný.



Obr. 3. Test na normální rozdělení souboru taveb LKG

5.4 Hodnocení technologie a návrhy úsporných opatření

Dále bylo provedeno posouzení jednotlivých technologií v zúčastněných slévárnách a následně vypracovány návrhy možných opatření za účelem snížení nákladů na výrobu LLG200 a LKG400.

5.4.1 Příklady návrhů úsporných opatření – jakost LLG200

- Nahradit používané drahé surové železo (SŽ) s nízkým obsahem Mn, P, S levnějším běžným ocelářenským SŽ s vyšším obsahem Mn a S. Vyšší obsah S v litině pak v relaci s Mn vytvoří optimální podmínky k tvorbě krystalizačních zárodků pro následné grafitizační očkování litiny.
- V případě výroby nenáročného sortimentu odlitků lze za jistých metalurgických opatření uvažovat i o snížení množství SŽ ve vsázce na 20 % resp. 15 % (jsou slévárny, kde se vyrábí zcela syntetická litina, bez SŽ).
- Nejen pro příznivý před-očkující efekt SiC, ale i pro potřebu legování litiny křemíkem používat metalurgický karbid křemíku SiC (silikokarbid). Nepoužívat vysoce koncentrovaný silikokarbid (98 % SiC), ale metalurgický SiC s obsahem 84–86 % SiC. Takový SiC obsahuje potřebné nečistoty (zejména volný SiO₂), které zpomalují rozpouštění SiC v tavenině a zvyšují tak jeho před-očkující účinek. SiC se při teplotách roztavené litiny netaví, ale rozpouští, tzn. (sadí se s pevnou vsázkou).
- Nepoužívat NP s nízkým obsahem S, která je vhodná pro výrobu LKG (především nízký obsah S v této NP je příčinou její vysoké ceny), ale raději používat NP s vyšším obsahem S. Jak již je zmíněno výše, pro výrobu LLG potřebujeme taveninu s vyšší obsahovou hladinou S pro zajištění potřebné relace mezi Mn a S k vytvoření dostatečného počtu krystalizačních zárodků v tavenině ($Mn = 1,7 \% S + 0,3$). Pro LLG je výhodnější použít NP na bázi petrolkoku resp. levnější antracit (do vsázky).
- Snažit se o takové uspořádání taveb vyráběných jakostí na EIP, aby bylo možno snížit hmotnost tekutého zbytku ve vsázce EIP. Umožní to snížit celkové provozní náklady na výrobu tekutého kovu.
- Pokud to provozní podmínky umožní, pak tavby předmětných litinových jakostí provádět v kyselých kelímcích EIP. Také toto opatření umožní snížit náklady na tavení.

5.4.2 Příklady návrhů úsporných opatření – jakost LKG400

- Používat silikokarbid jako dílčí náhradu za FeSi75 i při výrobě tvárné litiny (je levnější legující přísadou Si).

5.5 Realizovaná úsporná opatření

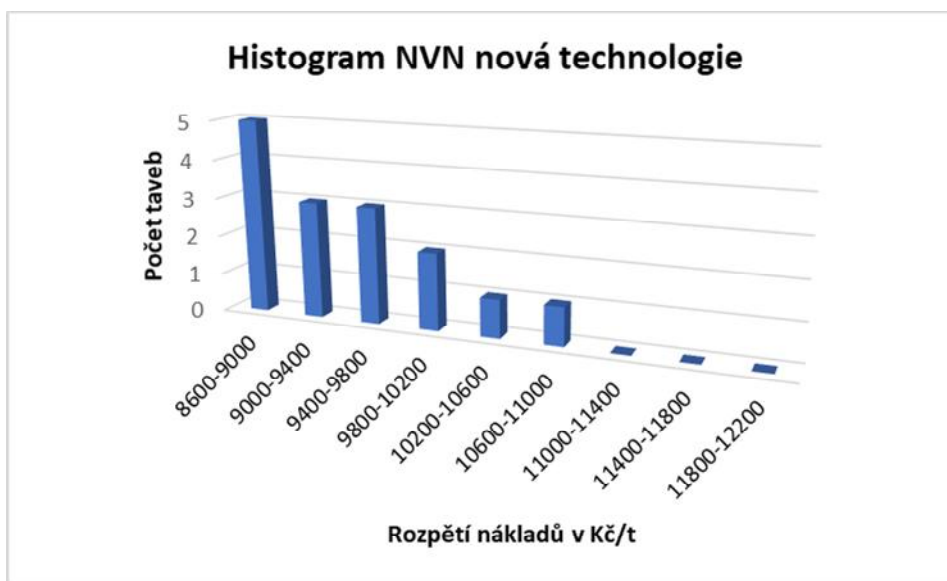
Na základě doporučení byla některá opatření realizována např. snížení množství SŽ na 20 % u jakosti LLG a to změnou technologického předpisu.

Tabulka 2. Předpis pro výrobu LLG ve slévárně "B"

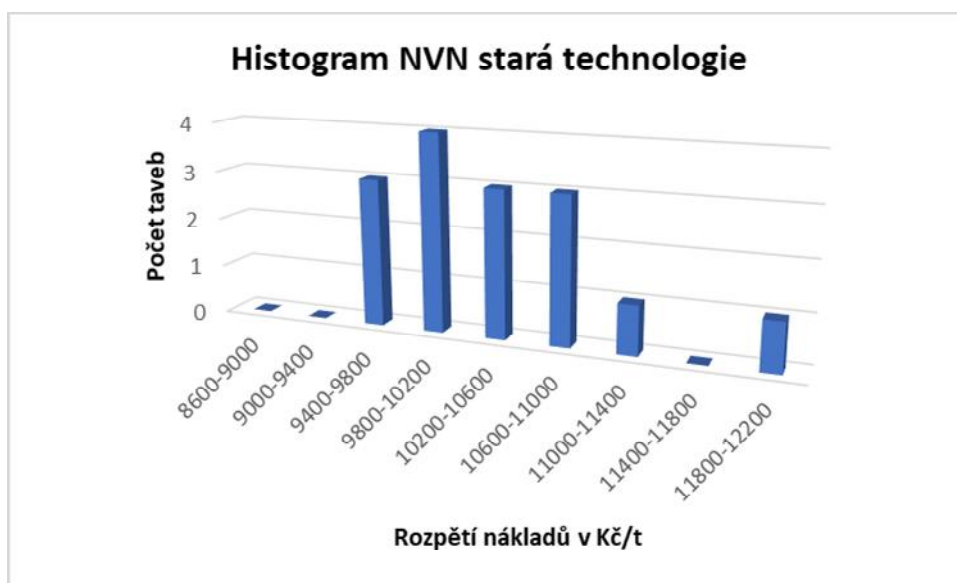
Nový předpis			Starý předpis	
Priorita	Vsázka	%	Vsázka	%
1.	Surové Fe	20	Surové Fe	40
2.	Špony	30	Špony	20
3.	Vrat z výroby	15	Vrat z výroby	15
4.	Výpalky	35	Výpalky	25
5.	SiC	1	FeMnC	0,6
6.	Nauhličovadlo	0,7	Nauhličovadlo	0,8
7.	FeSi	0,15	FeSi	1,6

V novém předpise je snížení SŽ ze 40 % na 20 %. Zvýšení množství špon z 20 % na 30 %. Zvýšení množství výpalků z 25 % na 35 % a tím i eliminaci legování Mn. Zavedení legování pomocí levnějšího SiC a snížení množství očkovačla na 0,15 % Si z FeSi75%. Teoretická úspora činí 1 508 Kč/t. Pro ověření funkčnosti vypracovali ve slévárně B soupisku 30 taveb jakosti

LLG300, kde bylo 15 taveb podle předpisu starého a 15 dle nového. Změřená úspora činila 613 Kč/t na vsázce a 905 Kč/t NVN. Snížení nákladů po změně technologického předpisu zachycuje obr. 4–5.



Obr. 4. Histogram NVN LLG nový předpis



Obr. 5. Histogram NVN LLG starý předpis

Navrhnutá úsporná opatření a jejich případná realizace je podrobně zpracována ve zprávě Projektu XIX.

5.6 Slévárna s odlišnou technologií výroby

Členem řešitelského týmu je i ocelárna D, kde je technologie výroby odlišná od ostatních zúčastněných sléváren. Používá elektrickou obloukovou pec (EOP) a disponuje sekundární metalurgií, která se skládá z pánvové pece LF a vakuového zařízení VD. Na základě odlišné technologie byla upravena metodika stanovení nákladů tekutého kovu. Byla provedena modifikace kalkulačního vzorce a také změněny podmínky pro sběr dat, kde byla určena sledovaná jakost G20Mn5. Na základě sběru dat byly zpracovány dva výběrové soubory a provedeno hodnocení technologie včetně návrhů k její optimalizaci. Podrobné shrnutí je uvedeno v zprávě P XIX.

6. ZÁVĚR

Projekt XIX volně navazuje na problematiku sledování nákladů výroby odlitků a zaměřuje se na dvě nové oblasti „motivace pracovníků a nákladovost tekutého kovu“. Prvním cílem bylo seznámit se „se stavem uplatňování motivace ve slévárenské praxi a posoudit další možné využití těchto zkušeností“. Druhým cílem Projektu bylo posoudit nákladovost tekutého kovu cestou neúplných vlastních nákladů. Předpokládáme, že stanovené cíle Projektu XIX budou splněny. Závěrem je třeba říci, že touto prací nepovažujeme problematiku motivace a nákladovosti tekutého kovu za vyřešenou. Vzniká předpoklad pokračovat a hledat řešení těchto oblastí. Otázkou je však složení řešitelského týmu a směr, kterým bude tato problematika řešena.

LITERATURA

- [1] KAFKA, V., HERZÁN, M., JELÍNEK, P., KŘÍŽ, J., LÁNA, I., LASÁK, R., MIČA, R., NOVOBÍLSKÝ, M., OBRTLÍK, J., ŠPIČKA, I., TYKVA, T., ZÁVRBSKÁ, M.: Vývoj nákladového hodnocení apretace odlitků (VII. etapa), závěrečná zpráva, PROJEKT XVIII, prosinec 2017, ČSS Brno, s. 1–54, 8 příloh, CD ROOM.
- [2] TOMAN, I.: Motivace zvenčí jako smrad, 2. vydání, Praha 2010, s. 1–191.

Zhodnocení změn po prvním roce působení ve funkci ředitele firmy KOVOLIT ČESKÁ spol. s r.o.

Vítám vás, R.

KOVOLIT Česká, spol. s r.o., Česká 16, 664 31 Lelekovice, vitamvas@kovolitceska.cz

Klíčová slova

Rizika, přijatá opatření, investice, motivace

Abstrakt

Práce se zaměřuje na zhodnocení změn provedených ve firmě KOVOLIT Česká spol. s r.o., které jsou způsobené příchodem nového ředitele a jeho odlišným pohledem na vnitřní procesy, objem investic, motivaci pracovníků spojené s netradičními způsoby řízení vzhledem k minulému způsobu řízení. Cílem těchto změn je stabilizace velikosti tržeb a pracovního kolektivu, zlepšení sociálního klimu podniku při současném návratu ekonomického výsledku do „černých čísel“.

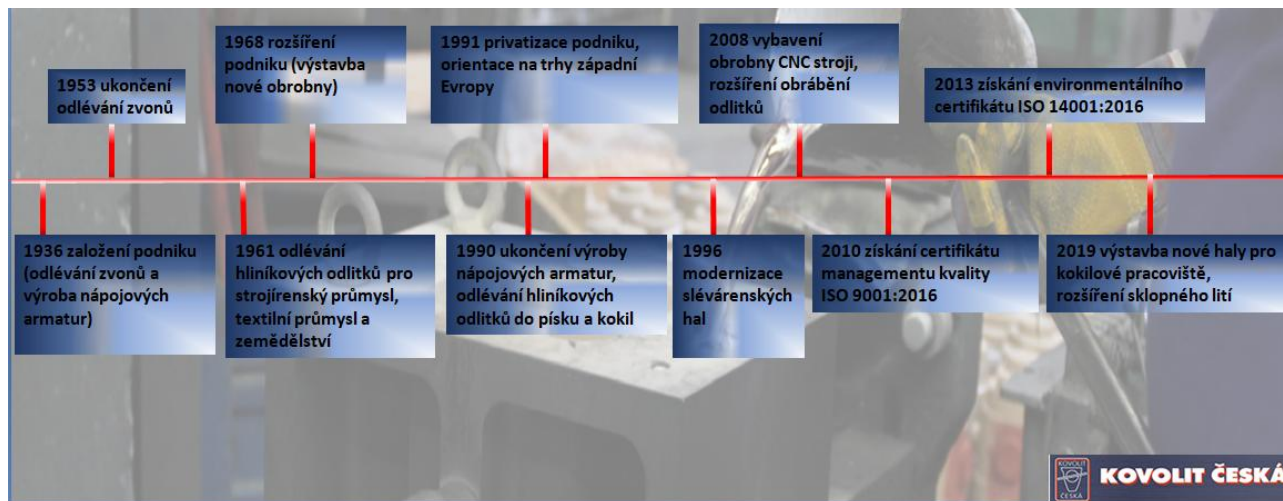
1. ÚVOD

Sociální klima je hodně závislé na prostředí, úrovni vzdělání jednotlivých článků organizační struktury, způsobu vedení a na systému odměňování v souvislosti s dodržováním předem stanovených směrnic. V praxi vždy záleží na každém konkrétním člověku a jeho osobních kvalitách. Někteří lidé mají stabilně vysokou výkonnost, která je dána jejich vysokou výkonovou motivací resp. jejich potřebou úspěchu. Naopak lidé s potřebou vyhnout se neúspěchu se motivují obtížně. Společnost KOVOLIT Česká je výrobním podnikem, a proto je z hlediska výroby vysoce závislá na specializovaných lidských zdrojích. Zároveň je naprosto evidentní, že pokud by neexistoval odbyt, společnost nemůže vyrábět na sklad. Proto je zde též kladen důraz na obchodní úsek, který musí tyto zakázky zajistit. Na základě analýzy vnějšího i vnitřního prostředí a zpracované SWOT analýzy byly připraveny vhodné strategické alternativy pro další fungování firmy. Používaná strategie stanovená na 5 let je kombinovaná, založená částečně na principech strategií Rozvoj trhu a výrobku, sanace/prosperity, v převážně části na principu Strategie nízkých nákladů. Pro sledování vhodných parametrů a vlivu přijatých opatření je možné použít např. metodu BSC nebo některou méně sofistikovanou metodu, vždy založenou na principu jasně stanovených pravidel, stanovení kompetencí, motivační složky a důsledné a pravidelné kontroly.

2. PŘEDSTAVENÍ PODNIKU

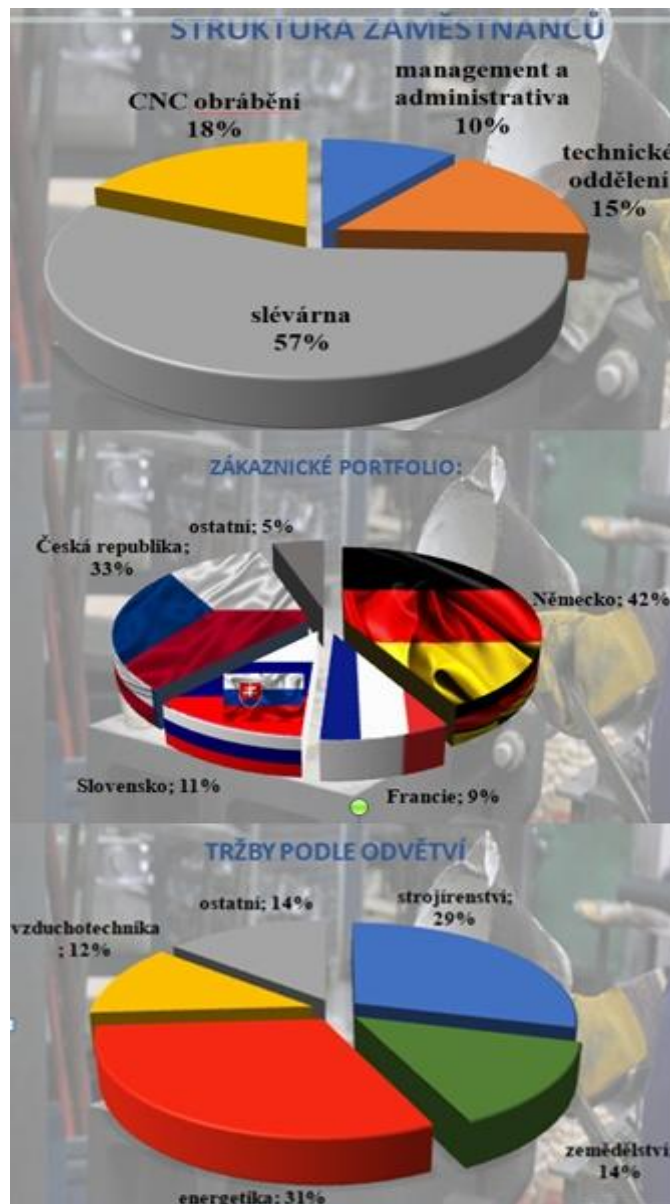
Firma KOVOLIT Česká, spol. s r.o., vyrábí hliníkové odlitky lité ručně gravitačně do pískové formy a do kovové formy - kokily. Historie závodu sahá až do roku 1936, kdy se začalo s jeho výstavbou a následným zahájením výroby nápojových armatur a odléváním zvonů. Odlévání zvonů, zvonařským odborníkem p. Manouškem trvalo až do roku 1953, kdy tato výroba přešla na Zbraslav. Následná výroba nápojových armatur byla ukončena v roce 1990. Právní forma firmy je společnost s ručením omezeným. Tato firma má 3 společníky se stejným podílem (1/3). Společnost vznikla ke dni 27. 12. 1991. Předmětem podnikání je slévárství, modelářství a obrábění. V polovině roku 2018 došlo současně s příchodem nového ředitele i ke změně jednatele, kterým se stal Mgr. Zdeněk Carda, syn jednoho z majitelů.

Historii firmy nám nejlépe dokumentuje následující časová osa.



Obr. 1. Historie a současnost firmy KOVOLIT Česká – časová osa

Veškeré produkty se vyrábí na základě technického zadání od zákazníků. Výroba je realizována z převážné části na vlastních technologiích a částečně formou kooperace na technologiích výrobních partnerů společnosti. Hmotnost vyráběných hliníkových odlitků je v rozmezí od 0,10 kg do 400 kg. Provoz slévárny zahrnuje také výrobu modelů, kokil a jader. Pokud si to zákazník žádá, je podnik schopen zajistit tepelné zpracování, kalení a zkoušky mechanických vlastností materiálů. Integrovaná mechanická dílna se zabývá opracováním odlitků, frézováním, soustružením, broušením, vrtáním, lakováním a výrobou mechanických součástí. Firma pro zajištění kvality používá mimo jiné také vlastní rentgen hliníkových odlitků. Firma má v současnosti 66 kmenových zaměstnanců a 28 až 36 agenturních zaměstnanců (v závislosti na objemu produkce). Strukturu zaměstnanců dokumentuje kruhový diagram na **obr. 2**. V roce 2018 firma dodala svoje odlitky 102 odběratelům, jejich strukturu podle států a odvětví ukazují kruhové diagramy na **obr. 2**. Vývoj inovovaných produktů a procesů probíhá ve společnosti v rámci vlastního vývoje během produktivní činnosti. Potřebné odborné expertízy jsou zadávány vědecko-výzkumnému pracovišti (VUT Brno, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie, Odbor slévárenství).



Obr. 2. Struktura zaměstnanců a zákaznické portfolio fy KOVOLIT Česká

3. SWOT ANALÝZA A OHODNOCENÍ RIZIK

Před nástupem do funkce ředitele jsem si provedl SWOT analýzu založenou na dílčích analýzách, PESTLE, Porterově modelu pěti sil, analýzy 7S, finanční analýzy a benchmarkingu s vybranými konkurenty a odvětvovými průměry. Jejím výstupem byla následující SWOT matice.

Ekonomické výsledky za předešlé roky nebyly příliš pozitivní. Výkaz zisku a ztrát za rok 2017 hovořil dost jasně – ztráta přes 3 mil. Kč při tržbách 109,6 mil. Kč. Výsledky prvního pololetí roku 2018 – ztráta 0,826 mil. Kč při tržbách 53,43 mil. Kč. A to díky 3 týdenní pravidelné letní odstavce – ekonomicky nejhorší měsíce červenec/srpen před námi. Před nástupem do funkce ředitele k 1. 7. 2018 jsem si proto vytvořil matici rizik (uvedenou v následující tabulce), které je potřeba se pokusit eliminovat a vrátit podnik do „černých čísel“. Současně s touto tabulkou jsem si zformoval návrhy možných řešení, která jsou uvedena v následujícím textu.

