



Oceláři Steelcon

**30. ročník konference o teorii a praxi
výroby a zpracování oceli**

SBORNÍK KONFERENCE

3. - 4. dubna 2014

Lázeňský dům Libuše, Karlova Studánka



TANGER, spol. s r.o.
VŠB - Technická univerzita Ostrava

pomocí defektoskopických zkoušek
jsme schopni vyhledat vady materiálů
a navrhnout řešení šité na míru



nedestruktivní kontrola

ocelových lan,
konstrukcí a svarů



přesné strojní obrábění

zakázková výroba

TANGER spol. s r.o. OSTRAVA

VŠB - TU OSTRAVA, FMMI

Sborník konference



30. ročník konference o teorii a praxi výroby a zpracování oceli

3. - 4. dubna 2014

Lázeňský dům Libuše, Karlova Studánka, Česká republika

© 2014 TANGER spol. s r.o., Ostrava

ISBN 978-80-87294-49-9

OCELÁŘI 2014

Sborník konference, 3. - 4. dubna 2014, Karlova Studánka, ČR

Kolektiv autorů

Vydal: TANGER spol. s r.o., Keltičkova 62, 710 00 Slezská Ostrava, Česká republika

Vydání: první 2014

Tisk: AMOS repro, s.r.o., Čs. Legií 8, Ostrava

Počet stran: 148

30. KONFERENCE OCELÁŘŮ - OHLÉDNUTÍ ZPĚT

JAROMÍR KUPKA..... 7

PODMÍNKY URČUJÍCÍ VÝVOJ ČESKÉHO OCELÁŘSTVÍ

VÁCLAV KAFKA..... 10

BEZKONTAKTNÍ MĚŘENÍ TEPLoty VE VÝROBĚ A ZPRACOVÁNÍ OCELI

VLADIMÍR HUBÍK, LIBOR KELLER 18

VÝSKUM TECHNOLOGIE VÝROBY KOMPONENTOV PREHRIEVAČOVÝCH SYSTÉMOV S MODIFIKOVANÝMI POVRCHMI

MARIANA BALÁŽOVÁ, ŠTEFAN SMETANA, PETER BRZIAK, PAVOL MAŤAŠ 24

POUŽITÍ AUTOMATICKÝCH SPOJEK PRO HOMOGENIZACI OCELI V PÁNVÍCH PŘI VYSOKÝCH TEPLOTÁCH

PETR ŠPALEK 29

VÝVOJ TECHNOLOGIÍ V OBLASTI TROSIEK, TROSKOTVORNÝCH PŘÍRAD Z PRODUKCIE SLOVMAG, A.S. LUBENÍK

IGOR ŠVIDRAŇ..... 35

POROVNÁNÍ CHOVÁNÍ ZTEKUCUJÍCÍCH PŘÍRAD STRUSEK V PRŮBĚHU ZPRACOVÁNÍ OCELI V ELEKTRICKÉ OBLOUKOVÉ PECI

LADISLAV SOCHA, JIŘÍ BAŽAN, KAREL GRYC, PETR STYRNAL, JAROSLAV ŠIRŮČEK 40

VYUŽITÍ METOD TERMICKÉ ANALÝZY PRO STUDIUM TEPLOT FÁZOVÝCH PŘEMĚN REÁLNÝCH JAKOSTÍ OCELÍ VE VYSOKOTEPLOTNÍ OBLASTI

KAREL GRYC, BEDŘICH SMETANA, KAREL MICHALEK, MONIKA ŽALUDOVÁ, SIMONA ZLÁ, MICHAELA STROUHALOVÁ, LADISLAV VÁLEK, MARKÉTA TKADLEČKOVÁ, JANA DOBROVSKÁ, LADISLAV SOCHA, ALEŠ KALUP 50

ZPRACOVÁNÍ A VYUŽITÍ DAT PŘI ŘÍZENÍ PROCESU PLYNULÉHO ODLÉVÁNÍ OCELI

ZDENĚK FRANĚK, MILOŠ MASARIK, RENÉ PYSZKO, MIROSLAV PROKEL..... 56

VÝVOJ SNÍMAČE TEPLoty PROSTŘEDÍ V TANDEMové PECI

RENÉ PYSZKO, JOSEF KUBĚNA, VLADIMÍR VOLNÝ, TOMÁŠ BRESTOVIČ, PAVEL FOJTÍK, TOMÁŠ CHRÁSKA 63

BADANIA WPŁYWU NIEJEDNORODNOŚCI TEMPERATUROWEJ STALI W KADZI POŚREDNIEJ NA STRUKTURĘ PIERWOTNĄ WLEWKÓW CIĄGŁYCH

JACEK PIEPRZYCA, ZDZISŁAW KUDLIŃSKI 69

HODNOCENÍ CHEMICKÉ HETEROGENITY A MIKROČISTOTY 90 TUNOVÉHO KOVÁŘSKÉHO INGOTU

PAVEL MACHOVČÁK, ALEŠ OPLER, AŽDENĚK CARBOL, ANTONÍN TREFIL, KAREL MERTA, JAKUB ZAORAL,
KAREL MICHÁLEK, MARKÉTA TKADLEČKOVÁ 81

OVĚŘENÍ ODLÉVÁNÍ BRAM S VYUŽITÍM TVAROVĚ UPRAVENÝCH ÚZKÝCH DESEK KRYSTALIZÁTORU

LADISLAV VÁLEK, ALEŠ MAREK, ROBERT MOKROŠ, LIBOR WITALA 90

BADANIA MODELOWE PRZEPŁYWU CIEKŁEJ STALI W WIELOWYLEWOWEJ KADZI POŚREDNIEJ URZĄDZENIA COS

JACEK PIEPRZYCA, ZDZISŁAW KUDLIŃSKI, TOMASZ MERDER..... 97

MOŽNOSTI VÝROBY SOCHORŮ MALÝCH KRUHOVÝCH PRŮMĚRŮ V ARCELORMITTAL OSTRAVA A.S.

LADISLAV VÁLEK, RADIM PACHLOPNÍK, JAN PASTOREK, ALEŠ MAREK 113

CHARAKTERIZACE MIKROSTRUKTURY OCELÍ POMOCÍ POMALÝCH A VELMI POMALÝCH ELEKTRONŮ

ALEŠ LIGAS, JAKUB PIŇOS, DAGMAR JANDOVÁ, JOSEF KASL, ŠÁRKA MIKMEKOVÁ 109

NOVÉ VÝROBNÍ TECHNOLOGIE VYBRANÝCH JAKOSTÍ SE ZAMĚŘENÍM NA SNÍŽENÍ VÝROBNÍCH NÁKLADŮ

MILOŠ MASARIK, LIBOR ČAMEK, JIŘÍ DUDA, ZDENĚK ŠÁŇA 116

VYTVOŘENÍ KOMPLEXNÍHO NÁKLADOVÉHO MODELU VÝROBY ODLITKU

LENKA FIRKOVÁ, VÁCLAV KAFKA 120

POKRAČOVÁNÍ NÁKLADOVÉHO HODNOCENÍ APRETACE ODLITKŮ V PROJEKTU XIV

MIČA, R., KAFKA, V., BRÁZDA, Z., BRHEL, J., FÍK, M., HERZÁN, M., JELÍNEK, P., LÁNA, I., MARKO, E.,
NOVOBÍLSKÝ, M., OBRTLÍK, J., VYLETOVÁ, B., MRÁZEK M. 128

ZMĚNY V PARAMETRECH ELEKTRICKÝCH OBLOUKOVÝCH PECÍ V POSLEDNÍCH 45 LETECH SE ZAMĚŘENÍM NA NOMINÁLNÍ HMOTNOST 5 T

MARTIN MRÁZEK, VÁCLAV KAFKA 137

30. KONFERENCE OCELÁŘŮ - OHLÉDNUTÍ ZPĚT

Jaromír KUPKA

TANGER spol. s r.o., Ostrava, Česká republika, EU

30. ročník konference ocelářů má své kořeny již v 70. letech minulého století, což už představuje skoro dvě generace ocelářů. Tehdy byly konference organizovány v rámci činnosti Československé vědecko-technické společnosti, Společnosti hutnické, která v té době měla skoro 6000 členů. Pobočky Hutnické společnosti byly prakticky ve všech podnicích republiky. Dlouholetým předsedou společnosti byl pracovník Generálního ředitelství Hutnictví železa Ing. Felix Reindl.

Činnost Hutnické společnosti byla dále členěna podle odborného zaměření do odborných sekcí a komisí. Jednotlivé sekce byly členěny na výrobu surového železa, výrobu oceli, tváření kovů, hutní druhovýrobu, hutní ekonomiku a práškovou metalurgii.

Činností v oblasti výroby oceli se zabývala Celostátní odborná sekce výroby oceli, jejímž dlouholetým předsedou byl Ing. Jan Chvojka, CSc., hlavní metalurg Vítkovických železáren.

Odborná sekce koordinovala činnost podnikových poboček ČSVTS tak, aby nedocházelo k duplicitním akcím a zároveň pořádala konference s celostátní a mezinárodní působností.

V letech 1974-1994 byly organizovány tyto nejdůležitější akce:

4. konference elektroocelářů	říjen 1974	Ostrava
Fyzikálněchemické pochody při výrobě oceli	13.-15.5. 1975	Vsetín
Vakuování ocelí	28.-30.9. 1976	Vsetín
5. konference elektroocelářů	4.-6.10. 1977	Ostrava
Fyzikálněchemické pochody při výrobě oceli	16.-18.5. 1978	Vsetín
6. konference elektroocelářů	16.-18.10. 1979	Ostrava
Mimopecní zpracování ocelí	26.-27.11. 1980	Vsetín
6. konference elektroocelářů	16.-18.10. 1979	Ostrava
Mimopecní zpracování ocelí	26.-27.11. 1980	Vsetín
7. konference elektroocelářů	9.-11.11. 1981	Ostrava
Dezoxidace ocelí	1.-4.5. 1982	Dobřichovice
Mimopecní zpracování ocelí	19.-21.10. 1982	Vsetín
Fyzikálněchemické pochody při výrobě oceli	25.-27.10. 1983	Velké Karlovice
Konti 83	19.-21.4. 1983	Kladno
8. konference elektroocelářů	14.-15.6. 1983	Ostrava
Žárovzdorné materiály při výrobě oceli	2.-4.10. 1984	Ostrava
Výroba ušlechtilých ocelí (ČSR-NDR)	5.-9.11. 1984	Kladno-Brandenburg
9. konference elektroocelářů	12.-13.11. 1985	Ostrava
Mimopecní zpracování ocelí	23.-24.4. 1986	Vsetín
Konti 87	15.-17.4. 1987	Kladno
Fyzikálněchemické pochody při výrobě oceli (ČSR-NDR)	6.-8.10. 1987	Podolanky
Žárupevné materiály	25.-26.10. 1988	Ostrava
10. konference elektroocelářů	20.-21.6. 1989	Ostrava

Mimopecní zpracování ocelí	7.-9.11. 1989	Vsetín
Fyzikálněchemické pochody při výrobě oceli	28.-29.11. 1990	Rožnov p. R.
11. konference elektroocelářů	2.-3.10. 1991	Vsetín
Sekundární metalurgie	23.-25.6. 1992	Vsetín
12. konference elektroocelářů	15.-16.6. 1993	Ostrava
Progresivní pochody při výrobě oceli	27.-28.9. 1994	Ostravice

Zde je dobré připomenout obětavou práci dlouholetých garantů těchto konferencí, kteří zajišťovali kvalitní odbornou úroveň konferencí:

- Ing. Jan Chvojka
- prof. Ing. Jiří Skála, DrSc.
- prof. Ing. Theodor Myslivec, CSc.
- prof. Ing. Václav Parma, CSc.
- prof. Ing. Jiří Bažan, CSc.
- prof. Ing. Zdeněk Bůžek, CSc.
- Ing. Zdeněk Motloch, CSc.,
- Ing. Radim Tlustý, CSc.

V roce 1989 došlo k rozpadu ČSVTS, některé společnosti zanikly ihned, některé zanikly časem. To platilo i pro Hutnickou společnost. Ve většině podniků došlo k zániku podnikových poboček, také některé konference zanikly a docházelo ke komercializaci činnosti.

Činnost Domu techniky, která dříve organizačně zajišťovala odborné konference sekce výroby oceli, se také začala od r. 1995 měnit, a tak od r. 1995 začala organizovat tyto odborné konference firma Tanger, spol. s r.o.

Od této doby již byly konference zajišťovány touto organizací. Vzhledem k omezení počtu konferencí se konference elektroocelářů a ostatní spojily do jedné konference periodicky organizované každým rokem s názvem Konference o teorii a praxi výroby a zpracování oceli. V letech 1995-2013 byly organizovány tyto konference:

13. konference o teorii a praxi výroby a zpracování oceli	3.-4.5. 1995	Rožnov p. R.	98 účastníků
Oceli o vysoké čistotě	10.-11.4. 1996	Rožnov p. R.	95 účastníků
14. konference o teorii a praxi výroby a zpracování oceli	8.-9.4. 1997	Rožnov p. R.	85 účastníků
Výroba oceli kyslíkovými pochody	7.-8.4. 1998	Rožnov p. R.	60 účastníků
15. konference o teorii a praxi výroby a zpracování oceli	7.-8.4. 1999	Rožnov p. R.	92 účastníků
16. konference o teorii a praxi výroby a zpracování oceli	5.-6.4. 2000	Rožnov p. R.	80 účastníků
17. konference o teorii a praxi výroby a zpracování oceli	7.-8.4. 2001	Rožnov p. R.	92 účastníků
18. konference o teorii a praxi výroby a zpracování oceli	9.-10.4. 2002	Rožnov p. R.	81 účastníků
19. konference o teorii a praxi výroby a zpracování oceli	8.-9.4. 2003	Rožnov p. R.	91 účastníků
20. konference o teorii a praxi výroby a zpracování oceli	6.-7.4.2004	Rožnov p. R.	75 účastníků
21. konference o teorii a praxi výroby a zpracování oceli	5.-6.4. 2005	Rožnov p. R.	100 účastníků
22. konference o teorii a praxi výroby a zpracování oceli	4.-5.4. 2006	Rožnov p. R.	92 účastníků
23. konference o teorii a praxi výroby a zpracování oceli	3.-4.4. 2007	Rožnov p. R.	92 účastníků
24. konference o teorii a praxi výroby a zpracování oceli	2.-3.4. 2008	Rožnov p. R.	100 účastníků

25. konference o teorii a praxi výroby a zpracování oceli	1.-2.4. 2009	Rožnov p. R.	76 účastníků
26. konference o teorii a praxi výroby a zpracování oceli	13.-14.4. 2010	Rožnov p. R.	97 účastníků
27. konference o teorii a praxi výroby a zpracování oceli	6.-7.4. 2011	Rožnov p. R.	102 účastníků
28. konference o teorii a praxi výroby a zpracování oceli	3.-4.4. 2010	Rožnov p. R.	87 účastníků
29. konference o teorii a praxi výroby a zpracování oceli	4.-5.4. 2013	Karlova Studánka	85 účastníků

Pro konferenci jsou důležití i autoři referátů a diskutující, kteří v průběhu konferencí za poslední roky, vynikali svou aktivitou a stálou účastí. Rádi bychom některé vzpomenuli:

Ing. Jiří Brábník, Ing. Ivo Žádný, Ing. František Kincl, Ing. Jan Melecký, mezi našimi autory byl i hutnický básník a jeho jednu sbírku jsme rozdávali i na našich konferencích - Ing. Ivan Zajíček, prof. Ing. Karel Stránský, DrSc., prof. Ing. František Kavička, CSc., doc. Ing. Václav Kafka a mnoho dalších.

Přes různé krizové situace konference přežila celých 40 let a udržela si svou dobrou odbornou úroveň díky stále spolupráci s odborníky našich oceláren, vysokých škol a výzkumných ústavů.

Co je však nejvíc potěšitelné, že se konference v průběhu let stále omlazuje, což je zárukou jejího dalšího pokračování. Příznačné je pro tuto konferenci i tradičně vysoká účast pracovníků z výrobních podniků. Zúčastňují se jí odborníci ze všech našich oceláren, sléváren, výzkumných ústavů a vysokých škol. Konference se pravidelně zúčastňují i odborníci z Polska a Slovenska. A tak závěrem nezbývá než popřát této konferenci hodně účastníků a kvalitních referátů do dalších let.

PODMÍNKY URČUJÍCÍ VÝVOJ ČESKÉHO OCELÁŘSTVÍ

Václav KAFKA

RACIO & RACIO, Vnitřní 732, 73514 Orlová, Česká republika, EU, vaclav.kafka@upcmil.cz

Abstrakt

Příspěvek se zaměřuje na dominantní vlivy, které určují základní rysy ekonomického vývoje jak ve světě tak zejména v oblasti Evropy. Poté jsou predikovány hlavní vývojové trendy v oblasti výroby oceli. Následně se materiál věnuje hlavním konturám specifík hospodářské politiky, tak jak je očekávána v České republice. Posléze budou účastníci seznámeni s hlavními problémy české metalurgie v současné době a návrhům jejich možného řešení.

Klíčová slova: předpokládaný ekonomický vývoj, trendy vývoje oceli, problémy české metalurgie

1. ÚVOD

České a slovenské ocelářství je plně vsazeno do světového a zejména evropského rámce. Vnější podmínky do značné míry určují jeho charakter. Je to dáno zejména odbytem jeho výrobků, kdy významná část je určena na vývoz. Dále vlastnickými vztahy. Kupříkladu většina metalurgických společností jak v České tak i Slovenské republice je vlastněna nadnárodními společnostmi. Poněkud jiná situace je u českých a slovenských sléváren. Tam řada z těch snad více než 200 jednotek je v majetku českých nebo slovenských vlastníků.

Je pro nás tedy velice důležité k vnějším podmínkám přihlížet a spíše se jím přizpůsobovat. A pokud budeme k sobě upřímní tak se od technicky vyspělých států spíše učit.

Další zásadní skutečností je, že vývoj prakticky každého podnikatelského odvětví je do značné míry určován, limitován a ovlivňován ekonomikou a jejím vývojem.

2. ZÁKLADNÍ RYSY SVĚTOVÉHO A EVROPSKÉHO EKONOMICKÉHO VÝVOJE

Současné období světového ekonomického vývoje se obecně nazývá „*dluhová krize*“. Tím se obecně myslí zadluženost vlád jednotlivých zemí - přesněji jejich rozpočtů. Zadluženost se měří v procentech vytvořeného ročního *hrubého domácího produktu* (HDP) každé země. HDP je při jistém zjednodušení tvořen součtem *přidaných hodnot* (PH) všech ekonomických subjektů, které v dané zemi působí. Názorně lze říci, že PH podniku je tvořena: odpisy, osobními náklady (tedy hrubou mzdou a odvody na sociální a zdravotní pojištění), nově vytvořeným hospodářským výsledkem (nebo-li ziskem) a nově vytvořenými úroky. HDP za r. 2012 pro Českou republiku (ČR) činil 3 846 mld. Kč [1]. Doplňme, že plánovaný rozpočet ČR pro r. 2014 činí ve výdajích cca 1180 mld. Kč a v příjmech 1080 mld. Kč. Zadlužení jednotlivých států se obecně pohybuje od 0,4 % (Severní Korea) až po 230 % HDP (Japonsko) [2]. Dluh ČR se blíží 50 %. Dodejme, že často vzpomínané Řecko má asi 170%, Španělsko asi 100%, Portugalsko 90% a USA 110%. A se splácením tohoto dluhu mají různé země zcela odlišné problémy. Je třeba si uvědomit, že výše zadlužení není jediný ukazatel efektivity hospodaření jednotlivých zemí.

A zcela zásadní je, že uvedený stupeň zadlužení nám ale „*nemizí*“ s příznivou prognózou vývoje světové a i evropské ekonomiky.

2.1 Prognóza vývoje světové ekonomiky

Je možné říci, že v současné době se prakticky všechny světové instituce, které se predikcí světového vývoje věnují (Mezinárodní měnový fond, Organizace pro ekonomickou spolupráci a Světová banka), shodují na odhadech globálního hospodářského růstu mezi 3% až 4% [3]. Nicméně mezi jednotlivými regiony budou hluboké rozdíly. Zatímco Asie, Čína (7,3%) a USA (2,6%) budou patřit mezi tahouny, Evropa zůstane ostrovem nejpomalejšího růstu (1% a EU 1,4%).

Pro rozvoj ČR má svůj význam zejména situace v USA, Evropě a samozřejmě v Německu.

V USA pokračuje intenzivní rozvoj již od minulého roku. K dalšímu oživení pomáhá především vzrůst domácí poptávky a rostoucí těžba břidlicového (zemního) plynu. A samozřejmě ropy.

Pokud se týká EU, tam zůstává rozdíl mezi severní a jižní částí unie. Prof. Nouriel Roubiny (který jako jediný předpověděl světovou krizi v r. 2008) uvádí, že letos pokračuje „úklid“ (oddlužování) bank. Z toho plyne vysoká nezaměstnanost, přetrvávající veřejné dluhy a ztráta konkurenceschopnosti. EU nutí banky ke vzniku bankovní unie, kde by si „našetřily“ zdroje na možnou krizovou situaci. Tak, aby ji nemuseli v budoucnu vykrývat daňoví poplatníci.

Ke světovému růstu má přispět také Japonsko s růstem 1,2 až 1,5 %.

Vývoj německé ekonomiky by měl pokračovat v růstu 1,6 %. U NSR je třeba si uvědomit, že tato čtvrtá největší ekonomika světa a první v EU s více než 80 mil obyvatel je pro ČR prakticky rozhodujícím obchodním partnerem. NSR od r. 2009 měla vždycky vyšší ekonomický růst než průměr EU. Dodejme, že západní Německo „průběžně“ ekonomicky „vypomáhá“ bývalé NDR. A v nezaměstnanosti se pohybuje mezi 4 až 5%. Je s podivem, že v současné době její roční rozpočet je již v přebytku [4]. Pro doplnění plánovaný rozpočet ČR v letošním roce vykazuje deficit cca 100 mld. Kč.

Nicméně naznačený světový a evropský optimistický vývoj nebude v žádném případě bezproblémový. Zpráva WEF pro světové hospodářské fórum v Davosu z ledna 2014 [5], která se opírá o průzkum mezi 700 manažery a ekonomy z celého světa varuje! Uvádí, že rozvinuté ekonomiky jsou finanční (dluhovou) krizí nadále ohroženy! Do „sestupné spirály“ se může dostat řada států zejména v Evropě! Za nebezpečné označili vysoké zadlužení USA -100% (dluží zejména cizím státům a institucím) a Japonska -230% (dluží však zejména vlastním obyvatelům). A dále vysoká nezaměstnanost!

3. CHARAKTERISTICKÉ RYSY VÝVOJE OCELÁŘSTVÍ

Je všeobecně známo, že světová krize, která se rozvinula po r. 2008, se významně promítla do světové metalurgie. Snad s jistými výjimkami došlo obecně k poklesu výroby oceli.

V naznačení vnějších podmínek, které budou dávat směr metalurgii, je třeba vyjít ze závěrů 23. brazilské ocelářské konference, která se uskutečnila v červnu 2012 v Sao Paulo [8]. Tam se shodli, že dlouhodobá perspektiva pro ocelářství je pozitivní. Nicméně „krátkodobá a střednědobá situace bude pro ocelářské společnosti „bohatá“ na problémy“. A to se také plně potvrdilo. *Jako zcela zásadní se konstatovalo, že existuje korelace mezi růstem globálního HDP a výrobou surové oceli.* Dále, že výroba oceli bude vykazovat nestejný růst mezi regiony. A tyto predikce se skutečně naplňovaly.

Podle [9] přes signály křehkého zotavení v r.2012 bude až rok 2014 výraznějším rokem návratu ke stabilitě. Dokládá to skutečností, že výroba oceli v NSR poklesla o 4% (cca 43 mil. t). Připomínal, že poptávka v EU klesne v r. 2013 o 1% na 141 mil. t. Trh tím bude o 30% menší než v r. 2007.

Evropa čelila 30% poklesu poptávky po oceli od r. 2007 [10]. Proto potřebovala ambiciózní a efektivní podněty k cestě vpřed. Skutečností je, že *ocelářský průmysl odpovídá asi za 360 tisíc pracovních míst v asi 500 provozech v EU.*

Navíc ocelářství doslovně „trpělo“ řadou různých poplatků vyvolaných kupříkladu tlakem na zlepšení ekologie. Kupříkladu v NSR jejich zvyšování mělo být až o polovinu vyšší [11]. Také cenový vliv vstupů byl enormní. Kupříkladu v roce 2003 nakupovali Němci potřebnou železnou rudu za 1,1 mld. € a v roce 2012 již za 4,2 mld. €.

Oceláři doufali, že se jim v otázkách ocelářství dostane pomoci se strany Evropského parlamentu. V červnu 2013 byl vytvořen akční program, který stanovil zásady strategie pro rozvoj ocelářství. Jeho hlavní klíčová opatření byla: přehodnocení stávajících kapacit; usnadnění transportu šrotu; zabezpečení, že dělníci zůstanou v ocelářském průmyslu; větší podpora pro investice do moderní infrastruktury pro upgrady kapacity provozů; vytvoření udržitelného modelu výroby oceli a využití Evropského finančního fondu pro zavedení nových technologií [12].

Je třeba konstatovat, že ještě celý závěr minulého roku a i úvod r.2014 byl v oblasti výroby oceli doprovázen zprávami, které dokládají problémovost jejího vývoje. Kupříkladu [13] si stěžoval, že pro německý ocelářský průmysl nastaly těžké časy - ceny komodit jsou vysoké, ceny energií „protisoutěžní“. Ve srovnání se stavem před pěti lety se výroba oceli mírně snížila, v roce 2008 z 45.8 mil. tun na v r. 2012 42.7 mil. tun. Dalším úskalím byly rostoucí ceny elektřiny. Náklady na energie činí 21 % z celkových nákladů. *Ve srovnání s USA, kde ceny elektřiny a zemního plynu jsou zhruba třetinové,* se jedná o nákladové znevýhodnění ve výši 30 mil. € ročně u zemního plynu a 25 mil. € u elektrického proudu.

Dále [14] Salzgitter, druhý největší německý výrobce oceli si stýskal, že ve třetím čtvrtletí 2013 sice mírně zpomalil pokles. Skupina je však byla hluboko v „červených číslech“ a obrat nebyl v dohledu. Stavebnictví jako jeden z nejvýznamnějších zákazníků nepřineslo žádné rozpoznatelné zlepšení. „Červená čísla“ se očekávala (a byla) celý rok 2013.

Podobné hlasy zaznívaly i z Itálie [15]. Zástupci Lucchini se spolu s odborovými svazy a zástupci regionu setkali s italskou vládou, aby prodiskutovali nejnovější vývoj v této ocelářské skupině, která má finanční problémy.

Obdobné stezky zaznívaly i z Ruska [16]. Alexej Mordašov, šéf Severstalu žádal o globální dohodu o nadbytku kapacit na výrobu oceli. Světový nadbytek ocelářských kapacit se snad pohybuje mezi 20 až 30%. Dodejme, že v r. 2013 se Severstal stala nejrentabilnější společností v Rusku, když překonala svého rivala Novolipetsk Steel (NLMK). Mordašov uváděl, že jediné dohodou o nadbytku kapacit nedojde k řadě bankrotů. Vyslovoval obavu, že průmysl riskuje pád do hluboké krize. A správně doplňoval, že prosperita Severstalu závisí na „prosperitě ocelářského průmyslu jako celku“. Informoval, že největší světový výrobce oceli ArcelorMittal uzavíral továrny a snižoval pracovní místa ve Francii a v Belgii, zatímco ThyssenKrupp a Salzgitter také oznámily propouštění. Dokonce i když by se severoameričtí, evropští a ruští výrobci oceli dohodli na redukci nadbytečných kapacit, Čína nadále zůstane velkým problémem. Čínská asociace pro železnou rudu a ocel však předpovídala, že roční výroba oceli v zemi v r. 2013 vzroste ze 709 mil. t na 780 mil. t. Pro příští rok prognózovala, že se výroba oceli zvýší na 800 mil. t. Čisté exporty oceli Číny se pro r. 2013 předpokládaly ve výši 60 mil. t. Podle Petropavlovského „Čína zaplavuje globální trhy svou ocelí“ a není pravděpodobné, že čínská vláda bude souhlasit s nějakým omezením kapacit.

V závěru r. 2013 se již objevily i do jisté míry optimističtější informace. Německá výroba surové oceli stoupá o 5.7 % [20]! Nicméně varovaly! *Postižený evropský ocelářský průmysl je stále na 70% poptávce z boomu roku 2007.* Průmysl se snaží přežít, je zapotřebí likvidovat 30 milionů tun nadbytečných kapacit, pro zůstatek potřebných 230 mil. tun produkovaných v Evropě [21]. *Konstatoval, že celosvětová spotřeba oceli byla v roce 2012 kolem 1.55 mld. tun a stoupala ročně o 3-4 %* [22]. Současně se připomíná, že *integrovanou cestou vzniká při výrobě tuny surové oceli přibližně 1.8 tuny CO₂. A globálně je ocelářský průmysl odpovědný za asi 7 % emisí skleníkových plynů.*

U Číny je spotřeba oceli v r. 2013 odhadovaná na 693 mil. t. V roce následujícím by měla být cca 715 mil. t. Očekává se růst okolo 3 % [22 - 25]. Mimo jiné se kvantifikují nadbytečné kapacity Číny na 200 až 300 kt oceli. Doplňme, že Indie bude v příštím desetiletí potřebovat investici 210 mld. \$, aby do r. 2025 dosáhla ocelářské kapacity v rozsahu 300 mil. t/r. ze současných 90 mil. t [26]. Jeví se, že *kvantifikace měrné investice ve výši 1 mld. \$ na 1 mil. t oceli může mít obecnější snad světovou platnost.*

V úvodu r. 2014 se objevují další optimistická konstatování. Tvrdí [27], že ocelářský průmysl má snad to nejhorší za sebou. Konstatuje, že *výroba oceli na konci roku 2013 poprvé vzrostla, ceny oceli se zvýšily a budou i nadále růst v průběhu tří let.* Očekává se mírný nárůst objemu produkce v Německu pro letošní rok. A Eurofer zvedá výhled pro spotřebu oceli v EU pro r. 2014. Očekává [28], že reálná spotřeba oceli v EU se v r. 2014 meziročně zvýší o 1.9% po meziročním 1.9% poklesu v r. 2013. Zjevná spotřeba oceli, která zahrnuje obnovu zásob, se má meziročně zvýšit o 3.2%.

Lze tedy snad konstatovat, že rokem 2014 se vytvářejí obecně předpoklady pro rozvoj světového a také evropského ocelářství.

4. JAKOU SITUACI OČEKÁVÁME V ČR

Česká bankovní asociace (Raiffeisenbank, ČSOB, GE Money, UniCredit, Česká spořitelna, Citibank a KB) zpracovala aktuální prognózu ČR, která letos očekává růst dokonce o 1,9%! Je třeba dodat, že s růstem bankovní experti počítají ve všech složkách HDP! Dodejme, že pro rok 2015 je očekávaný růst HDP dokonce ve výši 2,5%! Finanční odborníci předpokládají zejména oživení v oblasti růstu investic (růst o 1,1%, oproti poklesu v r.2013 o 4,8 %). Soudí, že investice budou podmíněny nárůstem objemu bankovních úvěrů. Očekávají, že nezaměstnanost letos zůstane na úrovni r.2013 (7,7%). Nicméně míra inflace by se měla snížit z 1,4% na 1,2 %. Vládní dluh by se měl zvýšit o 1,4% na 48,9%. Dodejme ještě, že vládní spotřeba by měla klesnout o 1% na 0,8% [6].

Podobný optimismus také dokládá průzkum mezi stovkou českých manažérů provedený společností PwC [7]. Tři čtvrtiny z nich očekávají letos vzrůst tržeb. Ještě optimističtější se manažéři vyjadřují k výhledu na následující 3 roky. Tam předpokládá růst výnosů celkem 95 % dotazovaných. Polovina z nich plánuje navyšování stavů zaměstnanců.

Ale pozor - *pokud k tomu skutečně dojde, tak ne dříve než ve druhém pololetí letošního roku.* Za největší hrozbu označili problémy vyplývající z nekvalitních zákonů.

5. NA CO SE TEDY ZAMĚŘIT V OBLASTI OCELÁŘSTVÍ?

Je třeba si uvědomit, že ekonomickými experty očekávané výsledky jsou průměrné údaje za celé hospodářství ČR. Vyjadřují jistým způsobem „vytvoření vnějších podmínek pro tento možný rozvoj“. A dále, že nepřijdou „samozřejmě“ bez patřičného mnohdy i velice náročného přičinění. A také nenastanou v každé podnikatelské jednotce. Lze i reálně očekávat, že pro některé výrobní jednotky to může znamenat i jejich vyřazení k tržního prostředí.

V oblasti ocelářství a obecně metalurgie pozorujeme mnohdy výrazný rozdíl v efektivnosti hospodaření mezi různými podnikatelskými jednotkami. Bohužel se jeví, že opravdu špičkových a vysoce efektivních společností je spíše méně.

Pokusme se zamyslet proč tomu tak asi je.

5.1 Zajištění angažovanosti všech pracovníků

Je známou skutečností, že stávající společenské klima v ČR charakterizované spíše politickou nestabilitou, právní nejistotou, snad i nízkou vymahatelností práva, přetrvávajícím vysokým stupněm korupce, atd. není

ten nejvhodnější předpoklad k dosahování maximální efektivity. To však není předmětem naší konference a je to náplní práce spíše politických subjektů.

Tedy co je prvotní, zásadní a rozhodující a na co bychom se měli zejména zaměřit? Odpověď není neznámá a dokládají ji zkušenosti dobrých a nejlepších výrobních jednotek. A zcela jistě jsme ji i opakovaně slyšeli! Prvotní ve všem a vždy jsou naší spolupracovníci, všichni naši zaměstnanci od toho zdánlivě posledního pomocníka až po generálního ředitele! *Všichni musí být ve své práci patřičně angažováni!* V té společnosti, kde manažeři úzkostlivě nedodržují všech osm zásad angažovanosti nelze v žádném případě dlouhodobě dosahovat dobrých výsledků [17]! Důsledné využití veškerého potenciálu doslovně všech pracovníků je leitmotivem pro rozvoj všech firem v příštích pěti až deseti letech!

Zde je třeba připomenout, že v žádném případě nelze uvažovat o angažovanosti pracovníků tam, kde panuje zjevná nespravedlnost, kde se lidé bojí říci nahlas svůj názor. Tam kde jsou základní nesrovnalosti v odměňování!

5.2 Vytváření ekonomického povědomí u všech pracovníků výrobní jednotky

Všichni pracovníci jakéhokoli provozu si musí být vědomi základní skutečnosti, že obrazně řečeno „nepracují s kilogramy surovin, s kilowatthodinami elektrické energie, časem atd., ale s hodnotou - Korunami českými! Zopakujme si - tavič nemá na lopatě 8 kg FeMn, ale 300Kč! Tento princip na pilotním projektu ověřila a následně proškolením a zácvikem cca 150 sléváčů úspěšně zavedly Slévárny Třinec, a.s. A výsledky jsou vskutku pozoruhodné! Přínosy byly vyčísleny v řádu milionů Kč, což je skutečně mimořádné [18]! Podmínkou je - zopakujme si - fungující angažovanost pracovníků!

Následně se zaměříme na některé problémy našich oceláren.

5.3 Zajištění dobrého technického stavu a správné seřízení používaných zařízení

Je třeba říci, že to jsou záležitosti, se kterými jsou bohužel u nemalé části našich oceláren a sléváren stále problémy. Prvním je bohužel *udržování správného technického stavu zařízení*. Typickým příkladem je zadrhávání držáků grafitových elektrod při jejich pohybu, EOP nejde plně naklopit, uniká hydraulická kapalina, atd. Tato situace není rozhodně výjimečnou. Kupříkladu v oblasti tryskacích zařízení registrujeme nefunkční větrné odlučovače, nefunkční metací jednotky, chybějící ampérmetry, chybějící řemeny na řemenicích metacích jednotek, atd.

Veškeré funkce všech technických zařízení v našich výrobních jednotkách by měly být minimálně jednou ročně v rámci preventivní prohlídky kvalifikovanými odborníky detailně posouzeny. A to se bohužel velice často neděje.

Dalším také vážným problémem je *absence správného seřízení používaného zařízení*. Opět snad typickou situací je velice často neseřízená regulace elektrod u EOP. Ale bohužel obdobná situace je i u dalších agregátů. Kupříkladu u vzpomínutých tryskačů to jsou neseřízené větrné odlučovače, nerovnoměrné zatížení metacích jednotek, nezajištění optimální provozní směsi abraziva atd.

5.4 Provádění průběžné korekce pracovních postupů a režimů podle aktuálního vývoje cenové a nákladové hladiny

Prakticky v každé ocelárně nebo tavně jsou zpracovány technologické postupy (DTP) k vedení tavby buď pro každou vyráběnou jakost nebo pro skupinu jakostí. Tyto předpisy platí ve stejné podobě mnohdy řadu let. Je obecně známo, že ceny různých komponent vsázky a přísad se často mění. A k těmto změnám bychom měli přihlížet a pravidelně prověřovat, zda není potřebné provést příslušné korekce těchto DTP. Nejedná se pouze o změny vedoucí k nákladové optimalizaci vsázky a přísad. Jedná se také o minimalizaci nákladů na přípravu formovacích hmot, apod. Jako příklad si uveďme ocelárnu Evraz Vítkovice. Tam byla

dříve řešena s využitím expertních systémů úloha na optimalizaci nákladů konkrétní tavby podle okamžité ceny jednotlivých komponent kovového odpadu, nákladů na přihřev a přehřev vsázky, ceny, teploty a konkrétní analýzy surového železa.

Upřímně řečeno v kolika výrobních jednotkách tyto pravidelné korekce provádíme?

5.5 Nedostatečné využití výpočetní techniky k efektivnímu řízení procesu

U velkých pecních agregátů budovaných (nebo generálových) v posledních létech se setkáváme s často excelentním technickým, váhícím, měřícím a registračním vybavením. Snad každá událost, která tam nastává, je automaticky registrována. Bohužel zcela jiná otázka je, jak jsou tato evidovaná data následně zpracována a efektivně využívána k řízení tavby a výroby oceli obecně. K tomu žel ne vždy plně dochází. Přitom lze relativně jednoduše s využitím i jednoduchých programů kupř. EXCELEM uzpůsobit tato data k operativnímu rozboru výsledku právě dokončené tavby nebo jakékoli jiné výrobní periody v ocelárně či slévárně. K takto průběžně zjišťovaným informacím lze relativně lehce připojit nákladové a cenové konstanty a vytvořit nákladový obraz právě ukončené tavby.

Tady je skutečně mnohdy velká slabina u těchto agregátů.

Jiná situace bývá velice často u pecních agregátů o menší jmenovité hmotnosti. Tam se dosti často téměř veškeré vsázkové komponenty váží. A také i řada informací o tavbě je evidována. Nicméně se tato data obvykle zapíší pouze do tavebního listu. Také se často bohužel již dále nezpracovávají a významně nevyužívají. A to také považujeme za velkou slabinu. Na základě výrazného pokroku ve výpočetní technice (nejen ve fotoaparátech, mobilech a počítačích), její miniaturizaci a zejména výraznému zlevnění lze nyní i na těchto malých agregátech řadu dat relativně levně automaticky sledovat a v PC evidovat. V okamžiku, kdy jsou data již vložena v PC lze je opět relativně jednoduše zpracovat a využít k řízení. Tady je třeba přivítat iniciativu Kuběny [29], který nastiňuje relativně levné a snad i jednoduché postupy využití „mikro“ výpočetní techniky v našich tavírnách.