	POMOCNÉ (k dosažení cíle)	ŠKODLIVÉ (k dosažení cíle)
VNITŘNÍ (atributy organizace)	STRENGTHS (silné stránky) <ul style="list-style-type: none"> • Dobrá likvidita • Bezproblémový přístup ke kapitálu • Stabilizovaný kolektiv zaměstnanců 	WEAKNESSES (slabé stránky) <ul style="list-style-type: none"> • Nízká rentabilita • Nízká diverzifikace výrobků • Nízká produktivita
VNĚJŠÍ (atributy prostředí)	OPPORTUNITIES (příležitosti) <ul style="list-style-type: none"> • Zlepšení logistiky • Posílení obchodního týmu 	THREATS (hrozby) <ul style="list-style-type: none"> • Silná konkurence • Snadná možnost substituce • Nízké přechodové náklady

Obr. 3. SWOT matice fy KOVOLIT Česká – 2017

Tabulka 1. Ohodnocení rizik podniku

Pořadové číslo	Rizikový faktor	Pravděpodobnost (1 min - 10 max)	Dopad (1 min - 10 max)	Ocenění rizika (1 - 100)
1	Nedostatek kvalifikované pracovní síly	9	9	81
2	Nedostatečný objem zakázek	8	9	72
3	Nízká rentabilita	7	9	63
4	Nízká produktivita	7	8	56
5	Neodpovídající cash flow	7	8	56
6	Silná konkurence	8	6	48
7	Snadná možnost substituce	8	6	48
8	Nízké přechodové náklady	8	6	48
9	Nízká diverzifikace výrobků	4	7	28
10	Odchod klíčových zaměstnanců	3	7	21
11	Odchod klíčových odběratelů	3	7	21

Návrh eliminace vybraných rizik podniku

1. Nedostatek kvalifikované pracovní síly – aktuálně podnik trpí nedostatkem zejména na pozici formíř, obsluha CNC z dělnických profesí, které je nutné obsadit v nejkratší možné době. Sloužit by měla i finanční motivace zaměstnanců za zprostředkování kontaktu. Vzhledem k situaci v odvětví a ostatních firmách navrhuji za uskutečnění zprostředkovaného pohovoru částku 500 Kč, a částku 500 Kč za každý odpracovaný měsíc ve zkušební době, tedy max. 2 000 Kč v případě, že nový zaměstnanec zůstane v trvalém pracovním poměru. Dále je potřeba zvážit obsazení pozice obchodní zástupce, THP na pozici správa vzorkování, popř. vedoucí provozu. Záleží na zvolené strategii a ochotě majitelů investovat do nárůstu personálních nákladů. Přednostně posílit dělnické profese, prodiskutovat otázku obchodu.

Přijatá opatření – byli přijati 2 noví formíři, 2 operátoři CNC. Dále byl přijat nový provozní technolog, který kromě jiných úkolů má na starosti správu vzorkování. Pracuje v kombinaci se studentkou 5. ročníku VUT, která je u nás na dvouleté stáži a jejichž téma diplomové práce bylo přizpůsobeno potřebám firmy.

- 2. Nedostatečný objem zakázek** – dle zvolené strategie je potřeba definovat dostatečný objem zakázek při předpokládané ziskovosti (sledovat ROA a ROS). V případě zvolení čisté nebo částečné strategie růstu je nutné v nejkratší možné době přijmout nebo pověřit pracovníka z vlastních zdrojů čistě obchodní činnosti. Je nutné zvážit finanční náročnost tohoto kroku (u nového pracovníka lze předpokládat celkové roční náklady mezi 800–950 tis. Kč) a skutečnost, že pozitivní nárůst objemu zakázek a zisku (díky délce „vzorkování“) se může projevit až v horizontu 2 a více let. A po celou dobu bude muset být daný obchodník placen ze stávajících zdrojů.

Přijatá opatření – byl přijat nový obchodní zástupce na ŽL, byla definována předpokládaná ziskovost a objem zakázek. Byl vytvořen nový kalkulační vzorec pro oceňování nových projektů, který je pouze částí vlastního procesu v kombinaci se srovnávací analýzou současně vyráběných produktů, která je možná díky nově vytvořené digitální databance.

- 3. Nízká rentabilita** – je potřeba provést cenovou kalkulaci po výrobcích a jednotlivých odběratelích. Poté navrhnout nárůst na odpovídající úroveň (je potřeba dohodnout individuálně, v závislosti na objemech a perspektivě dalších objednávek) v jednom či více „skocích“. V případě neshody cíleně zákazníka ponechat jiné slévárně. Zvážit technickou náročnost nových i stávajících odlitků a zkusit kooperaci s jinou slévárnou, ideálně recipročně. Zjistit aktuální stav spotřeby jednotlivých druhů spotřebního materiálu, zhodnotit poměr mezi dělnickými profesemi a THP a dle zvolené strategie ho upravit. Zjistit reálný stav H-skladu, možnosti odprodeje již nevyráběných odlitků i za netržní ceny. V krajním případě vrátit do výroby jako vrat. S vyšší rentability úzce souvisí % zmetkovitosti. U dlouhodobě problematických dílu 100 % RTG kontrola, zejména u výrobku směřující na mechanickou dílnu nebo externí opracování.

Přijatá opatření – byla provedena cenová kalkulace po výrobcích a jednotlivých odběratelích. V závislosti na ziskovosti byla provedená cenová diskuze o stávajících cenách s jednotlivými zákazníky. Jednalo se celkem se 36 zákazníky (tvořících 85 % obratu) o navýšení cen, rámcových a dlouhodobých smlouvách, povinných odběrech skladů, vytvoření konsignačních skladů a vyšší jejich finančního podílu na toto vytvoření. Jednání trvala téměř 4 měsíce, v některých případech i v 6 kolech. Došlo k navýšení cen na části výrobků od 3 do 40 %. S výjimkou 2 zákazníků, kteří trvali na plošném zdražení, se jednalo vždy o diskuze nad cenami jednotlivým výrobků. V jednom případě nedošlo ke shodě a přestali jsme pro zákazníka vyrábět. V kooperaci pro nás začaly pracovat 2 slévárny, jedna s technologií „samotuhu“ (vyšší kvalita povrchu) a jedna slovenská (díky geografické poloze a rychlosti produkce). V rámci zjištění reálného stavu H – skladu byly zjištěny nepohyblivé a neprodejné položky, část byla prodána za netržní ceny, zbytek vrácen do výroby jako surový materiál. Byl přijat třetí zaměstnanec OŘJ, tak aby byl dostatečný prostor k RTG kontrole problematických dílů.

- 4. Nízká produktivita** – vysoký podíl ruční práce a v některých případech žádná motivace k nadvýkonu negativně ovlivňují vyšší produktivity. V cílirně je potřeba zavést normy (po splnění nutných předpokladů), u vybraných pracovníků otevřít otázku motivační složky mzdy. Personální politika podniku by měla být založena na skutečnosti, že bude považovat svoje zaměstnance za jedno ze svých největších bohatství. A vytvořit jim takové podmínky, aby pracovali v příjemném prostředí a za adekvátní plat korespondující se situací na trhu práce. Se zavedením nového systému odměňování (pohyblivé složky platu) by pak pro tento podnik měla být typická snaha udržet si stávající zaměstnance tak, aby nemohlo dojít k prozrazení know-how a nebylo tak nezbytné vynakládat finanční prostředky na školení a zácvik nových spolupracovníků. Zároveň by měla plnit funkci motivační, vedoucí k tvorbě vyšší přidané hodnoty.

Přijatá opatření – došlo k dobrovolnému navýšení platů o pohyblivou složku vyplacenou na základě jasně stanovených, kontrolovatelných a lehce spočítatelných pravidel u převážné části zaměstnanců. V cílirně došlo zatím k zavedení určité formy kolektivní normy, kterou musí splnit, aby dosáhli na svoji pohyblivou složku. K zavedení kolektivní normy došlo z důvodů menší administrativy s tím spojené. A současně si jednotliví zaměstnanci začali „hlídat“ svoje

kolegy, aby měli dostatečnou výkonnost. Po zavedení této normy došlo ke zlepšení výkonnosti o cca 15–18% v rámci celkového objemu výroby.

- 5. Neodpovídající cash flow** – důsledný dozor nad splatnosti faktur odběratelů i dodavatelů (snížení rozdílů v jejich délce). Kontrola velikosti a periodicity jednotlivých objemů dodávek vstupních surovin, stanovení optimální zásoby v závislosti na pružnosti jednotlivých dodavatelů a úspory z velikosti objednávky.

Přijatá opatření – byly prodlouženy splatnosti většiny dodavatelů. Zlepšila se vymahatelnost faktur po splatnosti, jak časově, tak objemově. Byl ponížěn sklad blokového hliníku a stanoveny optimální zásoby jednotlivých vstupních surovin. Došlo k výměně některých dodavatelů.

- 6. Silná konkurence** – důkladná analýza konkurence a situace na trhu.

Přijatá opatření – analýza konkurence a situace na trhu probíhá kontinuálně, částečně z internetových zdrojů, ale přednost je dána návštěvám sléváren hliníku v ČR, na Slovensku a v Německu.

- 7. Snadná možnost substitute** – toto riziko se jen obtížně snižuje, s určitou mírou rizika je nutné počítat a kalkulovat. Je nutné vytvořit dostatečně dobré vztahy s odběrateli, tak aby osobní vazby toto riziko snížily. Pracovat na vytvoření takových podmínek, které by snížily objem zakázek po termínu.

Přijatá opatření – pravidelné osobní návštěvy zákazníku a jejich pobytí v naší firmě posilují důležité osobní vazby. Objem zakázek po termínu se výrazně snížil, u TOP FIVE zákazníků držíme termín dodání blížící se 100 %.

- 8. Nízké přechodové náklady** – důkladná analýza stávajícího stavu, snaha o uzavření dlouhodobých smluv, podmiňovat cenu zaručeným objemem objednávek.

Přijatá opatření – při jednání s klíčovými zákazníky se povedlo domluvit několik rámcových smluv, většinou ročních, ale i v trvání 2 nebo 3 let navíc s domluveným meziročním nárůstem cen. U vybraných zákazníků současně s navýšením cen došlo k zavedení obrátového bonusu s povinným odběrem skladových zásob na konci smlouvy, pokud by nedošlo k jejímu prodloužení.

- 9. Nízká diverzifikace výrobků** – snaha o zapojení výrobků do výrobního programu tak, aby pokles poptávky po jednom produktu neměl vysoký vliv na finanční stabilitu podniku. Větší snaha o diverzifikace zákazníků, ovšem zároveň se stabilizací nebo navýšením objemů zakázek u stávajících zákazníků. Zajistit cenu vstupů, mít dostatečně široké portfolio zaručených dodavatelů, což snižuje riziko zvyšování cen vstupů.

Přijatá opatření – na klíčové suroviny jsou vždy min. 3 dodavatelé. Snaha získat nové zákazníky mimo současné obory působnosti.

- 10. Odchod klíčových zaměstnanců** – nová motivační složka mzdy po stanovení jejich jasných kritérií v kombinaci s osobními pohovory by měla tato rizika snížit.

Přijatá opatření – dobrovolné navýšení platů, pohyblivá složka a osobní pohovory zamezily odchodu klíčových zaměstnanců. Během ročního období odešlo 10 zaměstnanců (pouze 1 z vlastní vůle), ale přišlo nových 14 zaměstnanců, někteří na klíčová místa.

- 11. Odchod klíčových odběratelů spojených s minulým managementem** – vhodnou formou informovat klíčové odběratele o změně jednatele a ředitele, po vyhodnocení nákladovosti po jednotlivých zákaznících domluvit osobní schůzky.

Přijatá opatření – o změně jednatele a ředitele byly firmy informovány, proběhla řada schůzek, která seznámila zákazníky s novou strategií spojenou se změnou managementu. Žádná z firem neměla natolik silný osobní vztah k žádnému z odcházejících pracovníků, který by znamenal odchod jejich firmy.

4. SOCIÁLNÍ KLIMA PODNIKU

Sociální klima je odrazem vnímání společnosti jejími zaměstnanci a zároveň toto klima ovlivňuje jejich chování. Vyznačuje určitou hodnotu vnitřního prostředí společnosti. Je charakterizováno interpersonálními vztahy a vztahy mezi zaměstnanci a organizací. Sociální klima je určitou formou vzájemné důvěry mezi zaměstnanci a managementem. Takto to vidí odborná literatura a z mého pohledu je to oblast, kterou je nutné sledovat.

Z tohoto důvodu v rámci spolupráce s VŠ proběhlo dotazníkové šetření, které poskytlo nezúčastněný pohled na tuto tematiku. Jedním z jeho výstupů je i stanovení míry motivačních faktorů znázorněné na **obr. 4**.

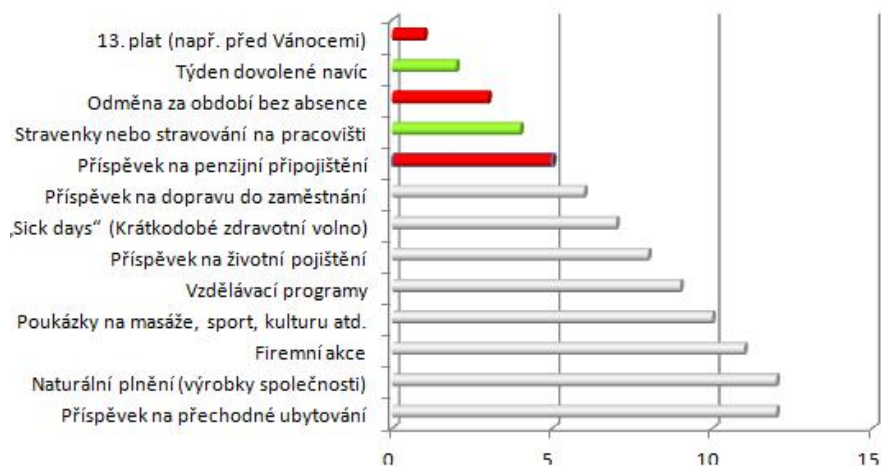


Obr. 4. Míra motivačních faktorů zaměstnanců v podniku

První místa motivačního žebříčku zaměstnanci obsadila „výše mzdy“, „jistota práce“ a „dobré vztahy se spolupracovníky“. Naopak je nejméně motivovala „možnost další vzdělávání“, „zajímavé pracovní úkoly“, „možnost uplatnit své znalosti a zkušenosti“ či „možnost kariéřního růstu“. Je pravda, že po výměně části zaměstnanců si většina uvědomila, že jistota práce je aktuálně důležitější otázkou než v minulosti. Dobré vztahy se spolupracovníky je nutné budovat o to více, že zde panuje určitá rivalita mezi novými a starými zaměstnanci a současně mezi kmenovými a agenturními pracovníky. Minulé vedení uměle drželo hladinu platů pod reálnou hladinou okolních firem, a proto v minulosti docházelo k odchodu klíčových zaměstnanců. Po dobrovolném navýšení platů v roce 2018 došlo k posunu k reálným mzdám.

Ze zákoníku práce mají zaměstnanci nárok na čtyři týdny dovolené. Hodně zaměstnavatelů nabízí jako zaměstnanecký benefit, stejně jako KOVOLIT Česká, jeden týden dovolené navíc. Dalším velmi často poskytovaným benefitem je příspěvek na stravování, který je též nákladově zajímavý pro zaměstnavatele. V rámci firmy je provozovaná dotovaná kantýna a závodní jídelna s výběrem 3 teplých a 1 studeného jídla za cenu 30 Kč pro zaměstnance. Zaměstnanci si sestavili žebříček atraktivnosti možných benefitů uvedený na **obr. 5**.

Z prvních pěti nejdůležitějších zeleně označené benefity zaměstnanci čerpají, červeně označené nečerpají. Týden dovolené navíc a závodní stravování považuje většina zaměstnanců za natolik obvyklé v ostatních firmách, že je pokládají za automatické a nevnímají je téměř jako benefit.



Obr. 5. Atraktivita zaměstnaneckých benefitů

Vánoční odměny vyplacené v roce 2018 považují za nedostatečné a dali by přednost plnohodnotnému 13. platu. Současná recese ve slévárenství variantě 13. platu příliš nenahrávají. Je zkalkulována varianta za období bez absence, která by se vyplácela 2 x ročně před celozávodní dovolenou a před Vánoce, která by pro zaměstnance, který celý rok nemarodil, znamenal 2x ročně bonus ve výši 30 % jeho platu. Druhou zkalkulovanou variantou je přidání šestého týdnu dovolené. Zda vůbec, která nebo jaká kombinace bude vybrána, záleží na vývoji situace na trhu s hliníkovými odlitky.

5. INVESTICE

Za roční období investoval KOVOLIT částku převyšující 6,6 mil. Kč. Tyto investice šly zejména do postavení nové haly – kokilárny o ploše 150 m² vybavenou novými úspornými 300 kg plynovými kelímky s rekuperací od ÚVP Brno, novým odplyňovacím zařízením od firmy FUCO-HEG. Horní slévárna dostala k dispozici novou 1 tunovou plynovou tavící pec s rekuperací od ÚVP Brno. Došlo k úpravám pískového hospodářství.

Stavba nové haly navýšila výrobní kapacity podniku v oblasti kokil. Pro lepší tepelný komfort zaměstnanců byl přísun vzduchu zajištěn přes adiabatickou chladicí jednotku JH18AP18D8 s inektorem MITSUBISHI a výkonem ventilátoru 18.000 m³/h. Odvod výrobního tepla je řešen odvodem přes filtr do prostor vedlejší strojní formovny, kde slouží jako tepelná clona za vstupními vraty. Investice do úprav pískového hospodářství by měly vést ke zvýšení kvality odlitků a snížení zmetkovitosti. Kromě kamerového systému hlídající hladinu písku v jednotlivých zásobnících, došlo k posunu ručního ovládání těchto zásobníků na tlačítkové ovládání (pomocí pneumatických válců) z centrálního pultu u mlýna a vybudování kontrolního pracoviště měření spěchovatelnosti (viz obr. 6). Také došlo k ukončení používání neaktivovaného bentonitu B75 a jeho náhradě za aktivovaný bentonit Sabenil. To sice vedlo k mírnému zvýšení výrobních nákladů, ale při garantované vyšší pevnosti v tahu se zejména v kondenzační zóně snížil výskyt zá lupů.



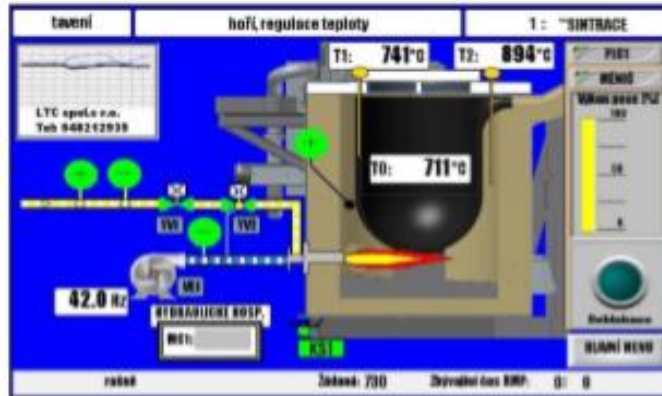
Obr. 6. Úpravy pískového hospodářství

Odplyňovací zařízení od firmy FUCO-HEG má být krokem zejména ke zlepšení vnitřní porózy. Hlavice rotoru ponořená do kovové taveniny působí podle principu otáčení se kolem svislé osy. Jako inertní plyny se používá dusík. Jakmile se začne tavenina otáčet ve stejném směru, jako je směr otáčení rotoru, rotor se začne otáčet na druhou stranu (3krát až 4krát v průběhu čištění). Zvyšuje se tím využití čistícího procesu. Navíc je výhodou automatické dávkování granulátu. Hladina taveniny není rozvířená a malé bublinky vhněného plynu probublávají v celé ploše. Je zde také menší možnost lidské chyby a snížila se doba odplynění.



Obr. 7. Odplyňovací zařízení od firmy FUCO-HEG

Nová tavící pec od ÚVP má patentovaný plynový hořák UNIKOL. Používá provedení řídicího systému se systémem Simatic s vizualizací provozu pece a možnosti dalších režimů, např. řízeného výpalu nového kelímku. Systém lze i ovládat vzdáleným přístupem z počítače. Naměřená spotřeba 86 m³ na 1 tunu taveniny, znamená značnou úsporu plynu. Další používaná pec typu Hormesa má spotřebu 145 m³ a nejstarší pec typu „Sklenář“ dokonce 260 m³.



Obr. 8. Vizualizace provozu pece od firmy ÚVP Brno

6. ZÁVĚR

Výrobní podnik KOVOLIT Česká je dlouhodobě zavedenou společností na českém trhu působící v sektoru slévárenství se specializací na gravitační lití hliníku do písku a do kokil. V posledním roce investovala téměř 7 mil. Kč do modernizace stávajících prostor (přístavba nové kokilárny, zmechanizování části pískového hospodářství), snížení nákladu tavení (výměna elektr. kelímků za plynové s rekuperací. Výměna nejstarší tavící pece za novou s rekuperací), zvýšení kvality formovacího písku (změna pasivního bentonitu na aktivní, kamerový systém, dálkové ovládání hrabel), zvýšení kvality taveniny (pomocí nového odplyňovacího stroje). Tyto kroky současně s výše zmíněnými opatřeními na eliminaci jednotlivých identifikovaných rizik by měly vést k dalšímu období výroby hliníkových odlitků se stabilizovaným kolektivem pracovníků za současného zlepšení ekonomických výsledků.

LITERATURA

- [1] NAKONEČNÝ, M.: Sociální psychologie organizace. 1. vydání, Praha: Grada Publishing, 2005, 228 s. ISBN 80-247-0577-X.
- [2] Interní materiály společnosti KOVOLIT Česká spol. s r.o.
- [3] Interní materiály společnosti ŠEBESTA – služby slévárnám s.r.o.
- [4] Interní materiály společnosti Ústav využití plynu Brno, s.r.o.

Firemní kultura a motivace pracovníků ve vyspělých zemích a její uplatnění v ČR

Špatenka, R.¹⁾

¹⁾ SKF Lubrication Systems Germany GmbH & Co Verwaltung KG, Heinrich Hertz Strasse 2–8, Walldorf 69190, DE, radek.spatenka@skf.com

Klíčová slova

Firemní kultura, motivace, angažovanost zaměstnanců, smysluplnost práce, KPI – klíčový ukazatel výkonnosti, zavedení a rozšíření KPI ve firmě, leading KPI – prediktivní ukazatel výkonnosti, lagging KPI – reflexní ukazatel výkonnosti

Abstrakt

Příspěvek popisuje pohled vývoje vedení firem na motivaci zaměstnanců a seznamuje čtenáře se současnými modely měření angažovanosti zaměstnanců v organizacích. Na základě dostupných dat popisuje trend vývoje angažovanosti v ČR a ostatních zemích. Protože porozumění vlastní roli a osobních cílů vede k lepšímu pochopení smysluplnosti práce, představuje správný způsob definice KPI a jejich rozšíření ve firmě jeden z klíčových předpokladů ke zlepšení výkonnosti firem a angažovanosti zaměstnanců.