Uvědomme si, že v situaci, kdy náklady na výrobu jedné tuny nám v řadě případů vykazují měnlivost u různých taveb stejné jakosti ve stokorunách na tunu, bychom měli skutečně vážně uvažovat o vložení do těchto aktivit třeba deseti tisíce Kč. To je skutečná výzva pro dnešní dobu.

5.6 Zavádění nových námětů, inovací aneb jak se můžeme poučit od Německa

Je obecně známo, že německá metalurgie je na velice dobré úrovni. Tato skutečnost je v přímé vazbě s vysokou ekonomickou výkonností celé země. Nemá smysl uvádět konkrétní technická a technologická opatření, která Němci v ocelárnách aplikují. Ale v jejich firmách bývají téměř obecně výzkumná centra, nebo alespoň oddělení, která přicházejí s inovacemi a zlepšeními [19]. To má za následek, že se německé podniky drží na čele světového pokroku.

Podívejme se, jak jsme na tom u nás? Kupříkladu na naši konferenci bude uvedena řada zajímavých a podnětných námětů a myšlenek, které by se mohly v naší metalurgii využít a zavést do běžného provozu. Tak jak jsme je předkládali loni, předloni a po celých těch 30 let co tyto konference pořádáme. Kolik z nás po návratu do svého podniku si položí otázku „co by šlo z toho, co jsme se dozvěděli u nás využít?“ Kolik z nás se jeho šéf zeptá co je pro nás vhodné? Kolik z nás napíše (neformální) cestovní zprávu s příslušnými doporučeními? Bohužel se ne zřídka také setkáváme i s tím, že účast na těchto akcích se charakterizuje jako zbytečná, atd. Slyšíme i někdy argument „nic mi nepovídej, my nevíme, co budeme vyrábět zítra“. Jeden významný ocelářský odborník to vhodně pojmenoval „není čas nabrousit pilu, poněvadž musíme řezat“!

Podívejme se také jaký zájem je ze strany oceláren a sléváren na vyřešení některých problémů nebo pomoc při jejich zavedení u našich výzkumných ústavů nebo vysokých škol!

Spíše bohužel někdy můžeme konstatovat, že získané nové poznatky a inovace na vysokých školách a výzkumných ústavech nebývají vždy patřičně využity v našich tedy českých a slovenských ocelárnách. A pak v tom lepším případě slouží pouze zahraničním výrobcům! Pokud se o nich však dozví!

Podíváme-li se tedy na situaci s využíváním nových námětů a inovací kriticky tak ani zde nemůžeme být plně spokojeni se zjištěným stavem.

6. ZÁVĚR

Pokusíme-li se shrnout současnou situaci v oblasti ocelářství, pak nás to může vést k následujícím závěrům.

V prvé řadě se jeví, že jsou již skutečně vytvořeny snad obecné podmínky k růstu světové a evropské ekonomiky. Tento závěr se týká i ČR, byť naše ekonomika v minulých letech spíše klesala, zatímco naši bezprostřední sousedé v posledních dvou, třech letech již vlastně rostli.

Dále lze již snad obecněji počítat s výraznějším nárůstem výroby oceli. Tento trend se obecněji dokládá až na základě reálných trendů v úvodu letošního roku.

Zde je třeba doplnit varovné, že růst výroby a ekonomický profit nebude v žádném případě pro každou ocelárnu a slévárnu „automatický a samozřejmý“. U některých výrobních jednotek se to skutečně může projevit i v jejich vyřazení z tržní soutěže.

Pokud se týká českého a slovenského ocelářství tam je třeba zachytit světový trend v oblasti plného využití všech schopností každého pracovníka! Tento trend je již dlouhodobě uplatňován u špičkových firem. Od r. 2011 je obecně charakterizován jako dominantní rys příštích pěti až deseti let.

S tím se samozřejmě pojí vhodné uplatnění zásady „vytváření ekonomického povědomí“ doslovně u všech pracovníků. Třinecká zkušenost v této oblasti je zcela vypovídající. A uplatnitelnost tohoto principu je v naší metalurgii snad obecný.

Bohužel jako nedostatek v efektivnosti výroby oceli lze charakterizovat zajištění dobrého technického stavu a správné seřízení používaných zařízení. Tento jev bohužel není ojedinělý. Od této prověrky je třeba obvykle začít.

Přezkoumání průběžné korekce pracovních postupů a režimů podle aktuálního vývoje cenové a nákladové hladiny také bohužel není v našich ocelárnách a slévárnách jevem obecným. Zde je možné snad říci, že tento problém se může týkat i větší části našich jednotek.

Otázku, zda dostatečně, jak u velkých tak i menších agregátů, využíváme výpočetní techniku k efektivnímu řízení procesu bychom si měli položit také jako jednu z prvních. Zažili jsme zcela groteskní situaci u indukčních pecí v jedné slévárně při prověrce efektivnosti jejich výsledků. Navrhovali jsme, aby instalovaný pecní počítač dodaný zkušeným zahraničním výrobcem byl využit k tvorbě jistých sumářů, porovnání, hodnocení apod. Pracovníci provozu se k návrhu přikláněli. Provedla se tedy inventura výstupů z dodaného pecního počítače a nestačili jsme se divit. Ve výsledcích, který počítač běžně poskytoval, byla tato a řada dalších hodnocení prováděna a za poslední roky precizně ukládána. Jenom provoz o tom nějak nevěděl.

O zavádění nových námětů, inovací atd. není třeba opakovaně a rozsáhle hovořit. Toto by mělo být snad samozřejmostí v každé firmě.

LITERATURA

- [1] Statistická ročenka České republiky, Vybrané ukazatele národního hospodářství, viz [www: czso.cz](http://www.czso.cz), 3.2.2014.
- [2] Seznam zemí podle státního dluhu, WIKIPEDIE 3.2.2014.
- [3] Evropa zůstává brzdou světové ekonomiky, Ekonom č.2, r.2014, s.26-27.

- [4] Německo dobylo Evropu. Šlo to i bez zbraní, Ekonom č. 38, r.2013,s. 46-47.
- [5] Strašidlo nové krize ještě nezmizelo, Právo, 17.1.2014, s.10.
- [6] Rok 2014 má být rokem růstu, Moderní řízení, č.1.2014, s.45.
- [7] Recese končí, věří ředitelé firem, Ekonom, č.4, s.30, 2014.
- [8] Dlouhodobá předpověď lepší, než krátkodobá: Steel Times International, 9/2012
- [9] Stahlindustrie rechnet erst 2014 mit deutlicher Erholung: Dow Jones Stahl Aktuell 14.2.2013,
- [10] ArcelorMittal promises no more job cuts in EU till June: www.steelguru.com, 20.2.2013,
- [11] Stahlkocher hoffen auf die EU: Handelsblatt 14.2.2013,
- [12] EC action plan is not enough for European Steel industry - EESC: Steel Guru/Steel Trade Today, 14.12.2013,
- [13] Stahl und die CO2-Reduktion: Metall Bau, 11/2013,
- [14] Kriselnder Stahlkocher Salzgitter kann Talfahrt bremsen: Reuters, 14.11.2013,
- [15] Italian government in new talks on sale of Lucchini: Steel Business Briefing, 15.11.2013,
- [16] Severstal chief calls for global steel agreement over excess capacity: Financial Times, 14.11.2013,
- [17] Bez angažovaných zaměstnanců firma neobstojí, Moderní řízení č.7, 2012, s. 14,
- [18] Žižka I., Kafka V.,Vladar Z., Szmek V., Novobilský M.,: Vytváření ekonomického povědomí ve slévárnách Třinec, a.s., Slévárenské dny, sborník přednášek, sekce ekonomická, 12.-13.11.2013, Brno, ISBN 978-80-02-02496-7, 56-59.
- [19] Koucký J.: Budoucím absolventům diplom stačit nebude, Právo,17.2.2014, s.18,
- [20] Deutsche Rohstahlproduktion steigt um 5.7 Prozent: Stahl Aktuell, 11.12.2013.
- [21] Millionen Tonnen Stahl zu viel: GeVestor, 9.12.2013.
- [22] MEROS: Sauberere Erzeugung von Stahl: www.innovations-report.de, 10.12.2013.
- [23] China 2013 steel consumption estimated at 693 million tonnes: Steel Guru/Steel Trade Today, 10.12.2013.
- [24] Steel market recovery to carry on despite EU, Asian price falls : Reuters, 11.12.2013,
- [25] China may close more steel mills in 2014 to tackle pollution-industry: www.reuters.com, 16.12.2013.
- [26] Steel sector needs USD 210 billion in next decade: Steel Guru/Steel Trade Today, 17.12.2013.
- [27] Aktie des Tages: www.boerse.ard.de, 22.1.2014.
- [28] Eurofer lifts outlook for EU 2014 steel consumption: Steel Business Briefing, 24.1.2014.
- [29] Kuběna J.: Náměty na využití „mikro“ výpočetní techniky v tavárnách, připravovaná prezentace na 139. zasedání OK tavení oceli na odlitky a ingoty dne 13.3.2014 ve Svatce.

BEZKONTAKTNÍ MĚŘENÍ TEPLOTY VE VÝROBĚ A ZPRACOVÁNÍ OCELI

Vladimír HUBÍK, Libor KELLER

TSI System s.r.o., Mariánské nám. 1, 617 00 Brno, Česká republika, EU, info@tsisystem.cz

Abstrakt

Bezkontaktní měření teploty ve výrobě a zpracování oceli je důležitá měřicí technologie. Bezkontaktní teploměry pro vysoké teploty mohou pracovat na jedné vlnové délce nebo mohou být poměrové. Poměrové typy lépe odolávají rušivým vlivům průmyslového prostředí. Různá provedení pyrometrů nacházejí uplatnění v jednotlivých technologiích výroby a zpracování oceli podle jejich teplotního rozsahu, optické charakteristiky, datového rozhraní a odolnosti vůči okolním vlivům. Řádkové teplotní skenery umožňují získat dvojrozměrný obraz teplotního pole pohybujících se ocelových výrobků. Výhodou jejich použití je možnost vyhodnocování teploty v jednotlivých částech měřeného profilu. Jsou uvedeny příklady použití pyrometrů a řádkových skenerů.

Non-contact temperature measurement in steel production and processing is an important measuring technique. Non-contact thermometers for high temperatures may work on one wavelength or may be designed as ratio pyrometers. Ratio types are more resistant to the influence of industrial environment. Various pyrometer models can be used in the various technologies of steel production and processing according to their temperature range, optical characteristics, data interfaces and resistance to the environmental influences. Thermal line scanners allow a two-dimensional image of the temperature field of moving steel products. The advantage of their use is to evaluate the temperature in different parts of the measured profile. Examples of using pyrometers and line scanners are given.

Klíčová slova: Bezkontaktní měření teploty, bezkontaktní teploměr, pyrometr, poměrový pyrometr, řádkový teplotní skener

1. ÚVOD

O důležitosti správné teploty v jednotlivých technologických fázích výroby a zpracování oceli není jistě třeba dlouze diskutovat. Důležitost správné teploty v průběhu výrobních i zpracovacích procesů je nesporná a závisí na ní celková kvalita vyráběné a zpracovávané oceli. O čem však je možné a mnohdy nutné diskutovat, je způsob měření teploty v důležitých technologických uzlech výrobních a zpracovacích procesů. Správné změření teploty je totiž základem pro získání pravdivých hodnot teploty a tím pro správné posouzení kvality kontrolovaného procesu.

Bezkontaktní měření teploty má nespornou výhodu v možnosti měřit povrchovou teplotu pohybujícího se materiálu, což je ve výrobě a zpracování oceli častý požadavek. Další výhodou je, zejména při měření vysokých teplot, možnost dostatečného odstupu od horkého povrchu materiálu a tím zajištění ochrany drahé měřicí techniky. Správné použití bezkontaktní měřicí techniky však vyžaduje dobrou znalost fyzikálních podmínek tohoto měření, protože pouze vhodně aplikovaná měřicí technika může přinést očekávané výsledky.

2. KLASIFIKACE BEZKONTAKTNÍCH TEPLOMĚRŮ

Při výrobě a zpracování oceli se měří v rozsahu středních a vysokých teplot, což v praxi znamená teplotní rozsah od 500 °C výše. V tomto rozsahu jsou k dispozici dvě bezkontaktní měřicí metody. První metoda, nazývaná „jednobarevná“, představuje absolutní měření, při kterém se měřená teplota vypočítá z celkového

množství energie emitované povrchem měřeného materiálu na dané vlnové délce infračerveného záření. Druhá metoda se nazývá „dvoubarevná“ a je to poměrové měření, které určuje měřenou teplotu z poměru energií na dvou blízkých vlnových délkách infračerveného záření. Obě metody v rozsahu středních a vysokých teplot pracují na vlnových délkách řádu jednotek mikrometrů.

Jednobarevné měření je po instrumentační stránce jednodušší, je však více ovlivnitelné všemi rušivými jevy, které se při měření ve výrobě a zpracování oceli hojně vyskytují. Dvoubarevné měření přináší výhodu větší odolnost vůči rušivým jevům, byť za cenu náročnější měřicí techniky. Tato odolnost je však pro správné měření významná, protože dokáže plně potlačit rušivé jevy, jako je prach, kouř, pára nebo obstrukce zorného pole, které způsobí až 95 % snížení snímané energie.

Sortiment bezkontaktních teploměrů, nazývané často termínem pyrometry, které vyrábí americký Raytek, je široký a zahrnuje jednobarevná i dvoubarevná provedení. Pro teplotní rozsah od 500 °C do 3000 °C jsou k dispozici modely v řadách Compact, Thermalert a Marathon.

3. COMPACT MI3HT

Pyrometr Compact MI3HT představuje nejmenší měřicí přístroj pro tento teplotní rozsah. Je tvořen ze dvou částí: z měřicí hlavičky a z elektronické vyhodnocovací jednotky. Měřicí hlavička má odolné pouzdro z nerezové oceli s krytím IP 65 a s elektronickou jednotkou je propojena kabelem, který může být dlouhý až 30 m.



Obr. 1 Bezkontaktní teploměr Compact MI3HT

Elektronická jednotka je k dispozici ve dvou variantách. Základní provedení je v kovovém boxu s krytím IP65. Na víčku boxu je displej, fóliová klávesnice se 4 tlačítka pro ruční nastavení a signalizační dioda. Uvnitř je vlastní elektronika a konektor rozhraní USB. Box má tři kabelové vývody pro připojení hlavičky, napájení a komunikační signály. Otevřená modulární verze řídicí jednotky s nízkým krytím je určena pro montáž na DIN lištu. Jednotka má vstupy pro současné připojení až 4 hlavic. Na přání může být vybavena s rozhraními RS485, Profibus nebo Modbus. V případech vícečetného nasazení se může použít propojovací box, který umožní připojení až 8 různých hlavic k jedné elektronické jednotce.

Teplotní měřicí rozsah pyrometru MI3HT je 250 °C až 1800 °C, přesnost měření je 1 % a optické rozlišení je až 100 : 1. Pyrometr se napájí stejnosměrným napětím 24 V.

4. THERMALERT TX

Bezkontaktní teploměry Thermalert TX jsou tradiční součástí sortimentu i pro vysokoteplotní rozsah. Jako jediné nabízí možnost dvou vodičového připojení s proudovou smyčkou. Pokročilá varianta TXS navíc umožňuje datovou komunikaci protokolem HART. V katalogu je celá řada speciálních provedení včetně jiskrově bezpečné varianty.

Teplotní měřicí rozsah teploměru Thermalert TX je 200 °C až 2000 °C, přesnost měření je 1 % a optické rozlišení je 60 : 1. Pro napájení se používá stejnosměrné napětí 12 až 24 V.

5. BEZKONTAKTNÍ TEPLoměRY MARATHON

Skupina pyrometrů Marathon představuje jádro sortimentu pro rozsah středních a vysokých teplot. V kompaktním provedení je k dispozici jednobarevný Marathon MM a poměrový Marathon MR. S oddělenou měřicí hlavici propojenou s elektronickou vyhodnocovací jednotkou optickým kabelem je v nabídce jednobarevné provedení Marathon FA a poměrová verze Marathon FR.

Jednobarevný Marathon MM je vestavěný do masivního pouzdra z nerezové oceli. Na zadní straně přístroje je integrovaný displej a ovládací tlačítka pro ruční nastavení měřících parametrů. Přístroji Marathon MM je možné měřit i velmi malé cíle od průměru 1,1 mm. Dostupná je i varianta s nastavitelným ohniskem. Optimální velikost měřicí stopy se tak dá měnit nejen změnou vzdáleností od měřeného cíle, ale i změnou ohniskové vzdálenosti objektivu. Zaostřuje se pomocí vestavěného servopohonu. Všechny typy mají zaměřovací laser a navíc optické zaměřování přímým průhledem přes tělo pyrometru nebo pomocí vestavěné CCD kamery. V kritických aplikacích tak může mít operátor obrazovou informaci o měřené scéně průběžně na monitoru počítače. K připojení slouží 12 pólový DIN konektor. Přístroj se napájí 24 V a kromě digitálního sériového rozhraní RS485 je vyveden proudový výstup, kontakty relé signalizace a vstup pro externí spoušť.



Obr. 2 Bezkontaktní teploměr Marathon MM

Teplotní rozsah jednobarevného teploměru Marathon MM pro vysoké teploty je od 300 °C až do 3000 °C, přesnost měření je 1 %. Optické rozlišení je až 300 : 1. Provedení přístroje má krytí IP65.

Poměrové přístroje Marathon MR jsou osvědčené pyrometry v kovovém pouzdra s vysokým krytím, dobrou mechanickou odolností a odolností proti elektromagnetickému rušení. K nastavení pyrometru na měřený cíl slouží průhledový hledáček se zaměřovacím křížem, může být také aktivován zaměřovací laser. Na zadní straně je po odšroubování skleněného krytu přístupná klávesnice s několika tlačítky pro ruční nastavení parametrů měření. Displej zobrazuje v režimu nastavování hodnoty navolených parametrů, v režimu měření pak hodnotu teploty. Měření je uživatelsky nastavitelné do jednobarevného režimu. Většina parametrů se dá nastavit ručně, ostatní pak pomocí programu MultiDrop. Přístroj má na 12 pólovém DIN konektoru kromě proudového výstupu vyvedeno i 4 vodičové sériové průmyslové rozhraní RS485 pro přímou komunikaci s PC nebo řídicím systémem technologie. K dispozici je také kontakt relé pro signalizaci nedosažení nebo překročení nastavených mezních teplot. Při digitální komunikaci je k dispozici informace o úrovni ztlumení infračerveného záření vlivem absorpce prostředí.

Teplotní rozsah pyrometru Marathon MR je v poměrovém režimu 600 °C až 3000 °C při přesnosti 1 % s optickým rozlišením až 130 : 1.

Pyrometry Marathon řady FA a FR mají, jak již bylo zmíněno, oddělenou elektronickou jednotku od měřicí hlavy. Propojení zajišťuje optický kabel, který může mít délku až 22 m. Toto provedení je pro měření vysokých teplot velmi výhodné, protože hlavice neobsahuje žádné elektronické prvky. Může proto bez jakéhokoliv chlazení pracovat v prostředí s okolní teplotou až 315 °C, navíc je plně odolná průmyslovým elektromagnetickým polím. Modely FA umožňují jednobarevné měření, modely FR jsou poměrové. Přístrojové rozhraní a ovládání je stejné jako u modelů MR.



Obr. 3 Bezkontaktní teploměr Marathon FA/FR

Teplotní rozsah pro Marathon FA je od 250 °C do 3000 °C, pro Marathon FR pak od 500 °C do 2500 °C. Přesnost měření je 1 %, optické rozlišení až 100 : 1.

6. BEZKONTAKTNÍ TEPLoměRY MODLINE

Americký výrobce bezkontaktních teploměrů Ircon doplňuje předchozí sortiment pyrometrů o poměrový přístroj Modline 5. Jeho technické parametry jsou téměř shodné s pyrometrem Marathon MR, má však dvě výjimečné funkce navíc. Tou první je možnost rozšíření přístroje o systém měření znečištění vstupního okénka optiky. Toto praktické zařízení průběžně měří a signalizuje prostupnost optiky pro infračervené záření. Tím šetří uživateli čas spojený s údržbou a přináší jistotu, že měření probíhá správně. Druhá přídavná funkce je automatický monitorovací systém, který průběžně v předem nastavených intervalech nebo kdykoliv na ruční zásah obsluhy dokáže zjistit, jestli přístroj stále měří s deklarovanou přesností. Není tedy nutné kalibrovat pyrometr v pravidelných intervalech, ale teprve v okamžiku, kdy dojde k poklesu přesnosti měření. Pyrometry Modline 5 jsou vybaveny optickým nebo laserovým zaměřováním, digitálním rozhraním a programovým vybavením pro komunikaci, nastavování, zobrazování naměřených hodnot a jejich archivaci.



Obr. 4 Bezkontaktní teploměr Modline 5

Teplotní měřicí rozsah přístroje Modline 5 je od 600 °C do 3000 °C s přesností měření 1 % při optickém rozlišení až 216 : 1.

7. APLIKACE BEZKONTAKTNÍCH TEPLoměRŮ

Typické aplikace pyrometrů pro měření středních a vysokých teplot při výrobě a zpracování oceli jsou na všech stupních výroby v ocelárnách, válcovnách slévárnách, kovárnách a kalárnách. Ve všech těchto provozech jsou pyrometry vystaveny extrémním podmínkám s vysokou teplotou, prašností a vibracemi. Pro dlouhodobou provozní spolehlivost je nutné pyrometr správně instalovat do vhodných ochranných krytů.



Obr. 5 Termoplášť pro bezkontaktní teploměr



Obr. 6 Pohled přes bezkontaktní teploměr

Příkladem je termoplášť firmy Raytek chlazený vodou, který zabezpečuje jeho ochranu při okolních teplotách přes 300 °C. Integrovaný ofukovací límec pak ochrání optiku před zanesením prachem. Nepravidelný pohyb měřeného výrobku v zorném poli pyrometru nebo výskyt okují lze dobře eliminovat použitím poměrového měření. Tak je možné bezkontaktní měření nasadit například na krystalizátoru při kontinuálním odlévání oceli.

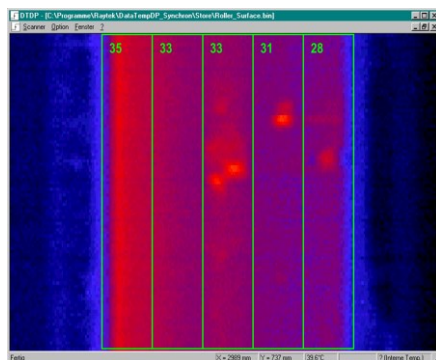
8. ŘÁDKOVÉ TEPLOTNÍ SKENERY

Zvláštní kategorii bezkontaktních teploměrů představují řádkové skenery. Jsou určeny speciálně pro snímání teplotního pole pohybujících se předmětů. Skener snímá postupně jednotlivé teplotní body v řádcích napříč pohybu měřeného předmětu. Tak se postupně vytváří dvourozměrná mapa teplotního pole. Vícebodového měření je dosaženo rotačním optickým systémem, který pomocí zrcadla snímá infračervené záření měřeného objektu v 1024 bodech ve vrcholovém úhlu 90 ° rychlostí až 150 řádků za sekundu. Vysoce výkonný vnitřní počítač skeneru pak vypočítá teplotu každého jednotlivého bodu řádku před měřením nového řádku.



Obr. 7 Řádkový teplotní skener MP 150

Skener Raytek MP 150 je navržený pro použití v náročných průmyslových podmínkách. Konstrukční provedení skeneru MP 150 ve dvouplášťovém masivním krytu umožňuje vodní chlazení pláště a vzduchový ofuk měřicí štěrby a zajišťuje jeho bezproblémové nasazení do teploty okolí až 180 °C. Skener je vybavený digitálním rozhraním RS 485 a rozhraním Ethernet. Dále jsou k dispozici tři konfigurovatelné analogové výstupy ve formě proudové smyčky. Správné nasměrování skeneru usnadňuje přídatný laserový zaměřovač a nastavitelná montážní patka.



Obr. 8 Mapa teplotního pole

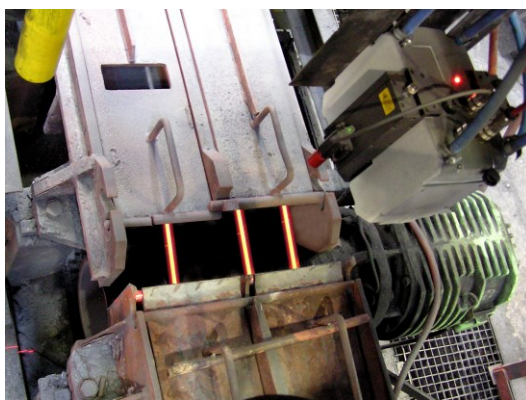
Skener MP 150 může být provozován v samostatném režimu, kdy je spojený s vlastním počítačem, nebo může být integrován do řídicího systému výrobního procesu. V obou případech komunikuje prostřednictvím

průmyslového programu DataTemp DP v operačním systému Windows. Program slouží pro konfiguraci skeneru a pro přenos měřicích dat. Konfigurace umožňuje rychlé a pohodlné uživatelské nastavení vyhodnocovacích zón nebo sektorů, ve kterých lze hlídat limitní hodnoty naměřených teplot. Podle naměřených hodnot pak mohou být spouštěny příslušné signalizace nebo řídicí procesy, případně může být vyvoláno samočinné ukládání naměřených hodnot. Komunikací přes standardní rozhraní OPC prostřednictvím programu DataTemp DP se skener MP 150 stává nedílnou součástí kompatibilní aplikace DCI nebo HMI systému. Ve všech případech tak MP150 poskytuje v reálném čase monitorovací a kontrolní funkce.

Skener MP 150 je dostupný pro široký měřicí teplotní rozsah v několika spektrálních pásmech. Pro měření při výrobě a zpracování oceli najdou nejširší uplatnění provedení s teplotním rozsahem od 600 °C do 1200 °C pracující na vlnových délkách 1 μm nebo 1,6 μm .

9. APLIKACE TEPLITNÍCH SKENERŮ

Příkladem aplikace řádkového teplotního skeneru ve výrobě oceli je jeho nasazení na válcovací trati při měření teploty ocelových prutů. Protože ve válcovací trati se pohybují vysokou rychlostí 3 pruty, které v průběhu válcování výrazně kmitají v horizontálním i vertikálním směru není možné toto měření teploty možné realizovat standardními bezkontaktními teploměry. Pro měření byl tedy zvolen skener MP 150. Pro každý prut v zorném poli skeneru se automaticky vytváří plovoucí generický sektor a tím je zajištěno nepřetržité sledování válcovací teploty vyráběné oceli. Teploty jednotlivých prutů jsou přenášeny do řídicího systému válcovací trati, kde jsou vyhodnocovány, využity pro řízení technologických parametrů a současně archivovány. Na obrázku je pohled na skener MP 150 umístěný nad válcovací trati.



Obr. 9 Řádkový teplotní skener ve válcovací trati

ZÁVĚR

Bezkontaktní měření teploty, ať již bodovými pyrometry nebo řádkovými skenery, je pro výrobu a zpracování oceli prakticky nepostradatelné. Moderní přístrojová technika přitom dokáže zajistit dostatečně přesné a spolehlivé měření teploty ve všech ocelářských technologiích s ohledem na náročné měřicí podmínky jak z hlediska vlastní fyzikální podstaty měření, tak z hlediska nutné odolnosti nasazovaných přístrojů.

LITERATURA

Firemní literatura Raytek

VÝSKUM TECHNOLOGIE VÝROBY KOMPONENTOV PREHRIEVAČOVÝCH SYSTÉMOV S MODIFIKOVANÝMI POVRCHMI

Mariana BALÁŽOVÁ, Štefan SMETANA, Peter BRZIAK, Pavol MAŤAŠ

*Výskumný ústav zvaračský - Priemyselný inštitút SR, Račianska 71, 832 59 Bratislava, Železiarne
Podbrezová a. s., Kolkáreň 35, 976 81 Podbrezová, Slovensko, EU*

Abstrakt

Cieľom príspevku je predstaviť ekonomicky výhodnú technológiu výroby prehrievačových rúr s premenlivým chemickým zložením po hrúbke, ktoré sú upravené tak aby rúry boli odolné voči vysokoteplotnej korózii a zároveň mali dostatočne žiarupevné vlastnosti na zabezpečenie úžitkových vlastností počas výroby energií spaľovaním alternatívnych palív. Spoločným menovateľom týchto postupov výroby energie je presun materiálovej problematiky zo superkritických teplôt a tlakov do oblasti „klasických“ parametrov, pri ktorých kotle spaľujúce alternatívne palivá pracujú. S tým, že najkritickejšia sa stáva odolnosť materiálov spaľovacích komôr voči vysokoteplotnej korózii. Výroba prehrievačových rúr bola rozdelená na dve etapy. V rámci prvej etapy bol výskum zameraný na výrobu polotovaru s gradientným chemickým zložením po priereze technológiou odlievania do pieskovej formy na pracovisku VÚZ - PI SR. V druhej etape bol gradientný polotovar použitý na výrobu prehrievačových rúr v podmienkach ŽP a.s. Na analýzu stavu riešenia bola aplikovaná: fyzikálna simulácia, fyzikálne (konštitutívne) rovnice, numerická simulácia, metalografická analýza (svetelná mikroskopia, čiarová EDX semikvantitatívna chemická analýza), meranie tvrdosti podľa Vickersa.

Kľúčové slová: prehrievačová rúra, valcovanie, metalografická analýza

1. ÚVOD

Výskum v oblasti výroby bimetalického (gradientného) polotovaru je na Výskumnom Ústave Zvaračskom riešený v rámci projektu: „Výskum inovatívnych materiálov pre prehrievačové systémy zariadení vyrábajúcich energiu spaľovaním alternatívnych palív“ v spolupráci so Železiarňami Podbrezová a.s. Projekt reaguje na aktuálny problém vo svetovej energetike, ktorým je zvyšovanie energetickej účinnosti zariadení na výrobu energie, a to najmä z alternatívnych zdrojov. Spoločným menovateľom aktuálnych postupov výroby energie z alternatívnych zdrojov je presun materiálovej problematiky zo superkritických (zelených) teplôt a tlakov do oblasti „klasických“ parametrov. Najkritickejšia sa stáva odolnosť materiálov spaľovacích komôr voči vysokoteplotnej korózii.

Hlavným cieľom projektu je vývoj ekonomicky výhodnej technológie výroby komponentov prehrievačových systémov s modifikovanými povrchmi na zabezpečenie úžitkových vlastností počas výroby energií spaľovaním alternatívnych palív. Tento cieľ bude dosiahnutý vývojom technológie výroby prehrievačových rúr s premenlivým chemickým zložením po hrúbke, ktoré bude upravené tak aby rúry boli odolné voči vysokoteplotnej korózii a zároveň mali dostatočne žiarupevné vlastnosti. Vonkajšie vrstvy rúr budú z vyššie legovaného materiálu, jadro bude vyrobené z materiálu nižšie legovaného. Prvým krokom vo výrobe prehrievačových rúr s premenlivým chemickým zložením po hrúbke je výroba bimetalického (gradientného) polotovaru [1, 2, 3].

Použitie bimetalických materiálov nesie so sebou rad problémov, ktoré sa môžu vyskytnúť počas jeho nasledovného spracovania. Z tohto hľadiska je veľmi dôležité zamerať sa na kvalitu dosiahnutého spoju medzi materiálmi. Pri výbere vhodnej kombinácie materiálov je taktiež veľmi dôležité zvážiť rozdielnosť

fyzikálních a mechanických vlastností ako napríklad tepelná rozťažnosť, tepelná vodivosť, odolnosť materiálu voči korózii atď. [4].

2. EXPERIMENT

Experimentálna časť prác bola rozdelená do dvoch etáp. V rámci prvej etapy bol výskum zameraný na výrobu polotovaru s gradientným chemickým zložením po priereze technológiou odlievania do pieskovej formy na pracovisku VÚZ - PI SR. V druhej etape bol realizovaný výskum v oblasti výroby prehrievačových rúr v podmienkach ŽP a.s. Na analýzu stavu riešenia bola aplikovaná: fyzikálna simulácia, numerická simulácia, metalografická analýza (svetelná mikroskopia, čiarová EDX semikvantitatívna chemická analýza), meranie tvrdosti podľa Vickersa.

2.1 Experimentálny materiál

Na prípravu gradientného polotovaru určeného na výrobe prehrievačových rúr bola na základe prevádzkových podmienok vytypovaná nasledovná kombinácia materiálov. Vonkajší plášť bol z vysokolegovaného materiálu STN 417240 - 17240 a jadro odliatku z nízkelegovaného materiálu STN 415142 - 15240. Chemické zloženie materiálov dokumentuje tabuľka 1 a 2.

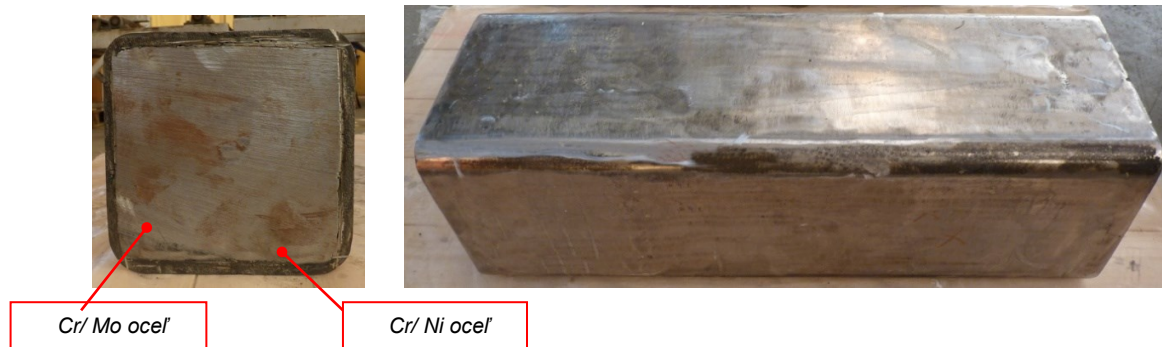
Tab. 1 Chemické zloženie materiálov v hmot. %

Materiál	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	P	S	P+S
STN417240 (17142)	0,07	2,00	1,00	17,00 - 19,50	8,00 - 10,50	-	0,045	0,03	-
Analýza VÚZ ¹	0,036	1,70	1,19	19,06	7,63	-	0,02	0,001	-
STN415142 (15142)	0,38	0,50	0,17	0,90	-	0,15 - 0,30	0,15	max. 0,035	max. 0,035
	0,45	0,80	0,37	1,20	-	-	0,30	-	-
Analýza VÚZ ¹	0,182	0,40	0,39	1,69	0,28	0,05	0,05	0,027	0,015

¹ - ICP optická emisná spektrometria, zariadenie SPEKTROLAB Typ: LAVWA18A

2.2 Metalurgia

Rúra štvorcového prierezu (200x 200 x 600mm, h = 12mm) z Cr/ Ni ocele (422931) bola zaformovaná do pieskovej formy (piesok - rajec Jestřebí masný, pojivo Bentonit) a ohriata pomocou horáka v intervale teplôt ~ 750 - 850°C. Následne bol naň odliaty natavený materiál z Cr/ Mo ocele (15142) pomocou nálevky na zabezpečenie plynulého a usmerneného liatia roztaveného kovu. Liacia teplota bola 1560 °C. Pred liatím bolo na vnútornú stranu zaformovanej rúry z Cr/ Ni ocele nanosené tavivo Bobroflux (prášok na zlepšenie priľnavosti materiálov). Pod formou je umiestnený podnátok z dôvodu zabezpečenia lepšej kvality spodnej časti gradientného polotovaru a plynulosti tečenia kovu. Po odliatí materiálov je povrch zasypáný exotermickým práškom.



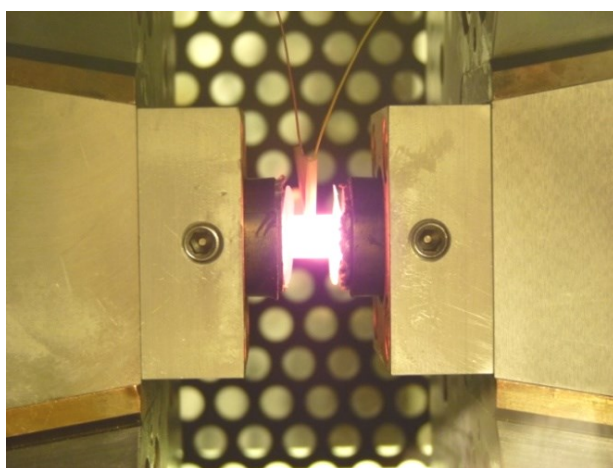
Obr. 1 Gradientný polotovary po odlievaní

Obrázok 1 znázorňuje gradientného polotovaru po odlievaní. Analýza gradientných polotovarov bola rozdelená do nasledovných úloh:

- NDT - ultrazvuková odrazová impulzná metóda (STN EN ISO 17635, STN EN ISO 11666, STN EN ISO 17640),
- čiarová EDX semikvantitatívna chemická analýza,
- svetelná mikroskopia,
- meranie tvrdosti a mikrotvrdosti podľa Vickersa (STN EN ISO 9015-1).

2.3 Fyzikálna simulácia

Pomocou fyzikálnej simulácie boli modelované a získané informácie o prirodzených deformačných odporoch (PDO) a zmenách mikroštruktúry pod vplyvom tepelno - deformačného zaťaženia na zariadení Gleeble 3800. Krivky PDO boli experimentálne stanovené pomocou tlakových skúšok za podmienok rovnobežnostenového stláčania. Skúšobné vzorky boli v tvare valčekov o rozmeroch $\varnothing 8\text{mm} \times 12\text{mm}$ pre oba materiály. Na stanovenie prirodzených deformačných odporov tlakovou skúškou bol použitý fyzikálny simulátor GLEEBLE 3800. Skúšky prebiehali v skúšobnej komore vo vákuu hodnoty 10^{-6} torr. Meranie teploty počas skúšky bolo pomocou termočlánkov Typ K, Ni-Cr(+) vs. Ni-Al(-), $0^{\circ}\text{C} - 1250^{\circ}\text{C}$. Skúšky boli realizované pri piatich teplotách a to 750°C , 850°C , 950°C , 1050°C , 1150°C a troch rýchlostiach deformácie 1s^{-1} , 3s^{-1} a 5s^{-1} . Obrázok 2 znázorňuje priebeh skúšky na fyzikálnom simulátore Gleeble 3800.



Obr. 2 Priebeh tlakovej skúšky vo fyzikálnom simulátore Gleeble 3800

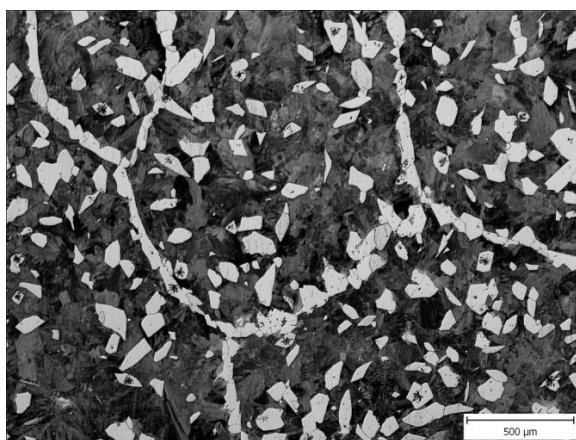
2.4 Numerická simulácia

Numerickou simuláciu je možné predikovať vplyv materiálových vlastností, geometrie výrobku a nástroja, vlastností mazadla na technologické charakteristiky, tak aby boli v maximálnej miere využité vlastnosti materiálu i možnosti technológií jeho spracovania. Spoľahlivosť a presnosť metód simulácie závisí od presnosti použitého modelu, úplnosti a presnosti vstupných údajov. V súvislosti so vstupnými údajmi sú najčastejšie diskutované problémy týkajúce sa určovania materiálových a tribologických vlastností. Numerickou simuláciou bolo možné efektívne určiť najkritickejšie miesta valcovacej trate s ohľadom na možné problémy so stratou integrity spojenia medzi Cr/ Ni a Cr/ Mo oceľou. Na simuláciu operácií bol použitý program DEFORM-3D. Simulácia je schopná predvídať prúdenie kovu, zaťaženie a chyby s veľmi dobrou presnosťou.

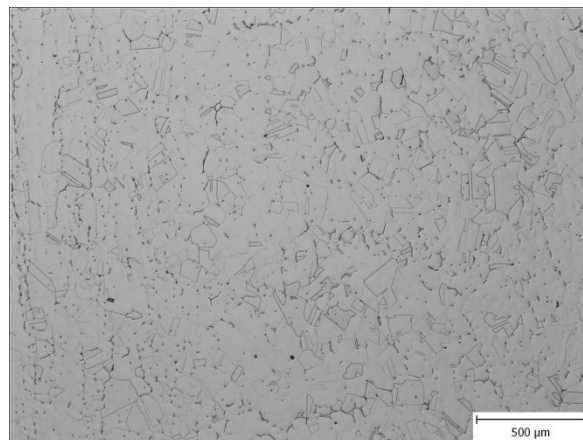
3. VÝSLEDKY

Z dosiahnutých výsledkov analýz v jednotlivých etapách môžeme skoncipovať nasledovné závery:

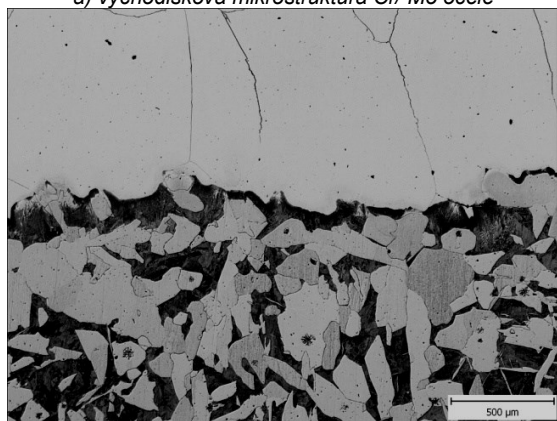
- NDT analýzou bol identifikovaný vznik difúzneho spojenia medzi Cr/ Mo a Cr/ Ni oceľou v rozsahu 80% plochy. Na jednej zo strán bolo identifikované difúzne nespojenie na 50% plochy. Predpokladáme, že v priebehu liatia natavenej Cr/ Mo ocele prišlo k asymetrii liatia a vysokej teplote liateho kovu čo následne viedlo k úplnému premiešaniu oboch materiálov na 50% plochy.
- Čiarovou EDX semikvantitatívnou analýzou bola detekovaná oblasť premiešania v rozsahu cca. 0,099mm.
- Mikroštruktúra Cr/ Mo ocele je tvorená lamelárnym prelitom a feritom. Mikroštruktúra Cr/ Ni ocele je tvorená polyedrickou štruktúrou s prítomnosťou žihacích dvojčiat a δ - feritu vid obr. 3. Plošný podiel delta feritu bol stanovený 4,25%. Na rozhraní bola pozorovaná oblasť oduhličenia a difúzie uhlíka. Šírka oblasti oduhličenia bola v rozsahu od 0,20mm do 0,35mm. Taktiež bolo pozorované výrazné zhrubnutie austenitických zŕn pozdĺž rozhrania v oblasti Cr/ Ni ocele.



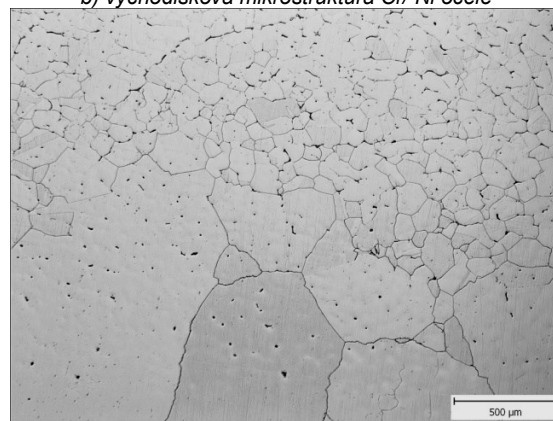
a) východisková mikroštruktúra Cr/ Mo ocele



b) východisková mikroštruktúra Cr/ Ni ocele



c) Východisková mikroštruktúra na rozhraní



d) Východisková mikroštruktúra pozdĺž rozhrania Cr/ Ni ocele

Obr. 3 Mikroštruktúrna analýza gradientného polotovaru

- Meraním tvrdosti boli stanovené vyššie hodnoty tvrdosti pre Cr/ Mo oceľ v porovnaní s Cr/ Ni oceľou čo zodpovedá charakteru tvrdosti stanovenej normou. Namerané hodnoty sú sumarizované v tab. 2. Pozdĺž rozhrania v oblasti Cr/ Ni ocele dosahovala priemerná hodnota mikrotvrdosti veľkosť 272 HV0,05.

Tab. 2 Namerané hodnoty tvrdosti gradientného polotovaru

HV10			HV0,05	
Cr/ Mo	Cr/ Ni	rozhranie	Cr/ Mo	Cr/ Ni
160	140	217	139	272

- Fyzikálna simulácia: z kriviek PDO môžeme jednoznačne skonštatovať vplyv teploty a rýchlosti pretvorenia na veľkosť PDO. Vo väčšine prípadov veľkosť PDO sa znižuje so zvyšujúcou sa teplotou deformácie a znižujúcou sa rýchlosťou deformácie. Z kriviek PDO môžeme pozorovať oblasť spevnenia s následným dynamickým odpevnením v dôsledku dynamickej rekryštalizácie. Spevňovanie je prevažne pri nižších teplotách a vyšších rýchlostiach deformácie. Naopak rozsah dynamického odpevnenia je väčší s vyššou teplotou deformácie a nižšími rýchlosťami deformácie. Je to spôsobené tým, že nižšie rýchlosti deformácie a vyššie teploty poskytujú dlhší čas na akumuláciu energie a väčšiu mobilitu na hraniciach zŕn pre nukleáciu a rast dynamicky rekryštalizovaných zŕn, anihiláciu dislokácií a zníženie PDO. Svetelnou mikroskopiou bola pozorovaná mikroštruktúra s deformačnou textúrou v Cr/ Ni ocele pri podmienkach $T = 750^{\circ}\text{C}$, 850°C / $\dot{\phi} = 1, 3, 5\text{s}^{-1}$ / $\phi = 0,875$. Pri podmienkach deformácie $T = 950^{\circ}\text{C}$, 1050° , 1150°C / $\dot{\phi} = 1, 3, 5\text{s}^{-1}$ / $\phi = 0,875$ môžeme pozorovať rekryštalizované austenitické zrná.
- Numerická simulácia poukázala na najväčšie riziko poškodenia valcovacej trate počas jednotlivých operácií výroby prehrievačových rúr a to v technologickom kroku pretlačovania. Pri nehomogénnej hrúbke vonkajšej vrstvy môže prísť k jej oddeleniu. Miera rizika poškodenia bola definovaná deformačným odporom materiálu, intenzitou deformácií a teplotou materiálu.

ZÁVER

Cieľom príspevku bolo predstaviť vývoj technológie výroby prehrievačových rúr s gradientným chemickým zložením po priereze, určených na spaľovanie alternatívnych palív. Vonkajšia vrstva rúr je z vyššie legovaného materiálu (Cr/ Ni oceľ) a jadro rúr je vyrobené z materiálu nižšie legovaného (Cr/ Mo oceľ). Pre úspešné pokračovanie a zvládnutie danej problematiky je veľmi dôležité zamerať sa na kvalitu dosiahnutého difúzneho spojenia. Alternatíva použitia technológie odlievania do pieskových foriem pri príprave gradientných polotovarov bola ekonomicky opodstatnená. Do budúcnosti by bolo potrebné zamerať sa aj na iné spôsoby prípravy.

V závere je veľmi dôležité zdôrazniť, že v oblasti použitia polotovaru s gradientným chemickým zložením po priereze pri výrobe prehrievačových rúr ide o svetový unikát.

LITERATÚRA

- [1] projekt VÚZ - PI SR: Výskum inovatívnych materiálov pre prehrievačové systémy zariadení vyrábajúcich energiu spaľovaním alternatívnych palív
- [2] BALÁŽOVÁ M., Výskum technológie výroby rúr z gradientného polotovaru, dizertačná práca, 2013
- [3] KLENOTIČOVÁ A., Výskum inovatívnych materiálov pre prehrievačové systémy zariadení vyrábajúcich energiu spaľovaním alternatívnych palív, dizertačná práca, 2013
- [4] MEHMET S., LEVENT C., ALI O. An investigation into stainless-steel/ structural-alloy-steel bimetal, Materials and Design 30 (2009) 264-270

POZNÁMKA

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt: Výskum inovatívnych materiálov pre prehrievačové systémy zariadení vyrábajúcich energiu spaľovaním alternatívnych palív, kód ITMS: 26240220026, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

POUŽITÍ AUTOMATICKÝCH SPOJEK PRO HOMOGENIZACI OCELI V PÁNVÍCH PŘI VYSOKÝCH TEPLOTÁCH

Petr ŠPALEK

PAUL WURTH, a.s., Na Spojce 1897/6, 702 00 Ostrava - Moravská Ostrava, Česká Republika, EU,
powcz@paulwurth.com

Abstrakt

Automatické spojky vyvinuté firmou PAUL WURTH jsou koncipovány pro automatické napojení přívodu inertního plynu za účelem homogenizace oceli v pánvích. Spojení je provedeno mezi pávní na jedné straně a stojanem, pánovým vozem, vakuovací nádobou nebo otočným stojanem kontinuálního lité na straně druhé a to automaticky bez jakéhokoliv pohonu. Zvláště v uzavřené vakuovací nádobě jsou okolní pracovní teploty velmi vysoké, což zvyšuje nároky na použité materiály. Na základě požadavku předního dodavatele trubek Vallourec & Mannesmann Tubes, závod Sain-Saulve (Francie) jsme ověřili teplotní odolnost používaných materiálů, navrhli zvláštní podmínky, za kterých bude zařízení spolehlivě pracovat, a provedli zkoušky v případě poškození těsnících prvků. Následně byla realizována dodávka testovacích kusů pro instalaci ve VOD (Vacuum Oxygen Degasser/Decarbonisation) a provedeny zkoušky v pracovním prostředí.

Klíčová slova: spojka, homogenizace, teplota, VOD

1. ÚVOD

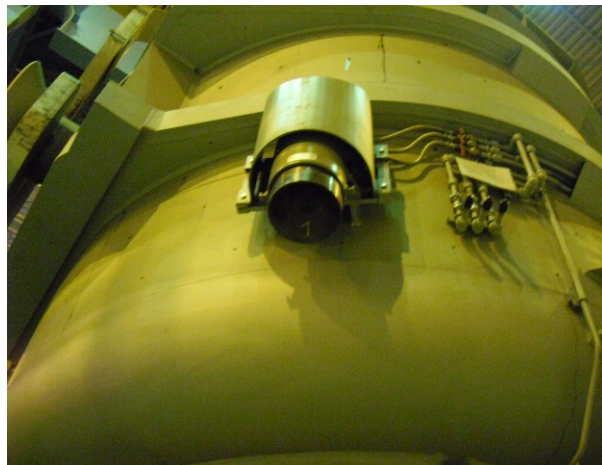
V oblasti pánové metalurgie se používá pro míchání roztavené oceli a její homogenizace probublávání inertního plynu. Injektáž plynu se v dnešní době provádí zejména dnem pánve. Pro tuto technologii je potřeba zajistit přívod a zapojení technologického plynu. Dle požadavku je zařízení schopno spojit jeden, dva nebo tři nezávislé proudy technologického plynu. Nejkritičtější místem instalace zařízení je vakuovací nádoba z důvodu zajištění těsnosti spoje v prostředí velmi vysokých teplot. V ocelárně Vallourec & Mannesmann Tubes, závod Sain-Saulve (Francie) je používána technologie VOD. Provozní teplota uvnitř VOD při zpracování vysokolegované oceli dosahuje až 600°C. Naším úkolem bylo prokázat a pomocí testů ověřit, že automatické spojky jsou schopny pracovat i v takto nepříznivých teplotních podmínkách s požadovanou spolehlivostí.

2. TECHNICKÝ POPIS

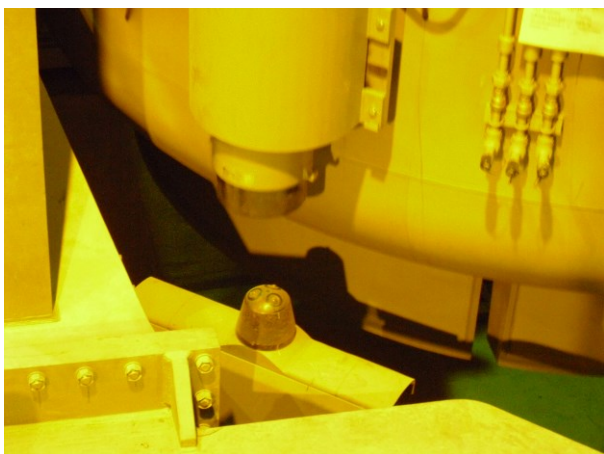
Systém se skládá ze spodní části s vnějším kuželem (obr. 1), jenž je nainstalována na zařízení, které přijímá pánev, a dále z horní části s vnitřním kuželem (obr. 2) připevněné na pávní. Během pokládání pánve dojde ke kontaktu vnitřního kužele s vnějším a vystředění obou částí (obr. 3a a 3b). Těsné spojení mezi kužely zajišťuje O-kroužek. Vnitřní kužel v horní části je posuvný a instalovaná tlačná pružina vytváří potřebný přítlak na těsnící plochu vnějšího kužele spodní části.



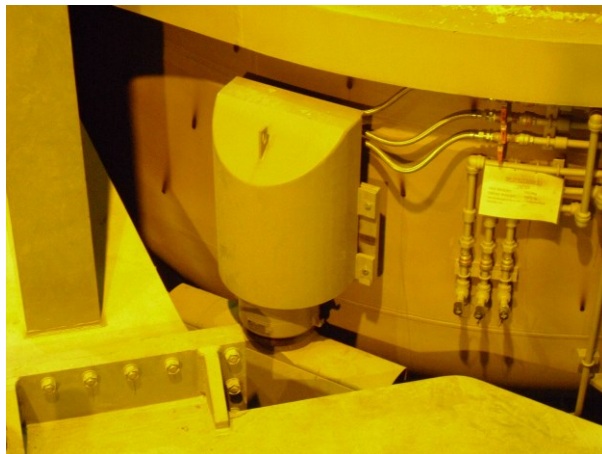
Obr. 1 Spodní část spojky ve VD



Obr. 2 Horní část spojky na pánvi



Obr. 3a Horní a spodní část před spojením



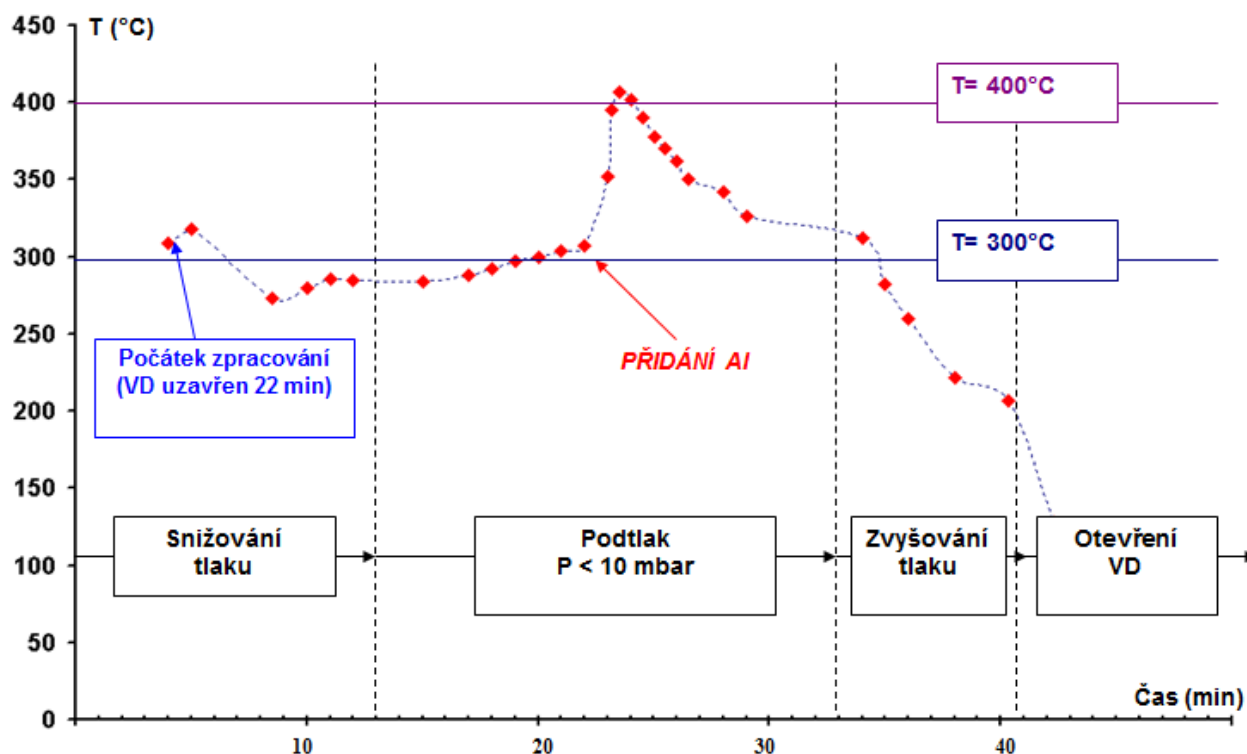
Obr. 3b Spojka po zapojení

TECHNICKÁ DATA:

Systém:	MONO - FLOW DOUBLE - FLOW TRIPLE - FLOW
Používané plyny	Argon, Dusík
Max. tlak:	20 bar
Max. průtok:	1200 NI/min
Max. prac teplota:	210°C (325°C se speciálním těsněním)

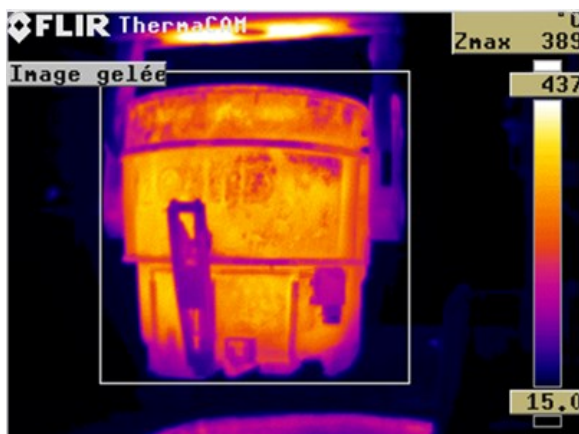
3. ZKUŠENOSTI V APLIKACÍCH S VYSOKÝMI TEPLITAMI

Již v minulosti jsme realizovali několik projektů s umístěním spojek ve vakuovací nádobě (VD). Před a během těchto instalací byla provedena různá měření za účelem určení aktuální pracovní teploty. Zjišťována byla teplota okolí během zpracování oceli ve VD v místě umístění spojky. Teploty se různily podle typu vyráběné oceli. Nejvyšší teplota byla zjištěna během dodávání hliníkových přísad a mírně přesáhla 400 °C (obr. 4).

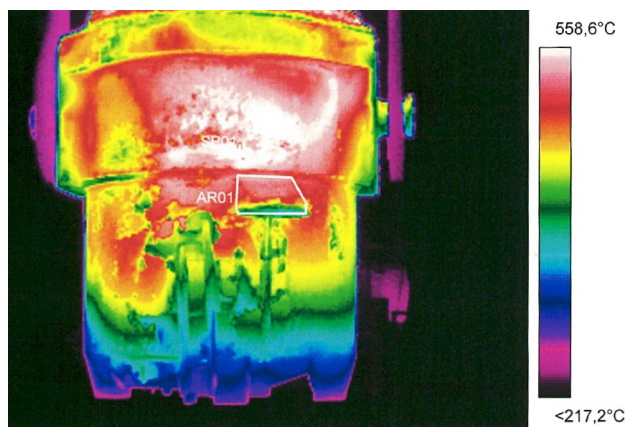


Obr. 4 Maximální teplota ve VD během zpracování

Také jsme měřili povrchovou teplotu pánve pomocí termokamery ihned (nejpozději 15 min) po vytažení z VD. Maximální teplota povrchu pláště pánve se pohybovala okolo 400°C . Povrchová teplota spojky byla cca 200°C (obr. 5). V minulosti jsme však také měli instalaci, kde byla naměřena teplota větší než 550°C (obr. 6). I v takto nepříznivých teplotních podmínkách pracuje automatická spojka se spolehlivostí vyšší než 90%.



Obr. 5 Teplota pánve 400°C



Obr. 6 Teplota pánve 550°C

4. POUŽÍVANÉ MATERIÁLY

Vysoké pracovní teploty vyžadují použití speciálních materiálů. Nejnáchylnější částí spojky vzhledem k teplotě jsou těsnicí materiály a pružiny. Pro tyto aplikace byly proto vybrány materiály s nejvyšší teplotní odolností. U plochých těsnících spojů nebyl problém nalézt adekvátní materiál. Na trhu existuje mnoho grafitových i jiných plochých těsnění pro použití při teplotě 450 °C.

O-kroužky již ale takovou teplotní odolnost nemají. V minulosti byly používány materiály jako silikon (VMQ) nebo fluorkaučuk (FPM). Ty mohou pracovat do teploty maximálně 250 °C. Momentálně nejodolnější dostupný elastomer je perfluorkaučuk (FFPM). Vyniká výbornou odolností většinou chemických látek a také jejich kombinací či sloučeninám. Jeho další vlastností, díky které je na samé špičce mezi elastomery, je odolnost i velmi vysokým teplotám. Některé směsi dokáží trvale odolávat i teplotám přes 320 °C. Jeho typické materiálové vlastnosti jsou na obr. 7.

Teplota pracovního prostředí ovlivňuje relaxaci pružiny, projevující se snížením síly vyvíjené pružinou při její deformaci. Jako nejlepší materiál odolávající vysokým teplotám byl vybrán INCONEL X-750. Je oxidací a korozi odolný, vhodný pro provoz v extrémních prostředích vystavených vysokému tlaku, teplotě a kinetické energii. Je běžně používán v lopatkách plynových turbín, spalovacích komor stejně jako turbodmychadel rotorů. U pružin a spojovacích součástí se používá do teploty 650 °C.

Property	ASTM	ISO	Value
Material Type	FFKM	FFPM	
Colour			Black
Hardness: (°IRHD)	D1415	ISO48	78
(Shore A)	D2240	ISO7619	79
Tensile Strength (MPa)	D412	ISO37	19.2
Elongation at break (%)	D412	ISO37	160
100% Modulus (MPa)	D412	ISO37	12.0
Compression Set: 72 hrs @ 200°C (392°F)	D395	ISO815	18.0
Minimum Operating Temperature			-15°C (+5°F)
Maximum Operating Temperature			+325°C (+617°F)
Coefficient of Thermal Expansion (°C ⁻¹)			4.0x10 ⁻⁴

Obr. 7 Vlastnosti perfluorkaučuku FFPM

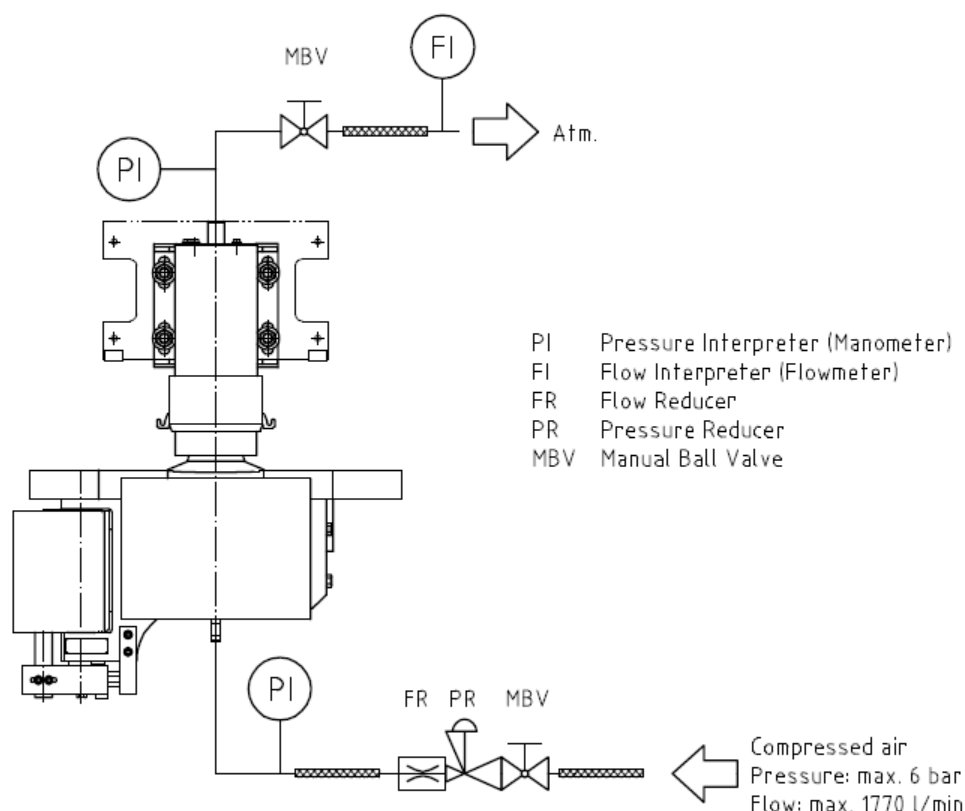
5. ZKOUŠKA BEZ TĚSNÍCÍCH ELEMENTŮ

Těsné spojení mezi kužely horní a spodní částí automatické spojky zabezpečují O-kroužky. Jejich stálá maximální pracovní teplota je 325°C. Během standardního provozu kolem nich proudí technologický plyn, který je ochlazuje a tím je chrání před nepříznivými vlivy teploty. Proto doporučujeme ponechat vždy alespoň minimální průtok, i v době kdy to technologie zpracování oceli ve VD/VOD nevyžaduje.

Přesto jsme chtěli ověřit spolehlivost a těsnost spoje v případě, že těsnicí funkce O-kroužku bude narušena, případně bude zcela zničen. Na testovacím stojanu (obr. 8) jsme simulovali zapojení. Použili jsme stlačený vzduch a jeho parametry nastavili tak, aby odpovídaly technologickému plynu pro mísení. Tlak 6 bar, průtok 500 NI/min. Spojení bylo provedeno přímo mezi kužely kov-kov bez těsnícího O-kroužku. Na obr. 9 je znázorněno zapojení měřících a regulačních přístrojů.



Obr. 8 Testovací stojan



Obr. 9 Zapojení měřících a regulačních přístrojů při testu

Provedli jsme tři zkoušky, při nichž jsme mírou otevření výstupního kulového ventilu simulovali různou průchodnost porézní tvárnice. Ventil 0% otevřen → tvárnice zcela zablokovaná. Při testu s uzavřeným výstupním ventilem jsme měření průtoku provedli na vstupu. Další dva testy s otevřeným ventilem na výstupu. Výsledné hodnoty jsou uvedené v tab. 1.

Tab. 1 Výsledky zkoušky těsnosti bez O-kroužků

Test č.	Otevření ventilu	Tlak [bar]	Průtok [NI/min]
1	0%	5,8	135 ÷ 165
2	50%	5,6	400 ÷ 435
3	100%	5,5	435 ÷ 465

Jak je zřejmé z tab. 1, netěsnost spojky bez O-kroužku a zcela zavřeném výstupu je 135 ÷ 165 NI/min. Při 50% otevření výstupu přes něj stále proudilo 400 ÷ 435 NI/min. Zbýlý průtok 65 ÷ 100 NI/min je netěsnost. Během standardního provozu se zcela funkčními těsnícími elementy je lekáž nulová. Avšak i v případě jejich poškození je zjištěný tlak a průtok stále schopen zajistit řádné probublání ocelovou lázní.

6. ZKOUŠKA V PRACOVNÍM PROSTŘEDÍ

Následně byla realizována dodávka testovacích kusů pro instalaci ve VOD a provedeny zkoušky v pracovním prostředí. Kromě samotné zkoušky mechanického spojení byla také testována teplotní

odolnost. Test byl rozdělen do čtyř stupňů se zvyšující se pracovní teplotou v závislosti na jakosti zpracovávané oceli. Uživatel specifikoval podmínky takto:

1. Běžná tavba - ocel je zpracovávána v uzavřeném VD, vakuování se neprovádí
2. Vakuovaná tavba - provádí se vakuování
3. Dekarbonizovaná tavba - jakost H9 / H91 (VOD)
4. Dekarbonizovaná tavba - jakost H1262A (VOD)

Pro každý stupeň byla provedena jedna tavba, při níž byl inertní plyn napojen k pánvi pomocí automatických spojek. Ve všech případech proběhlo spojení bez problémů a splnilo požadavky technologie. Nebyla zjištěna žádná netěsnost, ani poškození či degradace těsnících prvků vlivem vysoké teploty. Po ukončení zkoušek byly horní i spodní části spojek demontovány. V další fázi budou všechny pánve a pozice, kde je požadováno napojení inertního plynu, vybaveny automatickými spojkami. Uvedení kompletní instalace do provozu je plánováno na 3. kvartál roku 2014.

ZÁVĚR

Již v minulosti byly provedeny instalace automatických spojek ve VD a ověřena jejich spolehlivost a teplotní odolnost při pracovní teplotě $400 \div 500$ °C. Provozní podmínky v Vallourec & Mannesmann Tubes, závod Sain-Saulve však tyto hodnoty překračují. Je to první aplikace ve VOD s provozní teplotou 600°C. Nejkritičtější místem celého zařízení vzhledem k teplotě jsou O-kroužky zajišťující těsné spojení. Provedené zkoušky prokázaly, že i v případě jejich poškození je spojka schopna zajistit dodávku inertního plynu v požadovaném množství a tlaku. Pro prodloužení jejich životnosti doporučujeme ponechat vždy alespoň minimální průtok, i v době kdy to technologie zpracování oceli ve VD/VOD nevyžaduje.

VÝVOJ TECHNOLOGIÍ V OBLASTI TROSIEK, TROSKOTVORNÝCH PRÍSAD Z PRODUKCIE SLOVMAG, A.S. LUBENÍK

Igor ŠVIDRAŇ

Slovmag, a.s. Lubeník, Slovenská republika, EU

Abstrakt

Jedným z prostriedkov optimalizácie hutníckych procesov a ovplyvňovania opotrebenia základných výmuroviek oceliarskych pecí a nádob je štúdium a využívanie poznatkov z oblasti troskových tavenín a troskotvorných prísad. Touto problematikou sa priebežne zaoberá SLOVMAG, a.s. Lubeník, ktorý týmto spôsobom rozširuje oblasť svojho uplatnenia na trhu žiaruvzdorných výrobkov

Hospodárnosť výroby ocele výkon taviacich agregátov v mnohom závisia od odolnosti žiaruvzdornej výmurovky, podliehajúcej nielen mechanickým a tepelným zaťaženiám, ale aj agresívnemu pôsobeniu trosky. Predpokladá sa, že chemické opotrebovanie výmurovky predstavuje približne 70 % celkového podielu opotrebenia výmurovky.

Používanie technológie s prídavkom Fluxmag F umožňuje znížiť nepriaznivý vplyv taveniny na výmurovku elektrických oblúkových pecí a liacich paniev počas technologických procesov tavenia, čo zvyšuje efektívnosť používania týchto zariadení.

1. ÚVOD

Hutnícky priemysel patrí k významným spotrebiteľom energií. Zaoberá sa výrobou a spracovaním kovov a ich zliatin na rôzne hutnícke polovýrobky a výrobky. Problém znižovania energetickej náročnosti výroby a zvyšovania kvality výrobkov hutníckeho priemyslu vždy bol a vždy je veľmi naliehavou ekonomickou otázkou v tomto hospodárskom odvetví.

Hospodárnosť výroby ocele závisí aj od odolnosti žiaruvzdornej výmurovky, podliehajúcej nielen mechanickým a tepelným zaťaženiám, ale aj agresívnemu pôsobeniu trosky.

Predpokladá sa, že chemické opotrebovanie výmurovky predstavuje približne 70 % celkového podielu opotrebovania výmurovky.

Vhodným prostriedkom optimalizovania hutníckych procesov a ovplyvňovania opotrebovania základných výmuroviek oceliarskych pecí a nádob je vyžívanie poznatkov z oblasti troskových tavenín a troskotvorných prísad.

Používanie technológie s prídavkom **Fluxmag F** umožňuje znížiť nepriaznivý vplyv taveniny na výmurovku EOP a odlievacích paniev počas procesov tavenia.

Podľa výsledkov z praktických skúšok, úprava trosky prísadou Fluxmag F znižuje spotrebu el. energie od 3 % do 10 %, a zníženie spotreby opravárenských torkrétovacích zmesí o 25 % až 60 %.

Zásadité trosky pri tuhnutí kryštalizujú pomerne ľahko. V zásaditých troskách možno odlíšiť nasledujúce minerály:

- voľné oxidy - ide o izomorfnú zmes oxidov FeO, MnO, CaO a MgO
- silikáty - najväčšia skupina minerálov s najtypickejším minerálom $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (dikalciumsilikát C_2S)
- spinely - do tejto skupiny patria hlavne chromité a feritové trosky
- fosforidy - vyskytujú sa v troskách bohatých na fosfor
- sulfidy - táto skupina sa vyskytuje najmenej, no sú to komplexné zlúčeniny sulfidov

2. CHARAKTERISTIKA A VLASTNOSTI FLUXMAG F

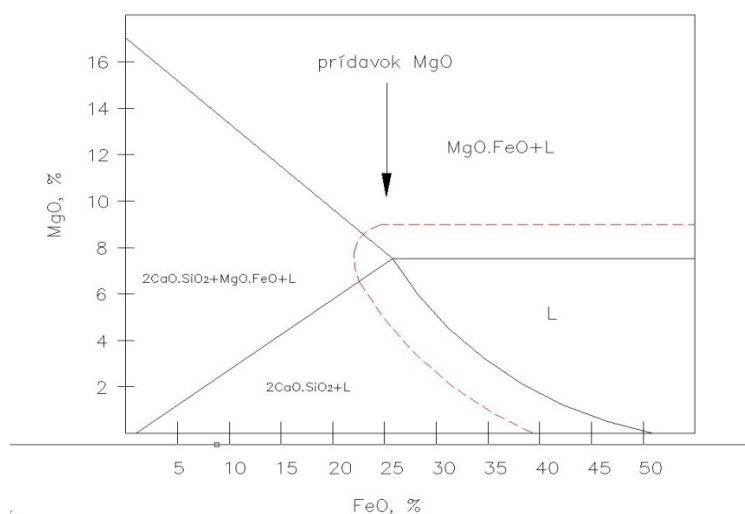
FLUXMAG F - je zásaditá přísada na úpravu chemického zloženia oceliarskych trosiek, vyrobená na báze špeciálne vyselektovaného prírodného železitého magnezitu.

Nový druh výrobku bol vyvinutý podľa požiadaviek konkrétnych výrobcov ocele.

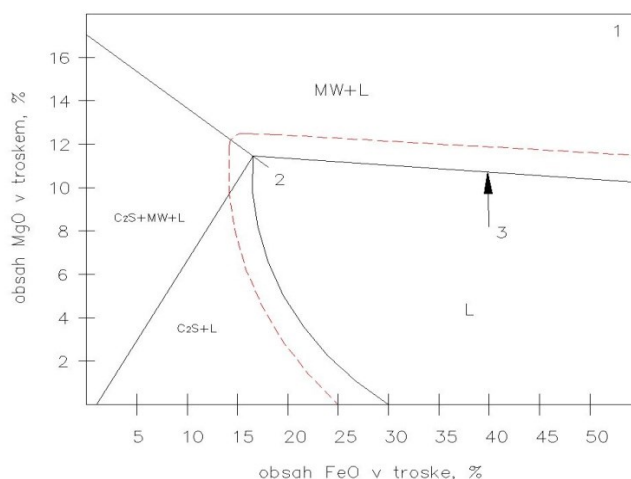
Hlavnou zložkou a nositeľom vlastností je slinutý periklas, ako jediná stabilná modifikácia MgO.

Popis princíp technológie na príklade izotermických (prebiehajúcich pri stálej teplote) fázových diagramov

Základ tejto technológie je možné posúdiť na príklade použitia rezu izotermických fázových diagramov sústavy FeO-MgO-SiO₂-CaO-Al₂O₃ s rôznou bazicitou (zásaditosťou).



Obr. 1 Izotermický rez fázového diagramu sústavy FeO-MgO-SiO₂-CaO-Al₂O₃ pri teplote 1600 °C a bazicite trosky B = 2



Obr. 2 Izotermický rez fázového diagramu sústavy FeO-MgO-SiO₂-CaO-Al₂O₃ pri teplote 1600 °C a bazicite trosky B = 1,6

- 1- dvojité nasýtenie (MgO+CaO);
 - 2- nasýtenie trosky MgO;
 - 3- nasýtenie trosky CaO;
- MW -magneziowüstit (MgO . FeO); L - tekutá fáza; dikalciumsilikát (C₂S) - 2CaO.SiO₂

Časť na diagramoch, ktorá je označená bodkovanou čiarou, ukazuje optimálne zloženie trosky pre napenenie.

Vidieť, že v ohraničenej časti sú v tekutej troske prítomné rozpustné chemické zlúčeniny $2\text{CaO}.\text{SiO}_2$ (dikalciumsilikát C_2S) i $\text{MgO}.\text{Fe}_2\text{O}_3$ (magnoferit MF) ktoré podporujú napenenie trosky, znižujúce jej viskozitu a sú centrami vytvárania bublín CO.

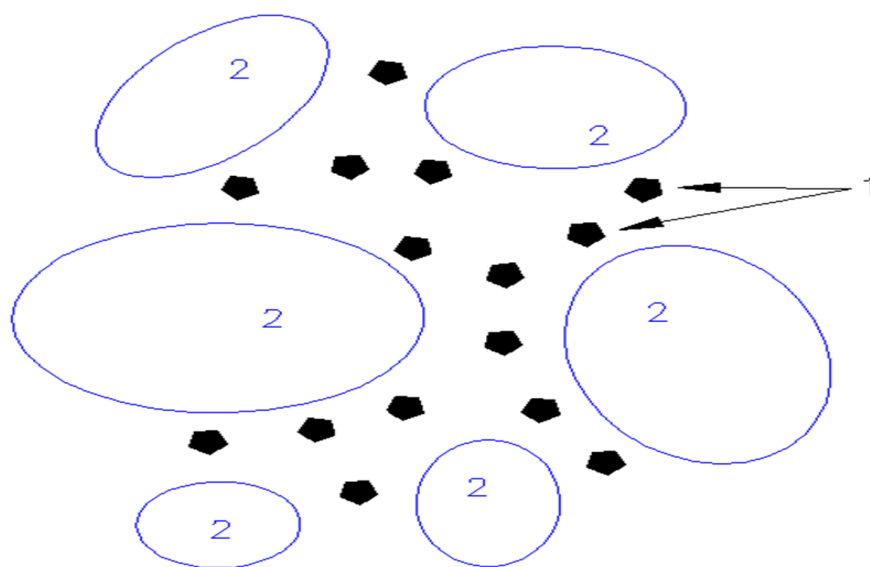
Obsah FeO v troske sa v priebehu tavenia zvyšuje oxidáciou železa kyslíkom. To vedie k zmene zloženia trosky, čo je sprevádzané zvýšením tekutosti trosky.