1. ÚVOD

Předložený příspěvek představuje osobní zkušenost – podloženou obecně dostupnými informacemi a daty – se zlepšováním osobní angažovanosti zaměstnanců v mezinárodních strojírenských firmách. Zamýšlí se nad tím, jak se vzájemně ovlivňují motivace, nebo spíše angažovanost zaměstnanců a firemní kultura. Nabízí porovnání přístupů v ČR a v zemích na západ od našich hranic a předkládá doporučení pro zlepšení.

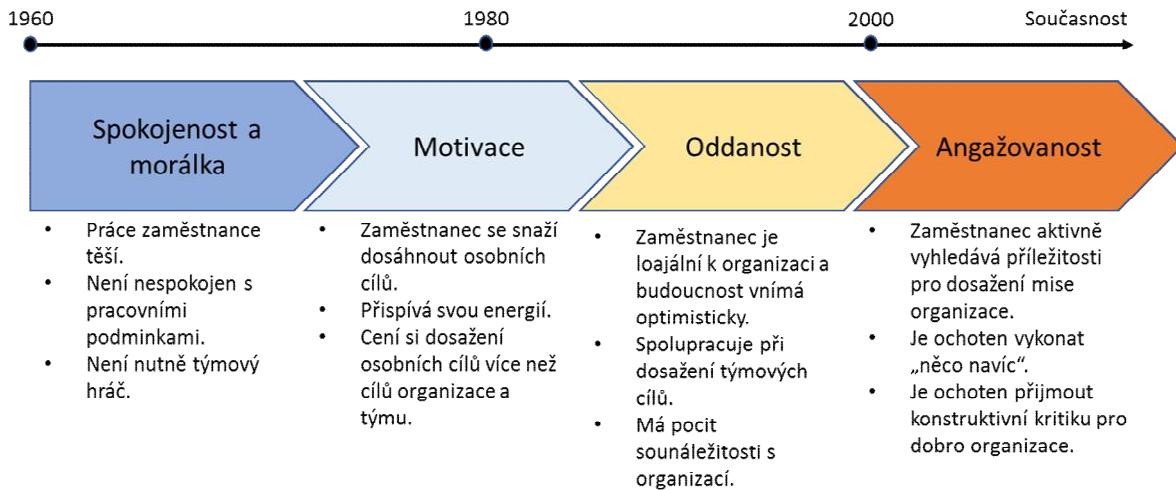
2. MOTIVACE A ANGAŽOVANOST ZAMĚSTNANCŮ

Pojem motivace je mnoho let předmětem vědeckých analýz, ale také dobrým zdrojem obživy mnoha konzultantů. Manažeři často považují vysokou úroveň osobní a týmové motivace za základní předpoklad výkonnosti a úspěchu firmy nebo týmu. Jak se měnil pohled firem na stimulaci motivace a dá se její úroveň měřit?

Motivace je „vnitřní proces, který vyjadřuje touhu a vůli člověka vyvinout určité úsilí vedoucí k dosažení subjektivně vymezeného cíle nebo výsledku.“ [1]. Motivace je tvořena 3 složkami:

- směrem – co se snaží zaměstnanec udělat;
- úsilím – s jakou snahou se pokouší o dosažení požadovaného stavu směru;
- vytrvalostí – jak dlouho vydrží usilovat o dosažení směru.

Motivace není ale jediným pracovním postojem zaměstnance. Společnost Mercer poukazuje na fakt, že se pozornost organizací v posledních desetiletích přesouvala od hodnocení a stimulování spokojenosti zaměstnance, přes motivaci k oddanosti. To, co dnes vyhodnocujeme a snažíme se pozitivně ovlivňovat, se nazývá pracovní angažovanost (engagement).



Obr. 1. Mercer Employee Engagement [2]

Angažovanost lze popsat jako psychický stav, při kterém mají zaměstnanci zájem přispívat k úspěchu společnosti tak, že podávají pracovní výkon přesahující původní požadavky. Je to stav odrážející se ve slovech nadšení, energie nebo nasazení a je dán ochotou a schopností zaměstnance vložit do své práce větší úsilí, než je od něj vyžadováno.

Angažované chování lze popsat 4 aspekty:

- Fyzický engagement – *fyzická snaha vkládaná zaměstnancem do práce k dosažení cílů.*
- Kognitivní engagement – *schopnost zaměstnance soustředit se na práci a dosažení cílů, podpořená porozuměním smysluplnosti práce.*
- Citový (emocionální) engagement – *jak se zaměstnanec cítí při výkonu své práce, jak je citově svázán se svou prací a společností.*
- Oddanost – *jak se zaměstnanci o své firmě (organizaci) vyjadřují.*

V 90. letech definoval Kahn 3 základní podmínky ovlivňující angažovanost zaměstnanců:

- Smysluplnost práce – *pracují zaměstnanci na něčem důležitém, na něčem co přispívá k úspěchu organizace?*
- Psychologická bezpečnost – *užívají si zaměstnanci atmosféru pracovního prostředí, cítí důvěru ve své nadřízené a spolupracovníky?*
- Psychologická dostupnost – *jsou jim poskytovány a jsou dostupné všechny nutné zdroje k výkonu jejich práce?*

Opakem angažovanosti je neangažovanost. V tomto stavu se zaměstnanec odcizí své práci a zaměstnavateli. V rámci problematiky neangažovanosti bývá anglický pojem „disengaged“ překládán jako „aktivně neangažovaný“. Mezi těmito protipóly (angažovaný a aktivně neangažovaný) je nejpočetnější skupina lidí, popisovaných jako neangažovaní. Jde o víceméně pasivní jedince, kteří nezaujímají ani jeden z výše uvedených krajních postojů:

Angažovaní	-	Neangažovaní	-	Aktivně neangažovaní
Engaged	-	Not Engaged	-	Actively Disengaged

Za opak stavu angažovanosti (vyznačující se energickou vitalitou, oddaností a pohlčením) lze také považovat stav vyhoření (provázený emociálním vyčerpáním, odosobněním a nedostatkem osobního naplnění).

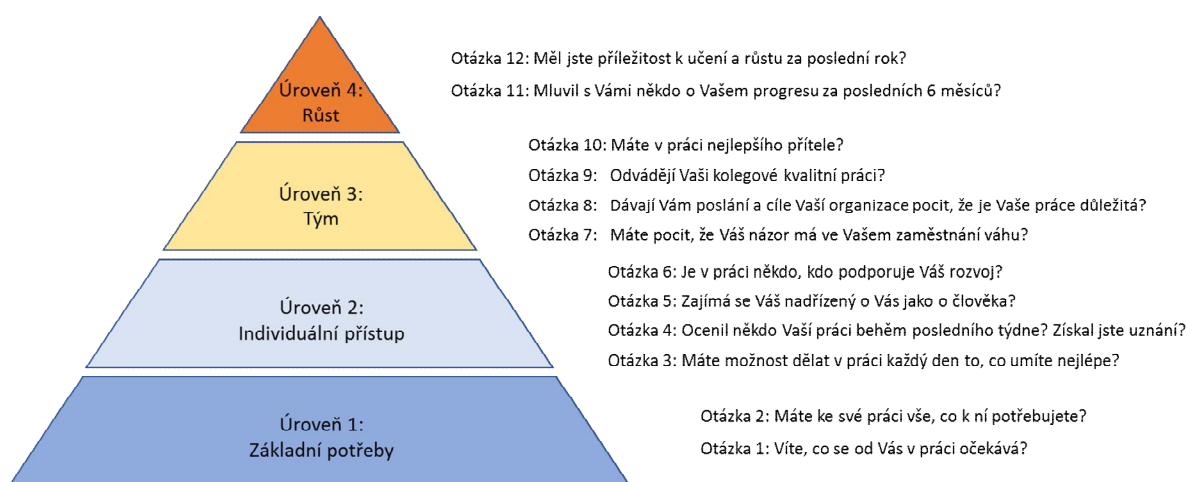
Angažovanost se dnes dá měřit různými způsoby v závislosti na vybraném teoretickém přístupu. Například Maslach a Leitner definovali Engagement právě jako opak stavu vyhoření a zformulovali poupravený tzv. **Maslach Burnout Inventory (MBI) index** (původní MBI index z roku 1981 představoval pouze škálu k měření stavu vyhoření). Ten je stanoven na základě dotazníkového šetření (22 otázek) z 3 výše zmíněných oblastí: vyčerpání, odosobnění a nepřítomnost osobního naplnění.

K novějším konceptům patří **Work Engagement** reprezentovaný škálou **UEWS** (Utrecht Work Engagement Scale) k měření pracovní angažovanosti zaměstnanců.

Dalším modelem je **Harterova koncepce Employee Engagement**, neboli **Zaměstnanecká angažovanost** z roku 2002. Jde o teorii založenou na praxi vycházející z měření společnosti Gallup. Harter definoval 4 základní předpoklady pro navození zaměstnanecké angažovanosti:

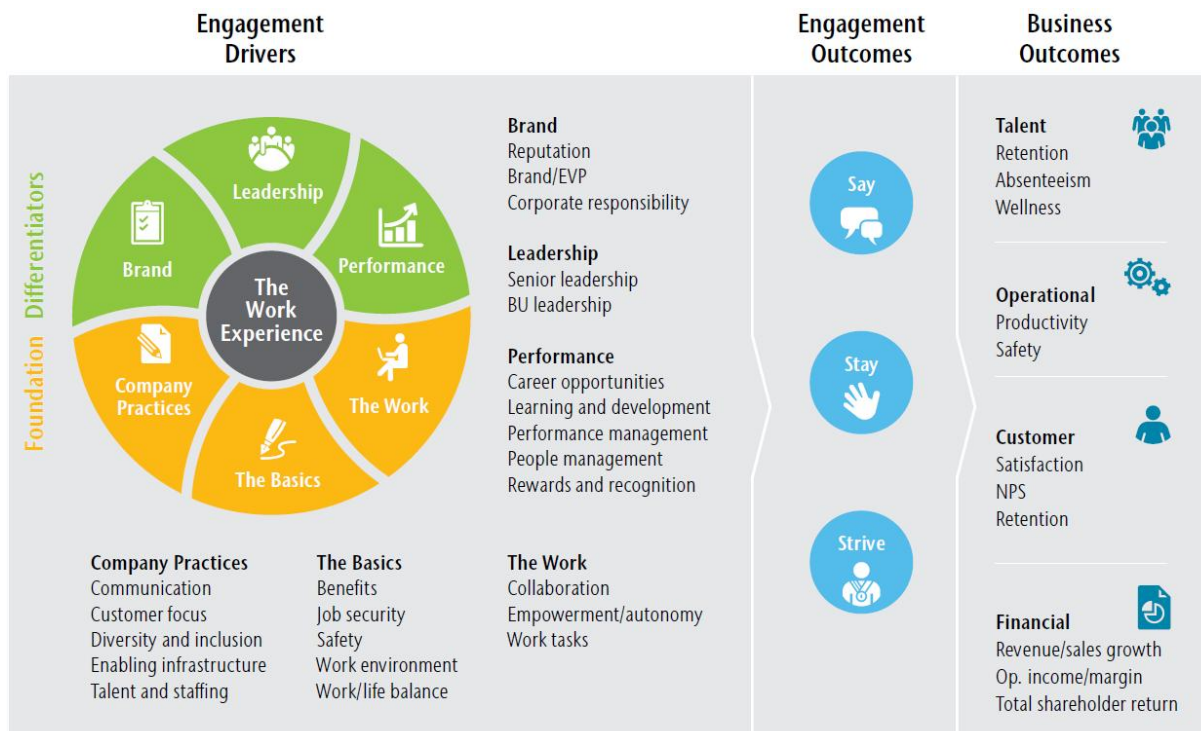
- **Základní předpoklady** – *srozumitelná komunikace toho, co se od zaměstnance v práci očekává, zajištěného vhodného pracovního vybavení (zdroje k výkonu práce).*
- **Individuální přístup** – *pocit zaměstnance, že svou prací přispívá k naplňování cílů organizace a je za to doceněn.*
- **Tým** – *pocit zaměstnance, že je v práci součástí něčeho většího, a není osamocen.*
- **Příležitost osobního a kariérního růstu** – *pocit zaměstnance, že se může dále rozvíjet a plánovat svůj růst.*

Tato teorie je propojena s Gallup dotazníkem na níže uvedeném obrázku – 12 otázek rozdělených do 4 úrovní.



Obr. 2. Návaznost 12 otázek Gallup dotazníku na Harterův Employee Engagement model [3]

Jiným modelem je **Aon-Hewitt Employee Management Model**. Aon je stejně jako Gallup mezinárodní poradenská společnost zaměřující se na zvyšování výkonnosti firem a komplexní problémy v oblastech systémů odměňování, talent managementu apod. I Aon formulovala soubor otázek, které navazují na níže popsaný model zachycující vztah mezi faktory angažovanosti (engagement drivers), projevy angažovaného chování (engagement outcomes) a obchodními výsledky (business outcomes). Angažovanost zde představuje psychologický stav a projevy chování zaměstnance vedoucí k jeho lepší výkonnosti.



Obr. 3. Aon-Hewitt Employee Management Model [4]

Tento model je založen na 6 faktorech angažovanosti:

- Organizační praktiky (Company Practices) – *komunikace v organizaci, právo zaměstnance na vyjádření vlastního názoru (diverzita je jev podněcující příjemnější pracovní klima), chování organizace ke svým externím, ale také interním zákazníkům.*
- Základní podmínky (The Basis) – *systém odměňování, jistota a bezpečí práce, pracovní prostředí a možnost kombinování práce se svým osobním životem.*
- Práce sama (The Work) – *úroveň práce a spolupráce v týmu, možnost samostatného rozhodování a náplň práce.*
- Značka firmy (Brand) – *reputace firmy, přístup k společenské zodpovědnosti.*
- Leadership – *kvalita vedení a budování konstruktivní atmosféry, smysluplnost práce.*
- Výkon (Performance) – *možnost kariérního růstu a dalšího rozvoje zaměstnance, zpětná vazba zaměstnancům.*

Při správném působení těchto faktorů nastává stav angažovanosti definovaný pomocí 3 projevů chování:

- Říkat (Say) – *pozitivně hovořit o zaměstnavateli a nebát se přicházet s novými nápady.*
- Zůstat (Stay) – *pocit ztotožnění se s organizací, být její součástí a být na ni pyšný.*
- Usilovat (Strive) – *vynakládání úsilí nad rámec očekávání pro úspěch celé organizace.*

Aon pak rozlišuje 4 kategorie zaměstnanců – aktivně neangažované, pasivní, středně angažované a plně angažované.

I když se přístupy akademiků a praktiků k měření zaměstnanecké angažovanosti liší, shodnou se na tom, že **angažovanost má přímý vliv na parametry jako stabilizace zaměstnanců, výkonnost a ziskovost, kvalita zákaznických služeb a věrnost zákazníků.**

3. VÝVOJ A ÚROVEŇ ANGAŽOVANOSTI ZAMĚŠTNANCŮ V ČR A ZBYTKU SVĚTA

Pro ověření toho, jak se vyvíjí úroveň pracovní angažovanosti v ČR a jiných zemích (zejména v západní Evropě), jsem použil dostupné výsledky dotazníkového šetření společnosti Gallup – tedy šetření založené na 12 výrocích zaměřených na vnímání práce a pracovního prostředí. Report z toho šetření se nazývá **The Gallup workplace audit**.

Pro globální srovnání byly v době psaní tohoto příspěvku dostupné pouze poslední výsledky z roku 2017. Přesto však asi dobře vystihují trend.

Země	Gallup report 2010 Měření z let 2009-2010			Gallup report 2013 Měření z let 2011-2012			Gallup report 2017 Měření z let 2014-2016		
	Angažovaní %	Neangažovaní %	Aktivně neangažovaní %	Angažovaní %	Neangažovaní %	Aktivně neangažovaní %	Angažovaní %	Neangažovaní %	Aktivně neangažovaní %
Dánsko	20	72	8	21	69	10	16	73	11
Švédsko	20	66	14	16	72	12	14	75	11
Velká Británie	20	58	22	17	57	26	11	68	21
Německo	11	66	23	15	61	24	15	70	15
Švýcarsko	23	68	9	16	76	8	13	75	12
Rakousko	23	62	15	14	74	12	12	70	18
Francie	11	61	28	9	65	26	6	69	25
Španělsko	19	59	21	18	62	20	6	79	15
Portugalsko	13	72	15	19	65	16	16	70	14
USA	28	54	18	30	52	18	33	51	16
Kanada	20	64	16	16	70	14	20	66	14
Indie	8	55	37	9	60	31	13	65	22
Čína	2	67	31	6	68	26	6	75	19
Japonsko	7	64	30	7	69	24	6	71	23
Česká republika	3	60	37	8	62	30	14	66	20

Pro lepší dokreslení vývoje v Evropě jsem zpracoval přehled pouze Evropských zemí a vývoj protipólů – tedy Angažovaných a Aktivně neangažovaných zaměstnanců.

Země	Gallup report 2010		Gallup report 2013		Gallup report 2017	
	Angažovaní %	Aktivně neangažovaní %	Angažovaní %	Aktivně neangažovaní %	Angažovaní %	Aktivně neangažovaní %
Dánsko	20	8	21	10	16	11
Švédsko	20	14	16	12	14	11
Velká Británie	20	22	17	26	11	21
Německo	11	23	15	24	15	15
Švýcarsko	23	9	16	8	13	12
Rakousko	23	15	14	12	12	18
Francie	11	28	9	26	6	25
Španělsko	19	21	18	20	6	15
Česká republika	3	37	8	30	14	20

Úroveň angažovanosti se samozřejmě liší napříč věkovým spektrem, vzděláním, pozicí ve firmě nebo pracovním sektorem (zemědělství, průmysl, služby). Porovnání států jsou ovlivněna hospodářskou i politickou situací dané země. **Přesto nelze přehlédnout pozitivní trend ve vývoji angažovanosti zaměstnanců v České republice!**

4. FIREMNÍ KULTURA A ANGAŽOVANOST ZAMĚŠTNANCŮ, SMYSLUPLNOST PRÁCE

Firemní kultura je souborem hodnot, norem a postojů specifických pro každou organizaci, které se utvářejí díky vzájemnému působení lidí a jsou pro zaměstnance dané společnosti ve velké míře společné.

Jak vyplývá z výše zmíněných průzkumů, firemní kultura má přímý vliv na angažovanost, a opačně – angažovanost zaměstnanců ovlivňuje firemní kulturu. Angažovaný zaměstnanec sdílí hodnoty a cíle organizace, prožívá uspokojení z jejího úspěchu a pracuje s nadšením nad rámec svých povinností. Má pocit plného zapojení, které mu přináší uspokojení.

Firemní kultura se dá rozvíjet. **Ve správné komunikaci a sdílení firemních hodnot, poslání a vize tkví z velké části úspěch organizací.** Je klíčové, aby každý zaměstnanec firmy pochopil, jak přispívá plněním svých stanovených cílů, klíčových ukazatelů výkonnosti (KPI) a potřebných aktivit, k úspěchu a naplnění vize společnosti.

Pokud zaměstnanec pochopí propojení jeho osobních cílů s dosažením těchto strategických cílů společnosti a zároveň se ztotožňuje s tím, proč daná organizace podniká, umožní mu to v plné míře vnímat smysluplnost jeho práce.

5. ROZŠÍŘENÍ UKAZATELŮ VÝKONNOSTI VE FIRMĚ

V rozšíření klíčových parametrů výkonnosti ve firmě (KPI – key performance indicator) zohledňující strategické cíle a vizi firmy spočívá velká část úspěchu. KPI se na jednotlivých úrovních firemní organizace budou velmi pravděpodobně lišit a procesu nastavení KPI ve firmách je nutno věnovat patřičnou pozornost a energii. **Akceptováním konkrétního KPI dochází nejen k pochopení osobního přispění k úspěchu organizace, ale také k přijetí odpovědnosti za naplnění tohoto cíle a jeho parametrů.**

KPI je možné rozdělit na parametry prediktivní (leading KPI) a reflexivní (lagging KPI):

- **Leading KPI – prediktivní ukazatele**

Používají se k předpovědím či odhadům budoucího stavu společnosti. Často jimi bývají relativní hodnoty uváděné v procentech. Nemusejí být přesné - jejich přesnost může záviset na mnoha dalších faktorech.

- **Lagging KPI – reflexní ukazatele**

Jsou to měřitelná fakta a statistiky, zabývající se minulým výkonem. Udávají, jak dobře byl hodnocený aspekt zvládnutý.

Optimální volbou je kombinovat oba typy ukazatelů.

Jako příklad lze uvést hodnocení úrazovosti ve firmě. Vedení je většinou hodnoceno za počet úrazů za dané období (lagging KPI) – čím nižší, tím lepší. Pokud však chceme zlepšit pracovní prostředí a zapojit do toho procesu zlepšování i operátory, jednou z možností je hodnotit kolik identifikovali nebezpečných pracovních podmínek a situací - unsafe conditions (leading KPI) – čím vyšší počet je identifikován, tím větší šance na jejich eliminaci.

Reflexivní ukazatele vám umožní vyhodnotit, co bylo zvládnuto dobře, a co ne. Zřídka vám však pomohou předpovědět, co společnost čeká. Tady je použití leading KPI mnohem vhodnější. Neomezujte svou pozornost na výhradně finanční cíle a ukazatele.

LITERATURA

- [1] TURECKIOVÁ, M.: Řízení a rozvoj lidí ve firmách. Vyd. 1. Praha: Grada, 2004. ISBN 8024704056.
- [2] www.mercer.com/what-we-do/workforce-and-careers/talent-strategy
- [3] www.gallup.com
- [4] www.aon.com/2018-global-employee-engagement-trends

SBORNÍK PŘEDNÁŠEK



sekce
formovací materiály

56. SLÉVÁRENSKÉ DNY
12.-13. 11. 2019
Brno

Aplikace nekřemenných ostřiv při výrobě ocelových odlitků

Bajer, T.¹⁾, Rytky, I.²⁾, Řezáč, P.²⁾, Leibner, J.²⁾, Běhal, P.²⁾, Beňo, J.¹⁾

¹⁾ SAND TEAM, spol. s r.o., Holubice 331, 683 51, Holubice, ČR, bajer@sandteam.cz

²⁾ METSO CZECH REPUBLIC, s.r.o., Tovačovská 2910/17, 750 02, Přerov, ČR.