Ak sa v tomto štádiu pridá MgO a udrží sa jeho obsah v troske kompenzujúci zvýšenie obsahu FeO, zloženie trosky pre napenenie zostane optimálne.

Počiatkový obsah MgO v troske má tiež veľký význam. Pri nasýtení trosky MgO sa dosiahne optimálna jej viskozita, ktorá zabezpečí stabilné a včasné napenenie trosky v širokom intervale teplôt a obsahu FeO.

Takéto trosky sú úplne kompatibilné s magnezitovými žiaruvzdornými materiálmi a stabilizujú proces napenenia trosky.

Jedinečnosť riadenia procesu napenenia trosky pomocou jej nasýtenia MgO spočíva v tom, že vylučované tvrdé častice MgO z tekutej taveniny pri jej presýtení oxidom magnézia, okrem zvýšenia viskozity, zabraňujú odstraňovaniu bubliniek plynu CO a vytekaniu trosky z medzery medzi bublinkami CO, stabilizujú tak troskovú penu, pričom ju robí odolnou v širokom intervale teplôt a oxidácie.



Obr. 3 Napenená magnezitová troska

1 - jemne rozptýlené tvrdé častice MgO, 2 - bubliny CO

V procese napenenia sa troska nasýtená MgO dotýka výmurovky stien nádoby a výmurovky troskovej zóny a vytvára tak na nich ochranný povlak.

Okrem toho je potrebné vybrať racionálne zloženie trosky, zabezpečujúce vysokú odolnosť proti opotrebovaniu vytvorením vysokoteplotných fáz (magnesiowüstitu a magnoferitu).

Príklad: Troska s obsahom viac ako 48 % CaO a 6-8 % MgO nezabezpečuje vytvorenie garnisáže odolnej proti opotrebovaniu. Trosky s takým zložením sa nachádzajú v oblasti nasýtenia CaO a sú charakteristické vysokým obsahom nízkotavitelných fáz $\text{CaO}.\text{Fe}_2\text{O}_3$ (kalciumferit CF) a $2\text{CaO}.\text{Fe}_2\text{O}_3$ (dikalciumferit C_2F), s teplotou tavenia 1215 °C a 1440 °C príslušne.

Takže takto tvorená garnisáž nemá ukazovatele odolnosti k opotrebeniu a prakticky nechráni výmurovku.

Garnisáž s odolnosťou proti opotrebeniu je možné získať znížením CaO na 41 % a zvýšením MgO na 10 %. V takom prípade konečné trosky sa zložením posunú do oblasti nasýtenia MgO a sú charakteristické prítomnosťou vysokotaviteľnej fázy $\text{MgO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ (magnoforit MF) s teplotou tavenia 1750 °C a série tuhých roztokov s rôznymi proporciami $\text{MgO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$, ktorých teplota tavenia je 2000 °C.

Podiel magnoforitu a magnesiowüstitu v tuhej troske v takom prípade dosahuje 15-25 %, a podiel ľahkotaviteľnej fázy $\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ (kalciuforit CF) sa znižuje na 3-7 %. Výber racionálneho chemického zloženia magnezitových trosiek zabezpečí popri zvýšení odolnosti výmurovky pece dosiahnutie vysokých technicko-ekonomických ukazovateľov procesu.

Magnezitové trosky si zachovávajú dobrú rafinujúcu schopnosť zabezpečenia nízkeho obsahu fosforu po roztavení. Tavenina, ktorá je pod napenenými magnezitovými troskami, sa zohrieva rýchlejšie než zvyčajne.

3. APLIKÁCIA FLUXMAG F V OCELIARENSKÝCH LIACICH PANVÁCH

Používanie Fluxmag F v oceliarenských panvách je možné rozdeliť na 2 technológie:

1. Pridávanie Fluxmag F na odpichu tavby z pece spolu s vápnom a ferozliatinami,
2. Pridávanie Fluxmag F na dno panvy, nadávkovaná vo vreciach po 10 - 20 kg na odpich tavby, s použitím frakcie 0 - 4 mm.

Praktické overenia, výsledky

Výhody použitia troskotvornej prísady FLUXMAG F

Poznatzky získané z praktických skúšok v EOP:

Oceliarenský závod č.1:

- Nárast taviieb EOP z 570 na 1260.
- Zníženie prestojov pri údržbe.
- Zvýšenie výkonu pece o 1,3 tavby za deň.
- Merné náklady na ŽM činili 0,99 €/t ocele, čo je o 1,2 €/na t menej než na obvyčajnej kampani.
- Ekonomický efekt je 63 500 € za kampaň pece.
- Spotreba prísady činí 8 kg/t.
- Bazicita trosky: 1,4-1,5: pre nízkouhlíkové druhy ocelí; 1,8-2,0: pre vysokouhlíkové druhy ocelí.
- Obsah MgO: 8,5-9,5 %

Oceliarenský závod č.2:

- Denný výkon pece sa zvýšil o jednu tavbu.
- Zníženie nákladov na výrobu ocele činili 0,91 €/t.
- Skutočný ekonomický efekt na kampaň činil 33 963 €.
- Spotreba prísady 12 kg/t ocele.
- Bazicita trosky: 1,4-1,5.
- Obsah MgO: 7,5-9,5 %.

Poznatzky získané z praktických skúšok v liacich panvách:

Oceliarenský závod č.1:

- Rovnomernosť opotrebenia ŽM na celom povrchu stien panvy.
- Neprítomnosť vyhlbenín a prasklín.
- Zvyšková hrúbka pracovných stien bola 90-110 mm.
- Zvyšková hrúbka úseku trosky bola 70-90 mm.
- Pri zvýšení priemernej životnosti paniev o 10 % tak ani jedna panva nemala zvyškovú hrúbku menšiu ako 70 mm.
- Použitie Fluxmag F znížilo rýchlosť opotrebenia ŽM pracovných stien a úseku trosky.
- Merné náklady sa znížili o 0,47 €/t vrátane nákladov na Fluxmag F.

Oceliarský závod č.2:

- V tomto závode sa používajú výmurovky paniev z dolomitových stavív.
- Prísada Fluxmag F sa pridávala na dno panvy pred odpichom kovu z pece.
- Životnosť výmurovky paniev sa zvýšila zo 65 na 75 tavieb.

Vyhodnotenie a záver:

- Priemerná životnosť pracovných výmuroviek liacich paniev sa zvyšuje o min. 10% vytvorením ochrannej garnisáže na povrchu stien a úseku trosky.
- Tvorba garnisáže vyžaduje pridávanie prísady pri každej tavbe.
- Tvorba ochrannej garnisáže zabezpečuje rovnomerné opotrebenie ŽM na celom povrchu pracovných stien a úseku trosky oceliarských agregátov.

Výsledky praktických testov vo vybraných oceliarských závodoch umožňujú tieto závery:

- Používanie prísady Fluxmag F zabezpečuje priaznivé podmienky pre prevádzkovanie výmurovky EOP a paniev.
- Zníženie nákladov na ŽM.
- Vysokú efektívnosť realizovanej technológie.
- Individuálne nastavenie aplikácie u konkrétného užívateľa.
- Aplikovanie troskotvornej prísady, podľa konkrétnych technologických podmienok, v zrnitej forme, alebo vo forme brikiet. Oba typy výrobku sú k dispozícii.

POUŽITÁ LITERATÚRA

- [1] Interné materiály spoločnosti SLOVMAG, a.s. Lubeník
- [2] STAROŇ, J., TOMŠŮ, F.: *Žiaruvzdorné materiály - Vlastnosti a použitie*. MEDIA, Banská Bystrica 2000

POROVNÁNÍ CHOVÁNÍ ZTEKUCUJÍCÍCH PŘÍRAD STRUSEK V PRŮBĚHU ZPRACOVÁNÍ OCELI V ELEKTRICKÉ OBLOUKOVÉ PECI

Ladislav SOCHA ^a, Jiří BAŽAN ^a, Karel GRYC ^a, Petr STYRNAL^b, Jaroslav ŠIRŮČEK ^c

^a VŠB-TU Ostrava, FMMI, Katedra metalurgie a slévárenství, 17. listopadu 15/2172,
708 33 Ostrava, Česká republika, ladislav.socha@vsb.cz, jiri.bazan@vsb.cz, karel.gryc@vsb.cz

^b JAP TRADING, s.r.o., Karpentná 146, 739 94 Třinec, Česká republika, PetrS@jap.cz

^c DSB EURO s.r.o., Gellhornova 18, 678 01 Blansko, Česká republika, frantisek.mrazek@dsbblansko.cz

Abstrakt

Příspěvek uvádí provozní zkušenosti se zaměřením na posouzení dvou ztekucujících přísad strusek, a to metalurgického kazivce a briketovaného ztekucovadla na bázi Al_2O_3 . Sledované provozní tavby byly provedeny při zpracování oceli v elektrické obloukové peci ve slévárně DSB EURO s.r.o. Úkolem provozních experimentů bylo hodnocení odsiřovacích schopností a vlastností vytvořené strusky v redukční fázi výroby oceli. Pro hodnocení jednotlivých taveb byly odebírány vzorky oceli pro stanovení stupně odsíření. Dále byly odebírány vzorky strusek pro hodnocení vybraných parametrů, mezi které patří: bazicita, obsah lehce redukovatelných oxidů, poměr $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$. Získané výsledky z provozních taveb představují základní informace o možnostech náhrady metalurgického kazivce za briketované ztekucovadlo v podmínkách elektrické obloukové pece.

Klíčová slova: ztekucující přísady, struska, ocel, odsíření, elektrická oblouková pec

1. ÚVOD

Vytvoření rafinační strusky v redukční fázi výroby oceli v elektrické obloukové peci (dále jen EOP) není jednoduché, protože struska je tvořena nejen struskotvornými přísadami, ale i produkty dezoxidace oceli (Al_2O_3 , SiO_2 , MnO), zplodinami opotřebení vyzdívky a opravárenského materiálu a také určitým množstvím původní oxidační strusky (CaO , SiO_2 , FeO , MnO , P_2O_5 , Cr_2O_3). Finální složení strusky na konci redukční fáze je tedy značně odlišné od složení předpokládaného na základě přidání struskotvorných přísad.

Jednu z možností, jak lze ovlivnit vlastnosti strusky při odsíření v redukční fázi, představuje použití ztekucujících přísad, jejichž úkolem je snížit teplotu tavení a tedy i viskozitu redukční strusky za účelem zvýšení její reaktivity. Při výrobě oceli v EOP je v menších provozech používán pro ztekucení strusky metalurgický kazivec (CaF_2). Důvodem pro jeho použití je jeho vysoká účinnost při požadavku na rychlé ztekucení redukčních strusek. Používání metalurgického kazivce má však celou řadu negativních vlivů, a proto je v současnosti nahrazován ztekucovadly na bázi Al_2O_3 . Tato ztekucovadla jsou vyráběna z přírodních oxidů nebo různých druhotných surovin, a to buď přetavováním, sintrováním, peletizováním, briketováním nebo pouhým smícháním jednotlivých složek. Všechny výše uvedené typy ztekucovadel jsou však používány s určitými omezeními, která vyplývají z výběru použitých surovin a technologie výroby.

Provozní experimenty s vybranými ztekucovadly byly realizovány ve slévárně DSB EURO s.r.o. při výrobě oceli ve dvou EOP o nominální kapacitě 2 x 5 t. Vlastní výroba byla realizována v rozsahu 4 až 10 t dle potřeby [1]. Vliv přísad ztekucujících přísad na struskový režim v EOP byl hodnocen v redukční fázi výroby oceli. Cílem provozních experimentů bylo hodnocení struskového režimu při použití briketovaných ztekucovadel na bázi Al_2O_3 se zaměřením na posouzení možnosti náhrady metalurgického kazivce.

2. CHARAKTERISTIKA PROVOZNÍCH EXPERIMENTŮ

Vlastní výrobní proces ve slévárně DSB EURO s.r.o. probíhal následujícím způsobem: po roztavení vsázky v EOP následovala oxidační fáze, ve které bylo nejprve přidáno vápno pro vytvoření oxidační strusky. Následně byly přidány vysokopecní pelety spolu s dmýcháním plynného O_2 pro zajištění základních zkujňovacích reakcí. Vzniklá oxidační struska obsahující oxidy zkujňovacích reakcí byla slévána a stahována do struskové mísy. Na začátku následující redukční fáze byla provedena dezoxidace oceli pomocí fero-hliníku ($FeAl_{\text{houšky}}$) a ferosilikalci ($CaSi$). Následně byla vytvořena nová tzv. redukční struska, a to dávkou struskotvorných přísad představujících vápno a metalurgický kazivec (CaF_2) nebo briketované ztekucovadlo A65C10Cr05. V průběhu redukční fáze bylo provedeno odsíření oceli, její legování přísadky feroslitin ($FeMn$, $FeSi$ a $FeSiCa$) a úprava teploty. Na závěr byl výrobní proces v EOP ukončen odpichem a odléváním oceli do forem na odlitky [1].

V provozních podmínkách bylo realizováno celkem 13 taveb, a to při výrobě oceli určené pro ventily, obruby nebo odlitky, které jsou vystaveny vysokým teplotám nebo tlaku jakosti A216 (dle specifikace ASTM: A216/A216M). Je vhodné uvést, že provozní experimenty proběhly při výrobě 2 modifikací oceli A216WCB a A216WCC. Základní chemické složení obou modifikací oceli A216 je uvedeno v **tab. 1**.

Tab. 1 Základní chemické složení oceli A216

Jakost oceli	Rozsah	Chemické složení oceli (hm. %)							
		C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo
A216WCB	Max.	0,30	1,00	0,60	0,04	0,045	0,50	0,50	0,20
A216WCC	Max.	0,25	1,20	0,60	0,04	0,045	0,50	0,50	0,20

V průběhu zpracování oceli v EOP byly průběžně odebírány vzorky oceli a také vzorky strusky, a to na konci oxidačního a redukčního údobí. V případě odběru vzorků oceli byla provedena analýza obsahu síry a u vzorků strusek byla provedena analýza zaměřená na základní typy oxidů a obsah síry. Je vhodné také uvést, že v průběhu provozních taveb byly v případě varianty A sledovány čtyři tavby a u varianty B devět taveb.

3. ZÁKLADNÍ PARAMETRY NAVRŽENÝCH EXPERIMENTŮ A POUŽITÝCH ZTEKUCOVADEL

Pro hodnocení struskového režimu v redukční fázi výroby byly navrženy dvě varianty experimentů, jejichž charakteristika je uvedena v **tab. 2** a **tab. 3**. U jednotlivých variant byly použity jako struskotvorné přísady vápno a dva typy ztekucovadel představující metalurgický kazivec a ztekucovadlo A65C10Cr05 na bázi Al_2O_3 vyvinuté firmou JAP TRADING, s.r.o., přičemž jejich specifikace je uvedena v **tab. 4**.

Tab. 2 Charakteristika navržených variant provozních experimentů

Varianta experimentu	Struskotvorné přísady (kg)			Poměr ztekucovadlo/CaO
	CaO	Kazivec	A65C10Cr05	
A	100	25	xxx	1 : 5
B	90	xxx	45	1 : 2

Z **tab. 2** vyplývá, že obě varianty se mezi sebou lišily použitým ztekucovadlem, ale i jeho přidáním množstvím. V případě metalurgického kazivce bylo použito standardního poměru, a to 1 : 5 (ztekucovadlo / vápno). U ztekucovadla A65C10Cr05 byl použit poměr 1 : 2 (ztekucovadlo / vápno) s cílem zvýšení obsahu Al_2O_3 ve strusce pro narušení složitých hlinito-křemičitanových oxidických komplexů.

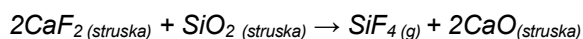
Tab. 3 Přepočet množství struskotvorných přísad jednotlivých variant

Varianta experimentu	Σ struskotvorných přísad (kg)	Průměrná hmotnost tavby (kg)	Množství struskotvorných přísad (kg·t ⁻¹)
A	120	4 800	25,0
B	135	7 700	17,5

Z **tab. 3** je patrné, že v případě varianty A s metalurgickým kazivcem je v průběhu redukce přidáváno největší množství struskotvorných, přísad průměrně cca 25 kg·t⁻¹ oceli. U varianty B s briketovaným ztekucovadlem A65C10Cr05 je množství přidávaných struskotvorných přísad průměrně cca 17,5 kg·t⁻¹ oceli. Je vhodné také uvést, že u variant A a B je prováděna dezoxidace oceli a deaktivace strusky pomocí fero-hliníku (FeAl_{housky}) o následujícím průměrném chemickém složení: Al - 35 hm. %, Mn - 0,30 hm. %, C - 0,15 hm. %, přičemž zbytek představuje Fe.

Použitá ztekucovadla pro provozní experimenty (metalurgický kazivec a ztekucovadlo A65C10Cr05) představují odlišné způsoby ztekucení redukčních strusek v EOP. Metalurgický kazivec, jehož základní chemické složení je uvedeno v **tab. 4**, představuje tradiční ztekucovadlo charakteristické vysokou účinností při požadavku na rychlé ztekucení redukčních strusek. Používání metalurgického kazivce má však celou řadu negativních vlivů, které lze shrnout do následujících bodů [2]:

- o po přidání do tekuté strusky dochází k jeho rozkladu, přičemž fluór postupně přechází do plynné fáze dle rovnice:



- o vznikající SiF₄ je plynného charakteru a uniká do ovzduší a vzhledem k jeho karcinogenním účinkům má nepříznivý vliv na pracovní a životní prostředí,
- o po úniku fluóru dochází ke zvýšení teplot likvidu strusek a tím i zhoršení kinetických podmínek pro rafinaci a odsíření oceli, proto se musí pro zajištění dostatečné tekutosti strusek přidávat další kazivec,
- o v důsledku vysoké tekutosti strusek při použití kazivce dochází k jeho penetraci do vyzdívek, což má za následek jejich zvýšené opotřebení.

Druhý typ představuje ztekucovadlo A65C10Cr05 na bázi Al₂O₃ a jeho základní chemické složení je uvedeno v **tab. 4**. Toto ztekucovadlo je vyráběno z druhotných korundových surovin představující vedlejší produkty z výroby elektrotaveného korundu (jako je např. prach a kal) s obsahem chromu ve formě Cr₂O₃ v kombinaci s dolomitickým vápencem a anorganickým pojivem (vodní sklo). Hlavní složku tvoří Al₂O₃ a CaCO₃, které slouží jako zdroj CaO. Toto ztekucovadlo je vyráběno briketací a standardně je dodáváno ve formě briket o rozměrech 50 × 50 × 40 mm.

Tab. 4 Základní parametry metalurgického kazivce CaF₂ a briketovaného ztekucovadla A65C10Cr05

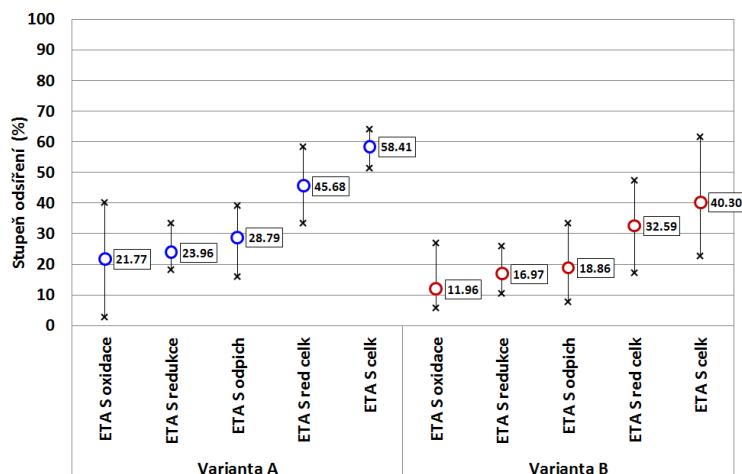
Metalurgický kazivec CaF ₂		Ztekucovadlo A65C10Cr05	
Základní složky (hm. %)		Základní složky (hm. %)	
CaF ₂	min. 80,0	Al ₂ O ₃	65,0
SiO ₂	min. 9,0	CaO	10,0
CaCO ₃	max. 10,0	MgO	4,0
S	max. 0,045	Cr ₂ O ₃	5,0
P	max. 0,035	SiO ₂	2,5
H ₂ O	max. 0,5	Na ₂ O + K ₂ O	2,5
Vlastnosti		Vlastnosti briket	
Rozměr	10 až 60 mm	Rozměr	50×50×40 mm
Kusovost	kusový	Pevnost	8 - 15 MPa
xxx	xxx	Pojivo	VODNÍ SKLO

4. HODNOCENÍ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ PROVOZNÍCH EXPERIMENTŮ

Posouzení vlivu rozdílných přísad struskotvorných přísad a hlavně vlivu ztekucovadel na výsledné chemické složení a účinek redukčních strusek bylo realizováno v několika krocích. Nejprve bylo provedeno vyhodnocení dosažených stupňů odsíření v jednotlivých technologických fázích výroby v EOP. Následně bylo realizováno hodnocení průběhu změn chemického složení redukčních strusek, a to na základě analýzy vzorků odebraných během zpracování v EOP. Dále byly výsledky chemického složení redukčních strusek zpracovány do výřezu kvaternárních diagramů $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-MgO-SiO}_2$ pro stanovení teplot tavení strusek v redukční fázi zpracování v EOP. Jako poslední krok bylo provedeno hodnocení vlivu vybraných parametrů strusek na rozdělovací koeficient síry (Ls). Mezi sledované parametry patří: bazicita, obsah lehce redukovatelných oxidů a poměr $\text{CaO/Al}_2\text{O}_3$.

4.1 Hodnocení stupňů odsíření oceli

Jako první krok při porovnání dvou typů ztekucovadel a rozdílných přísad struskotvorných přísad na výsledné chemické složení a účinek redukčních strusek bylo provedeno hodnocení dosažených stupňů odsíření (η_S) a průběhu poklesu obsahu síry v oceli, a to v jednotlivých technologických fázích výroby v EOP. Dosažené výsledky stupňů odsíření (η_S) obou variant A a B jsou uvedeny na **obr. 1**.



Obr. 1 Dosažené chemické složení redukčních strusek A a B

struskotvorných přísad v množství cca $17,5 \text{ kg} \cdot \text{t}^{-1}$ oceli přidávaných v redukční fázi, což se projevilo také na nižším poklesu obsahu síry v oceli o $0,013 \text{ hm. \%}$. Z výsledků je také patrné, že v průběhu redukční fáze byla provedena hlavní část odsíření pomocí přísad struskotvorných přísad, přičemž průměrný stupeň odsíření činil 46 % pro variantu A a 33 % pro variantu B.

Odsíření v redukční fázi lze rozdělit na dvě části. První část představuje vlastní redukční fáze ($\eta_{S \text{ redukce}}$), ve které dochází k dávkování struskotvorných přísad, postupnému rozpouštění a vytvoření strusky, která se podílí na odsíření oceli. V této části došlo ke snížení obsahu síry o cca $0,007$ a $0,005 \text{ hm. \%}$ a stupeň odsíření se pohyboval na úrovni cca 24 % pro variantu A a cca 17 % pro variantu B. Druhou část pak představuje odpich oceli do lící pánve ($\eta_{S \text{ odpich}}$). V tomto případě dochází vlivem intenzivního promíchávání oceli při odpichu s tekutou roztavenou struskou k dalšímu odsíření oceli o cca $0,007$ a $0,004 \text{ hm. \%}$. Stupeň odsíření byl pro variantu A cca 29 % a u varianty B cca 19 %.

Z dosažených výsledků z **obr. 1** vyplývá, že zvýšené množství struskotvorných přísad se pozitivně projevilo u varianty A, kde byl použit jako ztekucovadlo metalurgický kazivec. U varianty B se ztekucovadlem A65C10Cr05 nedošlo k dosažení srovnatelného stupně odsíření a poklesu obsahu síry pod $0,015 \text{ hm. \%}$ jako u varianty A. U této varianty však byly přísady struskotvorných přísad o $7,5 \text{ kg} \cdot \text{t}^{-1}$ oceli nižší než u varianty A, přičemž byl dosažen obsah síry v oceli pod $0,020 \text{ hm. \%}$. Lze předpokládat, že zvýšením struskotvorných přísad se ztekucovadlem A65C10Cr05 na přísady v rozsahu min. 20 až max. $25 \text{ kg} \cdot \text{t}^{-1}$

oceli a použitím poměru ztekucovadla / vápno na 1 : 2 bude dosaženo poklesu obsahu síry jako v případě varianty A. Tímto způsobem dojde ke zvýšení obsahu Al_2O_3 v redukční strusce s cílem narušení složitých hlinito-křemičitanových oxidických komplexů.

4.2 Hodnocení chemického složení redukčních strusek

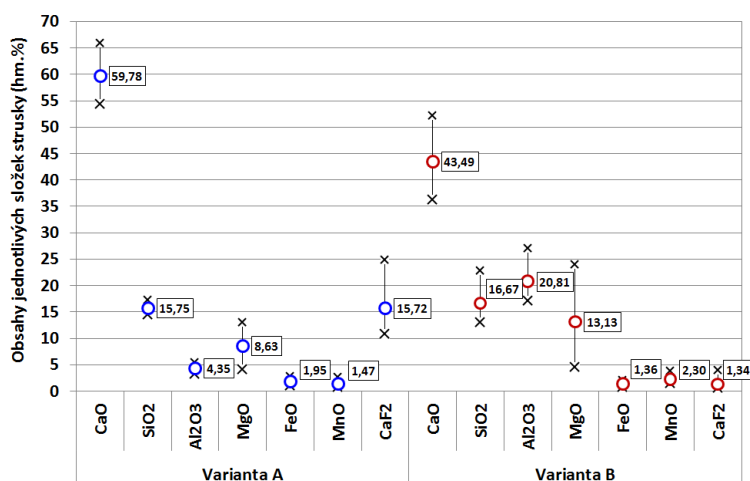
Lze předpokládat, že na stupeň odsíření v redukční fázi má také vliv chemické složení strusky, které je ovlivňováno nejen množstvím struskotvorných přísad, ale také oxidační struskou, opotřebením vyzdívky nebo technologií dezoxidace oceli. Proto bylo provedeno hodnocení průběhu změn chemického složení redukčních strusek variant A a B, a to na základě analýzy vzorků odebraných během zpracování v EOP.

Z dosažených výsledků uvedených v **tab. 5** bylo stanoveno průměrné chemické složení vzorků strusek. Dosažené chemické složení jednotlivých variant bylo také zpracováno do grafu a je uvedeno na **obr. 2**, který představuje výsledky chemického složení doplněné o maximální a minimální hodnoty dosažené v jednotlivých experimentálních tavebách. V případě varianty B bylo provedeno i porovnání s optimálním složením rafinační strusky dle literatury [3, 4], které by mělo obsahovat následující podíly oxidů: cca 50 až 55 hm. % CaO, cca 25 až 30 hm. % Al_2O_3 , ≤ 10 hm. % SiO_2 , ≤ 12 hm. % MgO, ≤ 1 hm. % FeO.

Tab. 5 Průměrné chemické složení strusek odebraných v jednotlivých fázích výroby v EOP

Obsahy jednotlivých složek strusky (hm. %)								
Varianta A	CaO	SiO_2	Al_2O_3	MgO	FeO	MnO	S _{struska}	CaF ₂
Oxidační struska	24,56	22,68	5,14	11,62	19,92	9,06	0,04	2,78
Redukční struska	59,78	15,75	4,35	8,63	1,95	1,47	0,28	15,72
Varianta B	CaO	SiO_2	Al_2O_3	MgO	FeO	MnO	S _{struska}	CaF ₂
Oxidační struska	24,61	23,36	7,52	9,52	11,72	14,28	0,05	1,74
Redukční struska	43,49	16,67	20,81	13,13	1,36	2,30	0,18	1,34

Z **tab. 5** a **obr. 2** vyplývá, že u varianty A došlo přidavkem struskotvorných přísad představujících vápno



Obr. 2 Dosažené průměrné chemické složení redukčních strusek variant A a B

vápnem a ztekucovadlem A65C10Cr05 došlo díky přidavkům struskotvorných přísad ke zvýšení obsahu CaO na cca 43 hm. % a obsahu Al_2O_3 na cca 21 hm. % se současným poklesem SiO_2 na cca 17 hm. %. Z chemického složení vzorků strusek je také zřejmý zvýšený obsah metalurgického kazivce ve strusce. Toto vyšší množství cca 1,34 hm. % CaF_2 se do redukční strusky zřejmě dostalo z prvotní strusky po roztavení

a metalurgický kazivec ke zvýšení obsahu CaO na cca 60 hm. % a obsahu CaF_2 na cca 16 hm. % při současném poklesu obsahu SiO_2 na cca 16 hm. % v redukční strusce. Z výsledků vyplývá, že zvýšené obsahy CaO a CaF_2 a pokles obsahu SiO_2 u varianty A byly dosaženy díky zvýšeným přidavkům struskotvorných přísad v množství cca 25 $\text{kg} \cdot \text{t}^{-1}$ oceli za vzniku silně redukční strusky. V případě metalurgického kazivce a jeho obsahu cca 16 hm. % lze předpokládat, že ztekucuje strusku velmi dobře, ale tato redukční struska je až příliš tekutá, což se může projevit její penetrací do vyzdívky a následně i zvýšeným opotřebením vyzdívky EOP. U varianty B tvořenou

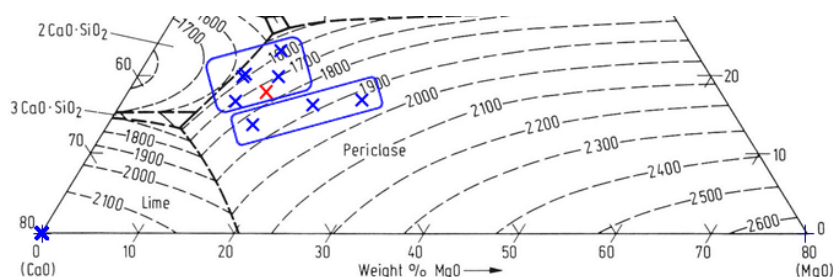
vsázky, do které byly přidány struskotvorné přísady spolu s metalurgickým kazivcem, čemuž odpovídá i zvýšený obsah metalurgického kazivce v oxidační strusce.

Z výsledků také vyplývá, že určité množství oxidační strusky v EOP zůstává i přes její stahování v průběhu oxidační fáze, což se projevilo obsahem SiO_2 nad 15 hm. % podpořeným propalem přidávaných feroslitin (FeSi , FeSiMn) v redukční fázi. Tato oxidační struska obsahuje kromě podílů SiO_2 snižujících podíl volného CaO také lehce redukovatelné oxidy (FeO , MnO , P_2O_5 a Cr_2O_3), které negativně ovlivňují odsíření oceli. Proto je prováděna dezaktivace vytvořené redukční strusky pomocí přídatku ferosilikokalcia (CaSi) a částečně také fero-hliníkem ($\text{FeAl}_{\text{houšky}}$) určeným pro dezoxidaci oceli. Tento technologický krok se projevil snížením obsahu oxidů FeO na cca 1,4 až 2,0 hm. %.

Kromě výše uvedených oxidů je vhodné věnovat také pozornost obsahu MgO v redukční strusce, protože zvýšený obsah MgO nad 10 hm. % může způsobit vyšší viskozitu redukční strusky, zhorší odsíření oceli a ovlivní teploty tavení redukčních strusek. Tento trend lze vysvětlit opotřebením vyzdívky např.: působením metalurgického kazivce nebo použitím méně kvalitního opravárenského materiálu sloužícího pro mezitavbové opravy EOP. V případě varianty A byl průměrný obsah MgO v redukční strusce cca 9 hm. %, ale u varianty B dosáhl průměrný obsah cca 13 hm. %. Tento zvýšený obsah byl způsoben pěti tavnými se zvýšeným obsahem MgO v rozsahu cca 13 až 24 hm. %. Na základě porovnání chemického složení roztavených strusek varianty B představující redukční strusku na bázi $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3$ lze konstatovat, že u této varianty nebylo dosaženo optimálního složení redukční strusky, která by měla obsahovat následující podíly oxidů: cca 50 až 55 hm. % CaO , cca 25 až 30 hm. % Al_2O_3 , ≤ 10 hm. % SiO_2 , ≤ 12 hm. % MgO , ≤ 1 hm. % FeO [3, 4].

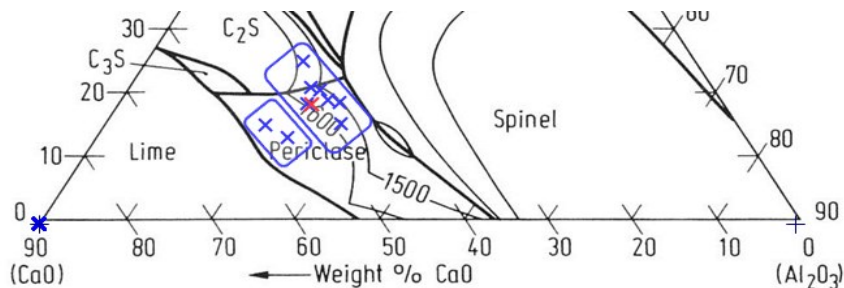
4.3 Hodnocení redukčních strusek pomocí diagramů $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{MgO} - \text{SiO}_2$

Dosažené výsledky chemického složení redukčních strusek na bázi $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3$ varianty B byly zpracovány do výřezu kvaternárních diagramů $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{MgO} - \text{SiO}_2$ pro stanovení teoretických teplot tavení strusek v redukční fázi zpracování v EOP, přičemž výsledky jsou uvedeny na **obr. 3** a **obr. 4** [5].



Poznámka: - výřez diagramu systému $\text{CaO} - \text{MgO} - \text{SiO}_2$ při obsahu 20 % Al_2O_3
- vzorky redukční strusky představují modrý kříž
- průměrná hodnota představuje červený kříž

Obr. 3 Výřez diagramu systému $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{CaO} - \text{MgO} - \text{SiO}_2$ pro variantu experimentu B



Poznámka: - výřez diagramu systému $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ při obsahu 10 % MgO
- vzorky redukční strusky představují modrý kříž
- průměrná hodnota představuje červený kříž

Obr. 4 Výřez diagramu systému $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{CaO} - \text{MgO} - \text{SiO}_2$ pro variantu experimentu B

V případě varianty B, viz **obr. 3** a **obr. 4**, se teoretické teploty tavení strusek v redukční fázi zpracování v EOP pohybují v oblasti 1500 až 1700 °C. Z kvaternárního diagramu také vyplývá vliv MgO na teploty tavení strusek. S obsahem MgO ve strusce > 10 hm. % dochází k růstu teploty tavení strusek, což se může projevit i na změně viskozity a také na odsiřovací schopnosti struskové směsi v redukční fázi výroby oceli v EOP. V sérii experimentů varianty B se ztekucovadlem A65C10Cr05 se vyskytuje pět taveb se zvýšeným obsahem MgO nad 10 hm. %. V případě těchto taveb se teploty tavení strusek pohybují v rozsahu 1700 až 2000 °C. Tento jev lze vysvětlit zvýšeným obsahem MgO v rozsahu cca 13 až 24 hm. %, který může být způsoben erozí a korozí žárovzdorné vyzdívky pece nebo uvolněním opravárenského materiálu z půdy a struskové oblasti EOP, což se projeví zahuštěním strusky v peci. Na vysoké teplotě tavení struskové směsi se může také podílet neúplně stažená oxidační struska, přičemž vyšší obsahy lehce redukovatelných oxidů (FeO, Fe₂O₃, MnO, Cr₂O₃ atd.) nad 3 hm. % naznačují, že došlo k nedokonalému stažení oxidační strusky v EOP.

4.4 Hodnocení vlivu vybraných parametrů strusek

Jako poslední krok hodnocení redukčních strusek variant A a B bylo provedeno vyhodnocení vlivu vybraných parametrů strusek, mezi které patří: bazicita, obsah lehce redukovatelných oxidů a poměr CaO/Al₂O₃ [6]. Výsledky jednotlivých taveb jsou uvedeny v **tab. 6** a jsou doplněny o průměrné hodnoty jednotlivých variant. Kromě toho byla **tab. 6** doplněna o hodnocení vlivu vybraných parametrů strusek na rozdělovací koeficient síry (Ls), přičemž výsledky jsou uvedeny na **obr. 5** až **obr. 8**.

Tab. 6 Sledované parametry strusek během výroby ocelí A216WCB/A216WCC v EOP

Jakost oceli	Tavba	Základní parametry strusky			
		B1	B2	LRO	C/A
A216WCB/GS52	9384	4,30	3,60	1,99	xxx
A216WCC/2712	9378	3,19	2,91	6,34	xxx
A216WCB/A216WCC	8890	4,02	3,41	2,99	xxx
A216WCC/1.0446	9376	3,74	3,80	3,92	xxx
Průměrné hodnoty taveb - varianta A		3,81	3,43	3,81	xxx
A216WCB/A352LCC	9424	2,37	1,22	5,28	1,70
A216WCB	9407	3,64	2,08	3,41	2,86
A216WCB/A216WCC	9417	2,24	1,46	3,57	2,17
A216WCB	9412	1,83	1,37	4,00	2,44
A216WCB/2709	9430	4,01	1,61	2,93	2,35
A216WCB	9403	2,64	1,74	4,39	2,16
A216WCB	9423	3,01	1,31	3,53	1,64
A216WCB/GP280GH	9425	2,42	1,29	6,36	1,87
A216WCB	9413	2,22	1,75	4,11	2,01
Průměrné hodnoty taveb - varianta B		2,71	1,54	4,18	2,13

Poznámka: B1 - úzká bazicita: $B1 = (CaO)/(SiO_2)$

B2 - široká bazicita: $B2 = ((CaO) + (MgO))/((SiO_2) + (Al_2O_3))$

LRO - obsah lehce redukovatelných oxidů: $LRO = (FeO) + (Fe_2O_3) + (MnO) + (Cr_2O_3) + (V_2O_5) + (P_2O_5)$

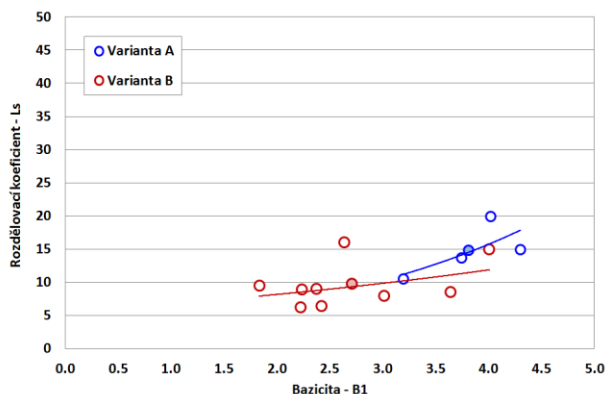
C/A - poměr C/A = $(CaO)/(Al_2O_3)$

Bazicitu redukčních strusek variant A a B představuje **tab. 6** doplněná o **obr. 5** a **obr. 6**. V případě úzké bazicity (B1) byla dosažena u varianty A průměrná hodnota cca 3,81 a u varianty B hodnota cca 2,71. U široké bazicity (B2) byla dosažena u varianty A průměrná hodnota cca 3,43, přičemž u varianty B došlo k poklesu hodnot a průměrná hodnota klesla na cca 1,54. V případě varianty A lze v obou případech úzké (B1) i široké bazicity (B2) redukční strusky označit za silně zásadité. Z výsledků varianty B vyplývá, že redukční strusky úzké bazicity (B1)

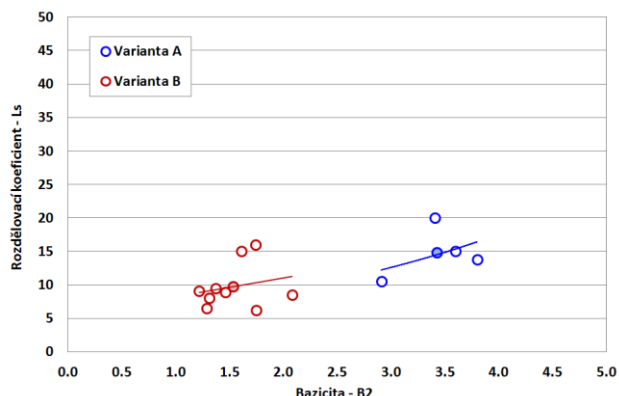
lze zařadit do skupiny silně zásaditých strusek, protože se pohybují v rozsahu cca 2,5 až 4,0. V případě úzké bazicity (B2) lze zařadit do skupiny středně zásaditých strusek, protože dosahují rozsahu cca 1,8 až 2,4. Nižší bazicitu strusek varianty B lze vysvětlit nižšími přídávky struskotvorných přísad v množství cca $17,5 \text{ kg} \cdot \text{t}^{-1}$ oceli oproti cca $25 \text{ kg} \cdot \text{t}^{-1}$ oceli u varianty A. Z **obr. 5** a **obr. 6** je také patrný trend růstu rozdělovacího koeficientu s rostoucí bazicitou, přičemž nejvyšší rozdělovací koeficient byl dosažen pouze v případě varianty A, jejíž strusky lze označit za silně zásadité. Pro dosažení optimálního chemického složení redukční strusky by měla úzká bazicita (B1) dosahovat hodnotu min. 4,5 a široká bazicita (B2) hodnotu min. 2,5 až 3,0.