Klíčová slova

Chromit, aluminosilikáty, sekundární struska, fenol-formaldehdydová pryskyřice

Abstrakt

Při výrobě vysoce legovaných slitin železa, je kromě běžných slévárenských vad, řešena i problematika desoxidace taveniny, vznik a dopady sekundární struskovitosti na vnější a vnitřní kvalitu litých komponent. Tento příspěvek je zaměřen na aplikaci vybraných nekřemenných ostřiv na bázi aluminosilikátů jako náhrada tradičního chromitového ostřiva při výrobě vysoce legovaných ocelových a litinových odlitků. Optimalizace výrobního procesu, nákladovosti výroby a snížení neshodné výroby.

1. ÚVOD

Pro výrobu odlitků ze slitin železa s vysokým obsahem legujících prvků, např. Mn-oceli oceli a bílých litin, jsou využívány různé typy ostřiv, především nekřemenných, pro zajištění vysoké povrchové jakosti, resp. udržení minimální neshodné výroby. V případě, že vlastnosti těchto ostřiv (např. žárovzdornost) jsou již za hranicí své aplikace, logicky technolog volí další typy nekřemenných ostřiv, které mu zajistí požadovanou kvalitu vyráběných odlitků. Tradičním nekřemenným ostřivem ve slévárnách středoevropské provenience byl a stále je chromitový písek.

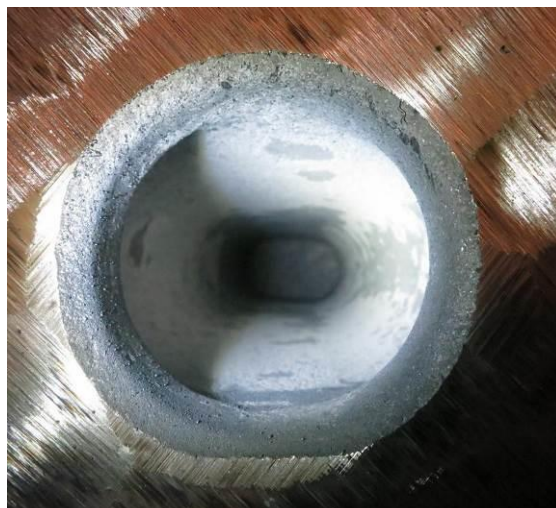
Nicméně i jeho aplikovatelnost je omezená, s ohledem na složení chromitového ostřiva (obsah železa, ve formě dvojmocného a/nebo trojmocného Fe) i jeho termo-fyzikální vlastnosti. Dalším negativním aspektem je fakt, že v dnešní době lze chromitové ostřivo řadit mezi běžné komodity, tudíž, jeho cena se prudce mění dle situace na globálním trhu, což výrazně ovlivňuje celkovou nákladovost výroby. Navíc v průběhu zpracování chromitu v procesu výroby forem/jader jsou evidovány, z důvodu vysoké sypné hmotnosti ve srovnání s jinými ostřivy, vysoké ztráty tohoto materiálu i v rozvodných potrubích, chladničkách atd.

V rámci optimalizace pískového hospodářství a stabilizace systémového písku pro výrobu forem a jader, byl postupně chromit, který byl používán jako ostřivo s vyšší žárovzdorností a nižší tepelnou dilatací, nahrazován ostřivem na bázi aluminosilikátu. Hlavním důvodem bylo překročení kritické koncentrace obsahu chromitu v systémové směsi a tvorba nízko tavitelných sloučenin, které výrazně ovlivňovaly jakost odlitků. Tato výměna znamenala jednak stabilizaci nákladovosti výroby (včetně snížení čistírenských prací), dále nebyla nutná investice do nových zařízení (separace chromitu), byla dosažena konstantní kvalita systémového písku, ale hlavně i zvýšení povrchové a vnitřní jakosti litých součástí.

2. PROVOZNÍ OVĚŘENÍ

Za účelem potvrzení teoretických předpokladů byla provedena řada provozních zkoušek na vybraných odlitcích, kde bylo místo systémového ostřiva používáno chromitové ostřivo. Byla vybrána dvě jádra o rozdílné hmotnosti. Větší jádro mělo hmotnost 4,8 kg (oproti 8,02 kg jader z chromitu). Menší jádro mělo hmotnost 4,24 kg (oproti 7,12 kg jader z chromitu), což u obou typu jader představuje 60 % původní hmotnosti. Kromě úspory materiálu je neméně pozitivním faktem menší zatížení obsluhy vstřelovacího stroje z důvodu snadnější manipulace.

Povrchová kvalita zkušebních odlitků od jader je znázorněna na **Obr. 1**. Pro dokreslení pozitivního efektu aplikace nového aluminosilikátového ostřiva jsou přiloženy výsledky i ze standardně vyráběných odlitků **Obr. 2**.



Obr. 1. Zkušební odlitky, zkušební jádra (vlevo); povrch od jádra (vpravo)



Obr. 2. Povrchová kvalita odlitků od jader, standardní výroba

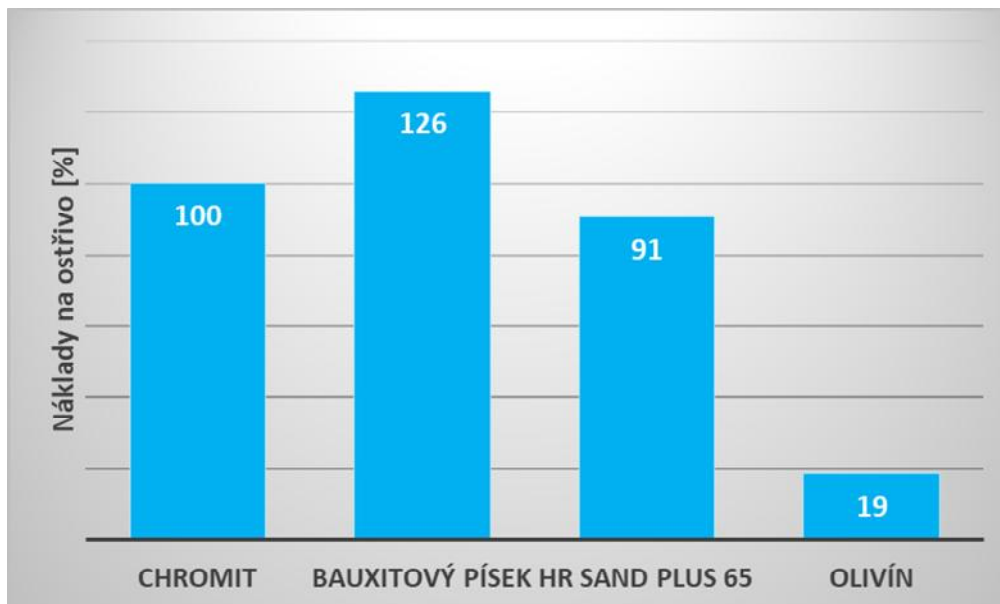
3. EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Nedílnou součástí každé změny v procesu výroby odlitků, je kromě technologické optimalizace rovněž zhodnocení nákladovosti výroby. Byla provedena kalkulace nákladů na výrobu 1 ks malého a velkého jádra **Tab. 1**.

Tabulka 1. Srovnání nákladů na výrobu zkušebních jader

Jádro	Objem [dm ³]	Náklady chromit [€]	Náklady HR SAND Plus 65 [€]	Úspora na 1ks [€]
„Malé“	2,5	4,83	4,77	0,06
„Velké“	2,8	4,31	4,26	0,05

Srovnání pořizovacích nákladů na jednotlivá ostřiva jsou shrnuta na **Obr. 3**, byly srovnány ceny ostřiv v EUR/m³ z důvodu různých sypných hmotností jednotlivých ostřiv.



Obr. 3. Ekonomické srovnání vybraných ostřiv

4. ZÁVĚR

Provozní ověření ostřiv na bázi aluminosilikátů jako náhrada chromitového ostřiva byla úspěšně potvrzena nejen provozními zkouškami, ale rovněž dlouhodobým používáním. Kromě eliminace vad typu sekundární struskovitost a zlepšené povrchové jakosti odlitků (eliminace připečenin), bylo dosaženo stabilizace systémového písku.

Kromě nižších nákladů na směs má používání aluminosilikátového ostřiva HR SAND Plus 65 oproti chromitu následující výhody:

- Stabilnější cena oproti chromitu.
- Nižší hmotnost jader na úrovni 60 % hmotnosti jader chromitových = lepší pracovní podmínky.
- Nižší náklady na apretaci.
- Nemí potřebná další investice v podobě separace jako u chromitu.

5. cyklus zpracování přehledu parametrů jednotných formovacích směsí

Neudert, A.

KERAMOST, a.s.

Abstrakt

V článku jsou zpracována data z pěti cyklů přehledu vlastností jednotných formovacích směsí. Stejný přehled je dělán každých 5 let, první byl v roce 1998. Všichni účastníci obdrželi zpracovaný soubor v Excelu s údajem, pod kterým pořadovým číslem jsou jejich data. Jinak je soubor anonymní. Každý si tedy může porovnat své hodnoty spotřeb, dávkování a vlastností s ostatními podobně vybavenými slévárnami. 20 let sledování umožňuje ukázat trendy v parametrech jednotných směsí za uvedenou dobu v Česku a na Slovensku. To je druhý cíl naší analýzy.

1. ÚČASTNÍCI ZPRACOVÁNÍ

V roce 2018 byl z iniciativy České slévárenské společnosti, odborné komise Kofola, uspořádán již pátý ročník zpracování přehledu parametrů bentonitových formovacích směsí.

Vyplněné dotazníky, s údaji za rok 2017, zaslalo:

28 sléváren na

31 systémů formovacích směsí. Z toho bylo:

28 směsí pro litiny, které zahrnovaly:

25 jednotných směsí,

2 modelové směsi,

1 výplňovou směs.

2 jednotné směsi pro Al odlitky,

1 jednotná směs pro ocelové odlitky.

Jmenovitě se jednalo o slévárny a jejich směsi abecedně seřazené v **Tab. 1**.

Tabulka 1. Abecední seznam sléváren, které dodaly podklady pro 5. ročník hodnocení

č.	Slévárny abecedně:	označení směsi:	č.	Slévárny abecedně:	označení směsi:
1	BRANO		17	TATRA METALURGIE a.s.	JS11
2	E. L. Blansko		18	TATRA METALURGIE a.s.	JS21
3	EURAC		19	TATRA METALURGIE a.s.	JS07
4	Eurocast s.r.o. Košice	JBS	20	TATRA METALURGIE a.s.	JSM
5	Eurotech Třešť		21	UNEX – Olomouc	JBS
6	FERAMO		22	UNEX – Uničov	SIBN6
7	GIFF a.s	JBS	23	Unitherm s.r.o	
8	KASI spol. s r. o. NB		24	UXA Brno	
9	Kovosvit MAS a.s.		25	VAG Hodonín	BMD
10	MENCL GUSS		26	VAG Hodonín	GFD
11	MOTOR JIKOV		27	VIADRUS a.s.	Kotle
12	Piston Rings Komarov		28	VIADRUS a.s.	Radiátory
13	SaM Nové Ransko		29	Zlievareň SEZ Krompachy a.s.	JBZ
14	Slévárna HEUNISCH Brno, s.r.o.		30	Zlievareň Trnava	JBZ
15	Slévárna Kuřim		31	ZPS-SLÉVÁRNA, a.s., Zlín	
16	Slévárna Zábřeh s.r.o.				

Do těchto směsí bylo v roce 2017 vyrobeno 228 277 tun odlitků. Jako obvykle byl rozhodující podíl sléváren litiny – 225 423 tun, dále 1 156 t Al-odlitků a 1 698 t ocelových odlitků. V **Tab. 2** je porovnání se známými údaji o výrobě odlitků v CZ a SK v roce 2017.

Tabulka 2. Porovnání našeho přehledu s celkovou výrobou odlitků v CZ a SK v roce 2017 (SK 2015)

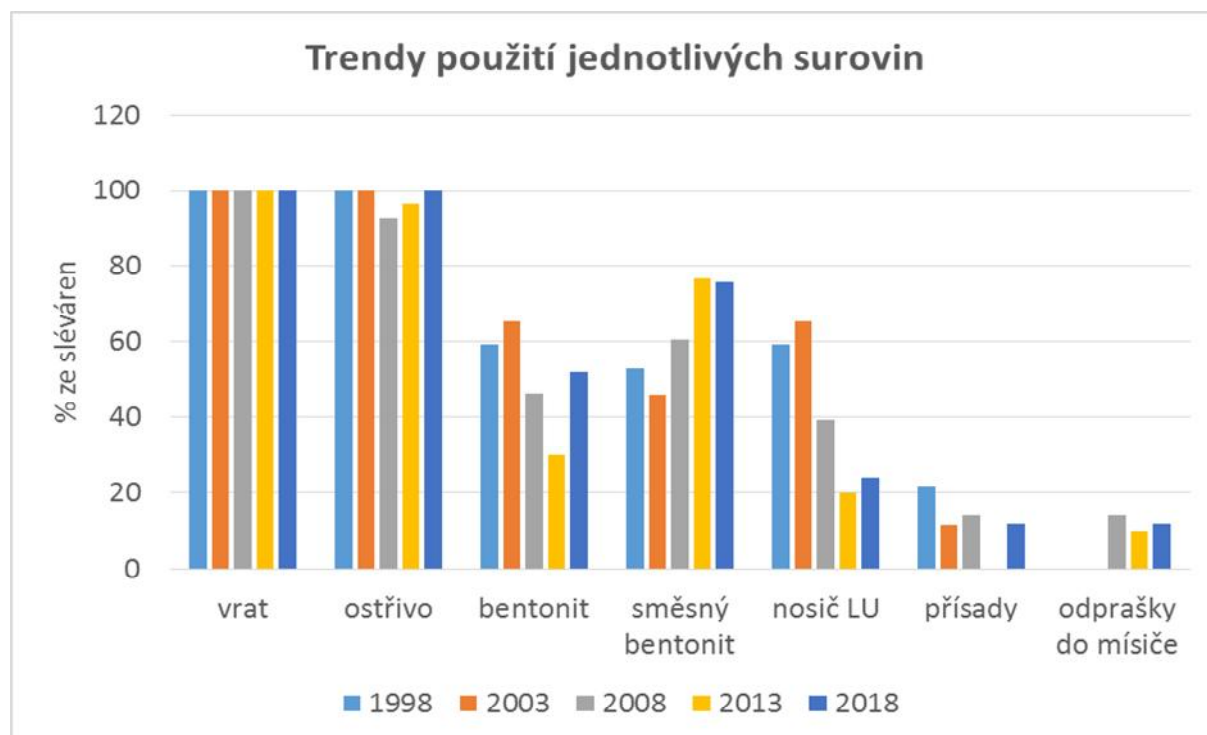
	CZ 2017 (Slévárnoství 9-10/2018)	SK 2015 (doc. Vasková)	celkem	Náš přehled	% z celkem
Total	415 313	95 204	510 517	228 277	45
litiny	231 060	42 470	273 530	225 423	82

Můžeme tedy konstatovat, že se podařilo zpracovat údaje o 82 % z celkem vyrobených litinových odlitků. V této kategorii je tedy náš přehled dostatečně reprezentativní. Další statistiky v tomto článku se budou týkat jen sléváren litiny.

Jak bylo slíbeno, tak údaje v tabulkách a grafech jsou anonymní, přiřazené pouze k pořadovému číslu slévárny. Celý soubor ve formě tabulek a grafů obdrželi všichni zpracovatelé dotazníků. Každý k tomu dostal i svá pořadová čísla, pod kterými jsou jeho data zpracována. Každý si tak může porovnat svoje dávkování, dosahované technologické vlastnosti, případně parametry spotřeby surovin s ostatními slévárnami. To je hlavní účel naší studie. Současně nám to, díky již pátému ročníku, umožňuje pozorovat trendy v našem oboru za posledních 20 let. Během této doby došlo ke značné obměně účastníků. Mezi letošními 31 systémy je pouze 11 z těch, které byly hodnoceny i v roce 1998.

2. POUŽÍVANÉ SUROVINY

Z **Obr. 1** je vidět, že se zastavil pokles používání čistého nosiče lesklého uhlíku (NLU) a nárůst % sléváren, které používají směsný bentonit. Ty slévárny, které dále používají samostatnou uhlikatou přísadu, už tedy vyřešily otázku bezpečnosti jejího skladování a dávkování.



Obr. 1. Vývoj v užívání jednotlivých typů surovin dávkovaných do mísiče ve slévárnách litiny

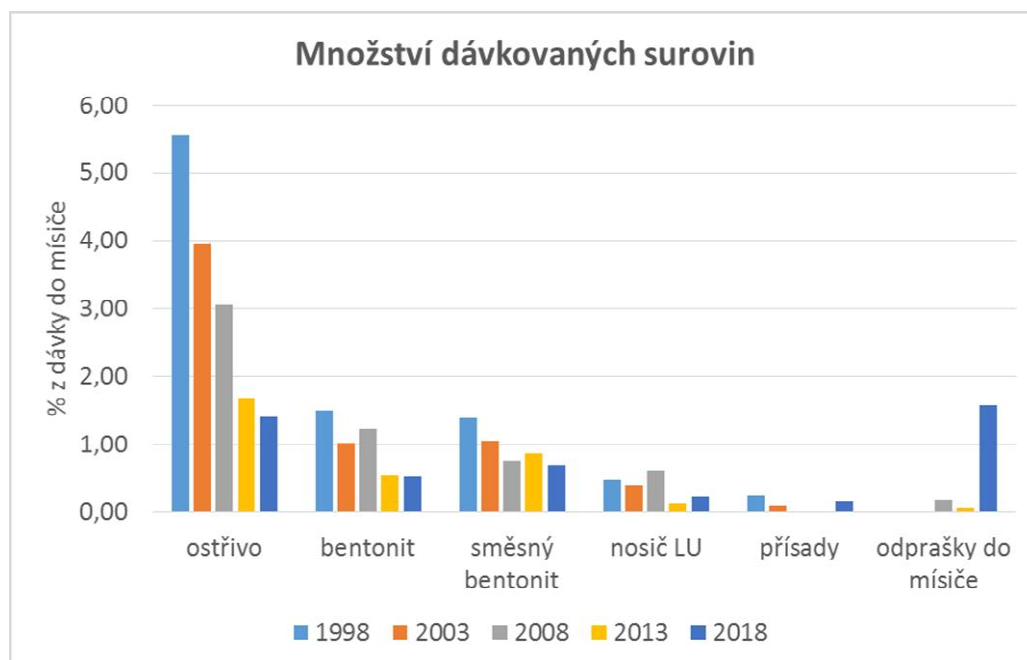
Dále se ukazuje nárůst procenta sléváren, které používají oživování novým ostřivem a čistým bentonitem. V případě čistého bentonitu je to tím, že celkem 8 sléváren se rozhodlo jít cestou kombinace směšného bentonitu (MIX) a čistého bentonitu **Tab. 3**. Nárůst počtu sléváren dávkujících nové ostřivo se dá vysvětlit snahou o snížení velikosti středního zrna směsi – ke hrubšímu ostřivu z jader je nutno přidat jemnější do mísiče. Některé slévárny dávkují do mísiče i dva druhy ostřiv a tím reagují na změny ve velikosti ostřiva nebo v obsahu jemných podílů ve směsi. **Tab. 4**.

Tabulka 3. Používané typy bentonitů a nosičů LU v posledním ročníku

	počet	% ze sléváren
1 MIX	10	35,7
Bentonit + MIX	8	28,6
Bentonit + NLU	6	21,4
Jen bentonit	2	7,1
MIX + MIX	1	3,6
MIX + NLU	1	3,6

Tabulka 4. Používané velikosti ostřiva přidávaného do mísiče v posledním ročníku

D 50 [mm]	počet	% ze sléváren
< 0,20	12	43
0,20–0,22	11	39
> 0,22	10	36

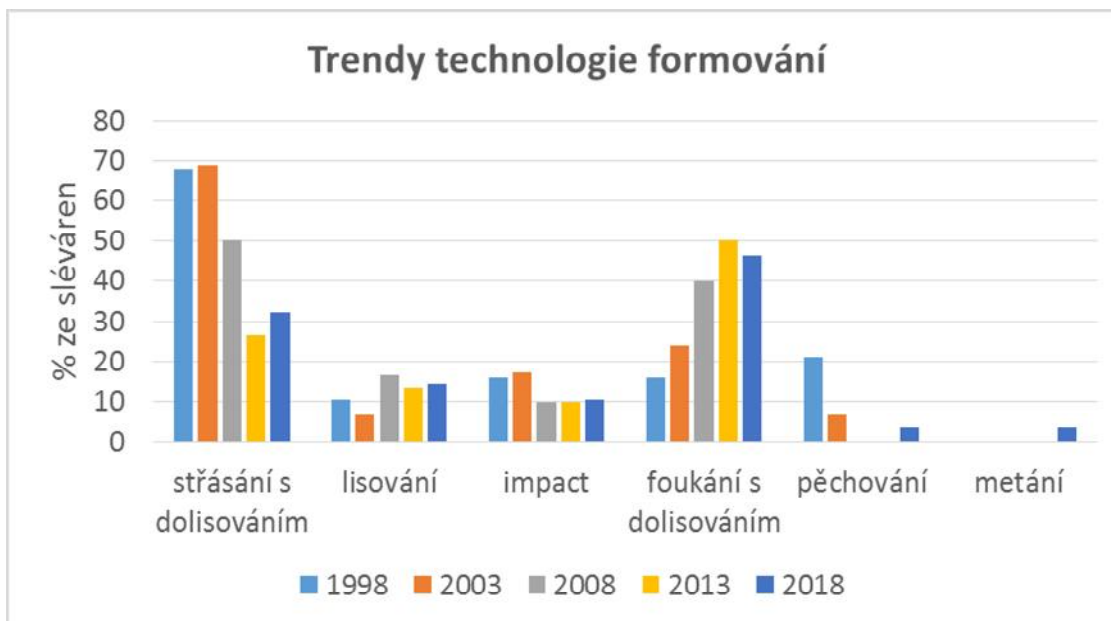


Obr. 2. Množství dávkovaných surovin v % dávky mísiče ve slévárnách litiny

Na **Obr. 2** je vidět, že už se zastavil prudký pokles dávkovaného množství nových surovin, který byl během prvních čtyř ročníků (1998–2013). Velké slévárny už se naučily řídit oživování a další snižování nákladů už nejde tak rychle. Pro objektivní hodnocení spotřeby v jednotlivých případech, je ale průkaznější porovnávat poměrná množství na tunu tekutého kovu, jak je to prováděno v kapitole o bilanci formovací směsi.