Další sledovaný parametr představuje obsah lehce redukovatelných oxidů. V tomto případě je z **tab. 6** a **obr. 7** patrný průměrný obsah 3,81 hm. % pro variantu A a 4,18 hm. % pro variantu B. Lze předpokládat, že určité množství uvedených oxidů vzniká částečnou dezoxidací a legováním oceli, přičemž vyšší obsahy nad 3 hm. % naznačují, že došlo k nedokonalému stažení oxidační strusky v EOP. Tento jev byl zjištěn jak u varianty A, ale především u varianty B, jak je vidět na **obr. 7**, což potvrzuje trend poklesu rozdělovacího koeficientu síry.

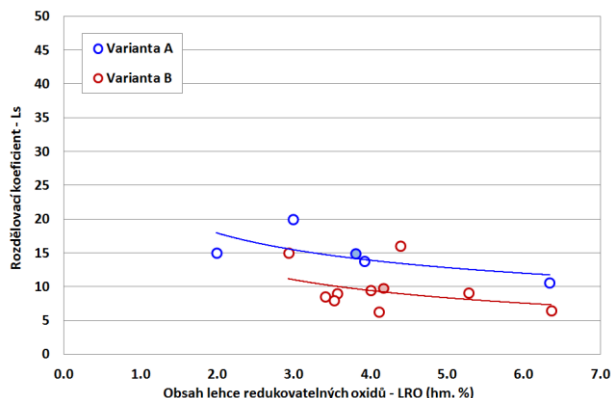
Poslední parametr představuje vápenato-hlinitanový podíl C/A, který byl hodnocen pouze u varianty B představující strusku na bázi $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3$. Optimální hodnota tohoto parametru by měla být v rozmezí 1,7 až 2,3, protože v redukční vápenato-hlinitanové strusce jsou požadovány vyšší obsahy Al_2O_3 , a to cca 25 až 30 hm. %, přičemž struska na bázi $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3$ by se měla skládat ze dvou hmotnostních dílů CaO a jednoho dílu Al_2O_3 . Z **tab. 6** a **obr. 8** je patrné, že u varianty B je dosažena průměrná hodnota cca 2,13, což lze vysvětlit obsahy CaO cca 44 hm. %, které nedosahují požadované hodnoty cca 50 až 55 hm. % díky nižším přídávkám struskotvorných přísad cca $17,5 \text{ kg} \cdot \text{t}^{-1}$ oceli a obsahu Al_2O_3 cca 21 hm. % díky aplikaci ztekucovadla A65C10Cr05 s průměrným obsahem Al_2O_3 cca 65 hm. % v surovině.



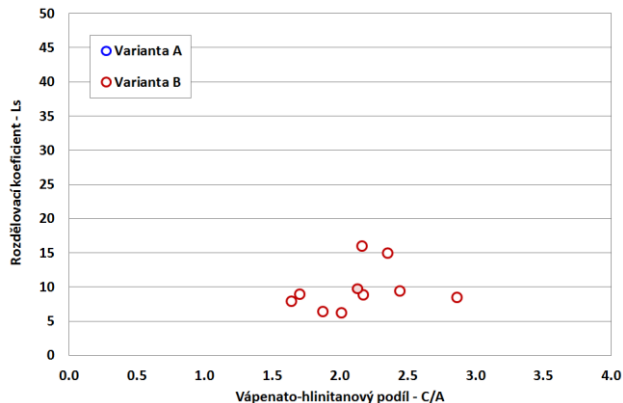
Obr. 5 Závislost rozdělovacího koeficientu síry na úzké bazicitě - B1



Obr. 6 Závislost rozdělovacího koeficientu síry na široké bazicitě - B2



Obr. 7 Závislost rozdělovacího koeficientu síry na obsahu lehce redukovatelných oxidů - LRO



Obr. 8 Závislost rozdělovacího koeficientu síry na vápenato-hlinitanovém podílu - C/A

Z výsledků v **tab. 6** a na **obr. 8** je také patrný značný rozptyl dosažených hodnot v rozsahu 1,64 až 2,86 podílu C/A, což lze vysvětlit vlivem dalších oxidů ve strusce ovlivňující obsahy CaO a Al₂O₃. Pro optimalizaci struskového režimu je vhodné provést cílenou úpravu chemického složení strusek pro dosažení optimálního podílu C/A, a to vhodnou volbou množství struskotvorných přísad, hlubokou dezoxidací oceli, deaktivací strusky, zvolením vhodného pořadí přidávání feroslitin pro legování oceli a aplikací kvalitního opravárenského materiálu.

5. ZÁVĚR

V provozních podmínkách slévárny DSB EURO s.r.o. byla provedena série experimentálních taveb při výrobě oceli A216WCB/A216WCC se zaměřením na posouzení nahrazení ztekucovadla redukčních strusek představující metalurgický kazivec pomocí briketovaného ztekucovadla A65C10Cr05. Na základě dosažených výsledků provozních experimentů lze definovat následující poznatky:

- hlavní část odsíření v rozsahu 46 % pro variantu A a 33 % pro variantu B proběhla v redukční fázi výroby oceli v EOP, přičemž celkový stupeň odsíření byl u varianty A vyšší o 18 % a dosáhl hodnoty 58 % než u varianty B s hodnotou 40 %.
- na vyšší stupeň odsíření oceli u varianty A s metalurgickým kazivcem měl pozitivní vliv vyšší přídavek struskotvorných přísad v množství cca 25 kg·t⁻¹ oceli.
- na stupeň odsíření v redukční fázi má také vliv chemické složení strusky, které je ovlivňováno nejen množstvím struskotvorných přísad, ale také zbytkovou oxidační struskou, opotřebením vyzdívky a technologií dezoxidace oceli.
- přídavkem struskotvorných přísad bylo v případě varianty A dosaženo následujícího průměrného složení redukční strusky: 60 hm. % CaO, 16 hm. % CaF₂, 16 hm. % SiO₂, 9 hm. % MgO, 2 hm. % FeO. V případě varianty B bylo dosaženo následujícího průměrného složení strusky: 43 hm. % CaO, 21 hm. % Al₂O₃, 17 hm. % SiO₂, 13 hm. % MgO, 1,4 hm. % FeO.
- v případě varianty A byl průměrný obsah MgO v redukční strusce cca 9 hm. %, ale u varianty B dosáhl průměrný obsah cca 13 hm. %. Tento zvýšený obsah byl způsoben pěti tavnami se zvýšeným obsahem MgO v rozsahu cca 13 až 24 hm. %.
- z kvaternárních diagramů CaO-Al₂O₃-MgO-SiO₂ vyplývá, že v případě varianty B se teploty tavení strusek v redukční fázi zpracování pohybují v oblasti 1500 až 1700 °C. U této varianty je však několik taveb s teplotou tavení strusek v rozsahu 1700 až 2000 °C. Tento jev lze vysvětlit zvýšeným obsahem MgO v rozsahu cca 13 až 24 hm. %, který může být způsoben uvolněním opravárenského materiálu z pudy a struskové oblasti EOP nebo neúplně staženou oxidační struskou.
- na základě výsledků bazicit lze strusky varianty A označit za středně zásadité, přičemž u varianty B lze strusky dle výpočtu bazicit zařadit do skupiny silně a středně zásaditých strusek. Z hlediska technologického procesu by bylo vhodné upravit zásaditost redukční strusky, přičemž úzká bazicita (B1) by měla dosahovat hodnoty min. 4,5 a široká bazicita (B2) hodnoty min. 2,5 až 3,0 úpravou přídavků struskotvorných přísad a vhodným poměrem vápno / ztekucovadlo.
- vyhodnocením obsahu lehce redukovatelných oxidů jednotlivých variant A i B byl potvrzen určitý zůstatek původní oxidační strusky (obsah LRO > než 3 hm. %), který negativně ovlivňuje vlastnosti redukční strusky.
- z výsledků vápenato-hlinitanového podílu sledovaného u varianty B nebo-li redukční strusky na bázi CaO-Al₂O₃ vyplývá, že dosažené hodnoty C/A se pohybují v rozsahu 1,64 až 2,86 a částečně se nachází v optimálním rozsahu.
- průměrná hodnota podílu C/A u varianty B je 2,13, což lze vysvětlit obsahy CaO cca 44 hm. %, které nedosahují požadované optimální hodnoty cca 50 až 55 hm. % díky nižším přídavkům struskotvorných

přísad cca $17,5 \text{ kg} \cdot \text{t}^{-1}$ oceli a obsahu Al_2O_3 cca 21 hm. % díky aplikaci ztekucovadla A65C10Cr05 s průměrným obsahem Al_2O_3 cca 65 hm. % v surovině.

Hlavním cílem provedených experimentů bylo zjistit, zda lze pomocí aplikace briketovaného ztekucovadla A65C10Cr05 nahradit používaný metalurgický kazivec, kdy kritickým parametrem je dosažení požadovaných obsahů síry ve vyrobené oceli. Na základě provedených experimentálních taveb lze konstatovat:

- porovnáním výsledků variant A a B vyplývá, že briketované ztekucovadlo A65C10Cr05 varianty B může při současném dávkování struskotvorných přísad cca $17,5 \text{ kg} \cdot \text{t}^{-1}$ oceli a poměru 1 : 2 (ztekucovadlo / vápno) nahradit metalurgický kazivec varianty A při výrobě oceli s maximálním obsahem síry 0,025 hm. %.
- na základě dosažených výsledků lze navrhnout optimalizaci struskového režimu pro ztekucovadlo A65C10Cr05 v redukční fázi EOP pomocí následujících technologických kroků: zajištěním stažení oxidační strusky podpořené deaktivací strusky pomocí ferosilikokalcia (CaSi), hliníkových stěrů ($\text{Al}_{\text{stěry}}$) nebo granulovaným hliníkem ($\text{Al}_{\text{granul}}$). Dále je vhodné zajistit dezoxidaci oceli pomocí fero-hliníku ($\text{FeAl}_{\text{houcky}}$) nebo hliníku na tyči ($\text{Al}_{\text{houcky-tyč}}$) s přebytkem dezoxidačního činidla. Tímto způsobem by mělo dojít ke zvýšení účinnosti dezoxidačního činidla ($\text{FeAl}_{\text{houcky}}$ nebo $\text{Al}_{\text{houcky-tyč}}$), snížení propalu legujících přísad FeSi a FeSiMn a také zvýšení obsahu Al_2O_3 .
- z výsledků varianty B také vyplývá, že aplikací briketovaného ztekucovadla A65C10Cr05 s vyšším obsahem Al_2O_3 v základní surovině, poměru 1 : 2 (ztekucovadlo / vápno) a vyšších přídavcích struskotvorných přísad v množství cca 20 až $25 \text{ kg} \cdot \text{t}^{-1}$ oceli bude dosaženo výsledků jako u varianty A. Lze konstatovat, že uvedené ztekucovadlo A65C10Cr05 s navrženou technologií dávkování, dezoxidací oceli a deaktivací strusky může plnohodnotně nahradit metalurgický kazivec při výrobě oceli s obsahy síry pod 0,015 hm. % v podmínkách EOP.
- získané poznatky naznačují i další možnosti optimalizace technologie výroby oceli nad rámec pouhé náhrady stávajících struskotvorných přísad. Využití nových struskotvorných přísad se sebou nese výrazné ekonomické a ekologické aspekty i bez další optimalizace technologie výroby.

PODĚKOVÁNÍ

Práce vznikla v rámci řešení projektu SP2014/61, SP2014/62 a programu TIP projektu reg. číslo FR-TI2/319.

LITERATURA

- [1] *Prezentace firmy DSB EURO s.r.o.*, poslední revize 20. 12. 2013. Dostupný z WWW: <http://www.dsbbllansko.cz/>.
- [2] HUCZALA, T.; MELECKÝ, J.; TROSZOK, V. Zavedení vápenato-hlinitanových strusek v elektrických obloukových pecích. In *Teorie a praxe výroby a zpracování oceli*. Rožnov pod Radhoštěm, 2010, s. 21-26. ISBN 978-80-87294-14-7.
- [3] KAWECKA-CEBULA, E. The Sulphide Capacity of a Slag as an Indicator of the Slag Ability to Desulphurise Metal Alloys. *Metalurgia i Odlewnictwo*, 1996, vol. 22, p. 169-182.
- [4] RÓŹAŃSKI, P.; KRZTOŃ, H.; WYROBEK, A. Opracowanie syntetycznych przetapianych żużli stalowniczych wraz z technologią ich wytwarzania i stosowania. *Prace Instytutu Metalurgii Żelaza*, 2000, vol. 52, no. 1, p. 19-32.
- [5] ALLIBERT, M., et al. *Slag atlas*. 2nd edition. Düsseldorf: Verein Stahleisen GmbH, 1995, 616 p. ISBN 978-3-514-00457-3.
- [6] BULKO, B., KIJAC, J., DOMEČ, M. Optimalization Slag Composition in Ladle Furnace Considering to Effective Steel Desulphurization. *Acta Metallurgica Slovaca*, 2009, vol. 15, no. 2, p. 93 - 99. ISSN 1335-1532.

VYUŽITÍ METOD TERMICKÉ ANALÝZY PRO STUDIUM TEPLOT FÁZOVÝCH PŘEMĚN REÁLNÝCH JAKOSTÍ OCELÍ VE VYSOKOTEPLOTNÍ OBLASTI

Karel GRÝC^a, Bedřich SMETANA^b, Karel MICHALEK^a, Monika ŽALUDOVÁ^b, Simona ZLÁ^a,
Michaela STROUHALOVÁ^b, Ladislav VÁLEK^c, Markéta TKADLEČKOVÁ^a, Jana DOBROVSKÁ^b,
Ladislav SOCHA^a, Aleš KALUP^b

^a VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství,
Katedra metalurgie a slévárenství a Regionální materiálově technologické výzkumné centrum, 17. listopadu
15, 708 33 Ostrava-Poruba, karel.gryc@vsb.cz

^b VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství,
Katedra fyzikální chemie a teorie technologických pochodů a Regionální materiálově technologické
výzkumné centrum, 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava-Poruba, bedrich.smetana@vsb.cz

^c ArcelorMittal Ostrava a.s., Vratimovská 689, 707 02 Ostrava - Kunčice, Česká Republika,
ladislav.valek@arcelormittal.com

Abstrakt

V rámci probíhajících snah o optimalizaci procesu odlévání oceli se stále aktuálnější stává potřeba verifikovat termofyzikální vlastnosti vyráběných jakostí. Zřejmě nejkritičtějším parametrem je v této oblasti teplota likvidu, jejíž přesné určení umožňuje správně nastavit celý proces výroby směrem k odlévání oceli. Teplota likvidu však není jediným důležitým parametrem. Zpřesnění teploty solidu je rovněž důležité. Zejména v době, kdy se stále významnějším prostředkem optimalizace procesu odlévání stává jeho numerické modelování.

A jsou to právě metody termické analýzy ve spojení s dalšími nástroji, které umožňují studium nejen těchto kritických výrobních parametrů. Na fakultě metalurgie a materiálového inženýrství existuje ojedinělé pracoviště, které disponuje třemi moderními profesionálními zařízeními pro termickou analýzu. Je na nich možné realizovat experimenty pomocí standardních metod DTA (diferenční termické analýzy), DSC (diferenční skenovací kalorimetrie), 3D DSC a PTA (přímá termická analýza). Kombinace různých metod v rámci jednoho vědecko-výzkumného týmu umožňuje kvalitnější a přesnější interpretaci výsledků, kdy pro jednu jakost oceli jsou simultánně získávány výsledky z různých zařízení pomocí různých metod.

Příspěvek je věnován diskusi výsledků z těchto zařízení získaných v rámci počáteční fáze řešení projektu TAČR č. TA03011277 realizovaného ve spolupráci s ArcelorMittal Ostrava a.s. Jsou shrnuty výsledky jednotlivých metod a také nastíněny další směry vývoje metodiky komplexního posuzování vysokoteplotních termofyzikálních vlastností oceli, kdy nedílnou součástí procesu jejich studia bude využití vyspělých termodynamických programů podpořených znalostmi o čistotě, struktuře a fázovém složení diskutovaných jakostí oceli.

Klíčová slova: ocel, teplota solidu, teplota likvidu, termická analýza

1. ÚVOD

S procesem plynulého odlévání oceli je mj. spojena potřeba znalosti celé řady parametrů ovlivňujících ve finální fázi kvalitu plynule odlévaných předlitků. Ve spolupráci se společností ArcelorMittal Ostrava a.s. zahájilo pracoviště VŠB-Technické univerzity Ostrava, Fakulty metalurgie a materiálového inženýrství, Regionálního materiálově technologického výzkumného centra, a to Laboratoř modelování procesů v tekuté a tuhé fázi řešení projektu TAČR č. TA03011277. Projekt pod názvem „Výzkum a vývoj v oblasti

numerických a materiálových analýz tuhnutí oceli s aplikačním výstupem pro optimalizaci technologie plynulého odlévání oceli v inovativních rozměrech sochorů“, jehož řešení bylo zahájeno v roce 2013, je na straně pracoviště VŠB-TUO zaměřen na zjišťování materiálových vlastností ocelí a determinaci podmínek tuhnutí oceli s využitím laboratorních experimentů realizovaných na soustavě zařízení pro termickou analýzu. Thermo-analyticky získaná data jsou konfrontována s dostupnými výpočty profesionálních softwarů CompuTherm a IDS. Zjištěné termodynamické vlastnosti konkrétních jakostí oceli, především teploty likvidu/solidu a tepelné kapacity, se spolu s ostatními provozně verifikovanými parametry významným způsobem podílí na nastavení okrajových podmínek numerických simulací vlastního procesu plynulého odlévání. Zjištěná teplota likvidu také poslouží jako vstupní informace pro inovaci řídicího systému plynulého odlévání studovaných jakostí oceli.

2. METODY TERMICKÉ ANALÝZY

Obdobně jako v předcházející vědecko-výzkumné činnosti Laboratoře modelování procesů v tekuté a tuhé fázi [1, 2, 3, 4], i v případě úkolů souvisejících s řešením předmětného projektu těží pracoviště, kromě personálního potenciálu dvou kateder (Katedra metalurgie a slévárenství, Katedra fyzikální chemie a teorie technologických pochodů) z možného simultánního využití 3 zařízení pro vysokoteplotní termickou analýzu (**obr. 1**).



a)



b)



c)

Obr. 1 Zařízení pro vysokoteplotní termickou analýzu: a) Netzsch STA 449 F3 Jupiter, b) Setaram SETSYS 18™, c) Setaram MHTC 96

2.1 Aplikované metody termické analýzy

Uvedená zařízení mají následující experimentální možnosti (**tab. 1**). Na zařízení NETZSCH STA 449 F3 JUPITER byla provedena měření s využitím metody PTA („Přímá Termická Analýza“) - přímé měření teploty vzorku v závislosti na čase. Byly získány teploty solidu a likvidu při režimu ohřevu a ochlazování, a to také v režimu cyklických experimentů. Ohřev vzorku byl realizován vyšší rychlostí ($15\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$) z teploty $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $1300\text{ }^{\circ}\text{C}$ následně od $1300\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $1580\text{ }^{\circ}\text{C}$ proveden při rychlosti $5\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$. Pro teplotu $1580\text{ }^{\circ}\text{C}$ byla nastavena 5 min. izotermní výdrž. Vzorek byl poté ochlazován na teplotu $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ rychlostí $5\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$, dále pak z této teploty ohříván rychlostí $3\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ opět až na teplotu $1580\text{ }^{\circ}\text{C}$. Z této teploty byl vzorek ochlazován rychlostí $3\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ až na teplotu $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$, následně bylo ochlazování realizováno rychlostí $15\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ až na teplotu $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ze získaných závislostí teploty na čase - křivky ohřevu a ochlazování byly vyhodnoceny teploty solidu a likvidu.

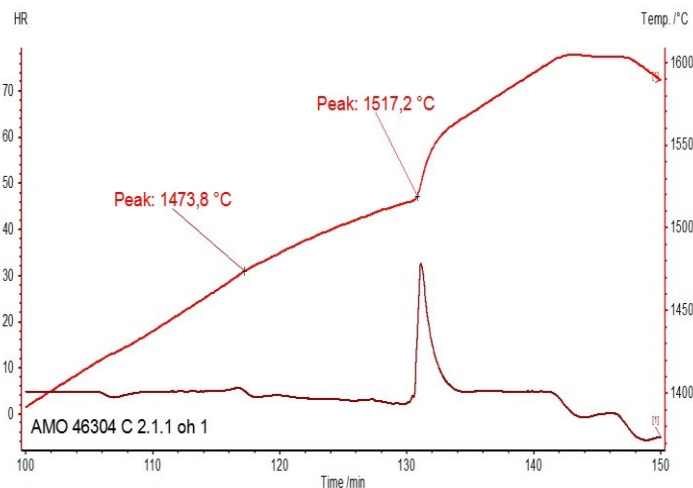
Tab. 1 Charakteristické parametry experimentálních systémů Netzsch a Setaram (Setsys 18™ a MHTC)

Experimentální možnosti	Netzsch STA 449 F3 Jupiter	Setaram SETSYS 18™	Setaram MHTC 96
Experimentální metody	c-DTA - „vypočtená DTA křivka“; TG/DTA; TG/DSC; TG	TG/DTA; TG/DSC; TG; TMA	HF DSC; DROP; DSC
Teplotní rozsah	+ 20°C do + 2000°C	+ 20°C do + 1750°C	+ 20°C do + 1600°C
Rychlost ohřevu/ochlazování	0.01 do 50 K/min	0.01 do 100 K/min	0.001 do 99 K/min
Teplotní programy	lineární ohřev/ochlazování; izotermní výdrž; cyklování	lineární ohřev/ochlazování; izotermní výdrž; cyklování	lineární ohřev/ochlazování; izotermní výdrž; cyklování
Hmotnost vzorku	do 30 g (35 g)	do 500 mg	HFDSC do 2.5 g DROP do 30 g
Atmosféra	vakuum; inertní; reakční	vakuum; inertní; reakční	vakuum; inertní; reakční
Typ C _p sensoru	DSC plochý sensor	DSC plochý sensor	3D DSC sensor

Zařízení SETARAM SETSYS 18™ bylo využito spolu s metodou DTA (Diferenční Termická Analýza - měření teplotního rozdílu mezi vzorkem a referencí) také pro stanovení teplot solidu a likvidu. Ohřev vzorku byl realizován vyšší rychlostí (30 °C.min⁻¹) z teploty 20 - 1200 °C následně od 1200 - 1600 °C proveden při rychlosti 10 °C.min⁻¹. Po kompletním natavení byl vzorek ochlazován na teplotu 1100 °C rychlostí 10 °C.min⁻¹ a následně rychle schlazen (30 °C.min⁻¹) na teplotu 20 °C.

Zařízení Setaram MHTC 96 bylo také využito pro měření teploty solidu a likvidu u jednoho vzorku oceli a dále bylo také využito pro pilotní měření tepelné kapacity. Pro měření byla využita metoda DSC (Diferenční Skenovací Kalorimetrie) se senzorem typu 3D. Ohřev vzorku byl realizován vyšší rychlostí (30 °C.min⁻¹) z teploty 20 - 1100 °C následovaný dalším ohřevem od 1100 - 1600 °C při rychlosti 5 °C.min⁻¹. Po kompletním natavení byl vzorek ochlazován na teplotu 1100 °C rychlostí 5 °C.min⁻¹ a následně rychle schlazen (30 °C.min⁻¹) na teplotu 20 °C.

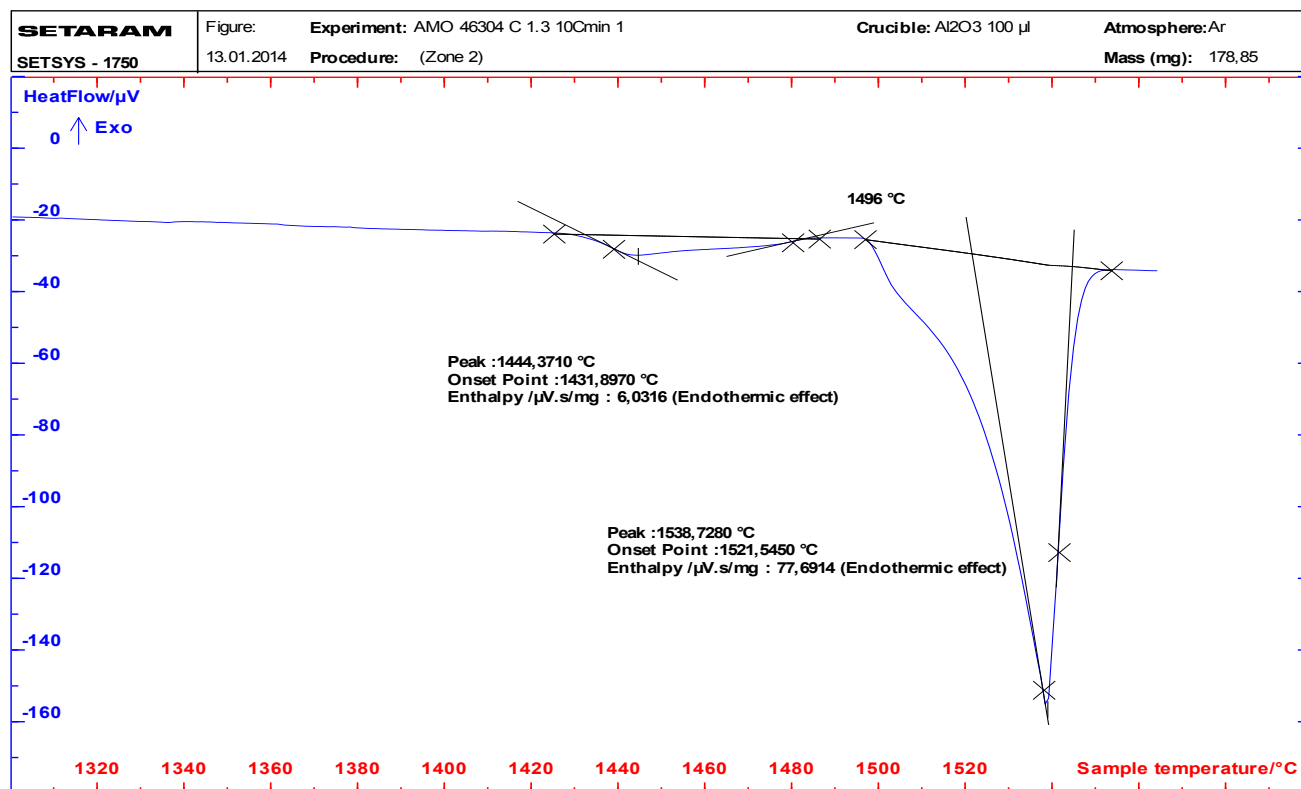
2.2 Analyzované oceli


Obr. 2 Příklad křivky ohřevu získaný metodou PTA

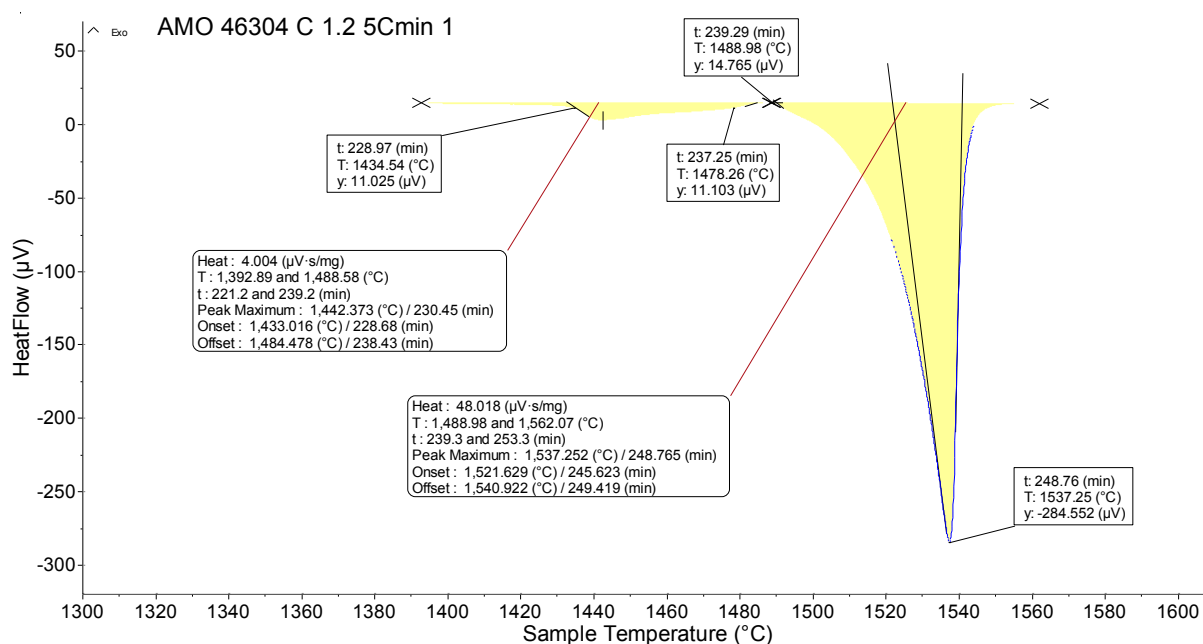
V rámci prvního roku řešení projektu byly pro účely termické analýzy na jednotlivých uvedených zařízeních odebrány ze ZPO č. 3 ve společnosti ArcelorMittal Ostrava a.s. vzorky ze sochorů průměru 130 mm. Jednalo se o dvě nízkouhlíkové jakosti dle ČSN 41 1353: 1983, jednu středněuhlíkovou jakost ČSN 41 1523: 1994 a jednu středněuhlíkovou mikrolegovanou jakost X56 PSL 1 dle API Spec 5L 44. vydání: 2007. Vzorky byly vyrobeny s různých pozic odebíraných po průřezu plynule odlitého předlitku. Byly odebrány z levé a pravé strany, z oblastí malého i velkého radiusu

a také z oblasti středu předlitku.

Celkem bylo u uvedených čtyř jakostí provedeno přes 30 relevantních experimentů. Příklady křivky ochlazování pro metodu přímé termické analýzy je uveden na **obr. 2**. Příklady získaných DTA a DSC křivek jsou pak znázorněny na **obr. 3 a 4**.



Obr. 3 Příklad analyzované křivky získané pomocí metody DTA



Obr. 4 Příklad analyzované křivky získané pomocí metody DSC

3. DISKUSE ZÍSKANÝCH VÝSLEDKŮ

Vzhledem k velkému rozsahu získaných výsledků bude v rámci tohoto příspěvku pozornost zaměřena jen na diskusi vybraných výsledků jedné vybrané jakosti (tavby). Jedná se o středně uhlíkovou jakost dle ČSN 41 1523:1994. U této jakosti byly realizovány na zařízení NETZSCH STA 449 F3 JUPITER celkem 4 experimenty přímé termické analýzy a 3 měření metodou DTA byly provedeny na zařízení SETARAM SETSYS 18TM. Výsledky porovnávající režimy ohřevů vzorků s teplotami solidu (T_s) a likvidu (T_L) vypočtenými pomocí specializovaných programů a také s údajem používaným jako teplota likvidu pro danou jakost ve společnosti ArcelorMittal Ostrava a.s. jsou shrnuty v **tab. 2**.

Tab. 2 Porovnání teplot solidu (T_s) a likvidu (T_L) získaných pomocí různých metod

METODA	Vzorek	Hmotnost; mg	Rychlost ohřevu; °C.min ⁻¹	T_s ; °C	T_L ; °C
PTA	Levá strana, č. 1	23520	5	1481	1516
	Levá strana, č. 2	23443	5	1482	1516
	Střed předlitku, č. 1	23770	5	1481	1515
	Střed předlitku, č. 2	23421	5	1481	1516
	Průměrná hodnota			1481	1516
DTA	Levá strana, č. 1	150	10	1490	1514
	Střed předlitku, č. 1	145	10	1488	1516
	Střed předlitku, č. 2	157	10	1488	1514
	Průměrná hodnota			1489	1515
IDS	výpočet pro rovnovážné podmínky			1477	1518
CompuTherm	výpočet pro rovnovážné podmínky			1486	1518
AMO	údaj převzatý od společnosti ArcelorMittal Ostrava a.s.			X	1512

Z **tab. 2** je patrné, že výsledky získané v rámci jednotlivých metod termické analýzy pro T_s a T_L se od sebe výrazně neliší ani v rámci vzorků odebraných z různých pozic v rámci průřezu předlitku průměru 130 mm. Co se týče T_L , je možné konstatovat, že výsledky získané z obou metod termické analýzy (1516 a 1515 °C) jsou si velmi blízké. Experimentálně získané T_L jsou oproti hodnotám stanovených pomocí dvou specializovaných programů (shodné T_L = 1518 °C) o 2, resp. o 3 °C nižší. K hodnotě T_L využívané v současnosti ve společnosti ArcelorMittal Ostrava a.s. pro danou jakost (1512 °C) se více přibližují hodnoty naměřené pomocí metod termické analýzy.

Většího rozdílu je dosaženo porovnáním odlišnými metodami získaných T_s . Zde je rozdíl mezi metodami PTA a DTA u T_s již 8 °C. Rozdíl mezi výpočty pomocí programů IDS a Computherm je pak 9 °C. Jak již bylo ukázáno i v předchozích pracích [2], výsledky T_s získávané pomocí různých metod se od sebe zpravidla liší výrazněji než T_L .

4. ZÁVĚR

V rámci předloženého příspěvku byly prezentovány první výsledky studia vysokoteplotních fázových přeměn u vybrané jakosti oceli odlévané na ZPO č. 3 ve společnosti ArcelorMittal Ostrava a.s. do kruhového formátu o průměru 130 mm. Řada realizovaných analýz bude v další fázi řešení projektu TAČR č. TA03011277 sloužit ke zpřesnění nastavení numerických simulací a také k nastavení systému řízení vlastního plynulého odlévání oceli.

Z primární analýzy výsledků vyplývá, že u konkrétní jakosti odlévané do předlitků průměru 130 mm jsou výsledky u obou zde použitých metod termické analýzy (PTA a DTA) v rámci jednotlivých metod srovnatelné pro vzorky odebrané z levé strany a středu průřezu předlitku.

Také je možné konstatovat, že T_L pro uvedené podmínky jsou u obou použitých metod srovnatelné - liší se o 1 °C. Výsledky získané pomocí výpočtů ve dvou specializovaných programech (Computherm a IDS) se v případě T_L od sebe neliší, avšak jsou o 2, resp. 3 °C vyšší, než teploty likvidu získané pomocí termické analýzy. Naměřené i vypočtené teploty likvidu jsou však odlišné od hodnoty T_L v současnosti používané pro plynulé odlévání dané jakosti v reálných provozních podmínkách. Případnou změnu T_L v systému řízení daného ZPO č. 3 je však ještě potřeba konzultovat. Výraznější rozdíly byly zjištěny u T_S v rámci všech uvažovaných metod.

Nejen tyto rozdíly, ale také snaha k jednoznačné identifikaci korektních a v praxi využitelných teplot solidu a likvidu vedou současný tým cestou zapojení dalšího profesionálního softwaru a k hlubšímu studiu struktury a čistoty sledovaných jakostí oceli. Zdánlivá nejednotnost výsledků, pokud je do určování těchto technologicky kritických teplot zapojeno více metod, naopak upozorňuje na složitou situaci v oblasti korektní identifikace nejen T_L a T_S a v konečném důsledku povede k získání přesnějších a v praxi využitelných hodnot.

PODĚKOVÁNÍ

Projekt ev. č. TA03011277 „Výzkum a vývoj v oblasti numerických a materiálových analýz tuhnutí oceli s aplikačním výstupem pro optimalizaci technologie plynulého odlévání oceli v inovativních rozměrech sochorů“ je řešen s finanční podporou TA ČR.

Tato práce vznikla při řešení projektu č. LO1203 "Regionální materiálově technologické výzkumné centrum - program udržitelnosti" financovaného Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České republiky.

Tato práce vznikla při řešení projektů studentské grantové soutěže č. SP2014/61, SP2014/62.

LITERATURA

- [1] GRYC, K., SMETANA, B., ŽALUDOVÁ, M. et al. Thermal analysis of High temperature phase transformations of steel. *Metalurgija*, 2013, vol. 52, issue 6, s. 445-448. ISSN 0543-5846.
- [2] GRYC, K., SMETANA, B., ŽALUDOVÁ, M. et al. Determination of the solidus and liquidus temperatures of the real-steel grades with dynamic thermal-analysis methods. *Materiali in tehnologije*, 2013, vol. 47, issue 5, s. 569-575. ISSN 1580-2949.
- [3] SMETANA, B., ŽALUDOVÁ, M., TKADLEČKOVÁ, M. et al. Experimental verification of hematite ingot mould heat capacity and its direct utilization in simulation of casting process. *Journal of thermal analysis and calorimetry*, vol. 112, issue 1, s. 473-480, ISSN 1388-6150.
- [4] GRYC, K., SMETANA, B., ŽALUDOVÁ, M. et al. High-temperature thermal analysis of specific steel grades. In *Metal 2012: 21. mez. metal. konference: 23. - 25. 5. 2012, Brno. Ostrava: TANGER: květen 2012.*, s. 103-108.

ZPRACOVÁNÍ A VYUŽITÍ DAT PŘI ŘÍZENÍ PROCESU PLYNULÉHO ODLÉVÁNÍ OCELI

Zdeněk FRANĚK^a, Miloš MASARIK^b, René PYSZKO^c, Miroslav PROKEL^d

^a Slezská univerzita, Obchodně podnikatelská fakulta, Univerzitní nám. 1943/3, Karviná, Česká republika, EU, franek@opf.slu.cz

^b EVRAZ Vítkovice Steel a.s., Ostrava, Česká republika, EU

^c VŠB TU Ostrava, Česká republika, EU

^d 4Contact, s.r.o., Karviná, Česká republika, EU

Abstrakt

Článek se zabývá problematikou zpracování a využití rozsáhlých dlouhodobých dat, které vznikají při plynulém odlévání oceli. V článku je řešena optimalizace ukládání dat v kontextu informačního systému ocelárny. Dále je diskutována metodika zpracování těchto dat statistickými metodami a metodami "Data mining". Možný postup využitelnosti dat z plynulého odlévání oceli při operativním řízení výroby je ukázán na příkladu v EVRAZ Vítkovice Steel, a.s.

Klíčová slova: Plynulé odlévání oceli, informační systém, statické metody, data warehouse, data mining

1. ÚVOD

Informační systémy (dále jen IS) v ocelárnách jsou základním předpokladem fungování, evidence i řízení optimalizace výroby z hlediska organizačního, technologického i nákladového.

V rámci procesu výroby na ocelárně vzniká časová řada dat. Jde zejména o identifikační údaje k tavbě, měřené veličiny a údaje o dosažené kvalitě. Ze statistického pohledu jde o rozdělení dat na kvantitativní a kvalitativní, na spojitá a diskrétní.

Tato data vznikají v průběhu několika let a je nutné zdůraznit četnost jejich vzniku. Jsou měřené veličiny, které mohou být zaznamenávány co 10 vteřin a jsou položky, které jsou měřeny jen několikrát za tavbu. Každopádně ke každé tavbě vzniká velké množství dat s různorodou vypovídací schopností. Teorie zpracování těchto rozsáhlých dat vede k využití metody ukládání dat do datového skladu. Využití znalostí z takto ukládaných dat je velmi obtížný úkol a v teorii vede k metodám data mining. Možný postup využitelnosti dat při operativním řízení výroby je ukázán na příkladu plynulého odlévání brambor v EVRAZ Vítkovice Steel, a.s.

2. ROZDĚLENÍ ÚROVNÍ IS

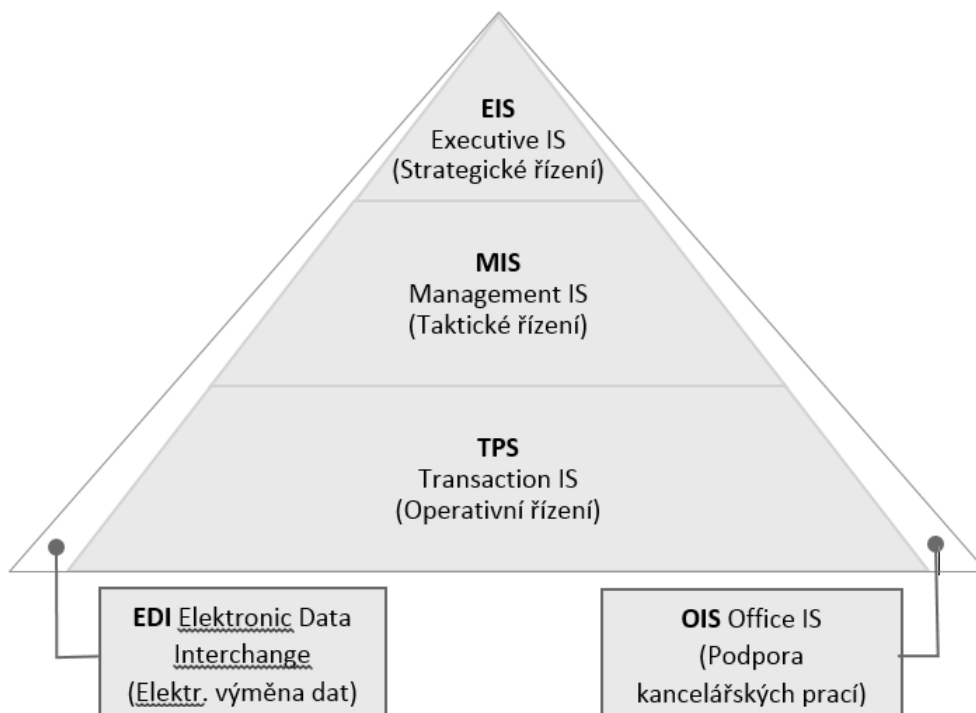
Systémy lze rozdělit do skupin podle toho, zda informační systém funguje na operativní, taktické nebo strategické řídicí úrovni, viz Obr. 1. Všechny úrovně řízení prostupuje standard pro elektronickou výměnu dat - EDI (Electronic Data Interchange) a standardní komunikační prostředky pro podporu kancelářských prací (editory, tabulkové procesory, Access, pošta...) - OIS (Office Information System).

2.1 INFORMAČNÍ SYSTÉMY EIS

EIS (**Executive Information System**) slouží pro potřeby vrcholového řízení na strategické řídicí úrovni. Zde potřebujeme spíše informace, které charakterizují celkové fungování podniku, jako podklad pro strategické řízení.

Data, se kterými pracuje systém tohoto typu, jsou většinou pořizována v systémech TPS (Transaction IS) a MIS (Management IS). Data pro EIS se ovšem vyznačují vysokou agregací a jsou strukturovaná. Oproti TPS a MIS, které většinou pracují s okamžitým stavem, pracuje EIS s daty v širším časovém horizontu.

Pro EIS je typické použití prostředků, které označujeme pojmem „Business Intelligence“ (BI). Jedná se o vytváření centrálních datových skladů (které slučují data z různých zdrojů a systémů) nebo analytické nástroje pro analýzu vzájemných závislostí, jako je OLAP či Data Mining (dolování dat).



Obr. 1 Struktura řídicích úrovní informačních systémů

Pro EIS je typické použití prostředků, které označujeme pojmem „Business Intelligence“ (BI). Jedná se o vytváření centrálních datových skladů, které slučují data z různých zdrojů a systémů, nebo analytické nástroje pro analýzu vzájemných závislostí, jako je OLAP či Data Mining (dolování dat). EIS často vystupují v roli prezentační vrstvy pro prostředky BI.

Typické funkce systémů EIS jsou:

- plánování v dlouhodobém horizontu
- ekonomická analýza celkového hospodaření firmy
- hodnocení podnikatelských záměrů
- příprava inovačních akcí
- formulace strategických projektů metodami projektového řízení
- podpora specifikace marketingové strategie firmy
- manažerské výkaznictví
- rozbor situace na trhu apod.

V souvislosti s EIS se můžeme setkat také s pojmem DSS (Decision Support System). DSS jsou úlohy pro podporu rozhodování. Mají schopnost provádět rozmanité analýzy dat bez potřeby složitého ovládání. Jsou určeny spíše pro střední management, obsahem může být například počítačová podpora metod rozhodovací analýzy a operační systémové analýzy. Součástí DSS systémů může být také znalostní báze (Knowledge Base). DSS se tedy skládá principiálně z tří částí - databáze, metoda a uživatelský interface (prezentační vrstva).

2.2 INFORMAČNÍ SYSTÉMY MIS

Systémy typu MIS (**Management Information System**) se zabývají řízením podniku na taktické úrovni řízení. Do této oblasti spadají ekonomická, organizační a obchodní hlediska a oblast kontroly.

Základní oblasti MIS systémů:

- obchodně logistické procesy
- finančně účetní procesy
- průřezové aplikace celopodnikového charakteru (správa, legislativa, řízení lidských zdrojů, marketing, jakost...)

Charakteristika činností prováděných v systémech MIS:

- evidence procesů
- zpracování ekonomických analýz
- převažují evidenční a analytické práce

2.3 INFORMAČNÍ SYSTÉMY TPS

Cílem informačního systému typu TPS (**Transaction Processing System**) je podpora hlavních činností podniku na operativní úrovni (provozní úroveň řízení, sledování transakcí - tj. jednotlivých výrobních operací). Je to blok aplikací zaměřený na hlavní činnosti podniku. Je nejspecifičtější podle zaměření podniku a jeho konkrétní řešení nejvíce závisí na konkrétní činnosti podniku.

U výrobních podniků jsou TPS založeny na tzv. CIM koncepci (Computer Integrated Manufacturing). Principem CIM je integrace výrobních procesů:

- výrobních
- zakázkových

Pod pojmem TPS tedy rozumíme provozní informační systémy zajišťující základní funkce organizace. Jejich těžiště spočívá v interaktivním, automatizovaném nebo dávkovém pořizování dat.

2.4 MANUFACTURING EXECUTION SYSTEM (MES)

Systémy třídy MES využívají informační technologie, programové vybavení, elektronická zařízení a části automatiky, umožňují efektivní sběr informací v reálném čase přímo z produkčních stanovišť a zařízení a jejich přenos na vyšší úrovni. Informace o produkci mohou být sbírány bezprostředně ze strojů a čidel nebo ve spolupráci s pracovníky, kteří přímo vstupují do produkce.

- sledování a vizualizace produkce v reálném čase
- sledování skutečného času a množství práce strojů a lidí
- sledování prostojů plánovaných i neplánovaných, strojů i lidí
- plánování produkčních operací a jejich kontrola na operativní úrovni
- aktualizace stavů skladu materiálu a finálních výrobků
- sběr dat o vadách
- sběr dat z technologických procesů
- možnost výměny dat s řídicími systémy a systémy vizualizace
- okamžité informace o výpadech výroby
- sledování toku materiálu
- výměna dat s okolními systémy horizontálně i vertikálně

3. MOŽNOSTI VYUŽITÍ DAT Z IS V PRAXI

V rámci procesu výroby na ocelárně vzniká časová řada dat. Jde zejména o identifikační údaje k tavbě, měřené veličiny a údaje dosažené ke kvalitě. Ze statistického pohledu jde o rozdělení dat na kvantitativní a kvalitativní, na spojitá a diskrétní.

Tato data vznikají v průběhu několika let a je nutné zdůraznit i četnost jejich vzniku. Jsou měřené veličiny, které mohou být zaznamenávány co 10 vteřin a jsou položky, které jsou měřeny jen několikrát za tavbu. Každopádně ke každé tavbě vzniká velké množství dat s různorodou vypovídací schopností. Teorie zpracování těchto rozsáhlých dat vede k využití metody ukládání dat do datového skladu.

3.1 DATOVÉ SKLADY

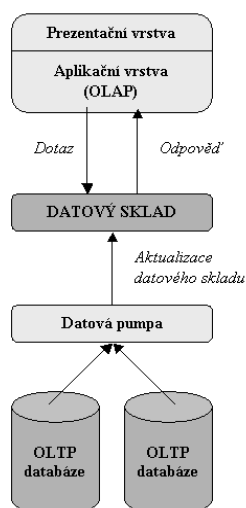
Pod pojmem „datový sklad“ můžeme chápat „Komplexní data uložená ve struktuře, která umožňuje efektivní analýzu a dotazování“. Data do datového skladu jsou čerpána z primárních informačních systémů a dalších zdrojů. V anglicky psaných dokumentech mu odpovídá název „Data Warehouse (DW)“. V literatuře bývá někdy synonymem pro datové sklady zkratka OLAP, která pochází ze slov „on-line analytical processing“ a znamená okamžité zpracování dat. Spíše bychom pod tím měli rozumět pružné (rychlé) zpracování dotazů a analýz. Označení OLAP pro datové sklady však není zcela správné. Různí autoři se liší v tom, co zahrnují do

pojmu „datový sklad“ a „OLAP“. Ve třívrstvé architektuře DW rozlišujeme tři vrstvy:

a) spodní - do této vrstvy patří server skladu, na kterém jsou uloženy relační databáze. Této vrstvě odpovídá položka „Datový sklad“.

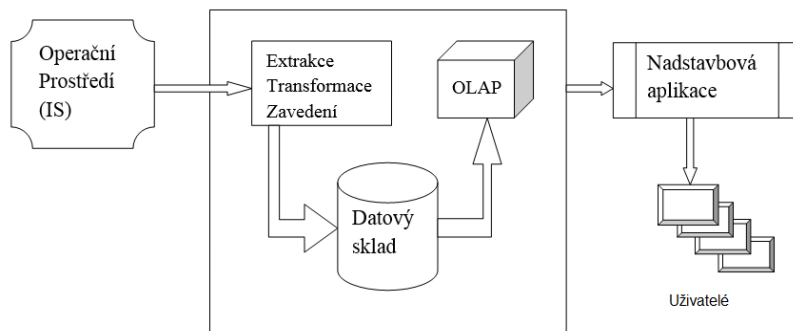
b) prostřední - tato vrstva zahrnuje OLAP server, který obvykle implementuje buď relační OLAP model (ROLAP), což je rozšířený relační DBMS, který převádí operace nad multidimenzionálními daty na standardní relační operace. Druhou možností je multidimenzionální OLAP (MOLAP), který přímo umí pracovat s multidimenzionálními daty a operacemi. Tato vrstva koresponduje s „Aplikační vrstvou“ - Obr.2.

c) vrchní - tuto vrchní vrstvu označujeme jako klienta. Obsahuje nástroje pro provádění dotazů a vytváření zpráv, analýzy a/nebo nástroje data mining (analýzy trendu, predikce, apod.). Shoduje se s prezentační vrstvou.



Obr. 2 Struktura datového skladu

Z výše uvedeného plyne, že návrh datového skladu, jeho naplnění a zprovoznění není triviální záležitostí a je nutné, aby po informatické stránce byl dobře personálně zabezpečen. Co se týče software zabezpečující datový sklad, tak v moderních databázových systémech, jako je Oracle nebo MS SQL, existují moduly pro jejich realizaci.

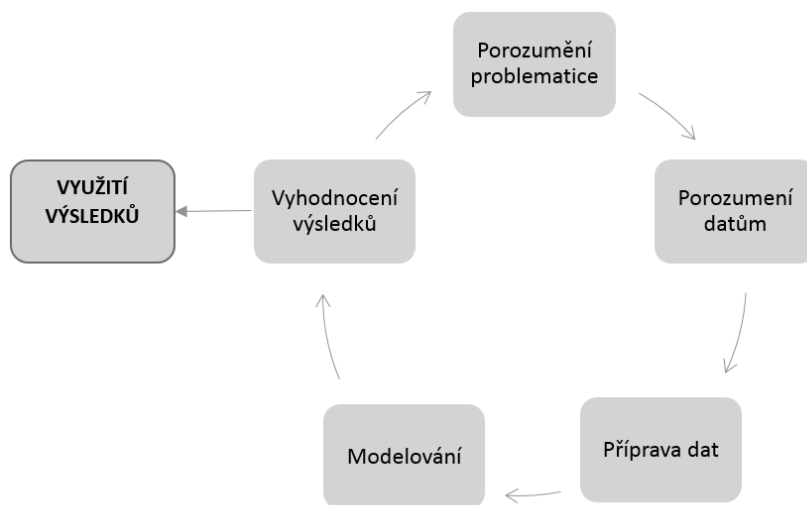


Obr. 3 Schéma datového skladu a aplikací pro uživatele

Po naplnění datového skladu je ovšem nezbytné vyprojektovat a naprogramovat nadstavbovou aplikaci, která je dostupná uživatelům IS. To vyžaduje další náklady a nároky na profesionalitu jak informatiků, tak i managementu výrobního podniku, viz Obr. 3.

3.2 METODY DATA MINING

Dobývání znalostí z databází je proces netriviální extrakce implicitních, dříve neznámých a potenciálně užitečných informací z dat. Tento proces je tvořen řadou kroků, ve kterých se data postupně připraví k analýze, zanalyzují se a získané znalosti se vyhodnotí a využijí při řešení daného problému. Na rozdíl od použití statistických metod se v procesu dobývání znalostí klade důraz i na přípravu dat pro analýzu a na interpretaci získaných znalostí. V literatuře je popsána ucelená metodologie, která je znázorněna na Obr.4.



Obr. 4 Metodika získávání dat z databází

Výpočetním jádrem celého procesu dobývání znalostí z databází je použití analytických metod. Tento krok se v anglické literatuře nazývá data mining, modelling nebo analysis.

4. PŘÍKLAD VYUŽITÍ STATISTICKÝCH METOD PRO OPERATIVNÍ ŘÍZENÍ VÝROBY NA ZPO

Hodnocení kvality bram na zařízení plynulého odlévání oceli je součástí informačního systému hutního podniku. V EVRAZ VÍTKOVICE STEEL, a.s. byl implementován software dlouhodobého sledování parametrů lití a jejich vlivu na kvalitu bram, který byl pracovně nazván LITIOS. Tento programový systém je organicky spjat s on-line teplotním modelem (TM), stejně jako s on-line modulem snímání dat. Systém pracuje se všemi daty, která jsou dostupná z procesů ZPO. Součástí systému je nahrání a filtrace dat, jejich třídění, uložení do relačního databázového systému, dále agregace dat a jejich grafická interpretace. Technologické údaje, měřené s periodou 10 sekund, jsou ukládány z teplotního modelu. Software teplotního modelu přímo zapisuje údaje do databáze systému. Programový systém LITIOS dále nahrává všechny potřebné datové informace o sekvenci z nadřazeného automatického systému řízení ocelárny s označením FLS a ukládá je do databázového systému. Umožňuje filtrovat data a provádí nezbytné agregace dat. Agregace je nutná ke zjednodušení práce a manipulace s velkým množstvím dat. Ukazuje se, že je účelné a postačující agregovat data na jeden metr odlité délky licího proudu. Vyvinutý software je modulární s využitím nejnovějších poznatků z databázové technologie a metod analýzy dat.

V systému jsou dostupné přehledy a je možno prohlížet data k sekvenci, tavně a bramě. Vybraná data jsou graficky interpretována. Pro metody analýzy jsou dostupné funkce výběru dat. Uživatel je umožněno data transformovat do matice příčin - měřených veličin a následků - kvalitativních ukazatelů. Nad takto zúženými

daty provádí zaměstnanci ocelárny analýzu průběhu odlévání. Systém umožňuje vybraná data exportovat do jiných statistických programů k podrobnějším rozborům.

Postupně byly využity pro hodnocení a analýzu taveb, resp. sekvencí tyto základní statistické metody:

- popisná statistika měřených veličin,
- histogramy četností,
- filtrace a čištění dat,
- korelační analýza,
- lineární regrese,
- kvadratická regrese,
- klasifikační tabulky.

Z oblasti data mining byly pro predikci vad testovány tyto metody:

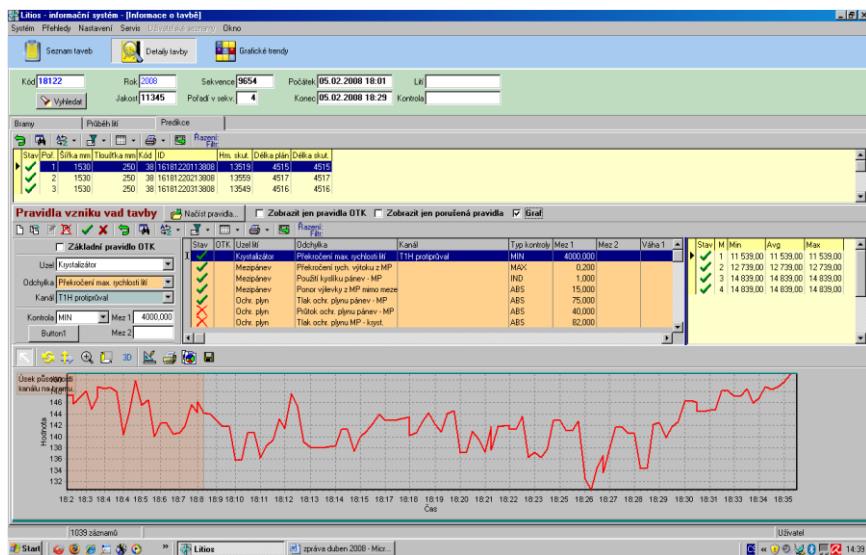
- statistická metoda logistické regrese,
- neuronové sítě, resp. fuzzy neuronové sítě.

Obě metody umožňují obecně stanovit závislost X vad na Y parametrech (X a Y jsou logicky celá čísla).

Popis původního informačního systému LITIOS a výsledky statistických rozborů byly publikovány v řadě odborných článků, viz literatura [1] - [5].

Výsledky statistických rozborů a grafické znázornění parametrů průběhu lití společně s hodnocením kvality brám a plechů byly a jsou využívány k operativnímu hodnocení a řízení výroby.

Pracovníci ZPO mají možnost po sekvenci vyhledat trendy jednotlivých odchylek a vidět rozdíly oproti předchozím sekvencím. Systém umožňuje sledovat přes 400 hodnot, viz Obr. 5, které jsou vidět v časovém sledu. V systému jsou nastavené predikční meze, které sledují pracovníci jakosti.



Obr. 5 Sledování technologických parametrů

Výsledky postupu analýzy průběhu taveb jsou promítnuty do nastavení limitů, tzv. mezních hodnot, jejichž překročení, či podkročení upozorňují na porušení optimálního průběhu odlévání. Pro pracovníky oddělení organizace a technika řízení (OTŘ) slouží za tím účelem obrazovka ve formě tabulky v informačním systému ocelárny. Tyto tabulky jsou vytvořeny podle jakostí oceli. Při překročení nastavených mezí tyto pracovníci provádějí kontrolu brám, nebo přeřazují bramy na jiné zakázky, viz Obr. 6. Překročení nastavených limitů je vyznačeno žlutým podbarvením. Kontrola brám spočívá rovněž ve vizuální kontrole samotného povrchu nebo po kontrolním zápalu.

Tabulka 11819		Pr. brama		Aktuální k		21.03.13 14:05	
Měřená veličina	Min.	Max.	Mezní hodn.	Měřená veličina	Min.	Max.	Mezní hodn.
1 Prop. AL pánev/MP %	0,00	0,00		21 Oscilace krystal. %	2,11	6,32	> 6
2 Prop. AL mezipán. %	0,00	0,00		22 Průt./tl.ostř. v. 1 %	19,48	20,32	> 40
3 Rych. liti S/tepl. %	-0,97	0,24	+	23 Průt./tl.ostř. v. 2 %	61,33	61,33	> 50
4 Rychl. liti dle tep. %	-0,97	0,24	+	24 Průt./tl.ostř. v. 3 %	23,89	24,42	> 65
5 Min. rych. liti mm/min	60	60	<	25 Průt./tl.ostř. v. 4 %	16,93	16,93	> 40
6 Max. rych. liti mm/min	-60	-50	>	26 Průt./tl.ostř. v. 5 %	13,61	21,18	> 34
7 Zrychl. liti mm/min ²	100	200	>	27 Průt./tl.ostř. v. 6 %	26,05	26,05	> 55
8 Přerušení liti sec			>	28 Průt./tl.ostř. v. 7 %	10,15	10,65	> 45
9 Mlad. oceli v MP kg	14179	14859	<	29 Průt./tl.ostř. v. 8 %	15,03	18,22	> 35
10 Vir. efekt v MP l/min	0,16	0,17	>	30 Průt./tl.ostř. v. 9 %	1,99	8,12	> 60
11 Pálení pán. /MP (1=R)	0	0	=	31 Průt./tl.ostř. v. 10 %	4,83	7,11	> 60
12 Kloub. ponoř. výl. mm	0	0	>	32 Průt./tl.ostř. v. 11 %	13,51	19,69	> 55
13 Mlad. krystaliz. mm	1	3	>	33 Průt./tl.ostř. v. 12 %	10,92	10,92	> 50
14 Lici. prášek (1=R)	0	0	=	34 Průt./tl.ostř. v. 13 %	15,23	16,26	> 75
15 Abnor. hl. krys. (1=R)	0	0		35 Tl. pl. výl. pán. /MP %	85,39	86,15	> 90
16 Manip. na hl. (1=R)	0	0	=	36 Průt. pl. výl. pán./MP %	85,33	85,33	> 90
17 Max. dif. tep. -úzká °C	5,7	6	>	37 Tl. pl. výl. MP/kr. %	86,92	86,92	> 98
18 Min. dif. tep. -úzká °C	4,6	4,9	<	38 Průt. pl. výl. MP/kr. %			> 98
19 Max. dif. tep. -šir. °C	5,6	5,8	>	39 Signál ML-tektor %	0,00	0,00	> 50
20 Min. dif. tep. -šir. °C	4,8	5	<	40 Tep. povr. kontisl. °C	896	916	H< 850

Obr.6 Nastavení hodnot predikce pro kontrolu pracovníků

ZÁVĚR

V článku je popsán jednak teoretický, tak i praktický způsob ukládání a využití dat, která vznikají při plynulém odlévání oceli. Je zde popsána praktická zkušenost nasazení těchto systémových databází do praxe, kde je nutno pracovat s obrovským množstvím dat a hledat jejich závislosti s důrazem na kvalitu výroby. Článek popisuje přístup k řešení zpracování dat ze ZPO v EVRAZ Vítkovice Steel, a.s. a jejich využití při sledování vad na výrobcích - pleších a predikci časově závislých výstupů. Výše popsaný postup přispívá k optimalizaci výroby na ZPO a ke snížení vad výroby.

PODĚKOVÁNÍ

Tento článek vznikl za podpory Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy ČR (MŠMT) v rámci Institucionální podpory na dlouhodobý koncepční rozvoj výzkumné organizace v roce 2014 a za podpory grantu MŠMT, projekt SP2014/46 - Materiálové a energetické úspory při uplatňování druhotných surovin v průmyslu.

LITERATURA

- [1] MAUDER, T., FRANEK, Z., KAVICKA, F., MASARIK, M., STETINA, J.: A Mathematical & Stochastic Modelling of the Concasting of Steel Slabs, Conference proceedings 18th International Conference on Metallurgy and Materials, 2009, pp. 41 -48, ISBN 978-80-87294-10-9.
- [2] FRANĚK, Z., KAVICKA, F., ŠTĚTINA, J., MASARIK, M.: Software Analytical Instrument for Assessment of the Process of Casting Slabs. In Proceedings of the 10th Int. Conf. on Numerical Methods in Industrial Forming Processes NUMIFORM 2010. Pohang, Rep. of Korea 2010, pp. 586-592, ISBN 978-0-7354-0800-5.
- [3] FRANĚK, Z., KAVICKA, F., MASARIK, M., ŠTĚTINA, J., Data Warehouse of Technological Parameters and Quality Production Assessment on the Continuous Steel Casting Plant. In IRON AND STEELMAKING, 19. mezinárodní konference, Szczyrk, Polsko, 2009. Prace Instytutu Metalurgii Żelaza. Nr 5/2009, s. 71-73, TOM 61, ISSN 0137-9941.
- [4] FRANĚK, Z., MASARIK, M., Quality Optimization of Casting Slab via Mathematical and Statistical Method, In METEC InSteelCon 2011, 7th European Continuous Casting Conference, 27. 6. - 1. 8. 2011, Dusseldorf, Germany, DVD Proceedings, 6 p.
- [5] FRANĚK Z., MASARIK M., Practical Utilization of Analytical Software Instruments at Optimization of Production of Continuously Cast Slabs. In Sborník přednášek 20. mezinárodní konference metalurgie a materiálů METAL 2011: Brno [CD]. Ostrava: TANGER, s. r. o., 2011. 6 s. ISBN 978-80-87294-22-2
- [6] ŠMÍD J., Catalogue of defects of continuously cast slabs. TaM, June 2011, 125 pp.

VÝVOJ SNÍMAČE TEPLOTY PROSTŘEDÍ V TANDEMOVÉ PECI

René PYSZKO ^a, Josef KUBĚNA ^b, Vladimír VOLNÝ ^c, Tomáš BRESTOVIČ ^d,
Pavel FOJTÍK ^a, Tomáš CHRÁSKA ^e

^a VŠB-TU Ostrava, 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava, Česká republika, EU rene.pyszko@vsb.cz,
pavel.fojtik@vsb.cz

^b Pionýrů 810, 738 02 Frýdek-Místek, Česká republika, EU, Josef.Kubena@seznam.cz

^c ArcelorMittal Ostrava a.s. Vratimovská 689, 707 02 Ostrava, Česká republika, EU
Vladimir.Volny@arcelormittal.com

^d TU v Košiciach, Vysokoškolská 4, 042 00 Košice, Slovakia, EU, tomas.brestovic@tuke.sk

^e Ústav fyziky plazmatu AV ČR, v.v.i., Za Slovankou 1782/3, 182 00 Praha 8, Česká republika, EU,
tchraska@ipp.cas.cz

Abstrakt

Příspěvek se zabývá vývojem snímače teploty prostředí pod klenbou tandemové pece, který umožní monitorování tepelné zátěže vyzdívky klenby. Jelikož pro agresivní podmínky v tandemové peci neexistuje komerčně vyráběný snímač teploty, jedná se o výzkumně-vývojový úkol. Pro měření byl použit alternativně platinový termočlánek a vysokoteplotní termočlánek W-Re, stěžejním problémem však bylo vyřešit ochranu termočládku před teplotními, oxidačními, abrazivními a dynamickými účinky pecní atmosféry. Byla navržena a vyrobena chlazená ocelová průchodka pro upevnění snímače do vyzdívky klenby. V peci byly postupně provedeny tři experimenty. Během prvního experimentu byla v peci odzkoušena odolnost 5 různých materiálů pro výrobu ochranné trubice. Při druhém experimentu byl použit Pt termočlánek v korundové ochranné trubici, která byla chráněna vnější trubicí z karbidu křemíku. Snímač vydržel fázi předehřevu a přibližně polovinu fáze zkujňování. Při třetím experimentu byl použit termočlánek W-Re v uzavřené silnostěnné trubici z karbidu křemíku, vyrobené na zakázku. Trubice, která byla opatřena keramickým nástřikem a byla částečně chráněna vyzdívkou před dynamickým účinkem pecní atmosféry, bez znatelného úbytku vydržela po dobu dvou cyklů předehřev-zkujňování. Experiment bude ještě opakován při větším vysunutí snímače do prostoru pece.

Klíčová slova: tandemová pec, měření teploty, termočlánek, ochranná trubice, plazmový nástřik

1. ÚVOD

Výroba oceli probíhá za vysokých teplot, teplota roztavené oceli samotné je řádově 1600 °C a teploty v pracovním prostoru ocelářského výrobního agregátu (kyslíkový konvertor, tandemová pec, elektrická oblouková pec) jsou ještě vyšší. Z tohoto důvodu jsou nároky na vnitřní keramickou vyzdívku těchto agregátů velmi vysoké. Dalším faktorem, způsobujícím postupnou degradaci a ubývání vyzdívky, je vedle vysoké teploty i korozní účinek pecní atmosféry. Nepříznivý dopad na životnost keramické vyzdívky mají taktéž cyklické změny teploty, způsobované dávkovým charakterem ocelářské výrobní technologie (na rozdíl třeba od vysokopecní).

Znalost (monitorování) teplot v pracovním prostoru ocelářského výrobního agregátu může být při snaze o optimalizaci výrobní technologie velmi přínosná. Obecně vzato, jedná se však o velmi náročný problém, ať už budeme hovořit o měření teploty pecní atmosféry, nebo o měření teploty zdiva (jeho pracovního povrchu).

Teplota pecní atmosféry může být, zejména u výrobních agregátů s kyslíkovým procesem (tandemová pec, kyslíkový konvertor), důležitým indikátorem regulérnosti probíhajícího technologického procesu. Zároveň by

její znalost také mohla sloužit jako informace, charakterizující tepelné zatížení vyzdívky. Problém ovšem je, jak tuto teplotu v praxi změřit. Měření teploty plynů je problém obecně, nejen v tomto konkrétním případě [1].

2. PODMÍNKY V TANDEMOVÉ PECI

Pro návrh snímače bylo nutno zjistit parametry pecní atmosféry. Teplota pecní atmosféry v tandemové peci by měla podle přibližných spalovacích výpočtů zcela jistě alespoň krátkodobě přesahovat 2000 °C. Naměřené teploty v krúmmeru a ve středovém kruhu tandemové pece, provedené již dříve pracovníky ArcelorMittal Ostrava a.s. (dále jen AMO) a byly poskytnuty řešitelům tohoto projektu, krátkodobě dosáhly (a pravděpodobně přesáhly) hodnotu 1800 °C, přičemž použitý platinový termočlánek neumožnil měření vyšších teplot. Teplota spalin v peci navíc vykazuje značné fluktuace, konkrétně ve středovém kruhu dosahují teplotní změny téměř 40 °C·s⁻¹ a v krúmmeru až 60 °C·s⁻¹. Tyto fluktuace působí jak na vyzdívku, tak i na materiál pro ochranu snímače velmi nepříznivě.

Zásadním parametrem pro volbu materiálu pro ochranu snímače je kromě teploty i složení pecní atmosféry. Existuje celá řada materiálů, použitelných pro ochranu snímače, které mohou pracovat při teplotách přes 2000 °C, ale vesměs pouze v podmínkách inertní nebo v některých případech redukční atmosféry. Problém však představuje oxidační atmosféra.

Vyhodnocení průměrných koncentrací CO, CO₂ a O₂ v krúmmeru po dobu jedné vybrané tavby (cca 1,5 h) z měření, provedeného dříve pracovníky AMO, ukázalo, že koncentrace CO kolísala od 0 do 25 obj. % (průměrná hodnota 1,7 obj. %), koncentrace CO₂ kolísala od 0 do 33 obj. % (průměrná hodnota 9 obj. %) a koncentrace O₂ se pohybovala v intervalu od 0 do 21 obj. % (průměrná hodnota 16 obj. %). Korelační analýza ukazuje, že CO₂ a O₂ spolu souvisí nepřímo úměrně (Pearsonův korelační koeficient vychází -0,45), podobně, ale slaběji souvisí CO a O₂ (korelační koeficient je -0,12), kdežto závislost mezi CO₂ a CO je přímo úměrná (korelační koeficient je 0,7). Z uvedených údajů se dá přepokládat, že v tandemové peci bude převážně oxidační atmosféra. Složení atmosféry je velmi proměnlivé v čase, což by komplikovalo případné měření teploty spektrálním pyrometrem [1].

V atmosféře jsou, kromě analyzovaných plynů, přítomny také další plynné, kapalně a pevně sloučeniny, zejména asi FeO, CaO, MgO, pravděpodobně také grafit, Al₂O₃, MnO, SiO₂, Cr₂O₃ a další sloučeniny, které působí navíc abrazivně a chemicky na vyzdívku, a tedy i na teplotní snímač. Tyto složky způsobují „zakouření“ atmosféry, které zásadně ovlivní transport tepla zářením v pecním prostoru.

Nelze zanedbat ani dynamický účinek proudění plynů v peci na snímač. Při návrhu konstrukce snímače bylo potřeba brát v úvahu také mechanické působení vibrací, otřesů konstrukce pece a pohybu zavěšené vyzdívky při nakládání pece během odpichu.

3. ZKOUŠKA MATERIÁLŮ PRO OCHRANU TERMOČLÁNKU

První experiment měl za úkol ověřit odolnost vybraných žárovzdorných materiálů v prostředí tandemové pece. Kromě materiálů odolných proti oxidaci (např. Al₂O₃) byly pro experiment vybrány i materiály, které měly potvrdit přítomnost oxidačního prostředí (např. grafitová tyčka bez úpravy proti oxidaci). Do chlazené průchodky bylo umístěno 5 vzorků z následujících materiálů:

1. Ochranná trubice s uzavřeným koncem z materiálu Al₂O₃ (spékaný korund) o vnějším průměru 10 mm a tloušťce stěny 2 mm. Teplota tavení se uvádí až 2072 °C, technické materiály Al₂O₃ však mívají nižší teplotu tavení z důvodů příměsí, přidávaných pro snazší sintrování. Materiál je oxid, a tudíž může být použit v oxidačním prostředí.

2. Molybdenová trubka s uzavřeným koncem (používaná jako ochranný plášť termočlásku) o vnějším průměru 6 mm a tloušťce stěny 1,2 mm, opatřená ochranným keramickým nástřikem ZrO₂ a Cr₂O₃ o tloušťce cca 0,4 mm. Nástřik byl proveden plazmovým hořákem v Ústavu fyziky plazmatu AV ČR. Teplota tavení Mo je 2620 °C, jeho použitelnost v inertní nebo redukční atmosféře je do cca 2400 °C, v oxidační atmosféře

však jen do 200 °C. Teplota tavení materiálů keramických plazmových nástřiků je 2680 °C (ZrO_2), resp. 2435 °C (Cr_2O_3).

3. Ochranná trubice s uzavřeným koncem z materiálu „Cermotherm (CERMET) 2040“ o složení 60 hm.% Mo a 40 hm.% ZrO_2 , vnější průměr 12 mm. tloušťka stěny 3 mm. Uvádí se teplota použití do 1600 °C, v inertní atmosféře až do 2200 °C, materiál však není vhodný do oxidačního prostředí při vysokých teplotách.

4. Silitová trubka (materiál SiC s přebytkem Si) o vnějším průměru 8 mm a tloušťce stěny 2,5 mm, používaný např. jako topné elementy odporových pecí. Silit se rozkládá na Si a C při teplotách nad 2700 °C. V oxidačním prostředí se uvádí použitelnost pouze do 1000 °C.

5. Grafitová tyč (vzorek zhotovený z materiálu, používaného na výrobu elektrod a ochranných trubic termočlánků, dodaný firmou COVA, Německo). Teplota tavení grafitu je velmi vysoká, uvádí se kolem 3640 °C. Na rozdíl od jiných materiálů jeho pevnost se zvyšováním teploty roste, s maximem přibližně při 2500 °C. Tento materiál bez povrchové ochrany není vhodný do oxidačního prostředí, oxidace na vzduchu začíná už při teplotách nad 600 °C. Grafit měl prokázat oxidační atmosféru v peci.

Na **Obr. 1** (vlevo) je vidět konec chlazené průchodky s vyčnívajícími vzorky. Spodní konec průchodky byl 65 mm nad pracovním povrchem vyzdívky a vzorky vyčnívaly do prostoru pece v délce cca 95 mm od pracovního povrchu vyzdívky. Sestava byla zasunuta do vyzdívky klenby v blízkosti středu pece. Po jednom cyklu, zahrnující fáze přehřevu a zkujňování, byla sestava vyjmuta. Z **Obr. 1** (vpravo) je vidět, že žádný z materiálů nevydržel.



Obr. 1 Testované vzorky před (vlevo) a po experimentu (vpravo)

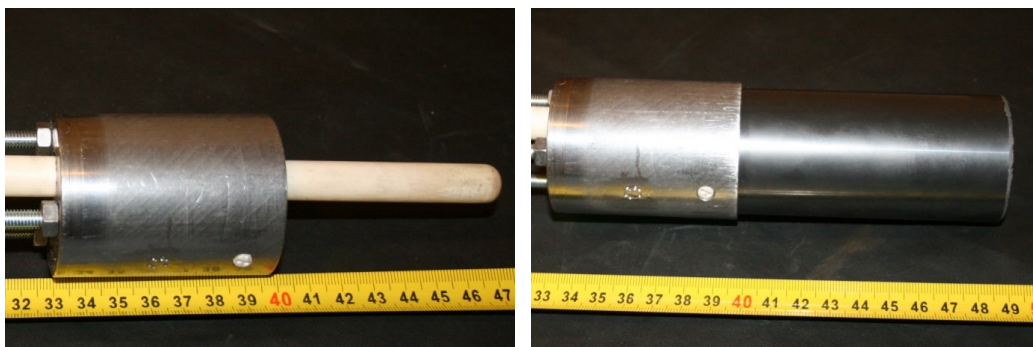
Nejdelší zbytek zůstal ze vzorku Al_2O_3 , který má paradoxně nejnižší teplotu tavení ze všech zkoušených materiálů, ale zřejmě je nejodolnější proti oxidaci a dalším chemickým vlivům. Z toho plyne, že není rozhodující jen teplota, ale chemický účinek. Mechanismus degradace materiálu spíše probíhá, kromě oxidace kyslíkem, cestou koroze materiálu vzorku částicemi „dýmu“ z pecní atmosféry, jeho přeměny na materiál s nižší teplotou tavení, a následného odtavení takto degradovaného materiálu. V tomto „dýmu“ budou pravděpodobně převládat oxidy železa, při tak vysokých teplotách pak konkrétně FeO. Reakcí s keramickým materiálem tak mohou vznikat systémy $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$, $\text{SiO}_2 + \text{FeO}$, možná i $\text{ZrO}_2 + \text{FeO}$, s relativně nízkou teplotou tavení.