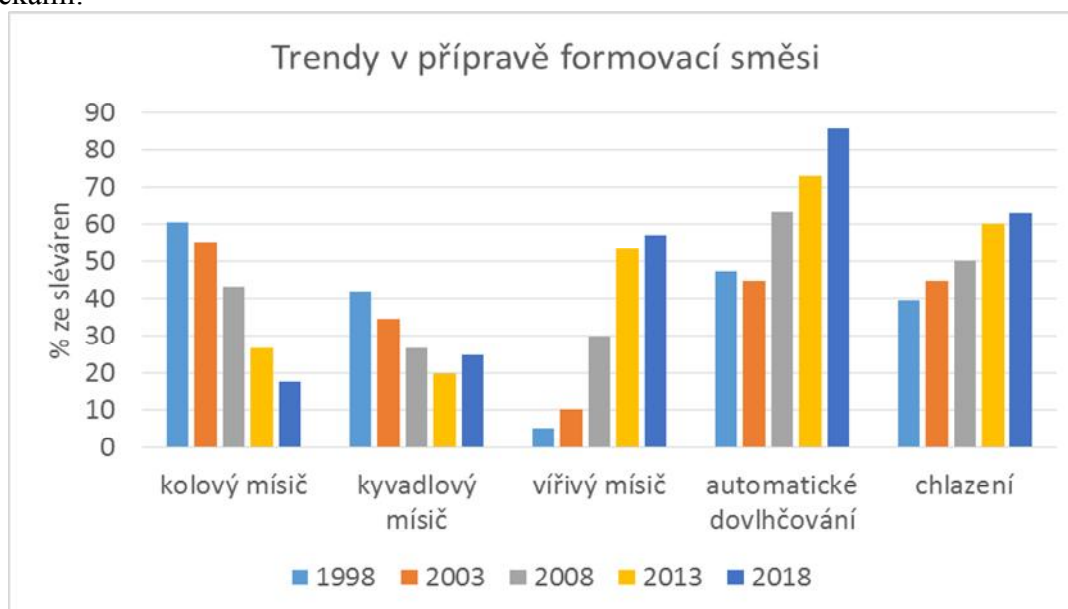
3. TRENDY VE VYBAVENÍ SLÉVÁREN LITINY

Na **Obr. 3** jsou zobrazeny technologie formování. Z dlouhodobého hlediska se neustále snižuje využívání technologie střešání s dolisováním, téměř všechny nově zakoupené linky využívají kombinace impulzu a dolisování. Linky zakoupené těsně před sledovaným obdobím (před 1998), ještě stále pracují – technologie lisování a impact.



Obr. 3. Trendy ve vybavení formoven ve slévárnách litiny

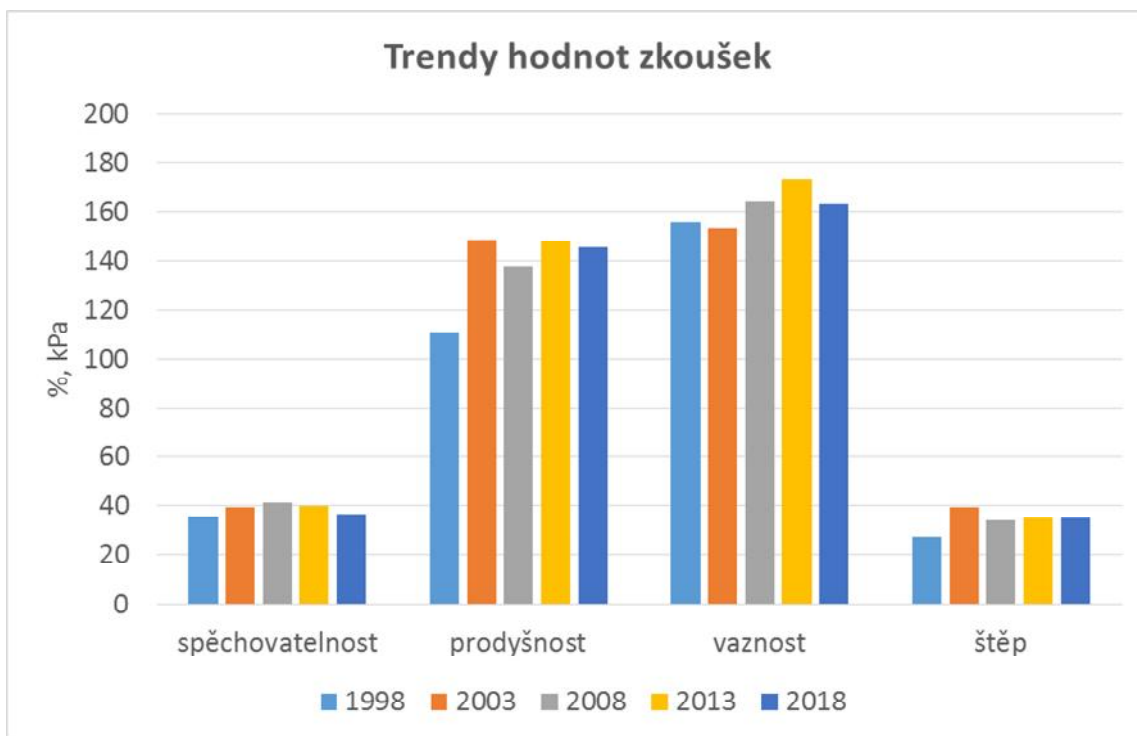
Na **Obr. 4** jsou trendy ve vybavení přípravě formovací směsi. Neustále klesá procento sléváren využívající kolové mísiče, které jsou v naší zeměpisné oblasti obvykle nahrazovány vířivými mísiči. Pokles kyvadlových mísičů je u nás způsoben hlavně strukturou obvyklých dodavatelů zařízení. Automatické dovlhčování už je samozřejmost a také roste procento vybavení chladničkami.



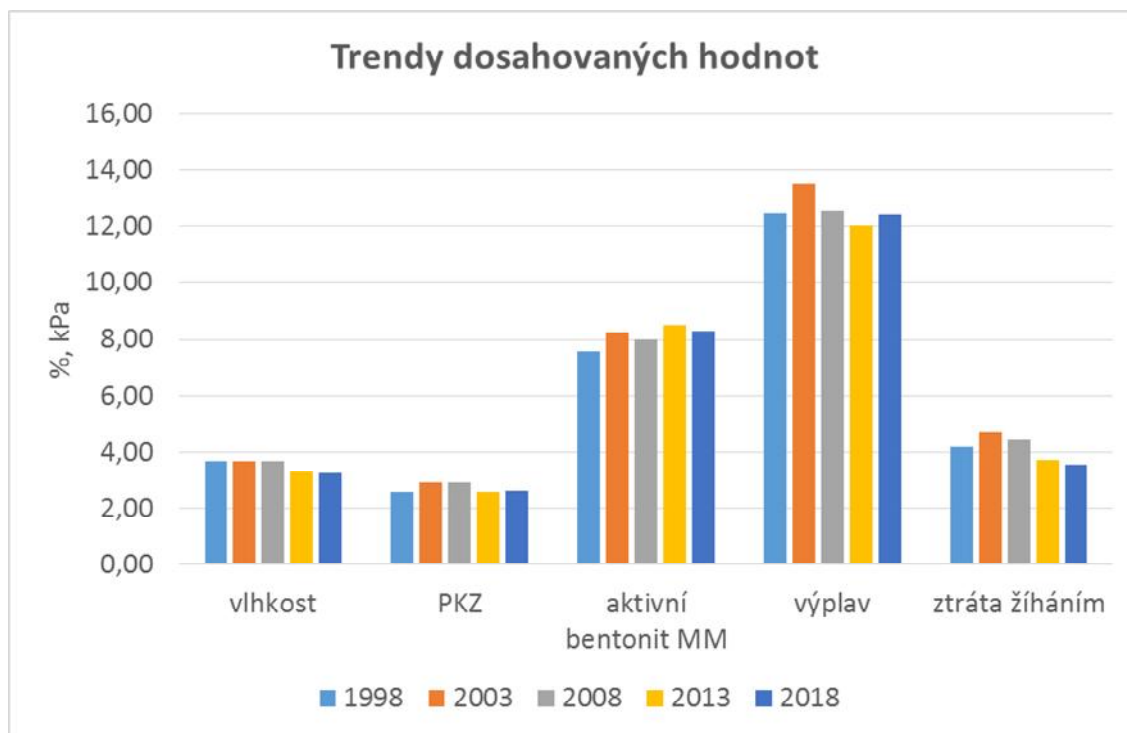
Obr. 4. Vybavení přípravě formovací směsi ve slévárnách litiny

4. HODNOTY VLASTNOSTÍ FORMOVACÍCH SMĚSÍ

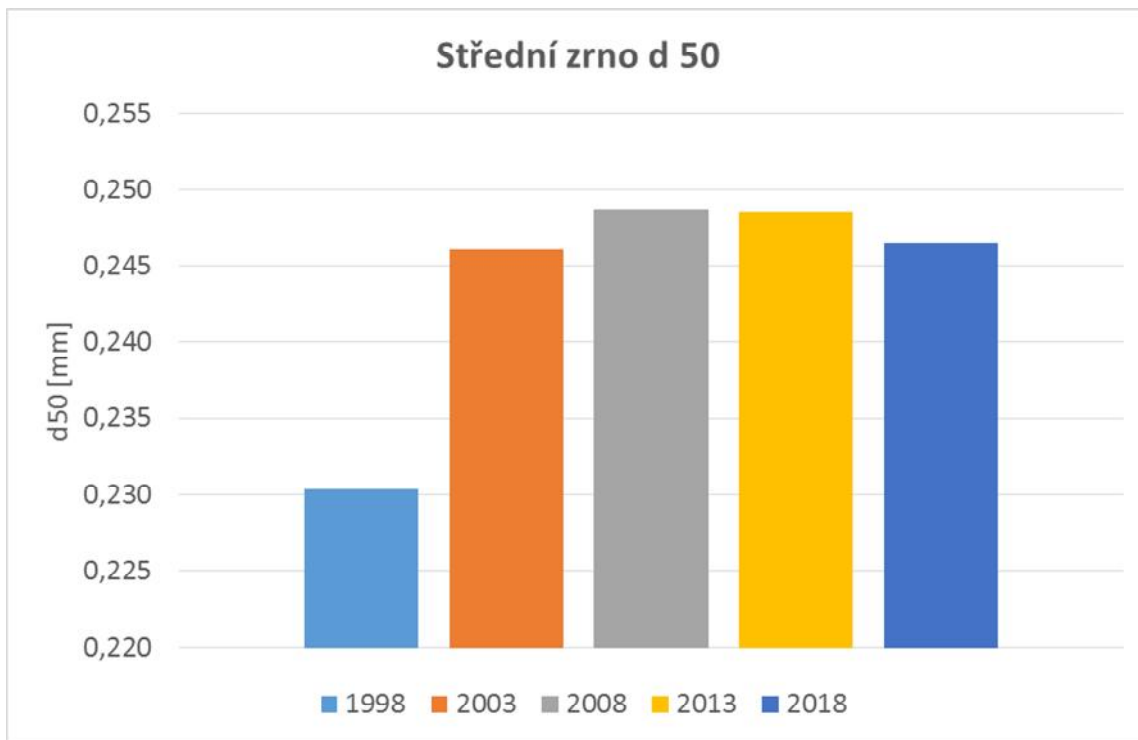
Na **Obr. 5** a **Obr. 6** jsou průměrné hodnoty uvedené v dotaznících. Na **Obr. 7** je trend ve velikosti středního zrna ostřiva



Obr. 5. Trendy dosahovaných hodnot zkoušek formovacích směsí, část 1



Obr. 6. Trendy dosahovaných hodnot zkoušek formovacích směsí, část 2

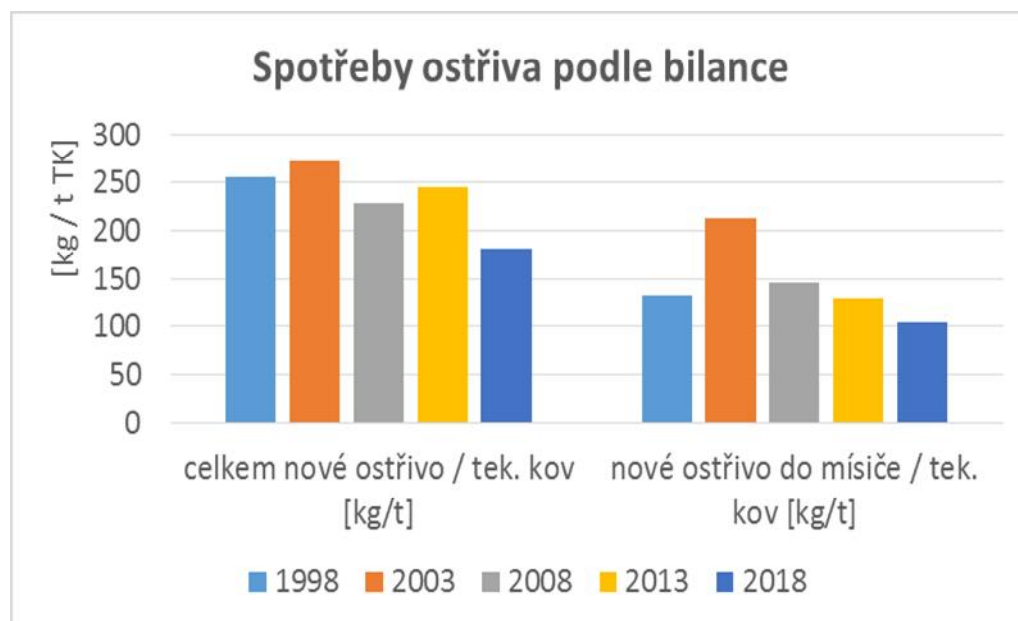


Obr. 7. Trend vývoje velikosti středního zrna ve slévárnách litiny

Hodnoty uvedené v grafech na **Obr. 5** až **Obr. 7** jsou poněkud zavádějící, protože nejsou zpracovány jako vážený průměr podle množství namísené směsi, ale pouze jako průměr uvedených hodnot. Takže hodnota ze slévárny, která produkuje jen několik set tun odlitků, má stejnou váhu, jako ze slévárny s produkcí 30 tisíc tun odlitků za rok. Například hodnota velikosti středního zrna **Obr. 7**, z posledního sledování má minimum 0,180 mm a maximum 0,39 mm. Aritmetický průměr je pak 0,246 mm. Největší slévárny ale mají obvyklé hodnoty od 0,20 do 0,23 mm.

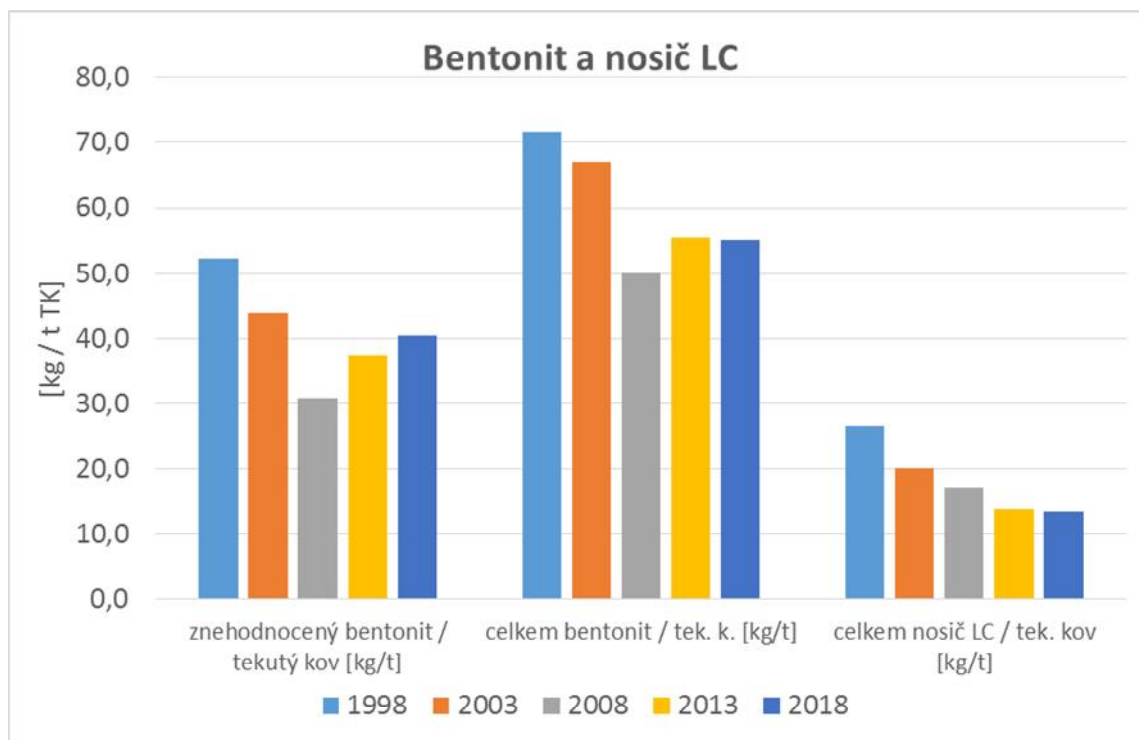
5. BILANCE FORMOVACÍCH SMĚSÍ VE SLÉVÁRNÁCH LITINY

Věrohodná data z bilancí bohužel neměly všechny dotazníky. Do statistického zpracování bylo možné zařadit pouze 19 dotazníků z 25 jednotných směsí pro litiny.



Obr. 8. Spotřeby ostřiva podle bilance

Na **Obr. 8** jsou uvedeny průměrné spotřeby ostřiva. Celkem nové ostřivo je nové ostřivo do mísiče + přísun ostřiva z jader. Je zde vidět neustálá snaha o zlepšování řízení – úsporu nákladů.



Obr. 9. Trendy spotřeb bentonitu a nosiče lesklého uhlíku

Spotřeby bentonitu a nosiče lesklého (pyrolýzního) uhlíku jsou na **Obr. 9**. Je vidět, že celkové spotřeby klesají, ale množství znehodnoceného bentonitu (po odečtení bentonitu k novému ostřívu) se mírně zvyšuje. To je důsledek ekonomického zhodnocení v jednotlivých slévárnách a z toho vyplývající volby optimálního řešení ve vlastnostech a cenách bentonitu.

6. ZÁVĚR

Uvedené trendy za posledních 20 let ve slévárnách litiny ukazují na neustálou snahu o zvyšování kvality a o snižování nákladů. Velmi příznivý je i dopad na množství odpadů. Proti roku 1998 je nyní spotřeba nových surovin na úrovni $\frac{1}{4}$ původního množství. Stejným poměrem se tedy snížila i produkce odpadů. Dá se říci, že všechny hodnocené parametry mají zlepšující tendenci, to znamená, že úroveň formovacích směsí v našich slévárnách se trvale zvyšuje. Svůj velký podíl na tom má i osvětová práce České slévárenské společnosti – odborné komise pro formovací materiály Kofola.

Je třeba poděkovat všem, kteří dodali podklady a také těm, kteří pomáhali s organizací sběru dat. To byli hlavně členové Kofoly, kteří pracují jako servisní technici dodavatelů bentonitu. Bez jejich práce by nebylo možné podobný přehled zpracovat.

Penetrace kovu do bentonitových formovacích směsí při odlévání litinových odlitků

Ptáček, T.

VAG s.r.o., Lipová alej 3087/1, 69501 Hodonín, Česká republika

Klíčová slova

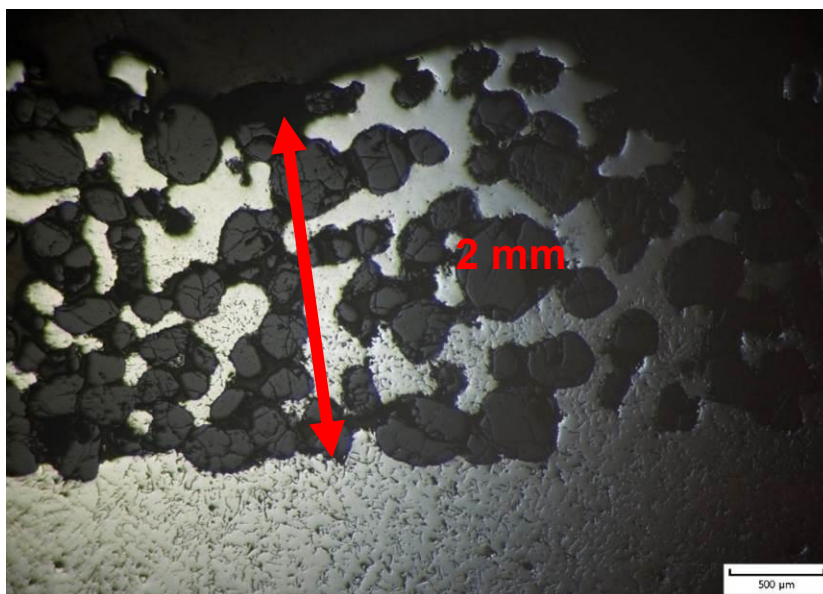
Penetrace, připečenina, litina s lupínkovým grafitem, bentonitová směs

Abstrakt

Přednáška se zabývá vznikem explozivní penetrace u litiny s lupínkovým grafitem odlévané do bentonitových forem. Práce se věnuje experimentálnímu zjištění příčiny vzniku vady, které je zaměřeno na měření vyvíjených tlaků plynů ve formě při odlévání. Získané výsledky zobrazují časový průběh tlaku během odlévání a tuhnutí odlitku.

ÚVOD

Při výrobě odlitku ventilu o hmotnosti 64 kg viz. **Obr. 2** se na odlitcích vyskytuje vysoké procento připečenin. Připečeniny se objevují zejména na přírubách a na těle odlitku. Mechanismus vzniku a vzhled diagnostikované penetrace ukazuje, že se jedná o explozivní penetraci. Explozivní penetraci potvrdily řezy odebraných vzorků, na nichž bylo patrné, že explozivní penetrace dosahuje hloubky několika milimetrů **Obr. 1**. Z nápravných opatření se osvědčilo zvýšení odzdušnění formy. V následné práci jsme se zaměřili na měření tlaků vyvíjených plynů ve formě při odlévání.



Obr. 1. Penetrace – neleptaný vzorek 18-TP-VAG 2

1. MĚŘENÍ PŘETLAKU

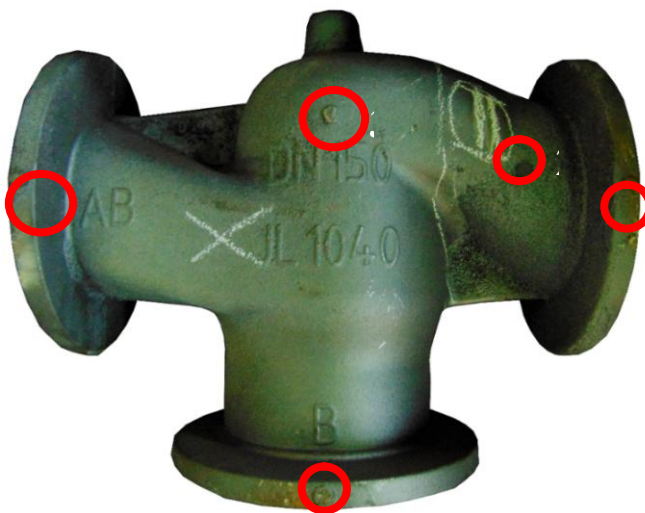
Cílem měření je stanovit časový průběh přetlaku vyvíjených plynů v bentonitové formě během odlévání. Z naměřených dat poté zjistit kritický přetlak plynů, který vede k tvorbě penetrace na odlitcích.

Při návrhu experimentu bylo velmi důležité navrhnout měřicí aparaturu tak, aby měřila s minimální odchylkou, s dostatečným rozsahem tlaku a byla odolná vůči vyšší teplotě. Autoři publikací [1], [2], [3] uvádějí, že během odlévání a tuhnutí odlitku v bentonitové formovací směsi naměřili přetlak 1 atm, přičemž tato hodnota může platit pouze pro daný provoz a její hodnota se může v jiných podmínkách lišit. Proto je nutné zajistit vyšší měřicí rozsah přístroje. Dalším kritickým místem měření je teplota vyvíjených par a plynů, která bude přesahovat 100 °C. Měřicí přístroj proto musí odolat těmto teplotám, přičemž naměřená data nesmí být touto teplotou ovlivněna.

Během experimentu byly měřeny přetlaky plynů ve formách s různým stupněm odvzdušnění. Výsledkem měření je vliv stupně odvzdušnění na vznik penetrace na odlitcích. Při experimentu byly výfuky vrtány tak, aby každá forma měla jiný počet výfuků. Vzniknou tedy 3 druhy forem: forma bez odvzdušnění, částečně odvzdušněná a optimálně odvzdušněná forma. Tlaky plynů v jednotlivých formách je poté možno porovnat při různém stupni odvzdušnění formy.

Navržené pořadí vrtání výfuků ve formách je znázorněno v **Tab. 1**. K výfuku, který je označen číslem 1, je připojen měřicí přístroj, který zaznamenává hodnoty tlaku v průběhu lití. Čísla a umístění výfuků na odlitku jsou zobrazena na **Obr. 2**.

Formy budou řazeny za sebou na licím poli v seriích, podle pořadí vrtání výfuků, jak udává **Tab. 1** a **Obr. 2**. Toto pořadí forem je zvoleno tak, aby nedošlo ke statistickému ovlivnění naměřených hodnot během experimentu. Do formy bude vyraženo dvoučíslí pro zpětnou identifikaci odlitků. První číslo značí sérii, druhé pořadí odlitku v sérii.

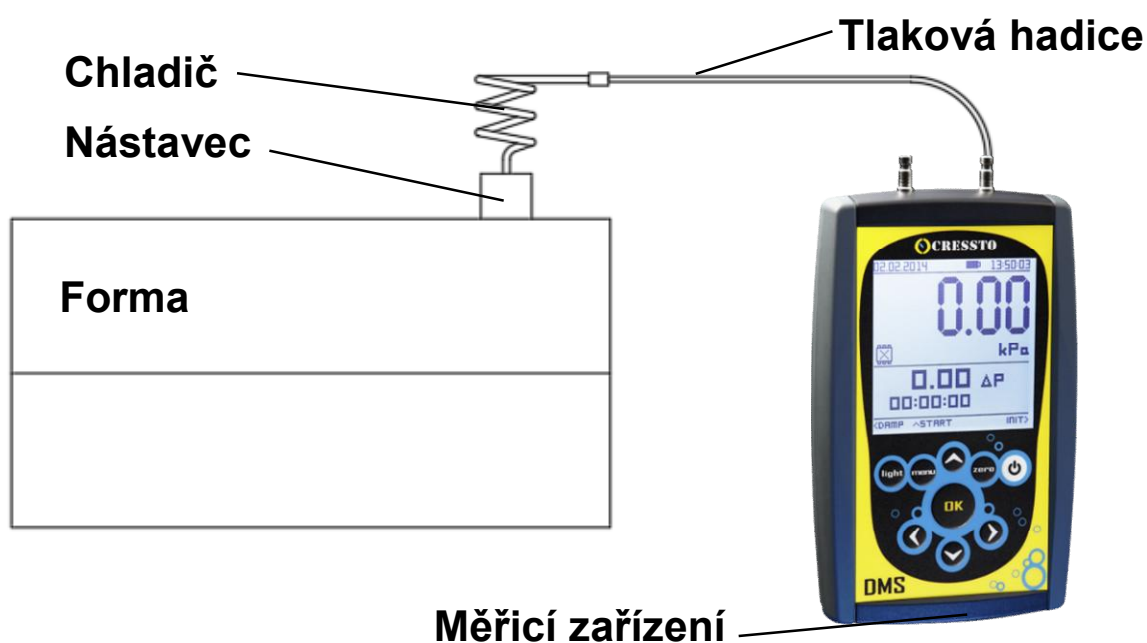


Obr. 2. Označení výfuků na odlitku

Tabulka 1. Pořadí vrtání výfuků

Pořadí formy	Číslo formy	Stupeň odvzdušnění	Vrtané výfuky
1	11	Bez odvzdušnění	1
2	12	Částečné odvzdušnění	1,2,3
3	13	Optimálně odvzdušněno	1,2,3,4,5
4	21	Bez odvzdušnění	1
5	22	Částečné odvzdušnění	1,2,3
6	23	Optimálně odvzdušněno	1,2,3,4,5
7	31	Bez odvzdušnění	1
8	32	Částečné odvzdušnění	1,2,3
9	33	Optimálně odvzdušněno	1,2,3,4,5
10	41	Bez odvzdušnění	1
11	42	Částečné odvzdušnění	1,2,3
12	43	Optimálně odvzdušněno	1,2,3,4,5
13	51	Bez odvzdušnění	1
14	52	Částečné odvzdušnění	1,2,3
15	53	Optimálně odvzdušněno	1,2,3,4,5

Pro měření a záznam průběhu přetlaku ve formách během lití byl vybrán dílenský měřicí přístroj na měření relativního tlaku od firmy Cressto. Toto měřidlo obsahuje datalogger, který celé měření zaznamenává do interní paměti. Pro měření na záznamovém zařízení DMS 1000L je nutné zabezpečit provozní teplotu média, která je maximálně 50 °C. Z tohoto důvodu byla navržena měděná chladicí soustava **Obr. 3** pro rychlý odvod tepla z měřeného média. Chladič má tvar spirály, aby se plyn ochladil a případný kondenzát se nedostal k měřicímu přístroji a nepoškodil jej. Samotný chladič se za pomoci závitu zašroubuje do nástavce z CT směsi, ve kterém je zaformována matice **Obr. 4**.



Obr. 3. Schéma měřicí soustavy

Změna přetlaku, která byla sledována na formovací lince, byla měřena pouze během odlévání. v místě výfuku byl umístěn nástavec s chladičem a případné netěsnosti byly utěsněny kaolinovou šlichtou **Obr. 4**. Záznam přetlaku během tuhnutí odlitku na formovací lince je obtížný kvůli taktu linky. Proto byl experiment zopakován na ruční formovně, kde byly měřeny změny přetlaku během odlévání, ale i tuhnutí odlitku. Model byl formován na střešacím stroji FOROMAT. Ve formě byly umístěny 3 modely odlitku, přičemž hmotnost jednoho odlitku byla 0,5 kg.



Obr. 4. Umístění chladiče na formě

Měření bylo provedeno stejným způsobem jako na formovací lince, ovšem bez použití nástavce. Matice byla tentokrát zaformována přímo do formy nad odlitek a případné netěsnosti byly opět utěsněny kaolinovou šlichtou. Do matice se zašrouboval chladič, ke kterému se připojil zbytek měřicí soustavy. Tímto způsobem byly změřeny 2 formy **Obr. 5**.

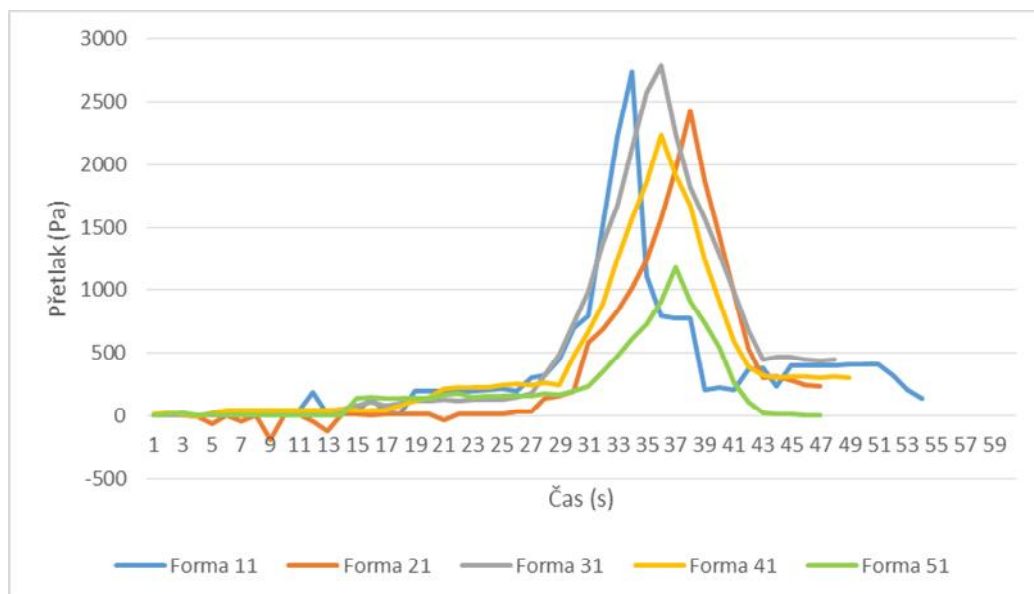


Obr. 5. Formy připravené k odlévání - FOROMAT

2. VÝSLEDKY MĚŘENÍ TLAKU PLYNŮ VE FORMĚ

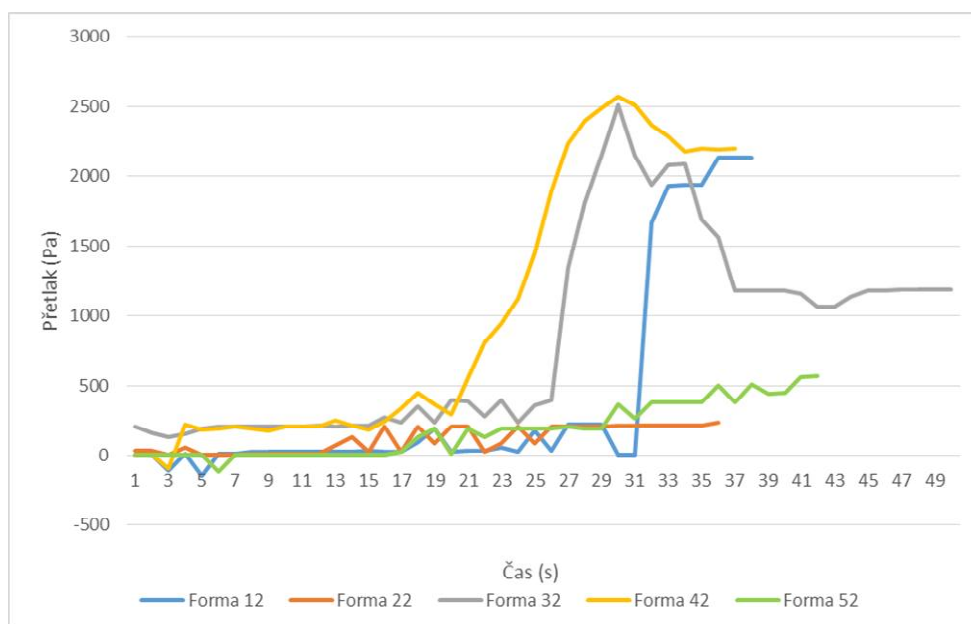
Naměřené průběhy tlaků na formovací lince byly zpracovány do grafů. Jedná se o křivky zobrazující přetlaky oproti atmosférickému tlaku. Celkem bylo měřeno 15 forem při různém stupni odvědušnění. **Graf 1** zobrazuje přetlaky všech neodvědušněných forem. Průměrný čas lití formy je 40 sekund, přičemž k nejvyšším nárůstům dochází právě před koncem lití. Na ose x se nachází časový údaj měření a na ose y hodnoty přetlaků. Hodnoty přetlaků neodvědušněných forem se pohybují v rozmezí 1180–2790 Pa, přičemž nejnižší hodnota přetlaku je u formy 51. Průměrná hodnota přetlaku bez uvažování formy 51, jejíž hodnota přetlaku je odlehlá, je 2550 Pa. Časový

průběh je u všech forem podobný. Hodnoty přetlaku během lití pomalu rostou a před koncem lití dochází k přetlakové špičce, kdy dojde k náhlému zvýšení a snížení přetlaku.



Graf 1. Forma bez odvzdušnění

Graf 2 znázorňuje časový průběh přetlaků plynů v částečně odvzdušněných formách. Na ose x se opět nachází časový údaj měření a na ose y hodnoty měřených přetlaků. Tento graf lze rozdělit do dvou částí. Maximální hodnoty naměřené u forem s pořadovým číslem 1, 3 a 4 se pohybují v rozmezí 2190–2570 Pa a jejich průměrná hodnota je 2423 Pa. Naopak u forem s pořadovým číslem 2 a 5 jsou naměřené přetlaky významně nižší a to v rozmezí 550–230 Pa.



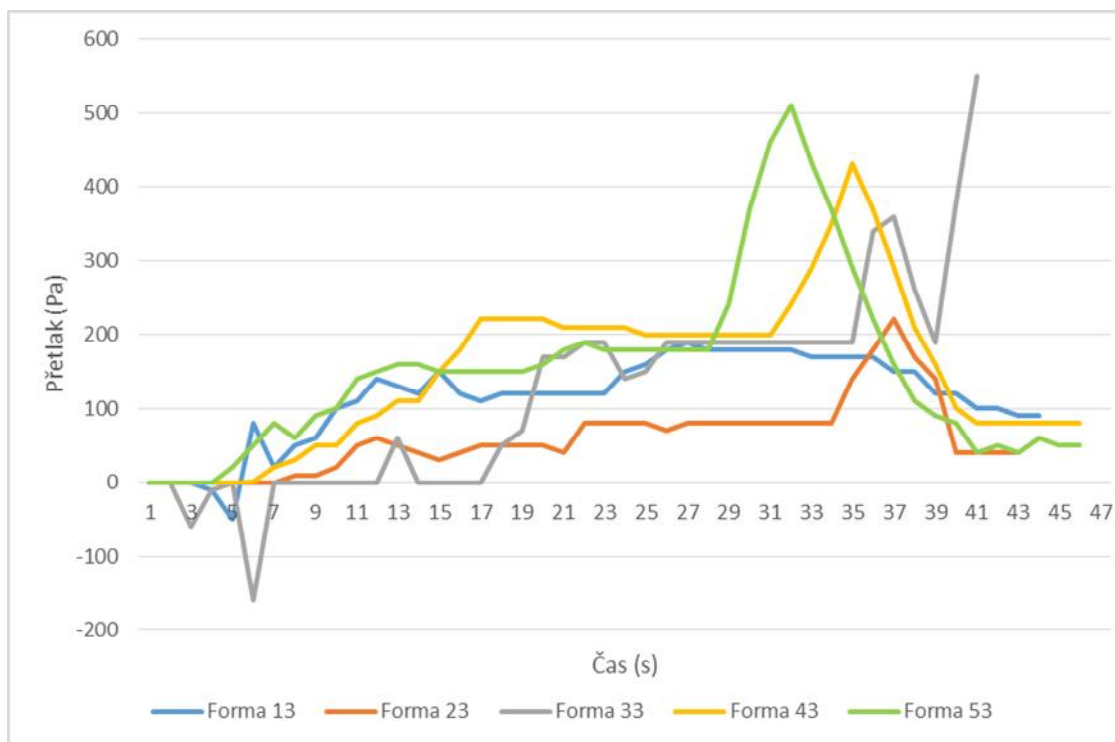
Graf 2. Částečně odvzdušněná forma

Časový průběh je u forem 1, 3 a 4 podobný, ovšem nedochází zde k přetlakové špičce jako v **Grafu 1**. Dochází zde opět k plynulému zvyšování tlaku, kdy před koncem lití se tlak zvýší na svou maximální hodnotu a na té setrvává nebo postupně klesá. Přestože byly naměřeny u forem s pořadovým číslem 2 a 5 podstatně nižší tlaky, nejedná se o odlehlé hodnoty měření. Podstatně vyšší hodnoty přetlaků plynů patrně souvisí s vyšší propustností plynů formou a v dělicí rovině.

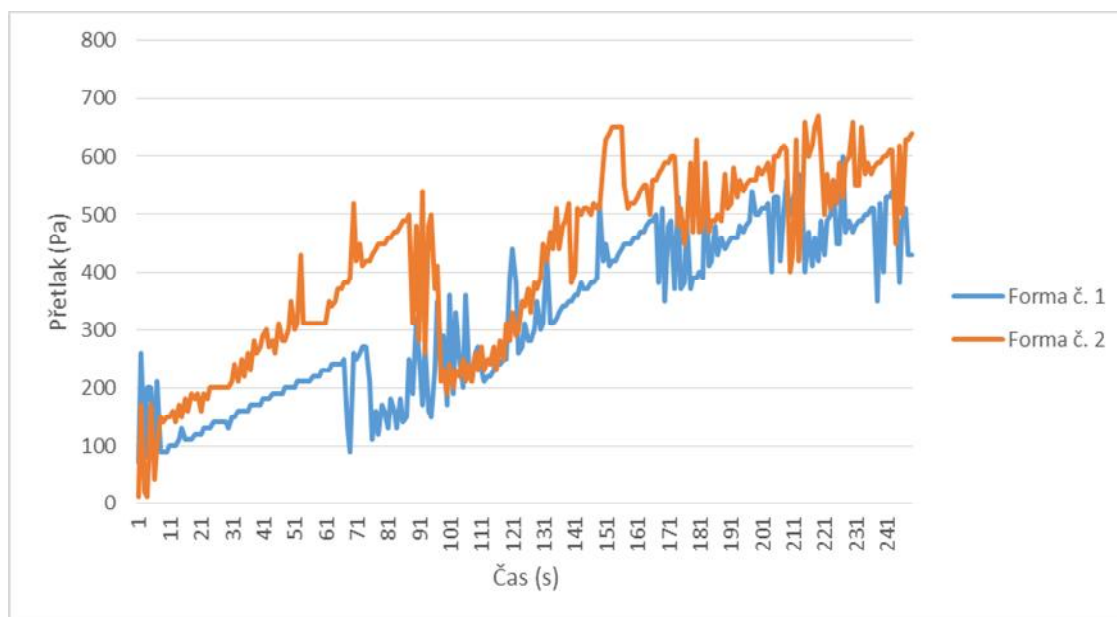
Graf 3 zobrazuje průběh přetlaku plynů v optimálně odvzdušněných formách. Maximální hodnoty naměřených přetlaků se pohybují v rozmezí 190–550 Pa. Během lití dochází ke zvyšování

tlaku a před koncem lití je vidět nižší přetlaková špička. Tato špička je však 10–20 % z hodnot přetlaků plynů v neodvzdušněné formě.

Následně bylo provedeno měření přetlaku plynů ve formě během plnění a následného chladnutí odlitku. Jednalo se o formy zhotovené na ruční formovně pomocí střešacího stroje FOROMAT. Výsledky tohoto měření na ruční formovně znázorňuje **Graf 4**. V obou případech je vidět postupný nárůst přetlaku plynů s oscilací vyvolanou odvodem plynů z formy. Doba odlévání byla 10 s, v tomto časovém intervalu lze pozorovat nárůst přetlaku na hodnoty až 280 Pa a následný pokles u obou forem. Během chladnutí a tuhnutí přetlak neustále narůstá a dosahuje maxima na hodnotách 600–650 Pa.