Konce vzorků z materiálů Al_2O_3 , Cermotherm a Silit byly po zkoušce jednostranně sešikmené, pravděpodobně u nich převažoval vliv proudění pecní atmosféry, kdežto u vzorků se symetrickým koncem (grafit, Mo) zřejmě převažoval vliv intenzivní oxidace nezávisle na směru proudění. Dominující oxidaci dokládá téměř symetricky zašpičatělý konec vzorku z grafitu. Keramický nástřik na molybdenové trubce podlehl korozním účinkům atmosféry. Podle vizuálního hodnocení bylo možné vyslovit domněnku, že k intenzivnějšímu úbytku vzorků dochází ve fázi zkujňování než ve fázi přehřevu.

4. KONSTRUKCE SNÍMAČE TEPLOTY

K dalším dostupným materiálům, ze kterých jsou v současné době vyráběny ochranné trubice, patří oxid zirkoničitý (zirconia) ZrO_2 a sintrovaný karbid křemíku SiC. Cena ochranných trubic z obou materiálů je přibližně stejná, přičemž SiC má lepší odolnost proti teplotním šokům, volba proto padla na tento materiál.

Pro konstrukci snímače byl nejprve použit platinový termočlánek typu B v korundové trubici o vnějším průměru 12 mm a tloušťce stěny 2 mm, viz **Obr. 2** (vlevo), která byla ze strany chráněna trubkou s otevřeným koncem ze sintrovaného SiC firmy CeramTec (obchodně označovaného SSiC nebo Rocar S) o průměru 46 mm a tloušťce stěny 4 mm, viz **Obr. 2** (vpravo). Kromě ochrany před proudícími plyny karbidová trubka fungovala rovněž jako částečné stínění vůči sálání okolních ploch na ochrannou trubici s termočlánekem.



Obr. 2 Korundová trubice (vlevo) a vnější trubice z SiC (vpravo) před měřením

Trubice z Al_2O_3 tentokrát, na rozdíl od předchozí zkoušky, vydržela přehřev i zkujňování a neroztavila se, ale vykazuje známky koroze a měknutí materiálu. Konec trubice je protažen, zúžen a deformován do strany, viz **Obr. 3**. Znamená to, že teplota konce trubice mohla dosáhnout bodu měknutí Al_2O_3 . Přesněji teplotu nelze určit, jelikož není známa chemická čistota použitého materiálu Al_2O_3 .



Obr. 3 Ochranné trubice po měření

Na korundové trubici byla ztuhlá vrstva strusky. Na výbrusu bylo patrné, že struska proniká do materiálu Al_2O_3 , výrazná hranice mezi oběma materiály není patrná. Na konci korundové trubice po odbroušení bylo viditelné měknutí a kontaminace struskou. U přechodu z válcového do zaobleného konce trubice byla patrná prasklina, kterou se dovnitř trubice dostal cizí materiál. Termočlánek přibližně v polovině fáze zkujňování podlehl destrukci při teplotě měřicího konce cca 1800 °C. Termočlánek od okamžiku zničení dával napětí vyšší než 20 mV, což neodpovídá termočlátku typu B. Pravděpodobně v ochranné trubici vznikl falešný měřicí spoj mezi platinou a kontaminátem, protože termočlánek B může dát maximální napětí jen asi

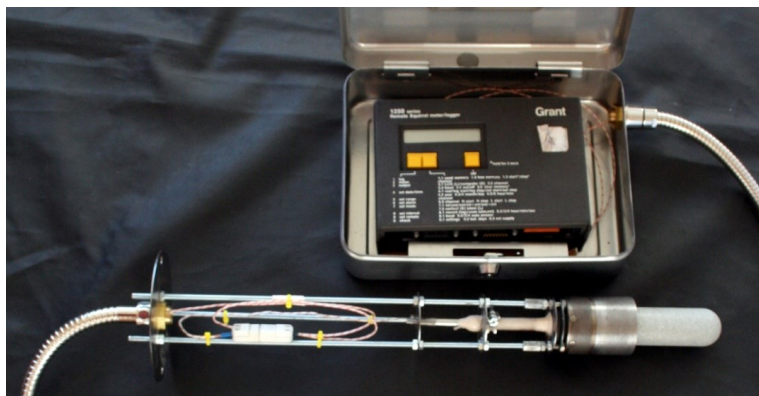
13,8 mV. Měřicí konec termočláunku byl zataven v materiálu trubice Al_2O_3 a ulomil se při demontáži. Trubice z karbidu křemíku SSiC vydržela fázi předehřevu i zkujňování, vykazovala však značný úbytek materiálu v důsledku oxidace, viz **Obr. 3**.

Pro další verzi snímače bylo rozhodnuto použít jako ochrannou trubici materiál SSiC a jako snímač termočlánek W-Re v molybdenovém plášti o průměru 4 mm. Jelikož materiál SSiC v peci postupně ubývá, trubice byla navržena jako silnostěnná s tloušťkou stěny 12 mm, což mělo zajistit výdrž po dobu minimálně jedné celé tavby. Jednalo se o kusovou a, s ohledem na tloušťku stěny, značně náročnou výrobu ve firmě CeramTec Šumperk. Vnější průměr trubice byl 32 mm a celková délka byla výrobně omezena na 150 mm. Z výrobních důvodů také mohl být vnitřní průměr trubice minimálně 8 mm, ačkoli pro lepší ochranu molybdenového pláště termočláunku proti oxidaci vnějším vzduchem by byl vhodnější menší vnitřní průměr trubice, aby byl minimalizován objem vzduchu v okolí pláště termočláunku. Trubice SSiC byla uchycena tak, aby byla minimalizována plocha kontaktu s chlazenou konstrukcí snímače, a to sevřením mezi dva prstence z tenkého plechu za osazení na konci trubice. Plášť trubice je tepelně izolován. Ocelové distanční pouzdro je dělené a jednoduše rozebíratelné. Ochranná trubice vyčnívá ve variantě kratšího vysunutí z chlazené průchodky v délce 76 mm, viz **Obr. 4**. Po odejmutí části pouzdra je možno snímač vysunout o dalších 35 mm, tj. v délce 111 mm.



Obr. 4 Pohled na ochrannou trubici z SiC a její mechanické upevnění

Pro zlepšení odolnosti povrchu trubice SSiC vůči oxidaci byl proveden nástřik keramiky plazmovým hořákem opět v Institutu fyziky plazmatu AV ČR. Provedení nástřiku na materiál SSiC se ukázalo jako problematické. Byly odzkoušeny dva různé materiály nástřiku (Cr_2O_3 a ZrSiO_4) a různé teploty předehřátí trubice. Povrch trubice má malou drsnost a vysokou tvrdost, což ztěžuje přilnutí nanesené vrstvy. Lepšího výsledku bylo dosaženo při nástřiku ZrSiO_4 , který byl nanesen v tloušťce cca 0,4 mm.



Obr. 5 Kompletní měřicí sestava snímače s měřicí ústřednou

Kompletní měřicí sestava snímače s měřicí ústřednou je na obrázku **Obr. 5**. Při experimentu byl snímač opět zasunut do klenby pece přes chlazenou průchodku, a to na dobu dvou cyklů pece (cca 330 minut). Termočlánek měřil spolehlivě po celou tuto dobu. Po vyjmutí z pece bylo vidět, že ochranná trubice z materiálu SSiC je pokryta struskou, ale úbytek tloušťky stěny trubice byl zanedbatelný. Trubice byla tentokrát částečně chráněna okolní vyzdívkou před dynamickým účinkem pecní atmosféry. Experiment bude ještě zopakován při větším vysunutí snímače do pece.

Naměřená teplota při výše popsané konfiguraci snímače dosáhla maxima 1510 °C při nejistotě měření $\pm 1,2$ %. Metodou numerického modelování byla naměřená data korigována o teplotní spád ve stěně ochranné trubice. Teplotní spád dosáhl maxima 30 °C, nejvyšší teplota povrchu ochranné trubice dosáhla tedy 1540 °C. Naměřené teploty povrchu snímače jsou srovnatelné s extrapolovanou teplotou povrchu vyzdívky klenby z dříve naměřených teplot ve vyzdívce jinými autory [2, 3].

Následně byl proveden pokus o predikci teploty pecní atmosféry při různých předpokládaných podmínkách transportu tepla v peci. Mechanismus vnějšího transportu tepla z pece do snímače je závislý na mnoha neznámých a proměnlivých parametrech, jak bylo naznačeno v kapitole 1, mj. průteplivosti atmosféry. Snímač tedy neměří teplotu pecní atmosféry, ale měřená teplota je výsledkem vzájemné interakce snímače, kontinua tvořeného pecní atmosférou a několika obklopujících ploch, které vzájemně na sebe sálají. Byla predikována nejvyšší teplota pecní atmosféry 1830 °C, ovšem s odhadovanou nejistotou predikce až ± 10 %. Skutečnou teplotu atmosféry by bylo možno změřit pouze prosávacím termočlánkem, který ale v podmínkách tandemové pece nelze použít z důvodu silného znečištění atmosféry. Je proto potřeba konstatovat, že praktický význam vyvinutého snímače spočívá spíše v monitorování „tepelného zatížení“ zdiva, než jako snímače absolutní teploty pecní atmosféry.

5. ZÁVĚR

Stěžejním problémem měření teploty prostředí v tandemové peci není samotná teplota, ale ochrana snímače před korozními účinky pecní atmosféry. Z 6 ověřovaných materiálů se nejlépe zatím osvědčil sintrovaný SiC, který chrání termočlánek W-Re v molybdenovém plášti. Vyvinutý snímač měří teplotu, která je výsledkem vzájemné interakce snímače, pecní atmosféry a obklopujících ploch, které vzájemně na sebe sálají. Podmínky sdílení tepla v prostředí tandemové pece jsou proměnlivé v čase a závisí zejména na znečištění pecní atmosféry pevnými a kapalnými částicemi, které ovlivní průteplivost plynů. Skutečnou teplotu atmosféry by bylo možno změřit pouze prosávacím termočlánkem, který ale v podmínkách tandemové pece nelze použít z důvodu silného znečištění atmosféry. Praktický význam vyvinutého snímače spočívá spíše v monitorování „tepelného zatížení“ zdiva, než jako snímače absolutní teploty pecní atmosféry.

PODĚKOVÁNÍ

Tento příspěvek vznikl za podpory grantového projektu MŠMT č. SP2014/46 - Materiálové a energetické úspory při uplatňování druhotných surovin v průmyslu.

LITERATURA

- [1] RÝC, Z., KUBĚNA, J., STLOUKAL, P.: Automatizace a řízení výroby elektrooceli. Automatizace a regulace, svazek 18. Praha: SNTL, 1980. 208 s.
- [2] BITTNER, V. a kol.: Měření rozložení teplot ve vyzdívce klenby tandemové pece č. 4 v Mittal Steel Ostrava a.s. Výzkumná zpráva projektu MPO č. FT-TA/082. Dobrá: VÚHŽ, červenec 2006.
- [3] DROZD, V. a kol.: Výzkum, vývoj a modernizace výroby oceli na tandemových pecích. Závěrečná zpráva projektu FT-TA/082. Dobrá: VÚHŽ, srpen 2007.

BADANIA WPŁYWU NIEJEDNORODNOŚCI TEMPERATUROWEJ STALI W KADZI POŚREDNIEJ NA STRUKTURĘ PIERWOTNĄ WLEWKÓW CIĄGŁYCH

Jacek PIEPRZYCA, Zdzisław KUDLIŃSKI

Instytut Technologii Metali Politechniki Śląskiej, 40-019 Katowice, ul. Krasińskiego 8, Polsko, EU
jacek.pieprzyca@polsl.pl, zdzislaw.kudlinski@polsl.pl

Abstrakt

Jakość odlewanych wlewków ciągłych określana jest przez wiele czynników. Najważniejszymi z nich to czystość metalurgiczna stali, określony jej skład chemiczny, wymagany kształt przekroju poprzecznego wlewka, brak wad zarówno powierzchniowych jak i wewnętrznych. Istotnym parametrem charakteryzującym jakość wlewków ciągłych jest również ich struktura pierwotna. Ma ona szczególne znaczenie z punktu widzenia właściwego przebiegu procesu przeróbki plastycznej. W trakcie krystalizacji i krzepnięcia ciekłej stali w urządzeniu COS, w jego strefie chłodzenia pierwotnego (krystalizatorze) i strefie chłodzenia wtórnego, na skutek złożonych procesów chemicznych i termodynamicznych, kształtuje się struktura pierwotna w której mogą występować charakterystyczne trzy strefy krystalizacji. Strefa kryształów zamrożonych, strefa kryształów słupkowych oraz strefa kryształów równoosiowych. Z punktu widzenia przydatności wlewków do dalszej przeróbki plastycznej korzystne jest gdy strefa kryształów równoosiowych zajmuje jak największy obszar ich przekroju poprzecznego w stosunku do strefy kryształów słupkowych. Z teorii krzepnięcia i krystalizacji stopów żelaza z węglem (stali) wynika, że istotny wpływ na wielkość strefy kryształów słupkowych ma temperatura przegrzania na froncie krzepnięcia, która jest związana z temperaturą odlewania. Temperaturę odlewania można zdefiniować jako temperaturę przegrzania stali w kadzi pośredniej ponad temperaturę likwidus.

W artykule przedstawiono wyniki badań przemysłowych, dotyczące problemu uzyskiwania jednakowej struktury pierwotnej w wielożyłowej kadzi pośredniej. Założono, że niewłaściwy sposób przepływu i mieszania się stali w kadzi pośredniej, a w konsekwencji niekorzystny rozkład stref przepływu tłokowego w stosunku do wielkości tworzących się stref martwych może wpływać na niejednorodność pól temperaturowych w objętości ciekłej stali w rejonach poszczególnych wylewów z kadzi pośredniej. Fakt ten powoduje zróżnicowanie warunków temperaturowych krzepnięcia stali w poszczególnych żyłach.

Słowa kluczowe: Stal, ciągle odlewane stali, struktura pierwotna wlewka ciągłego, kadź pośrednia, krzepnięcie stali.

1. WSTĘP

Przedstawione w artykule wyniki badań są kontynuacją prac dotyczących zagadnień przepływu i mieszania się stali w niesymetrycznej kadzi pośredniej i ich wpływu na charakter struktury pierwotnej uzyskiwanych wlewków ciągłych.

Przeprowadzone wcześniej badania modelowe warunków hydrodynamicznych w niesymetrycznej kadzi pośredniej, pozwoliły na stwierdzenie niekorzystnego sposobu przepływu przez nią ciekłej stali. Zaobserwowano niedostateczną objętość strefy przepływu turbulentnego oraz tłokowego i rozwijający się nadmiernie obszar strefy przepływów martwych w rejonie skrajnego wylewu najdalej oddalonego od miejsca wlewu stali do kadzi pośredniej. Na tej podstawie stwierdzono, że możliwy jest nierównomierny rozkład temperatury ciekłej stali w przestrzeni roboczej kadzi pośredniej, szczególnie w rejonie skrajnego wylewu. W związku z tym dalszym etapem prac było przeprowadzenie pomiarów temperatury ciekłej stali w badanej

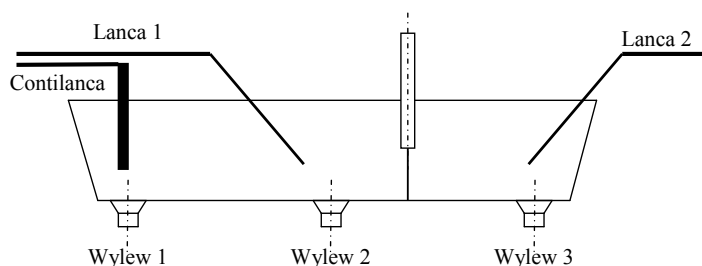
kadzi pośredniej i krystalizatorach w warunkach przemysłowych oraz analiza metalograficzna pobranych próbek wlewków ciągłych.

2. POMIARY TEMPERATURY W KADZI POŚREDNIEJ I KRYSTALIZATORACH

Przed przystąpieniem do pomiarów temperatury ciekłej stali w kadzi pośredniej i krystalizatorach, przeprowadzono badania pilotażowe mające na celu określenie technicznych warunków i możliwości ich realizacji oraz opracowanie metodyki badań najbardziej korzystnej z punktu widzenia minimalizacji ich wpływu na przebieg procesu technologicznego ciągłego odlewania stali.

Na podstawie badań pilotażowych stwierdzono konieczność rozbudowy systemu pomiaru temperatury w kadzi pośredniej umożliwiający uzyskanie wyników w trzech jej punktach oraz wykorzystanie systemu ciągłego pomiaru za pomocą Contilancy. Stwierdzono również, że do pomiaru temperatury stali w krystalizatorach optymalnym rozwiązaniem jest wykorzystanie Minilancy z czujnikami wielokrotnego użytku bez osłony stalowej, które ograniczają możliwe wypryski ciekłej stali w trakcie ich zanurzania w ciekłej stali. Ze względu na ich niewielkie gabaryty zmniejszają również niebezpieczeństwo wpływu na system sterowania urządzeniem COS, który automatycznie reaguje na zakłócenia powstające w krystalizatorze korygując parametry odlewania np. zmieniając liniową prędkość odlewania.

Tak zrealizowane badania pilotażowe w warunkach przemysłowych pozwoliły na opracowanie precyzyjnego programu badań możliwego do zrealizowania w warunkach ruchowych, określeniu punktów pomiaru



Rys. 1 Schemat punktów pomiarowych temperatury w kadzi pośredniej urządzenia COS

temperatury w kadzi pośredniej i krystalizatorach, możliwości wykorzystania istniejącej w hucie aparatury pomiarowej oraz możliwości zainstalowania i wykorzystania dodatkowej aparatury niezbędnej do właściwego przeprowadzenia badań. Schemat układu pomiarowego temperatury w kadzi pośredniej przedstawia rys. 1.

Pomiary wykonano za pomocą dwóch lanc z standardowymi czujnikami zanurzonymi

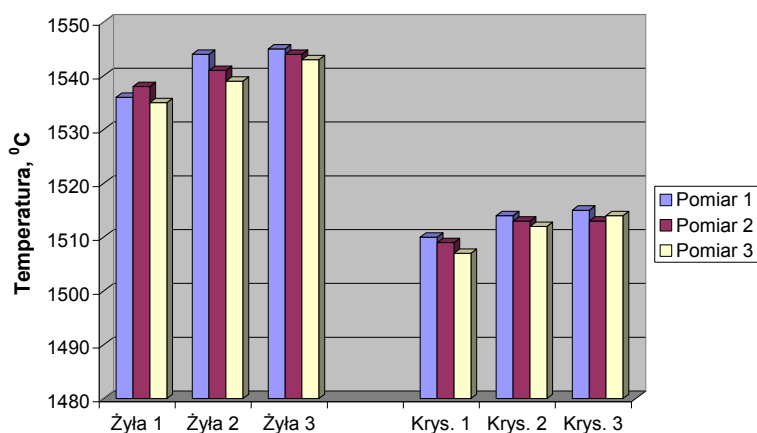
w rejonie wylewów nr 2 i 3. W rejonie wylewu nr 1 wykorzystano zainstalowaną na urządzeniu COS Contilancę do pomiaru ciągłego temperatury. W celu łatwej identyfikacji poszczególnych wytopów badawczych, oznaczono je symbolami WB i ponumerowano kolejnymi cyframi od 1 do 5. Pomiary zostały przeprowadzone w seriach po trzy dla każdego wytopu. Pomiar 1 na początku odlewania wytopu, pomiar 2 w środku oraz pomiar 3 na jego końcu. Pomiary temperatury w krystalizatorach przeprowadzano równolegle z pomiarami w kadzi pośredniej w ten sposób by objąć nimi tę samą partię odlewanej stali.

Serie pomiaru temperatury w kadzi pośredniej i krystalizatorach, przeprowadzono zgodnie z opracowaną metodyką, w trakcie odlewania 6 wytopów badawczych stali S480W oznaczonych symbolami WB1 ÷ WB5. Skład chemiczny badanej stali przedstawiono w tablicy 1.

Tab. 1 Skład chemiczny badanej stali, %

	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu
min	-	-	-	-	-	0,25	-	0,25
max	0,25	1,70	0,50	0,035	0,035	0,45	0,30	0,45

Temperatura likwidus odlewanej stali wynosiła 1501 °C, a nominalna temperatura odlewania 1535°C. Przekrój poprzeczny odlewnych wlewków wynosił 140 x 140 mm. Wytopy odlewano techniką dozatorową ze



Rys. 2 Wartości temperatury zmierzonej w kadzi pośredniej i krystalizatorach dla wytopu WB1

stali waha się w granicach 5°C. Natomiast w rejonie wylewu 1 zaobserwowano znaczny spadek temperatury ciekłej stali sięgający w porównaniu do strefy wylewu 3 nawet 20°C. Świadczy to o niedostatecznej homogenizacji pod względem temperaturowym stali w przestrzeni roboczej badanej kadzi pośredniej. To niekorzystne zjawisko skutkuje niejednorodnością temperaturową ciekłej stali w poszczególnych krystalizatorach. Stal w krystalizatorze żyły 1 ma temperaturę istotnie niższą od stali w krystalizatorach żył 2 i 3.

Wyniki przeprowadzonych pomiarów temperatury potwierdzają oczekiwania, wynikające z badań modelowych, dotyczących zjawisk hydrodynamicznych w kadzi pośredniej. Wykazały one niedostateczne mieszanie się stali w rejonie wylewu 1.

3. BADANIA MAKROSTRUKTURY PIERWOTNEJ WLEWKÓW CIĄGŁYCH

Jakość i własności makrostruktury stalowego wlewka ciągłego określa rozmiar strefy kryształów równoosiowych odniesiony do powierzchni przekroju poprzecznego wlewka. Im większą powierzchnię zajmuje strefa kryształów równoosiowych tym lepsza jakość makrostruktury wlewka. Najbardziej wyraźny wpływ na strukturę pierwotną wlewka ciągłego posiadają:

- wymiary przekroju poprzecznego wlewka,
- skład chemiczny stali,
- temperatura ciekłej stali,
- szybkość odlewania,
- intensywność chłodzenia wlewka.

Biorąc pod uwagę, że parametry odlewania dla wszystkich żył urządzenia COS są jednakowe, główny wpływ na jakość struktury pierwotnej wlewka ma temperatura ciekłej stali w kadzi pośredniej. Wyniki pomiarów temperatury w badanej kadzi pośredniej i krystalizatorach wykazały jej zróżnicowanie w poszczególnych żyłach urządzenia, spowodowane niewłaściwymi warunkami hydrodynamicznymi w niej panującymi. W związku z tym można również oczekiwać występowania różnic pod względem rozmiarów stref krystalizacyjnych w wlewkach odlewanych w poszczególnych żyłach.

Z teorii krzepnięcia i krystalizacji wynika że wraz z wzrostem stopnia przegrzania stali ΔT_s maleje gradient temperatury na froncie krzepnięcia G_r , a topografia powierzchni podziału faz (fazy stałej i fazy ciekłej)

zmienia się od makroskopowo płaskiej, poprzez komórkową do dendrytycznej, tworząc odpowiednie formy strukturalne fazy stałej. Zmienia się również mechanizm procesu krzepnięcia: od krzepnięcia stopniowego (kierunkowego) do krzepnięcia objętościowego. Warunkiem stabilności płaskiej granicy podziału faz (płaskiego frontu krzepnięcia), a tym samym stopniowego sposobu krzepnięcia jest zachowanie nierówności:

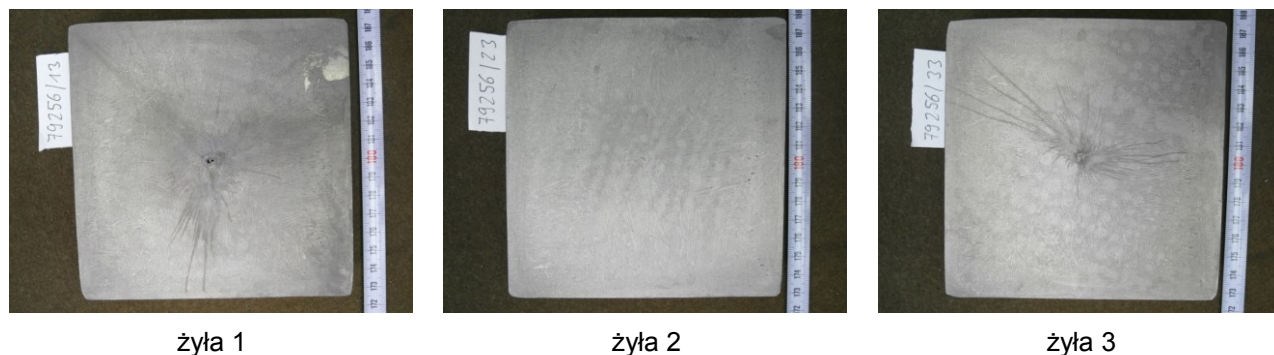
$$\frac{G_r}{v_k} \geq - \frac{m \cdot C_0}{D_i} \cdot \frac{(1 - k_0)}{k_0} \quad (1)$$

Przy zależności odwrotnej, warunki krzepnięcia sprzyjają tworzeniu się dendrytycznej struktury krystalicznej. Innymi słowy: zwiększenie temperatury przegrzania ciekłej stali prowadzi do rozwoju (powiększenia) strefy kryształów słupkowych, co jest niekorzystne z punktu widzenia jej jakości.

Opracowana metoda badań makrostruktury wlewków ciągłych podzielona została na dwa etapy:

- pobieranie próbek z wlewków (templety),
- badania metalograficzne.

Pobieranie próbek z wlewków zsynchronizowano z pomiarami temperatury ciekłej stali w kadzi pośredniej i krystalizatorach. Polegało to na wycinaniu templetów za pomocą palników gazowych w tych strefach wlewków, w których wcześniej dokonywany był pomiar temperatury (początek, środek i koniec wytopu). Parametry odlewania i chłodzenia w wszystkich żyłach były jednakowe. Przygotowanie metalograficzne uzyskanych próbek przeprowadzano metodą głębokiego trawienia. Przykładowe wyniki badań metalograficznych przedstawiono na rys. 3. Przedstawiają one próbki pobrane z wytopu badawczego WB1.



Rys. 3 Makrostruktura przekroju poprzecznego wlewków ciągłego o wymiarach 140×140 mm, środek wytopu WB1

Analiza wyników badań metalograficznych wskazała że, o ile w wlewkach odlewanych w żyłach 2 i 3 wymiary strefy kryształów słupkowych są zbliżone, to w wlewkach odlewanych w żyle 1 jest znacznie mniejsza. Wartości udziałów procentowych strefy kryształów słupkowych w poszczególnych wlewkach przedstawiono w tabelicy 2.

Tab. 2 Procentowy udział strefy kryształów słupkowych na powierzchni zglądu metalograficznego.

Symbol wytopu	Udział strefy kryształów słupkowych, %			
		Żyła 1	Żyła 2	Żyła 3
WB1	początek wytopu	25,93	39,32	44,53
	środek wytopu	19,60	42,30	33,31
	koniec wytopu	25,61	37,95	35,41

Uzyskane wyniki badań pozwalają na stwierdzenie, że warunki hydrodynamiczne panujące w kadzi pośredniej urządzenia COS, charakteryzujące się niewłaściwymi proporcjami poszczególnych stref przepływu: zbyt małym obszarem przepływu tłokowego i turbulentnego, przy jednoczesnym znacznym obszarze przepływów martwych, są przyczyną nierównomiernego rozkładu pól temperatury w przestrzeni roboczej kadzi pośredniej, a w konsekwencji różnic rozmiarów stref krystalizacyjnych odniesionych do powierzchni przekroju poprzecznego wlewków odlewanych w poszczególnych żyłach urządzenia COS. Sytuacja taka jest również niekorzystna z punktu widzenia bilansu energetycznego procesu wytapiania stali gdyż wymaga wyższego stopnia przegrzania stali przed odlewaniem celem zapobieżenia zamarzania stali w skrajnym wylewie.

4. WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań sformułowano następujące wnioski:

1. Procesy homogenizacyjne zachodzące w przestrzeni roboczej kadzi pośredniej mają istotny wpływ na kształtowanie się stref krystalizacyjnych w strukturze pierwotnej wlewków odlewanych w poszczególnych żyłach.
2. Z termicznego punktu widzenia, głównym parametrem procesu COS, mającym wpływ na kształtowanie się zasięgu strefy kryształów słupkowych w strukturze pierwotnej wlewka ciągłego jest temperatura przegrzania stali,
3. Im wyższy stopień przegrzania stali tym większy zasięg strefy kryształów słupkowych w strukturze pierwotnej wlewka ciągłego,
4. Szczególnym problemem, podczas odlewania wlewków ciągłych w urządzeniach wyposażonych w wielowylewowe niesymetryczne kadzie pośrednie, jest uzyskiwanie wlewków ciągłych o zbliżonym pod względem zasięgu poszczególnych stref krystalizacyjnych, charakterze struktury pierwotnej,
5. Znacznie dłuższy czas dotarcia stali do skrajnego wylewu (wylew 1) niesymetrycznej 3. wylewowej kadzi pośredniej niż do pozostałych wylewów (2 i 3) wymusza stosowanie wyższego stopnia przegrzania stali w kadzi głównej. Ten fakt wpływa niekorzystnie na proces COS z dwóch punktów widzenia:
 - a. straty energetyczne procesu,
 - b. uzyskiwane wlewki w żyłach 2 i 3 charakteryzują się większym zasięgiem strefy kryształów słupkowych niż wlewki żyły 1.
6. Stosowanie właściwych regulatorów przepływu ciekłej stali w przestrzeni roboczej kadzi pośredniej zapewniających optymalny sposób jej homogenizacji, sprzyja tworzeniu się zbliżonej pod względem zasięgu poszczególnych stref krystalizacyjnych struktury pierwotnej wlewków w poszczególnych żyłach urządzenia COS wyposażonego w niesymetryczną kadełko pośrednią.

Participation in conference with financial support of the National Centre for Research and Development (project No PBS2/A5/32/2013).

MOŽNOSTI VYUŽITÍ KVZ PRO ZJEMNĚNÍ MIKROSTRUKTURY OCELI

Pavel MACHOVČÁK^a, Petr JONŠTA^a, Aleš OPLER^a, Zdeněk CARBOL^a, Antonín TREFIL^a,
Jaromír DRÁPALA^b, Silvie BROŽOVÁ^b, Jan MELECKÝ^c

^a VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY a.s., Ruská 2887/101, Vítkovice, 703 00 Ostrava, Česká republika, EU, pavel.machovcak@vitkovice.cz

^b VŠB - Technická univerzita Ostrava, 17. Listopadu 15, 708 33 Ostrava, Česká republika, EU, jaromir.drapala@vsb.cz

^c Jan Melecký, Bílovec, Česká republika, EU, j.melecky@seznam.cz

Abstrakt

V posledních letech se setkáváme se stále rostoucími požadavky na ocelové výrobky. Výsledné vlastnosti ocelí lze měnit v širokém rozmezí díky optimalizaci jejich mikrostruktury. Jedním z klíčových parametrů je velikost zrna. V současné době nejsou u výroby oceli rozšířeny postupy rafinace struktury na rozdíl od litiny a slitin hliníku, kde se takové prostředky pro rafinaci mikrostruktury při tuhnutí využívají v širokém měřítku. Zavedením sekundární metalurgie bylo dosaženo výrazného zlepšení vlastností ocelí nastavením úzkého výrobního chemického složení a snížením obsahu, případně modifikací nekovových vměstků. Škodlivý vliv vměstků na vlastnosti ocelí vyplývá z jejich schopnosti působit jako iniciační zdroje mikro-dutin a trhlin v oceli. Proto je používání čistých ocelí obvykle považováno za výhodné, a to jak z hlediska pevnosti, tak z hlediska únavy. V poslední době byl zjištěn prospěšný vliv nekovových vměstků při tuhnutí oceli a při její transformaci v pevném stavu. S využitím vhodného obsahu určitých prvků lze dosáhnout jemnozrnné struktury. Standardně se pro zjemnění struktury využívá hliník, vanad, ale i titan. Pro zjemnění mikrostruktury lze ale také využít cer. Cer má velmi vysokou afinitu ke kyslíku a síře a tvoří tak oxidy a sulfidy ceru. Byla provedena série laboratorních experimentů, při kterých byl do oceli přidáván cer v různém množství. Hodnocen byl zejména jeho vliv na mikrostrukturu. Na základě výsledků těchto laboratorních zkoušek byl navržen provozní experiment, při kterém byl cer legován do oceli. Hodnocení vlivu ceru na vlastnosti oceli bylo provedeno jednak na ingotu, ale také na výkovku.

Klíčová slova: Kovy vzácných zemin, cer, mikrostruktura, krystalizace, nekovové vměstky

1. ÚVOD

Požadavky na ocelové výrobky s optimální kombinací vlastností stále rostou. Jednou z možných cest pro dosažení těchto požadovaných vlastností je řízení mikrostruktury. Velikost zrna má vliv na většinu mechanických vlastností. Například, při pokojové teplotě mez pevnosti, mez kluzu i vrubová houževnatost rostou s klesající velikostí zrna. Tradičním způsobem dosažením jemnozrnné struktury zajišťující optimální kombinaci pevnosti a houževnatosti je prostřednictvím vhodného termomechanického zpracování daných výrobků. Nicméně, v posledních letech se objevil nový koncept, podle kterého lze s využitím některých nekovových vměstků výrazně ovlivnit velikost zrna oceli. Tyto vměstky, někdy také nazývané disperzoidy, jsou většinou oxidy, sulfidy, nebo karbidy velikosti cca 1 μm [1], [2]. Kovy vzácných zemin (dále i KVZ) mají velmi vysokou afinitu jednak ke kyslíku, ale také i k síře. Tyto oxidy i sulfidy KVZ mají vysokou teplotu tání, kdežto teploty tání čistých KVZ jsou ve srovnání s železem nízké, viz. **tab. 1 a 2**, takže ihned po přísadě KVZ do roztavené oceli budou vznikat oxidy, nebo sulfidy těchto kovů. Na druhou stranu hustoty těchto oxidů a sulfidů KVZ se blíží hustotě železa a v porovnání s oxidy a sulfidy běžných prvků jsou vyšší, takže budou obtížněji odstranitelné z oceli [3]. Z literatury dále plyne, že KVZ zvyšují teplotu rekystalizace, zvyšují stálost v žáru u žárupevných ocelí, zvyšují tvařitelnost vysoce legovaných ocelí a zlepšují otěrvzdornost.

Tab. 1 Vybrané fyzikální vlastnosti základních KVZ, železa a vybraných dezoxidačních prvků [3]

prvek	protonové číslo	atomová hmotnost	hustota [kg·m ⁻³]	teplota tání [K]	teplota varu [K]
Cer	58	140.13	6 760	1 350	3 473
Lanthan	57	138.92	6 180	1 466	3 913
Neodym	60	144.27	6 980	1 570	3 633
Praseodym	59	140.92	6 800	1 481	3 563
Železo	26	55.85	7 876	1 812	3 153
Hliník	13	26.98	2 700	923	2 333
Vápník	20	40.08	1 540	1 124	1 713
Mangan	25	54.94	7 400	1 523	2 427
Křemík	14	28.09	2 400	1 688	2 633

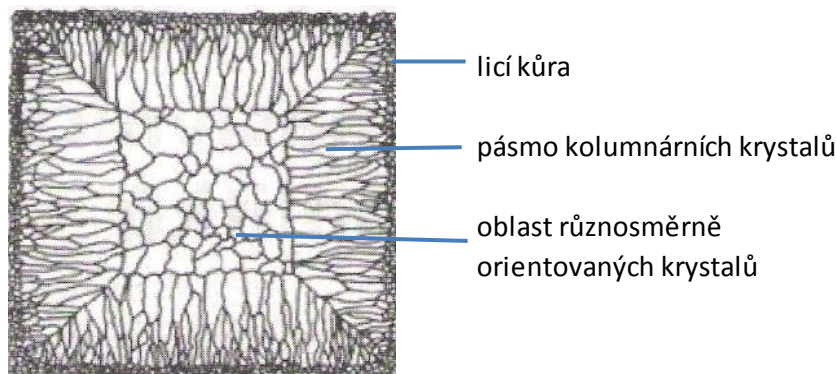
Tab. 2 Hodnoty hustoty a teploty tání sloučenin KVZ, železa a vybraných dezoxidačních prvků [3]

sloučeniny prvků		druh	hustota [kg·m ⁻³]	teplota tání [K]
Oxidy	La	La ₂ O ₃	6 580	2 523
	Ce	Ce ₂ O ₃	6 867	1 963
	Pr	Pr ₂ O ₃	7 067	2 473
	Nd	Nd ₂ O ₃	7 308	2 545
	Al	Al ₂ O ₃	2 820	2 323
	Mg	MgO	3 200	2 773
	Ca	CaO	3 400	2 873
	Fe	FeO	3 700	1 693
Sulfidy	La	LaS	5 660	2 473
	La	La ₂ S ₃	5 440	2 373
	Ce	CeS	5 880	2 473
	Ce	Ce ₂ S ₃	5 180	2 723
	Nd	NdS	6 200	2 411
	Nd	Nd ₂ S ₃	5 500	2 473
	Pr	Pr ₂ S ₃	5 270	2 068
	Fe	FeS	4 600	1 466
	Mn	MnS	4 000	1 803

2. TEORETICKÝ ÚVOD PROBLEMATIKY

2.1 Strukturní zóny ocelového ingotu

Ocelový ingot má tři základní, různé zóny, viz **obr. 1**. Nejblíže kokile je pásmo neuspořádaných, hustě ležících krystalů, tzv. licí kůra. Zde probíhá krystalizace velmi krátce a je způsobena intenzívním ochlazením oceli o stěny kokily, přičemž nedochází ke vzniku segregací a tyto drobné krystalky mají průměrné chemické složení odpovídající tavebnímu složení vyrobené tekuté oceli. Tato licí kůra je relativně tenká a její tloušťka se mění po výšce ingotu. Největší tloušťka licí kůry je u paty ingotu a směrem k hlavě ingotu se zmenšuje. Za touto oblastí se nachází zóna kolumnárních krystalů. Se změnou podmínek odvodu tepla vlivem prohřátí stěn kokil se zároveň mění i rychlost ochlazování tekuté oceli a vytváří se podmínky pro růst dlouhých, rovnoosých krystalů proti směru odvodu tepla. Ve středu ingotu se nachází oblast různě orientovaných krystalů.



Obr. 1 Schematické znázornění různých strukturních oblastí v ocelovém ingotu

2.2 Vliv KVZ na krystalizaci oceli

Kovy vzácných zemin snižují povrchové napětí taveniny a tím snižují i množství energie nutné k tvorbě zárodků při primární krystalizaci. Silně také vzrůstá počet krystalizačních center. Výsledkem těchto vlivů je dosažení jemné struktury ingotu oceli modifikované KVZ.