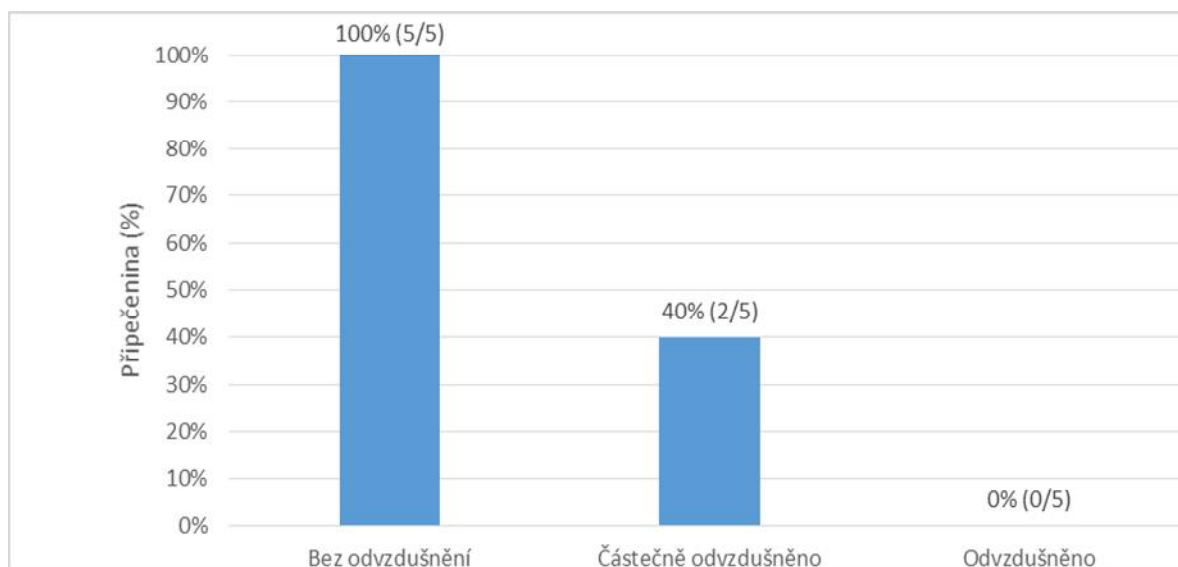


Graf 3. Optimálně odvzdušněná forma



Graf 4. Porovnání časových průběhů přetlaků během tuhnutí

Odlitky ze sledovaných forem, na kterých bylo prováděno měření přetlaku plynů během plnění, byly sledovány z hlediska výskytu připečenin. Tato vada se vyskytovala zejména na odlitcích, které nebyly během odlévání odvzdušněny pomocí výfuků. Jedná se o povrchové připečeniny s malou hloubkou penetrace a jejich výskyt byl zejména na přírubách. Výskyt připečenin v závislosti na stupni odvzdušnění je znázorněn v **Grafu 5**. Tento graf prokazuje, že výskyt připečenin u sledovaných odlitků byl ovlivněn stupněm odvzdušnění formy.



Graf 5. Výskyt připečenin na odlitcích

3. ZÁVĚR

Ve formách na formovací lince byly měřeny přetlaky během lití a na ruční formovně byly měřeny přetlaky plynů i během chladnutí a tuhnutí odlitku. Výsledky tohoto experimentu dokazují, že stupeň odvzdušnění má zásadní vliv na vznik explozivní penetrace. U neodvzdušněných forem byly naměřeny přetlakové špičky plynů před koncem lití. S přibývajícím stupněm odvzdušnění tyto přetlakové špičky byly podstatně nižší. Měření přetlaků během tuhnutí prokázalo, že ke zvyšování přetlaku ve formě dochází i během tuhnutí. Tento přetlak je významný pouze do doby, než se na odlitku vytvoří dostatečně silná ztuhlá vrstva kovu, která tomuto přetlaku odolá.

LITERATURA

- [1] STEFANESCU, D. M., S. R. GIESE, T. S. PIWONKA, A. M. LANE: Cast Iron Penetration in Sand Molds, Part I: Physics of Penetration Defects and Penetration Model. AFS Transactions. 1996, 104(96–206), 1233–1248
- [2] GIESE, S. R., D. M. STEFANESCU, J. BARLOW, T. S. PIWONKA: Cast Iron Penetration in Sand Molds, Part II: Experimental Evaluation of Some Main Parameters Responsible for Penetration. AFS Transactions. 1996, 104(96–207), 1249–1257
- [3] PATTABHI, R., A. M. LANE, T. S. PIWONKA: Cast Iron Penetration in Sand Molds, Part III: Measurements of Mold-Metal Interfacial Gas Composition. AFS Transactions. 1996, 104(96–208), 1259–1264

Zkouška ztráta žiháním

Pazderka J.¹⁾

¹⁾ KERAMOST, a.s., provoz Obrnice, Obrnice, 435 21, ČR, pazderka@keramost.cz

Klíčová slova

Spalitelné látky, furanový regenerát, jednotná bentonitová směs, uhlíkatá přísada

Abstrakt

Zkouška ztráta žiháním je často prováděné testování kvality formovacích směsí. Kolektivní práce KOFOLY sleduje a srovnává podmínky a postupy zkoušky spalitelných látek u vzorků jednotné bentonitové směsi, furanového regenerátu a uhlíkaté přísady. Výsledkem je 171 měření provedených u různých subjektů, sloužící ke sjednocení metodiky měření.

1. ÚVOD

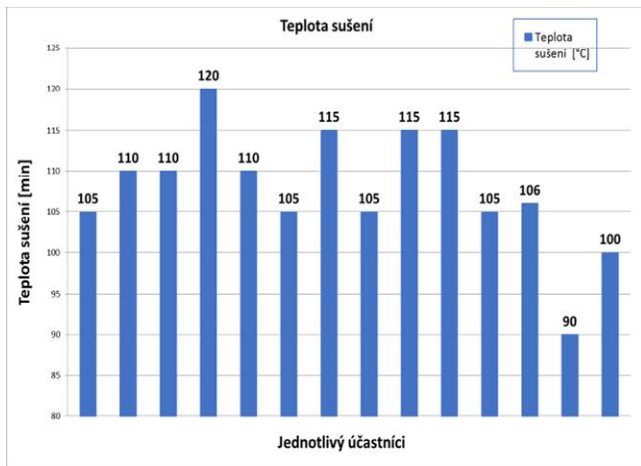
Ztráta žiháním neboli spalitelné látky je jednou ze základních laboratorních metod, které jsou ve slévárnách často používány k hodnocení kvality směsi. Poměrně komplikovaná zkouška s důrazem na přesnost měření a také technické vybavení laboratoře je využívána pro kontrolu více formovacích technologií. Z toho důvodu provedla odborná komise České slévárenské společnosti sledování a srovnání metodiky postupů a výsledků zkoušek.

Bylo jednotné zadání pro všechny účastníky:

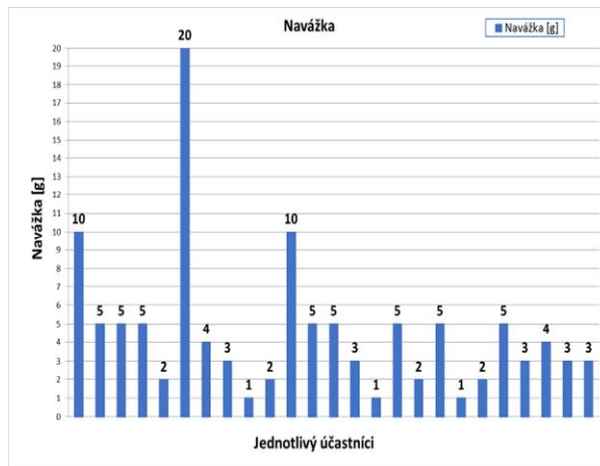
- každý dostane tři vzorky, váha vzorků je dostatečná, aby bylo možno provést zkoušku vícekrát (doporučeno).
- vzorky jsou jednotná bentonitová formovací směs, furanový regenerát a uhlíkatá přísada, vzorky jsou očíslovány a označeny písmeny B, F, U.
- do elektronického protokolu je nutno uvést teplotu žihání, dobu žihání, dobu náběhu na teplotu, dobu sušení, teplotu sušení, navážku na zkoušku, sušící a žihací zařízení, použití exikátoru a poslat fotku kelímku.

2. VÝSLEDKY MĚŘENÍ

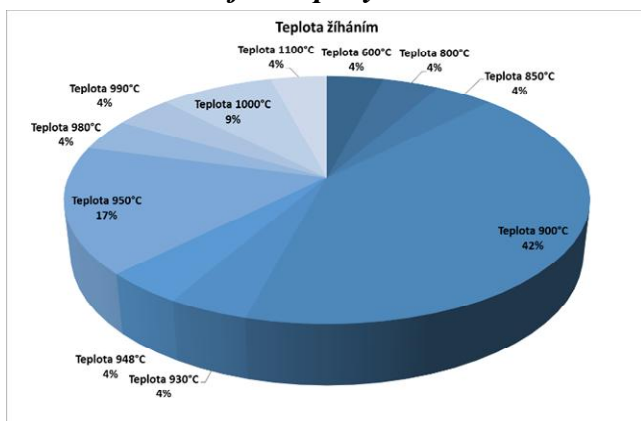
Měření provedlo 25 subjektů (sléváren, vysokých škol, dodavatelských firem), celkově bylo měření provedeno 175krát, z toho bentonitová směs 57krát, furanový regenerát 58krát a uhlíkatá přísada 56krát. Výsledky všech měření jsou uvedeny v tabulce 1 a 2 na konci textu. Tvar a velikost kelímků pro zkoušky je záležitostí jednotlivých subjektů měření. I to však může ovlivnit výsledek zkoušky. Žihací pece jsou variabilní, nejčastější (4 x) je výrobcem firma LAC. 76 % měření bylo dokončeno v exikátoru. Teplota sušení vzorků byla od pěti minut do devadesáti, teploty sušení vzorků jsou uvedeny v **grafu 1**. Navážky na zkoušku jsou uvedeny v **grafu 2**. Teploty žiháním byly od 600 do 1000 °C, uvedeny dle četnosti jsou v **grafu 3**., časy žihání pak v **grafu 4**. Konkrétní výsledky měření pak v **grafu 5**, to je jednotná bentonitová směs, v **grafu 6** furanový regenerát. Výsledky uhlíkaté přísady budou uvedeny pouze v prezentaci.



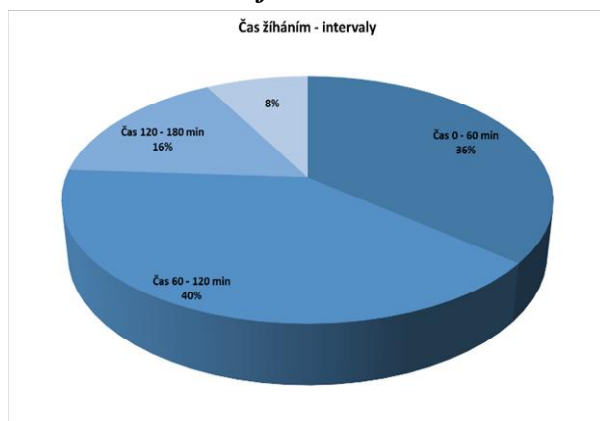
Graf 1. Teploty sušení



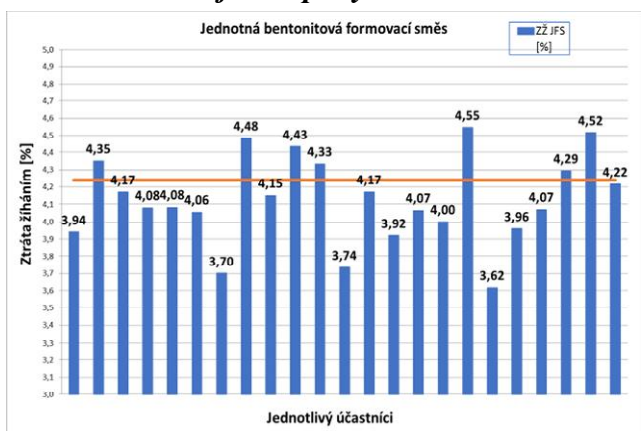
Graf 2. Navážka



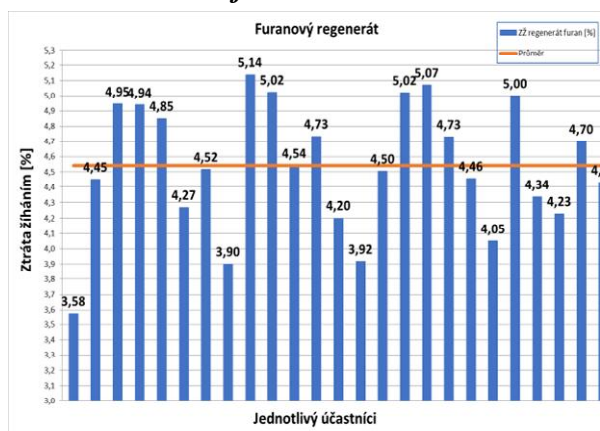
Graf 3. Teploty žháním



Graf 4. Čas žháním



Graf 5. Výsledky JFS



Graf 6. Výsledky FR

3. ZÁVĚR

Práce ukazuje statistické zpracování výsledků. Několik subjektů provádělo zkoušku poprvé, ať již samotnou nebo u nové směsi, kterou slévárna nepoužívá. I to mohlo ovlivnit výsledek. Většina zkoušek je provedena v pořádku, podle očekávání jsou však rozdíly patrné. Větší difference byla mezi výsledky furanového regenerátu, zde jsme přitom předpokládali větší homogenitu vzorku. U bentonitových směsí se na výsledku podílelo více surovin, výsledek zkoušky byl „slušně“ homogenní. Uhlíkatá přísada byla pro stanovení nejsložitější, přesto u dobrých výsledků byla největší homogenita. Doporučujeme při srovnávání výsledků z jiné slévárny, subjektu, jako vždy zkoumejte i podmínky měření.

Tabulka 1. Výsledky měření

Číslo Vzorek	ZŽ JFS [%]				ZŽ regenerát furan [%]				ZŽ uhlíkatá přísada [%]			
	hodnota1	hodnota2	hodnota3	průměr	hodnota1	hodnota2	hodnota3	průměr	hodnota1	hodnota2	hodnota3	průměr
1	4,03	3,85	---	3,94	3,77	3,38	---	3,58	51,25	57,17	---	54,21
2	4,40	4,30	---	4,35	4,40	4,50	---	4,45	94,30	94,30	---	94,30
3	4,05	4,30	4,16	4,17	4,83	4,94	5,07	4,95	89,46	91,50	88,54	89,83
4	4,08	---	---	4,08	4,94	---	---	4,94	86,62	---	---	86,62
5	7,25	7,25	7,25	7,25	4,55	5,20	4,80	4,85	95,00	94,80	94,00	94,60
6	4,05	4,00	4,20	4,08	4,35	4,20	4,25	4,27	4,70	4,95	4,45	4,70
7	4,05	4,06	---	4,06	4,36	4,67	---	4,52	94,20	94,39	---	94,30
8	3,70	---	---	3,70	3,90	---	---	3,90	94,33	---	---	94,33
9	6,18	6,88	6,34	6,39	5,13	5,59	5,25	5,14	94,66	94,96	94,50	94,69
10	4,63	4,47	4,35	4,48	5,01	5,28	4,78	5,02	94,17	94,24	94,29	94,23
11	4,18	4,14	4,13	4,15	4,60	4,42	4,60	4,54	94,05	94,00	94,09	94,05
12	4,24	4,64	4,42	4,43	4,78	5,02	4,40	4,73	94,42	---	---	94,42
13	4,40	4,40	4,20	4,33	4,20	4,00	4,40	4,20	81,40	82,20	83,20	82,27
14	3,60	3,87	---	3,74	3,87	3,96	---	3,92	67,00	72,80	76,00	71,93
15	4,14	4,17	4,20	4,17	4,51	4,60	4,40	4,50	90,19	90,22	89,10	89,84
16	3,92	---	---	3,92	5,02	---	---	5,02	---	---	---	---
17	4,23	3,90	---	4,07	5,24	4,90	---	5,07	94,30	94,20	---	94,25
18	4,02	3,98	---	4,00	4,69	4,77	---	4,73	91,28	92,48	---	91,88
19	4,41	4,53	4,70	4,55	4,45	4,49	4,42	4,46	94,51	94,38	94,42	94,43
20	3,45	3,75	3,65	3,62	4,00	3,95	4,20	4,05	64,25	65,95	67,70	65,97
21	3,96	---	---	3,96	5,00	---	---	5,00	96,86	---	---	96,86
22	4,07	---	---	4,07	4,48	4,19	---	4,34	94,26	94,08	---	94,17
23	4,33	4,29	4,26	4,29	4,27	4,15	4,26	4,23	94,28	94,50	94,02	94,27
24	4,48	4,55	---	4,52	4,74	4,66	---	4,70	94,25	94,34	---	94,30
25	4,25	4,18	---	4,22	4,56	4,30	---	4,43	88,30	88,80	---	88,55

Tabulka 2. Podmínky měření

Číslo Vzorek	Teplota žhánění [°C]	Náběh na teplotu [°C]	Čas žhánění [min]	Navážka [g]	Exikátor (A/N)	Teplota sušení [°C]	V čem sušeno	Název pece	Foto kelímku
1	900	---	120	10	ANO	105	BC G16/250	MLW (NDR)	ANO
2	980	180	240	5	ANO	110	---	BUKOTERM	ANO
3	900	---	180	5	ANO	110	RADWAG MA 50.R	018 LP-V	ANO
4	900	---	240	5	ANO	120	MAC	FURNACESNOL	ANO
5	900	30	60	2	ANO	---	---	MLV LM 212.11/2	ANO
6	600	60	90	20	NE	110	---	ZEPAKOMP	ANO
7	950	---	60	4	ANO	105	AV HG 33	LAC	ANO
8	900	---	180	3	NE	115	Infralampa	VEB	ANO
9	1100	60	60	1	ANO	---	---	LAC LMH 11/12	ANO
10	900	---	120	2	ANO	105	BMT VENTICELI	LAC LMH 11/12 LE 09/11	ANO
11	900	0	120	rozdílná	ANO	115	UN 110	LAC	ANO
12	990	60	45	5	ANO	---	Infralampa	LM 112.12	ANO
13	900	60	60	5	NE	115	---	MLW (NDR) LM 312.11/2	ANO
14	950	---	60 - 90	3,0 - 3,5	NE	---	---	VEB Elektro bad	ANO
15	800	60	60	1	ANO	105	Memmert	MP 05-1.1	NE
16	950	---	60	5	ANO	---	---	Vebo Elektro L1 202.2	NE
17	---	120	60	2	ANO	---	Infralampa	Elektrodružstvo Praha K9	ANO
18	1000	120	90	5	ANO	106	Radwag MA 50	MP do 1200°C	ANO
19	1000	120	120	1	NE	---	---	MIWY 116	ANO
20	850	---	120	2	NE	---	---	MLW LM312.11/2	ANO
21	900	---	180	1 - 10	ANO	---	---	LINN	ANO
22	930	90	120	3	ANO	90	HVZ 1 (6 HODIN)	EP SVOBODA 018 LP	NE
23	950	120	60	4	ANO	---	---	MLW LK 112.11	ANO
24	900	0	120	3	ANO	100	Venticell sušárna	SVOBODA 003LP	ANO
25	948	120	180	3	ANO	---	---	MP 05-00	ANO

Lihové a vodní nátěry firmy ASK Chemicals

Odlitky bez vad

Použití nátěrů ASK Chemicals Vám přináší výhodné řešení k zabránění vzniku vad na odlitcích:

- ✓ čistý povrch odlitku
- ✓ nízká zmetkovitost a nízké náklady na čištění odlitků
- ✓ zvýšení produktivity a efektivity v celém procesu výroby odlitků

Více informací najdete na:
www.ask-chemicals.com



ASKCHEMICALS
We advance your casting



ASK Chemicals Czech s.r.o. | Tovární 7, 643 00 Brno, Czech Republic | Tel: 4420 545 219 030 | info.czech@ask-chemicals.com

Výroba jader metodou termošok

Vaňková, A.¹⁾

¹⁾ *Viadrus a.s., Bohumín, Česká Republika*

Jak šel čas se slévárnou nyní sídlící v Bohumíně VIADRUS a.s.?

Historie podniku sahá až do roku 1885, kdy byla Albertem Hahnem a Heinrichem Eisnerem založena v Bohumíně rourovna. Následně v roce 1888 se zahájil provoz slévárny. Již v roce 1890 se začaly vyrábět první litinové radiátory, posléze se portfolio v roce 1928 rozšířilo o výrobu litinových kotlů na tuhá paliva vlastní konstrukce. Po znárodnění v roce 1945 pokračoval další rozvoj výroby a v roce 1958 byly oba dosud samostatné podniky spojeny do jednoho, který nesl název *Železářny a drátovny Bohumín*. V roce 1973 se zahájil provoz nové slévárny a montovny radiátorů. Tento mezník byl významný i z hlediska výroby jader pro radiátorové články.

V roce 1993 vznikla akciová společnost *ŽDB a.s.*, dále se *ŽDB a.s.* stala členem skupiny *ŽDB GROUP a.s.*, kde byly připojeny i další firmy. V roce 2012 se společnost *ŽDB GROUP a.s.* rozdělila na několik částí, jednou z nich je *VIADRUS a.s.* (**obr. 1**).



Obr. 1. Pohled na vstup do závodu VIADRUS a.s.

Jaké technologie používá VIADRUS a.s. při výrobě jader?

Ve slévárně jsou využívány technologie pro výrobu jader Cold-Box, Alphaset a Termošok. S metodami studeného jaderníku se setkáváme ve spoustě slévárnách.

Ale co výroba jader metodou Termošok?

V České republice se s touto metodou výroby jader nesetkáme nikde, kromě slévárny v Bohumíně *VIADRUS a.s.* Pracoviště jaderny Termošok bylo zprovozněno v roce 1973. Jaderna měla za úkol primárně zajistit výrobu jader pro radiátorové články. V pozdějších letech se rozrostla výroba o jádra kotlových článků. Pracoviště jaderna Termošok se skládá z 8 výrobních linek (**obr. 2**).



Obr. 2. Zachyceno je pouze část linek – pece jsou dlouhé cca 10 metrů

Komponenty a mísení jádrové směsi termošok

Princip metody Termošok spočívá v použití vhodného pojivového systému s vysoce kondenzovanými fenolickými pryskyřicemi a močovinou, tvrdidlem jsou kyselé soli. Vytvrzení jader probíhá krátkodobým tepelným šokem a vytvrzovací reakce doběhne vlivem naakumulovaného tepla jader.

Jádrová směs se skládá z následujících komponent (**obr. 3**):

- ostřivo (GL35)
- pojivo (Thermocor)
- katalyzátor (Härter)
- pomocná přísada snižující lepivost směsi na jaderník a vstřelovací desky (Katalyzátor/Treko)
- pomocná přísada zabraňující osychání jádrové směsi (fridex – podmínka min. 90 % ethylenglykolu)
- pomocná přísada zajišťující tekutost směsi a snižování přilnavosti jader v sušící podložce po vytvrzení (petrolej)

Na pracovišti míchání jádrové směsi jsou umístěny 2 mísačky MK 355 (**obr. 4**). Do pojízdné váhy je naváženo potřebné množství nového ostřiva. Ostřivo je vypuštěno do mísačky MK 355, postupně se přidávají jednotlivé komponenty dle určeného pořadí a doby mísení. Cyklus mísení trvá 6 minut. Namíchaná jádrová směs se vypustí do transportního zvonu pod mísačkou (**obr. 5**) a za pomoci jeřábku je zvon dopraven nad zásobník vstřelovacího stroje, kde je jádrová směs vypuštěna.



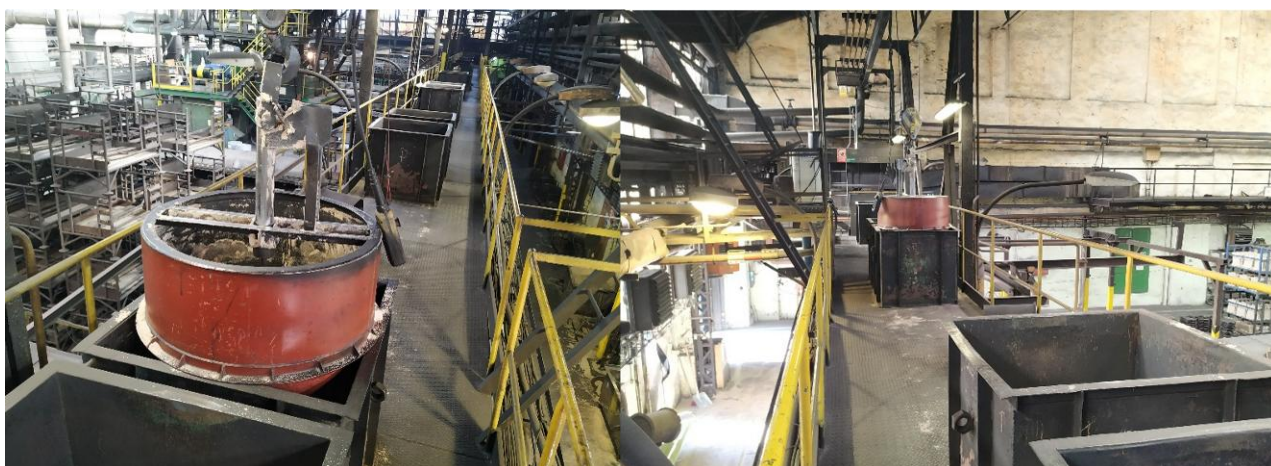
Obr. 3, 4. Vlevo komponenty v sudech; vpravo 2 mísačky MK 355 a pojízdná váha



Obr. 5. Transportní zvon naplněný jádrovou směsí

Rozvoz jádrové směsi

Do vstřelovacího zásobníku smí obsluha umístit pouze 1 dávku namíchané jádrové směsi (**obr. 6**). Další plnění vstřelovacího zásobníku se provádí až po spotřebování dávky předcházející a to z důvodu osychání směsi. V letním období je nutno 1 namíchanou dávku rozdělit na 2 poloviny, aby se namíchaná směs rychle spotřebovala a neosychala. Důležité je, aby pracovník mísení dokázal usměrňovat mísení jádrové směsi i rozvoz tak, aby minimalizoval ztráty nejen ekonomické, ale také minimalizoval neshodnou výrobu jader díky těmto vlivům.



Obr. 6. Transportní zvon položený na zásobník jádrové směsi

Vstřelovací stroje a pracoviště

Každá výrobní linka má 2 vstřelovací stroje (**obr. 7**) a 1 termošokovou pec, pracoviště výklepu jader, pracoviště odběru jader. Jádra jsou vyráběna na vstřelovacích strojích Röper (H12 pro radiátorová jádra a H25 pro kotlová jádra). Pro funkčnost strojů je důležité dodržet tlak vzduchu min. 6 Atm.



Obr. 7. Vlevo vstřelovací stroj H12, vpravo vstřelovací stroj H25

Výroba kotlových jader – ručně

Kotlová jádra se vyrábějí ručně. Obsluha výroby kotlových jader odebere z válečkového dopravníku nahřátou sušící podložku (**obr. 8**), kterou vloží pod vstřelovací hlavu. Jaderník se nenahřívá. Páčkou nastřelí jádrovou směs do přehřáté sušící podložky a jaderníku. Obsluha si posune obě poloviny jaderníkového zařízení na sklapovadla (**obr. 10**) a vizuálně zkontroluje obě poloviny jádra, v případě nedostřelení místo zasype jádrovou směsí. Za pomoci pedálu sklapovadlo (**obr. 9**) sklopí obě poloviny jader k sobě (**obr. 11**). Jaderník obsluha zvedne, vrátí pod vstřelovací hlavu a vzniklé jádro se sušící podložkou položí na řetězový dopravník pece (**obr. 12**), kde dochází k vytvrzení jádra (**obr. 13**).



Obr. 8, 9. Vlevo válečkový dopravník s nahřátými sušícími podložkami; vpravo sklapovadlo



Obr. 10, 11, 12, 13. Ruční sklapaní kotlových jader a položení sušicích podložky na řetězový dopravník pece

Doba průjezdu přes pec je v rozmezí 8–12,5 minut dle daného sortimentu. Teplota pece se nastavuje dle sortimentu v rozmezí 320–420 °C. Jádra nesmí být nevytvrzená nebo přepálená. Správné nastavení teploty záleží také na počtu sušicích podložek, na kolísání výhřevnosti plynu, na kolísání tlaku plynu, na teplotě okolí. Plynové hořáky nejsou v termošokové peci po celé délce, ale jen do 1/3 pece, kde dochází k tepelnému šoku a následně ve zbývajících části dráhy pece k dotvrzení jader.

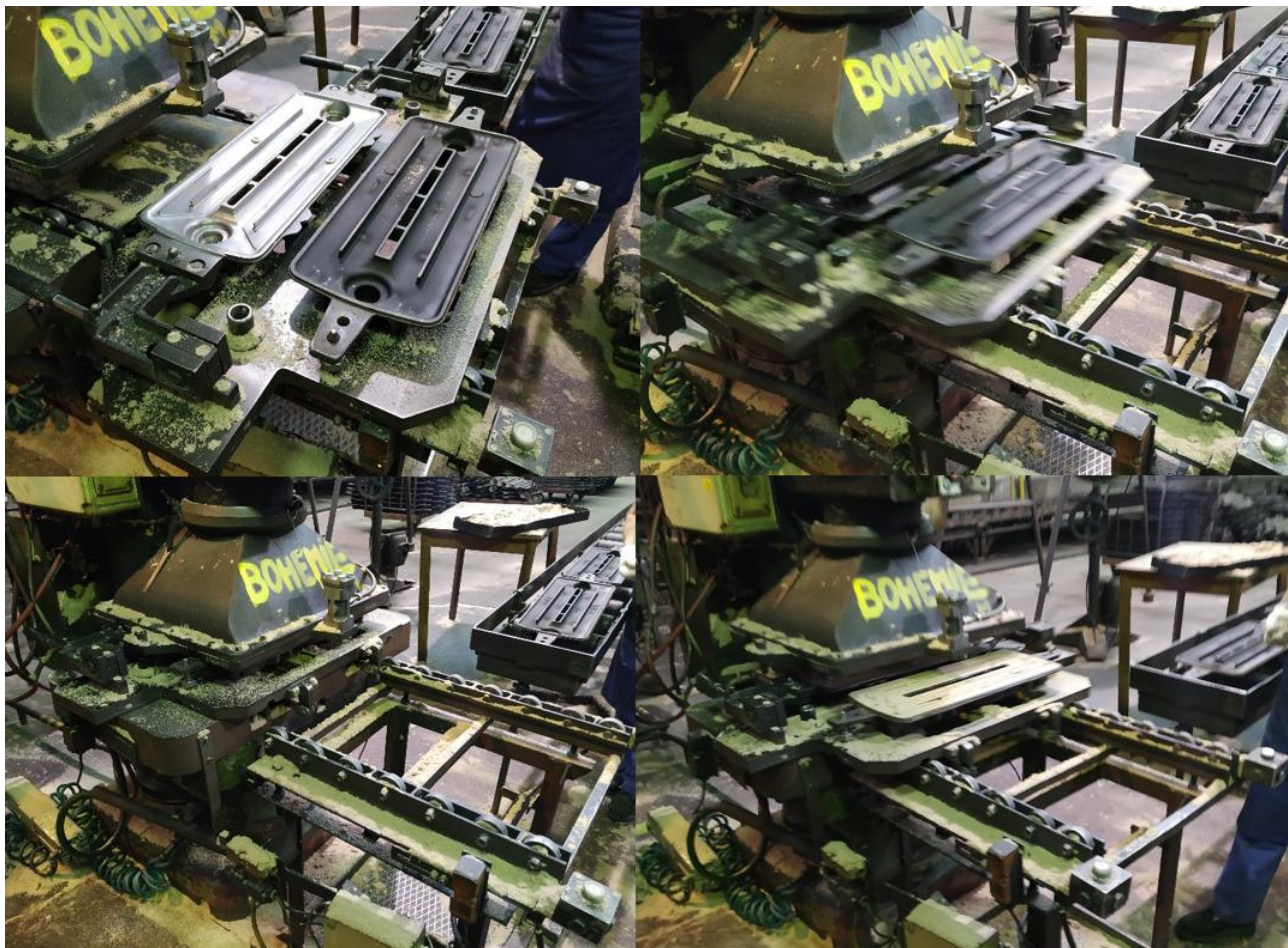
Na konci řetězového dopravníku (**obr. 14**), obsluha výklepu jader přitáhne k sobě sušicí podložku s vytvrzeným jádrem a vytáhne je ze sušicí podložky (**obr. 15**). U kotlového jádra se očistí otřepy v dělicí rovině za pomoci brusného kamene, popřípadě jehlice. Očištěná jádra jsou založena do transportního koše (**obr. 16**). Naplněný koš musí být zajištěný profilem, aby nedošlo při transportu k sesunutí jader a poškození (**obr. 17**). Sušicí podložka se pošle po válečkovém dopravníku na začátek pece, kde obsluha výroby jader může opětovně nastřílet jádrovou směs do jaderníkového zařízení a celý cyklus opakovat.



Obr. 14, 15, 16, 17. Vytvrzené a očištěné jádro se uloží do transportního koše

Výroba radiátorových jader – poloautomat

Vybrané sortimenty radiátorových jader se vyrábějí poloautomaticky. Obsluha výroby jader odebere z válečkového dopravníku již přehřátou sušicí podložku. Sušicí podložku položí na vozík (**obr. 18**), po stisku tlačítka sestava vozíku zajede pod vstřelovací hlavu (**obr. 19**). Za pomoci tlaku 6 Atm. je jádrová směs nastřelena do jaderníku a sušicí podložky (**obr. 20**).



Obr. 18, 19, 20, 21 – Práce sestavy vozíku a nastřelení jádrové směsi do jaderníkového zařízení

Po vyjetí sestavy vozíku (**obr. 21**) do úvodní pozice zkontroluje obsluha výroby jader vizuálně obě poloviny jádra. Jádrová směs musí být perfektně dostřelená, v případě nedostřelení se jádro dosype ručně (**obr. 22**). Průduchy musí být správně vylisovány v osách sloupků. Průduchy v jádře slouží pro zajištění odvodu plynu z jádra.



Obr. 22. Vlevo nedostřelené jádro; vpravo zasypané jádro připraveno na sklopení

Po vizuální kontrole jsou obě poloviny jader sklopeny (**obr. 23**). Sušící podložka se vzniklým jádrem se položí na řetězový dopravník pece (**obr. 24**).



Obr. 23, 24. Vlevo sklopené jádro; vpravo položená sušící podložka s jádrem na řetězový dopravník pece

Doba průchodu přes pec je v rozmezí 8–12,5 minut dle daného sortimentu. Teplota pece se nastavuje opět dle sortimentu v rozmezí 320–420 °C. Jádra nesmí být nevytvrzená nebo přepálená. Správné nastavení teploty závisí také na počtu sušících podložek, na kolísání výhřevnosti plynu, na kolísání tlaku plynu, na teplotě okolí. Plynové hořáky nejsou v termošokové peci po celé délce, ale jen do 1/3 pece, kde dochází k tepelnému šoku a následně ve zbývajících částech dráhy pece k dotvrzení jader.

Pracovník výklepu jader si zvolí takový způsob výklepu, aby nedošlo k poškození jádra. Soustavně provádí vizuální kontrolu a vyřazuje neshodnou výrobu jader. Vyklepnuté radiátorové jádro se položí na sběrný dopravník a sušící podložku pošle po válečkovém dopravníku na pracoviště výroby jader. Na sběrném dopravníku jsou jádra zbavována otřepů v dělicí rovině speciálním čistícím zařízením (**obr. 25**), které musí být seřízené vždy dle vyráběného sortimentu. Pokud je očištění nedokonalé, pracovník odběru jader očistí jádro ručně (**obr. 26**).



Obr. 25, 26. Vlevo vyjíždí jádro zpoza čistícího zařízení; vpravo ruční dočištění jádra

Pracovník ukládání jader vizuálně zkontroluje a jádro se uloží do transportního koše. Transportní koš se řádně uzavře profilem (**obr. 27**), aby nedocházelo při transportu na úložiště jader k jejich poškození.



Obr. 27. Uložená jádra v transportním koši zajištěná profilem

Výroba radiátorových jader – automat

Na pracovišti jaderny Termošok jsou 3 linky automatizované. Obsluha výroby jader pouze kontroluje chod linky při sběru sušicích podložek, položení na vozík, nastřelení jádrové směsi do jaderníkového zařízení a položení na řetězový dopravník pece. Výklep jader a uložení do transportních košů musí obstarat lidská práce.

Manipulační pevnosti po vytvrzení

Po vychladnutí se jádra mohou zakládat do formy, není potřeba čekat do dalšího dne. Manipulační pevnosti jader jsou vyšší než pevnosti např. u metody Cold-Box a Alphaset. Pevnosti v tlaku po vytvrzení jsou daleko vyšší než u metody Cold-box a Alphaset. Pevnosti v tlaku se měří na přístroji LRU v extérní laboratoři a pohybují se kolem 5–6 Mpa.

Rozpadavost jader

Rozpadavost jader po odlití je velmi dobrá. V těle odlitku nezůstávají nerozpadlé části jader.

Kadence výroby jader

Pro představu kotlových jader se vyrobí až 480 ks/směna. Radiátorových jader je možno vyrobit až 4800 ks/směna. Vše záleží na vybraném druhu sortimentu.

Vize do budoucna?

V plánu je inovace z hlediska automatického dávkování komponent. Ale nebudeme předbíhat ☺

Komplexní řešení produktivity a ekologie při výrobě jader

Lenzen, F., Koch, Ch., Yilmaz, I., Vondráček, R.

ASK Chemical

Ecocure Blue se stalo standardem ve výrobě forem a jader metodou Cold Box v domácích slévárnách, kombinuje ekonomickou účinnost s environmentální udržitelností.

Bezpečnostní list neobsahuje žádné nebezpečné látky – Ecocure Blue složka 1 nemá žádnou třídu nebezpečnosti, obsahuje méně než 1 % volného fenolu a méně než 0,1 % volného formaldehydu.

ECOCURE BLUE dokáže být ekonomicky efektivní a výrazně zlepšuje dopady na pracovní a životní prostředí.

VYŠŠÍ NÁKLADY NA POJIVO JSOU VYVÁŽENY BENEFITY VE VŠECH OBLASTECH POUŽITÍ

+ SNÍŽENÍ ÚROVNĚ POJIVA AŽ O 25 %

+ SNÍŽENÍ ÚROVNĚ AMINU AŽ O 50 %, ZKRÁCENÍ VÝROBNÍHO CYKLU, VYŠŠÍ

PRODUKTIVITA

+ MOŽNÉ SNÍŽENÍ VÝDAJŮ NA SPECIALNÍ PÍSKY AŽ 100 %

+ SNÍŽENÍ ZMETKOVITOSTI JADER A ODLITKŮ

+ SNÍŽENÍ ZÁPACHU VE SLÉVÁRNĚ A JEJÍM OKOLÍ

+ VÝZNAMNÉ SNÍŽENÍ EMISÍ

Jaká je další výzva? Spojit zlepšenou kvalitu odlitků a úsporu nákladů s ochranou pracovního a životního prostředí v celém procesu výroby jader včetně dávkování přísad, aplikace nátěrů a jejich sušení

Co je to LFSPAC?

Jedná se o balíček inovací, které primárně plní požadavek legislativy na snížení emisí formaldehydu jako hlavní škodliviny uvolňující se při výrobě forem a jader metodou Cold Box. Snížení emisí a hlavně kvalita finálních odlitků však není zajištěna jenom cold boxovým pojivem, ale je nutno použít různé přísady k zamezení tvorby výronků, ke zlepšení povrchu a v neposlední řadě slévárenský nátěr. Také přísady a nátěry obsahují organické látky a jsou zdrojem emisí formaldehydu.

LFSPAC – Inovativní balíček pojiva Ecocure Blue, Additiv a nátěrů,

zajišťuje splnění nových emisních limitů pro formaldehyd 5mg/m³

zaměřuje se na celý proces výroby jader včetně přísad, nátěrů a sušení natřených jader v sušících pecích

zlepšuje kvality odlitků a nezvyšuje náklady na jejich výrobu

Aktuální výsledky: Slévárna tvárné litiny v Německu, kapacita 60000 t odlitků ročně, velikost 0,5–20 kg, odlitky pro automobilový průmysl (VW, Toyota) – třmeny, držáky, řídicí klouby, tělesa diferenciálu:

Nasazení ECOCURE™ BLUE LFS

Emise formaldehydu během sušení jader při teplotě 190 °C klesly o 75 %. Z 12,25 mg na 3,55 mg během sušícího cyklu. Redukce pojiva o 20 %, Snížení zmetkovitosti ze 4 % na 0,5 %, Snížení spotřeby aminu o 30 %, zkrácení doby výrobního cyklu jader o 15 %

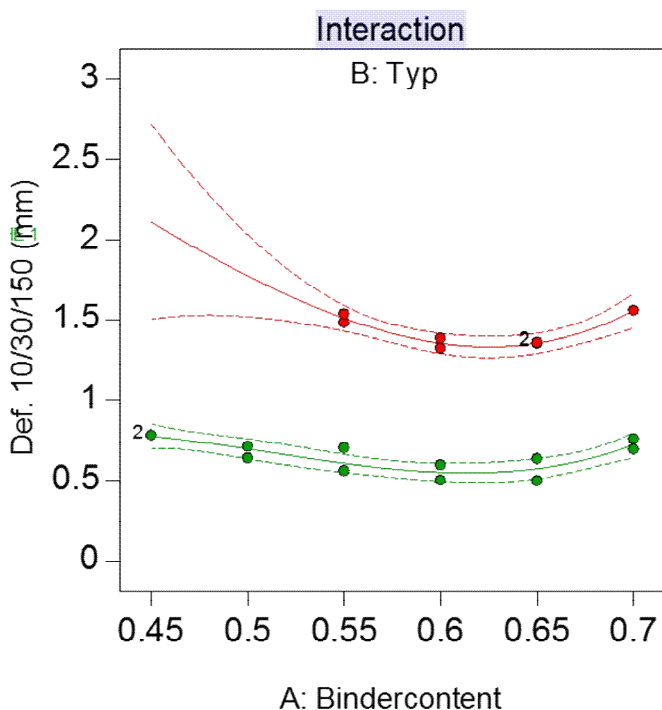
Další benefity balíčku LFS

ECOCURE™ BLUE LFS

- Žádné odpařování těkavých složek VOC
- Nízký obsah volného fenolu a formaldehydu
- Nejnižší emise: BTX a NO_x
- Sotva znatelný zápach při výrobě jádra
- Menší spotřeba pojiva, nižší potřeba aminů, kratší vytvrzovací čas výrazně zvyšuje produktivitu výroby jader, zvyšuje kapacitu jaderny bez nutných investic

ADDITIV VEINO™ LFS – nová přísada

- Lepší tekutost směsi, Přesnější reprodukce detailů
- Lepší povrchy odlitků, méně žilkových výronků, menší penetrace a úspora čistících operací
- Nahrazuje drahé speciální písky, snížené emise, zejména fenol, formaldehyd a BTX
- **Vysoká tepelná stabilita a rozměrová přesnost – srovnání s běžným pojivovým systémem**



DEFORMACE S NOVÝM SYSTÉMEM LFS JSOU DRASTICKY SNÍŽENY

Typický Cold Box

@ dávkování 0,7 GT

Úroveň deformace 1,5 mm

ECOCURE BLUE®

@ dávkování 0,6 GT

Úroveň deformace 0,5 mm

MIRATEC™ LFS – vodou ředitelný nátěr

- Krátké namáčení jader díky rychlému zmatnění nátěru
- Dobré přilnutí k povrchu jádra, netvoří nátěrové zálupy
- Snížuje výronky a plynové vady díky vysoké propustnosti plynu, snižuje zmetkovitost
- Vylepšená tvorba mikrostruktury v okrajové oblasti odlitku, tvorba kuličkového grafitu

Díky formulaci všech komponent LFS dosahuje LFSPAC maximální výhody pro uživatele, je příkladem moderního řešení pro výrobu jader.