Sulfidické i oxidické vměstky KVZ se vylučují ještě v roztavené oceli, protože mají velmi vysokou teplotu tání. Jsou tudíž umístěny uvnitř krystalů v oceli. Při pomalém ochlazování nedochází k difuzi síry k hranicím primárních zrn a k její koncentraci v mezidendritických prostorech. Kovy vzácných zemin tedy zamezují vzniku sulfidových vycezenin. Kladný vliv KVZ není tedy jen v odsíření oceli, ale také i zrovnoměnění rozložení síry v ingotech.

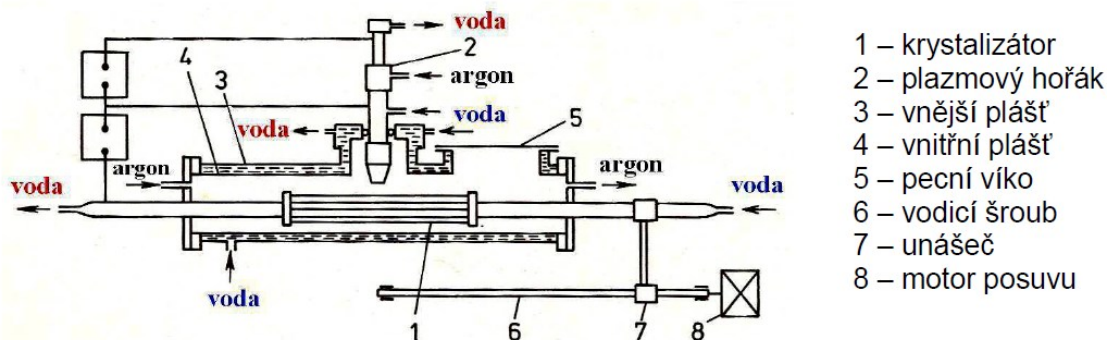
Průměrná velikost sulfidů prudce klesá s rostoucím obsahem ceru v oceli až do obsahu minimálně cca 0,06 hm. % Ce. Pak zůstává téměř konstantní. Podobný vliv na střední velikost sulfidů má i zirkonium, nicméně hmotnostní obsahy zirkonia musí být vyšší pro snížení na srovnatelné rozměry, a sice v rozmezí cca 0,08 až 0,12 hm.% Zr, a to i podle značky oceli.

Přísadou KVZ se zmenšuje hloubka pásma kolumnárních krystalů v ingotu a dendritická struktura se stává méně výraznou. V celém objemu kovu pak lze pozorovat slabě rozvětvené dendrity a tím, že dochází ke zmenšování dendritické oblasti, zmenšují se i segregace uhlíku, síry, fosforu a kyslíku. Ocel se přísadou KVZ stává homogennější. Těchto účinků lze dosáhnout již při obsahu od cca 0,01 hm. % Ce. Velikost dendritů klesá s rostoucím obsahem ceru v rozmezí od 140 do 750 ppm. Velikost dendritů ale také souvisí zejména s počtem částic Ce_2O_3 a CeS určité velikosti [4].

Kovy vzácných zemin jsou při výrobě oceli používány i ve formě mischmetalů. Mischmetalem se rozumí směs několika kovů vzácných zemin, tedy zejména Ce, La, případně Nd a Pr. Používání mischmetalů je v provozní praxi rozšířeno zejména při výrobě speciálních druhů antikoročních ocelí. Při jejich použití se ale také setkáváme s problémy během odlévání, a to se zarůstáním výlevky. K tomu dochází tak, že malé částice Ce_2O_3 se spojují s oxidy Al_2O_3 a tvoří klastry větší než 20 μm . S rostoucí velikostí těchto částic roste jejich další vzájemné interakce a spojování do větších částic [5]. Z dostupných literárních údajů vypovídajících o provedených laboratorních i provozních experimentech plyne, že využití ceru přidávaného do oceli je velmi různé a pohybuje se od jednotek procent do 78 %. Toto využití hodně závisí zejména na stupni dezoxidace oceli, zvolené technologii a způsobu přidávání této legury do oceli.

3. LABORATORNÍ EXPERIMENTY

V rámci řešení výzkumného projektu byly nejprve navrženy a realizovány laboratorní experimenty s přísadou ceru ve formě mischmetalů. Tyto laboratorní experimenty byly provedeny v laboratořích katedry neželezných kovů VŠB - TU Ostrava. Pro tyto experimenty byly využity tři vybrané značky oceli, které se běžně vyrábějí ve VHM a.s., odkud také byly dodány potřebné vzorky. Jednalo se o oceli F22 (dle ASTM A182), 42CrMo4 (dle EN 10250-3) a 42CrMo4+Ni, což je ocel vyráběná dle specifikace zákazníka. Složení použitého plněného profilu mischemtalu obsahující cer je uvedeno v **tab. 3**. Nejprve byly připraveny vzorky o hmotnosti cca 20 gramů a ty byly společně s přísadou mischmetalů obsahující cer přetaveny v plazmové peci. Schéma plazmové pece je uvedeno na **obr. 2**. Pec pracuje na principu zonálního tavení. Při tavení v plazmové peci se materiál nachází v měděném, vodou chlazeném krystalizátoru, který je unášen šroubem pod stacionárním plazmovým hořákem. Krystalizátor je možno použít pro tavení materiálů o $T_M < 3400^\circ\text{C}$. Teplo nutné k tavení kovu je produkováno plazmovým hořákem. Teplota plazmatu při tomto způsobu tavení dosahuje až 6500 K. Mezi velké výhody této pece patří mimo jiné téměř stoprocentní využití legující přísady v důsledku využití výhod inertní atmosféry v tavicím prostoru.



Obr. 2 Technologické schéma plazmové pece

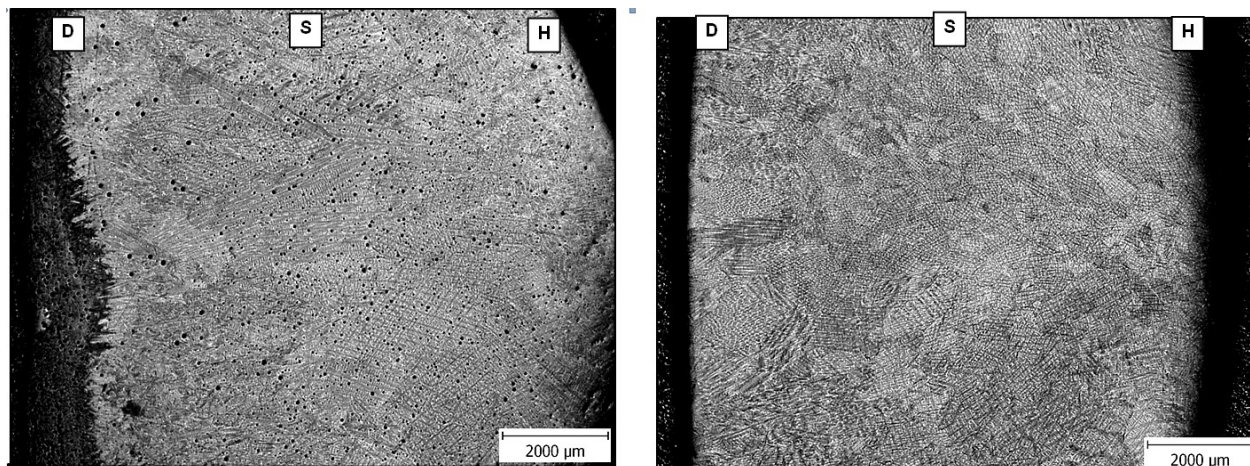
Tab. 3 Chemické složení použitého plněného profilu s cerem

	Ce	Si	Cr	C	Fe
obsah prvku (hm. %)	12.23	21.5	31.18	0.1	34.99

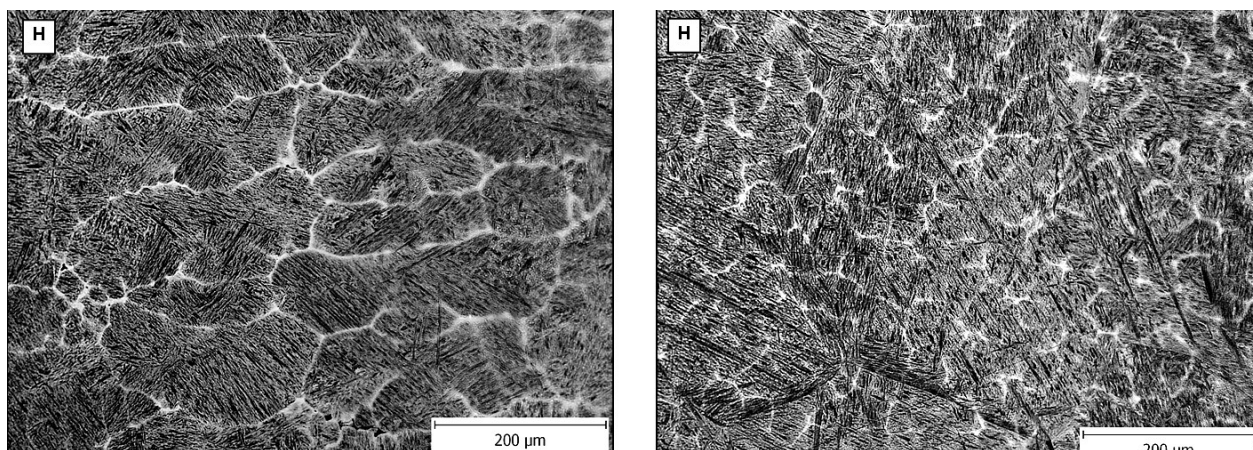
Z hlediska přídavku mischmetalů (MM) obsahujícího cer byly voleny přídavky 0 hm. %; 0,05 hm. % MM, tj. 0,006 hm. % Ce; 0,5 hm. % MM, tj. 0,061 hm. % Ce a 1 hm. % MM, tj. 0,122 hm. % Ce.

Při plazmovém tavení byl použitý argon čistoty 4N6 jako plazmotvorný plyn. Vzorky oceli byly dvakrát přetaveny a byla na nich provedena metalografická analýza. Strukturní analýza všech vzorků byla provedena na světelném optickém mikroskopu IX70 fy Olympus, program Image Pro 6.2. Dále byla provedena mikroanalýza nekovových vměstků pomocí řádkovacího elektronového mikroskopu JEOL 6490LV s rtg. mikroanalýzátozem Oxford Inca. Na základě provedeného vyhodnocení byly zjištěny následující poznatky:

- Ve vzorcích s přísadou ceru nebyly zjištěny vady typu dutin a ředin, které se vyskytovaly ve vzorcích bez této přísady ceru, jak je patrné z **obr. 3**.
- Po přisadě již 0,05 hm. % mischemtalu, tj. při obsahu ceru 0,0061 hm. % bylo dosaženo zjemnění struktury oceli, jak je patrné z **obr. 4**.
- Byly zjištěny a analyzovány nekovové vměstky obsahující cer. Jejich velikost byla okolo 1 μm .



Obr. 3 Porovnání struktury laboratorních vzorků oceli 42CrMo4 s přísadou 0 hm. % Ce (vlevo) a s přísadou 0,0061 hm. % Ce (vpravo)



Obr. 4 Porovnání struktury laboratorních vzorků oceli 42CrMo4 s přísadou 0 hm. % Ce (vlevo) a s přísadou 0,0061 hm. % Ce (vpravo)

4. PROVOZNÍ EXPERIMENT S VYUŽITÍM CERU PRO ZJEMNĚNÍ MIKROSTRUKTURY OCELI

Na základě provedeného literárního rozboru a výsledků laboratorních experimentů byl navržen provozní experiment, jehož cílem bylo ověření možnosti využití kovů vzácných zemin pro zjemnění mikrostruktury v podmínkách VHM a.s. Pro tento experiment byla vybrána běžně vyráběná ocel 42CrMo4. Normované složení této oceli a skutečně dosažené tavební složení oceli během experimentu je uvedeno v **tab. 4**. Pro legování ceru byl použit plněný profil od prověřeného světového dodavatele těchto plněných profilů. Složení použitého plněného profilu je uvedeno výše, v **tab. 3**. Ze složení tohoto plněného profilu je patrné jeho omezení pro oceli obsahující určité množství chromu. Plněný profil s cerem byl do oceli přidán po odvakuování oceli. Cer byl legován na hodnotu 0,06 hm. %. Z důvodu zjištění propalu ceru byly před i těsně po jeho přidání do oceli odebrány vzorky oceli a strusky. Z takto zpracované tavby byly odlity na jedné lici desce 2 stejné ingoty o hmotnosti 23,9 tun. Při odlévání ingotů byla použita argonová ochrana liciho proudu z důvodu omezení reoxidace oceli a zejména v ní obsaženého ceru. Standardní doba odlévání těchto ingotů je v podmínkách ocelárny VHM a.s. cca 14 minut. Odlévání této experimentální tavby probíhalo zpočátku bez problémů, nicméně po 11 minutách odlévání došlo k zarůstání výlevky a k významnému poklesu lici rychlosti. Doba odlévání ingotů byla tak delší, než je tomu při standardní výrobě.

Tab. 4 Normované složení oceli 42CrMo4 a tavební složení experimentální tavby

		C	Mn	Si	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	Al	Ce
norma	min. (hm. %)	0.38	0.60						0.90	0.15		
	max. (hm. %)	0.45	0.90	0.40	0.035	0.035			1.20	0.30		
	tavební (hm. %)	0.40	0.77	0.22	0.007	0.003	0.16	0.19	1.03	0.16	0.015	0.04

Jeden z těchto experimentálních ingotů byl překovaný do osazené tyče se třemi různými průměry. Výkovek byl podrobený standardnímu tepelnému zpracování, které je běžné u této oceli, tedy kalení následované popouštěním. Z výkovku byly odebrány vzorky pro hodnocení ze všech tří průměrů. V rámci hodnocení budou provedeny následující analýzy:

- Hodnocení makrostruktury - makrolept
- Hodnocení mikrostruktury
- Hodnocení mikročistoty + RTG analýza vměstků
- Základní mechanické zkoušky
- Únavové vlastnosti oceli

Výsledky těchto zkoušek budou porovnány s výsledky zkoušek dosahovaných při standardní výrobě výkovků z oceli 42CrMo4. Očekávaným výsledkem je dosažení jemnozrnnější struktury, rozptýlené velmi malé nekovové vměstky ceru (o velikosti cca 1-4 μm), zvýšení meze pevnosti a kluzu.

Druhý ingot byl řízeně vychlazen a následně byl podélně rozřezán. Na tomto podélném řezu ingotu byly provedeny chemické analýzy, a to z důvodu zjištění rozložení ceru po průřezu ingotu a také z důvodu ověření vlivu tohoto prvku na rozložení segregace vybraných prvků, zejména uhlíku a síry. Očekává se, že oxidy ceru budou působit jako krystalizační zárodky, které urychlí tuhnutí oceli v objemu ingotu, což může vést ke snížení rozsahu odmíšení jednotlivých prvků.

Pro tyto analýzy byly z ingotu odebrány vzorky ve formě třísek pomocí vrtání. Dále byly odebrány pevné vzorky o průměru 27 mm pomocí jádrových vývrtů. Z doposud provedených analýz obsahu ceru vyplývá jeho nerovnoměrné rozložení v průřezu ingotu a relativně nízké využití. Nejvyšší obsah ceru byl zjištěn v patní části ingotu a pohyboval se od 0,0194 hm. % (tj. 194 ppm) u stěny ingotu po 0,0170 hm. % (tj. 170 ppm) v ose ingotu. Obsah ceru postupně klesal směrem k hlavě ingotu a v podhlavové části byl obsah ceru již 0,0150 hm. % (tj. 150 ppm). Využití ceru se tak pohybovalo od 25 do 32,3 %.

5. ZÁVĚR

Byla provedena první série laboratorních experimentů a první provozní experiment s využitím kovů vzácných zemin, konkrétně ceru, za účelem dosažení jemnozrnnější struktury již v ocelovém ingotu. Na základě provedených analýz lze konstatovat, že přísada KVZ měla očekávaný pozitivní účinek. Při laboratorních experimentech bylo prokázáno zjemnění mikrostruktury po přisadě ceru. Tohoto zjemnění je dosaženo tím, že vzniklé oxidy ceru v oceli působí jako efektivní krystalizační zárodky. Na základě úspěšných výsledků byl navržen provozní experiment s legováním ceru do oceli. S ohledem na dosažené využití ceru bude nutno pokračovat ve vývoji technologie přidávání tohoto prvku do oceli. V rámci probíhajícího projektu budou dále dokončeny navrhované zkoušky a bude provedena verifikace dosažených výsledků i na jiných jakostech ocelí.

PODĚKOVÁNÍ

Práce vznikla za finanční podpory Technologické agentury České republiky v rámci řešení projektu číslo TA03010161.

LITERATURA

- [1] VAN DER EIJK C., GRONG O., HAAKONSEN F., KOLBEINSEN L., TRANELL G.: Progres in the Development and Use of Grain Refiner Based on Cerium Sulfide or Titanium Compound for Carbon Steel. *ISIJ International*, 2009, Vol. 49, No. 7, p. 1046-1050.
- [2] GRONG O., KOLBEINSEN L., EIJK C. TRANELL G.: Microstructure Control of Steels through Dispersoid Metallurgy Using Novel Grain Refining Alloys, *ISIJ International*, 2006, Vol. 45, No.6, p. 824-831.
- [3] KEPKA M.: Rafinace oceli. 1. vyd. Praha, SNTL, 1989. 211 s.
- [4] GUO M., SUJO H.: Influence of Dissolved Cerium and Primary Inclusion Particles of Ce_2O_3 and CeS on Solidification Behavior of Fe-0.20 mass % C - 0.20 mass % P Alloy. *ISIJ International*, 1999, Vol. 39, No. 7, p. 722 - 729.
- [5] APPELBERG J., NAKAJIMA K., SHIBATA H., TILLIANDER A., JÖNSSON P.: In situ of misch-metal particle behaviour on a molten stainless steel surface. *Materials Science and Engineering* , 2008, Vol. 495 A, p. 330-334.

HODNOCENÍ CHEMICKÉ HETEROGENITY A MIKROČISTOTY 90 TUNOVÉHO KOVÁŘSKÉHO INGOTU

Pavel MACHOVČÁK^a, Aleš OPLER^a, aZdeněk CARBOL^a, Antonín TREFIL^a, Karel MERTA^b,
Jakub ZAORAL^b, Karel MICHALEK^c, Markéta TKADLEČKOVÁ^c

^a VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY a.s., Ruská 2887/101, Vítkovice, 703 00 Ostrava, Česká republika, EU,
pavel.machovcak@vitkovice.cz

^b VÍTKOVICE TESTING CENTER s.r.o., Pohraniční 584/142, 709 00 Ostrava, Česká republika, EU,
karel.merta@vitkovice.cz

^c Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 17. Listopadu 15, 708 33, Ostrava, Česká republika,
EU, karel.michalek@vsb.cz

Abstrakt

Odlévání ingotů hraje stále významnou roli, i přes neustále rostoucí podíl oceli odlévané na zařízeních plynulého odlévání, a to zejména v případech strojírenské metalurgie. Těžké kovářské ingoty jsou ve strojírenské metalurgii využívány např. při výrobě klikových hřídelí pro lodní motory, kormidlových pňů, hřídelí pro větrné elektrárny, rotorů turbín pro elektrárny, velkých komponent pro jadernou energetiku. Výroba těžkých kovářských ingotů je však doprovázena obvykle segregací prvků ve struktuře oceli. Segregace prvků pak způsobuje nejednotné mechanické vlastnosti. Strojírenské díly ale musejí splňovat ta nejpřísnější kritéria, a proto musí být téměř bez vad. Z důvodu docílení co nejlepší kvality těžkých kovářských ingotů byl ve společnosti VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY a.s. a ve spolupráci s VŠB TU-Ostrava řešen výzkumný projekt, jehož cílem je zlepšení užitných vlastností speciálních strojních součástí. Z důvodu provedení detailní analýzy současného stavu byl v rámci projektu odlit experimentální ingot 8K91SF o hmotnosti 90 tun. Ingot byl následně rozřezán a byla vyhodnocena makrostruktura a detailně i chemická heterogenita ingotu po průřezu. Na vzorcích z ingotu bylo také provedeno hodnocení mikročistoty. Pro posouzení složení oxidických nekovových vměstků byly použity ternární diagramy. Získané poznatky byly využity i pro zpřesnění nastavení okrajových podmínek numerické simulace, které by měly přispět k optimalizaci výrobní technologie odlévání těžkých kovářských ingotů a minimalizaci rozsahu segregací v ingotech. V rámci projektu byl také navržen a analyzován nový typ 90 tunového ingotu. Také zde byla hodnocena zejména porozita a rozsah makrosegregací. Tento článek popisuje provedení provozních experimentů odlévání ingotů, jejich dělení, metodiku chemické analýzy a výsledky dosažené při uvedeném šetření.

Klíčová slova: těžký kovářský ingot, makrosegregace, mikročistota

1. ÚVOD

VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY a.s. (dále i VHM a.s.) je tradičním výrobcem velkých strojírenských součástí a celků. Pro tyto výkovky jsou zde využívány těžké kovářské ingoty o hmotnosti až 200 tun. Jedná se zejména o uhlíkové konstrukční oceli, nízko a středně legované oceli, ale také o nástrojové oceli. Požadavky zákazníků na vnitřní kvalitu a izotropii vlastností jsou stále přísnější. Nicméně i přes značné pokroky v technologii výroby ocelových ingotů se můžeme setkat s určitými defekty, které jsou způsobeny v důsledku nehomogenní struktury a projeví se během následujících procesů kování a tepelného zpracování. Řešení těchto jakostních nedostatků vyžaduje komplexní řešení skládající se z optimalizace procesu odlévání a tuhnutí ingotů, jakož i následného kování a tepelného zpracování. Jedním z možných způsobů, jak optimalizovat tuto velmi náročnou výrobu je využití numerického modelování, porovnání takto

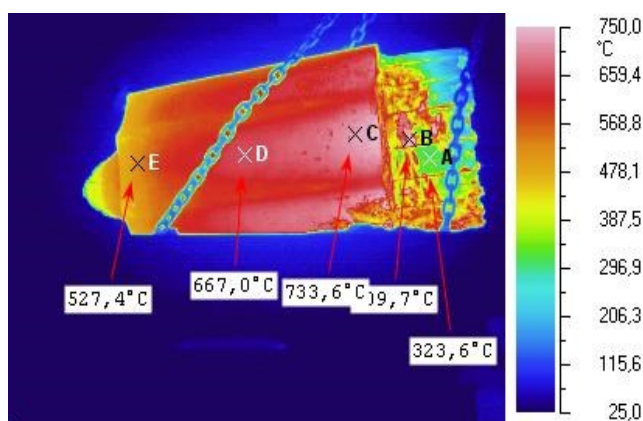
dosažených výsledků s provozními experimenty a jejich detailní vyhodnocení. Z těchto důvodů byl navržen a realizován výzkumný projekt, jehož cílem bylo zmapovat rozložení makro i mikro-segregací v těžkém kovářském ingotu, provést hodnocení porozity, mikročistoty a navrhnout nový tvar kokily tak, aby bylo dosaženo zlepšení vnitřní kvality těžkých kovářských ingotů. Nedílnou součástí řešení tohoto projektu bylo využití numerických simulací odlévání a tuhnutí ingotů. Tyto simulace byly prováděny v programu ProCAST. Pozornost byla věnována nastavení okrajových podmínek těchto simulací, verifikaci výsledků simulací s výsledky provozních experimentů, měření a analýz a návrhu nového typu kokily [1 - 6].

2. POPIS VÝROBY EXPERIMENTÁLNÍHO 90 TUNOVÉHO INGOTU A JEHO DĚLENÍ

Z důvodu zjištění rozsahu chemické heterogenity v kovářském ingotu po jeho utužení byl na ocelárně VHM a.s. odlitý experimentální ingot 8K91SF. Jedná se o 8 hraný kovářský ingot, který má tabulkovou hmotnost 87,5 tuny. Celý průběh výroby byl detailně sledován a monitorován. V podmínkách ocelárny VHM a.s. je ocel vyráběna na EOP s následným mimopecním zpracováním na LF a VD. Ingoty se zde odlévají výhradně spodem. Vzhledem k tonáži vítkovické EOP a kapacitě licích pánví je tento typ ingotu, tj. 8K91SF, sléváný ze dvou taveb. Pro experiment byla vybrána značka oceli S355J2G3, která je velmi často využívána pro různé konstrukční části. Pro snadné zjištění vzájemného promísení jednotlivých taveb v ingotu byly jednotlivé tavby křížově nalegovány niklem a mědí. To znamená, že v první tavbě byl cíleně zvýšený obsah Ni a obsah Cu byl dán pouze použitým šrotem a naopak v druhé tavbě byl záměrně zvýšený obsah Cu a obsah Ni byl dán použitým šrotem. Obsah ostatních prvků byl cílený na stejné hodnoty u obou vyráběných taveb. Chemické složení jednotlivých taveb a vážený průměr těchto taveb zohledňující různou hmotnost těchto taveb použitých pro výrobu experimentálního ingotu je uvedeno v **tab. 1**. Vlastní průběh odlévání a tuhnutí experimentálního ingotu byl sledován pomocí termokamery. Stripování ingotu proběhlo standardně za tepla, tj. po cca 20 hodinách od ukončení odlévání. Teplota povrchu ingotu byla od 530 °C (v patní části) po 730 °C (v podhlavové části ingotu), viz. **obr.1**. Po vystripování byl ingot žhán z důvodu minimalizace pnutí a tedy eliminace výskytu možných prasklin během jeho následného dělení.

Tab. 1 Chemické složení taveb použitých pro výrobu experimentálního ingotu a jejich vážený průměr

Tavba	hmotnost (t)	C	Mn	Si	P	S	Cr	Cu	Ni
52522	53,1	0,194	1,30	0,26	0,008	0,0008	0,11	0,13	0,51
52523	34,5	0,200	1,27	0,27	0,009	0,0010	0,14	0,46	0,12
vážený průměr	87,6	0,196	1,29	0,26	0,009	0,0009	0,12	0,26	0,36



Obr. 1 Experimentální ingot 8K91SF po vystripování z kokily a jeho snímek z termokamery

Pro získání podélného řezu experimentálního ingotu by nejelegantnější technologií byl řez na pásové pile. Pásové pily, které jsou k dispozici ve VHM a.s. jsou do maximální velikosti řezu 1700 mm (omezení průchodnosti mezi sloupy pily). Tato velikost je pro zvolený typ ingotu 8K91SF nedostačující i v případě příčných řezů. Z toho důvodu byla zvolena technologie čelního frézování na konvenční horizontální vyvrtávačce WD250. Uvedený stroj disponuje maximálními otáčkami do 630 min^{-1} a mohutným upínacím kuželem. Z důvodu urychlení odběru velkého množství přebytečného materiálu z povrchu ingotu byla pořízena čelní hrubovací fréza s výměnnými břitovými destičkami firmy Walter s označením F2260. Celkový čas strávený mechanickým opracováním dělicí roviny na požadovaný rozměr a jakost nepřesáhl 80 hodin. Požadovaná kvalita povrchu, na kterém byly prováděny analýzy, měla hodnotu do $Ra 3,2 \mu\text{m}$. Po provedení analýz na podélném řezu byly provedeny analýzy na dalších 5 příčných řezech experimentálního ingotu. Pro příčné řezy bylo využito pásové pily se speciálním pilovým pásem pod označením SineWave.

3. HODNOCENÍ HETEROGENITY EXPERIMENTÁLNÍHO INGOTU

Na podélném řezu experimentálního ingotu bylo provedeno hodnocení chemického složení po celém průřezu, Baumannův otisk a zkouška penetrace. Na příčných řezech bylo provedeno hodnocení makrostruktury pomocí leptů, dále hodnocení chemického složení po průřezu všech příčných řezů, zkouška penetrace a hodnocení mikročistoty.

3.1 Baumannův otisk a zkouška penetrace

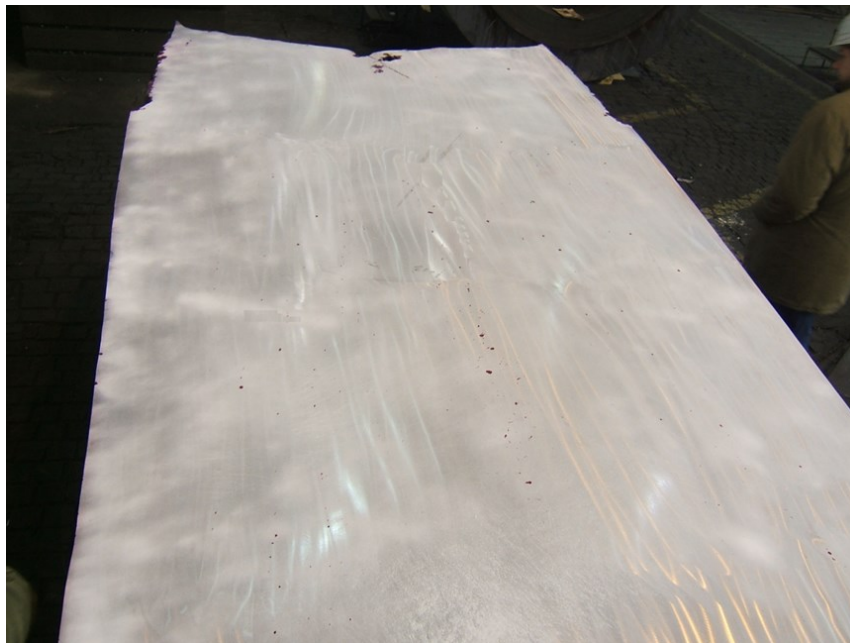
Baumannův otisk se používá ke zjištění makroskopického rozložení síry ve slitinách železa - oceli a litiny. Síra je ve slitinách Fe vyloučena zejména ve formě sulfidů FeS a MnS . Princip otisku je založen na reakci sulfidů s kyselinou sírovou, při které se uvolní sirovodík, který působí na povrch fotografického papíru a reaguje s bromidem stříbrným ve fotografickém papíru za vzniku velmi stabilního sulfidu stříbrného, který má hnědou barvu. Při tom probíhají následující chemické reakce:



Provedený Baumannův otisk vykazoval ojedinělé výraznější sulfidické vycezeniny o velikosti až 2 mm, které místy vytvářely shluky, případně byly usměrněny do řádků. Tyto výraznější vycezené řádky sulfidů se vyskytovaly zejména v oblasti hlavy ingotu a ve čtvrtině šířky ingotu, tj. v oblastech předpokládaných „A“ vycezenin. Ve spodní třetině výšky ingotu a mimo výše uvedené oblasti bylo rozložení sulfidických vycezenin velmi slabé a vcelku rovnoměrné.

Dále byla na podélném řezu provedena zkouška penetrace pro zjištění případných dutin na povrchu rozřezaného ingotu. Fyzikální princip této kapilární metody je založen na kapilární elevaci, tj. na povrchovém napětí kapaliny způsobeném kohezní silou u stěny nádoby. Trhlina, případně dutina, se v diagnostikovaném objektu v případě použití vhodné detekční kapaliny chová jako kapilára. Pokud má penetrant dobrou smáčivost a nízké povrchové napětí, pronikne po nanesení na povrch testovaného objektu do trhliny, dutiny. Penetrant, který vznikl a zůstal v dutinách, sacím účinkem vývojky zpětně vzlíná k povrchu prostřednictvím barviva, které penetrant obsahuje, a výsledně se indikují detekované vady.

Na experimentálním ingotu 8K91SF byla provedena zkouška penetrace na podélném řezu a dále na 5 příčných řezech. Snímek ze zkoušky penetrace na podélném řezu je zobrazen na **obr. 2**. Na podélném řezu ingotu byly zjištěny malé dutiny v horní polovině osy ingotu a v místech očekávaných „A“ segregací. Toto rozložení porozity bylo potvrzeno i na příčných řezech, kde největší rozsah porozity byl detekován na příčném řezu těsně pod hlavou ingotu, zatímco na příčném řezu ve spodní části ingotu nebyly zjištěny žádné defekty.



Obr. 2 Zkouška penetrace na podélném řezu experimentálního ingotu 8K91SF

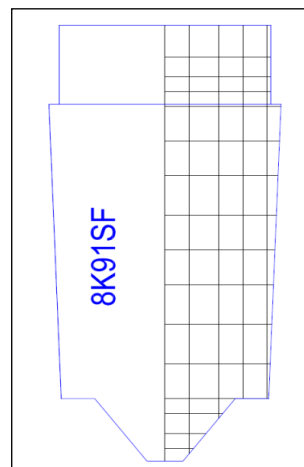
3.2 Stanovení chemické heterogenity

Chemické analýzy byly prováděny na polovině plochy rozřezaného ingotu, protože ingot lze považovat za rotační těleso a druhá polovina plochy je zrcadlovým obrazem první poloviny. Po výšce ingotu byly analýzy prováděny ve skutečné ose ingotu a dále pak ve čtyřech dalších přímkách, rovnoběžných s osou ingotu. Ty byly od osy ingotu vzdáleny o 200, 450, 650 a 850 mm. Celkem tedy v pěti svislicích od osy k povrchu ingotu. Po šířce ingotu byly jako určující zvoleny dvě kolmice k ose ingotu a to v místě rozhraní těla a paty ingotu a v místě rozhraní těla a hlavy ingotu. Mezi nimi pak v dalších sedmi kolmicích. Další tři kolmice na osu pak popisují patu ingotu a tři kolmice pak hlavu ingotu. Celkem byly analýzy provedeny na 15 kolmicích. K jednoznačnému popisu míst, ve kterých byly prováděny jednotlivé analýzy, byl zvolen souřadnicový systém, který má počáteční bod $x, y = 0,0$ v průsečíku osy ingotu a roviny dělicí tělo a patu ingotu. Místa odběrů vzorků jsou znázorněny na **obr. 3**.

Vzhledem k poměrně velkému počtu požadovaných analýz, výběru požadovaných prvků ke stanovení a jejich koncentračních úrovní bylo třeba věnovat pozornost volbě optimálního postupu analýz. Metoda používaná v hutní analytice standardně - analýza na laboratorních optických emisních spektrometrech (OES), která by vyhověla efektivitou i přesností - nebyla použitelná, protože vyžaduje vzorky o malých rozměrech (omezeno velikostí jiskřiště OES). Odebrat takové vzorky v požadovaném množství nebylo technicky realizovatelné. Pro stanovení obsahu Mn, Si, Cu a Ni byl použit mobilní optický spektrometr SPECTROTEST. Jeho jednoznačnou výhodou bylo to, že analýzy bylo možné provést přímo na ingotu bez odběru vzorku.

Vzhledem k nízkému obsahu síry bylo od samého začátku zřejmé, že neexistuje jiná alternativa, než analýza na laboratorním spalovacím analyzátoru, a to s co možná nejnížším limitem detekce a největší přesností. Pro tento způsob bylo ovšem potřeba odebrat vzorek ve formě třísek o hmotnosti 0,5 až 2,0 gramů. Proto byl povrch ingotu navrtán a byly odebrány třísky pro analýzy na automatickém analyzátoru LECO CS-600. Na tomto přístroji byla provedena kromě analýzy síry i analýza uhlíku. Obsah fosforu byl také stanoven na vzorcích z odebraných třísek. Analýza probíhala v laboratoři mokrou cestou, po rozpuštění vzorku. Pro tuto analýzu bylo ale zapotřebí větší množství třísek, min. 2 gramy. Pro všechny prvky a jednotlivé metody byla zajištěna správnost výsledků navázáním na kontrolní vzorek, který byl měřen pravidelně v průběhu analýzy ingotu za podmínek opakovatelnosti a reprodukovatelnosti.

Obr. 3 Schéma analyzovaných míst na experimentálním ingotu 8K91SF

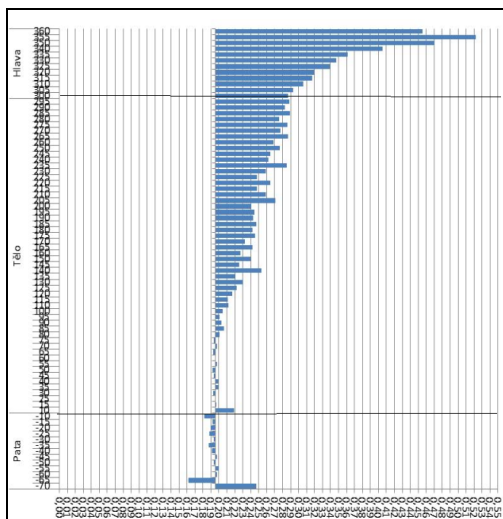


Jak bylo uvedeno výše, cílem stanovení chemické analýzy bylo zjistit vzájemné promísení dvou taveb použitých pro odlití ingotu 8K91SF a také rozsah odmíšení sledovaných prvků. Pro zjištění vzájemného promísení dvou taveb v ingotu byla provedena analýza Cu a Ni po průřezu. Z těchto analýz vyplývá, že již během odlévání první tavby dochází k natužení oceli u stěny kokily. Tloušťka vrstvy natužení se po výšce ingotu zmenšuje. Ve středu ingotu však dochází k velmi dobrému promísení obou taveb, o čemž svědčí rovnoměrný obsah Ni a Cu v této středové části ingotu.

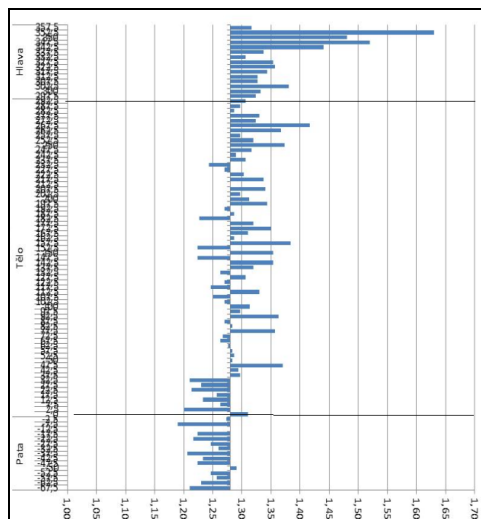
Hlavním cílem těchto prací bylo zjištění rozsahu segregací jednotlivých prvků po průřezu ingotu. Hodnocení bylo zaměřeno zejména na obsah C, Mn, S a P. Na **obr. 4 až 7** jsou znázorněny průběhy obsahu těchto prvků po výšce experimentálního ingotu v jeho ose. V případě obsahu C byly zjištěny pouze velmi minimální negativní segregace v patě ingotu. Zhruba od třetiny výšky těla ingotu dochází k nárůstu obsahu uhlíku. Na rozhraní těla ingotu a hlavy ingotu je v ose obsah uhlíku již 0,292 %, přičemž tavební obsah uhlíku činil 0,196 %. V hlavě ingotu se obsah uhlíku dále zvětšuje, až na hodnotu cca 0,52 %. Maximální koeficient segregace uhlíku v těle ingotu byl tedy 1,49. Směrem od osy ke stěně ingotu obsah uhlíku klesal, což bylo v souladu s teoretickými předpoklady.

Tavební obsah manganu, resp. vážený průměr obsahu manganu z obou taveb, byl 1,29 %. V patní části osy ingotu je zřejmá výrazně větší oblast negativní segregace manganu, než tomu bylo v případě obsahu uhlíku. Obsah manganu postupně roste se vzdáleností od paty ingotu směrem k hlavě ingotu. Na rozhraní těla ingotu a hlavy ingotu je obsah manganu 1,37 %. Nejvyšší obsah Mn zjištěný v těle ingotu byl zjištěn ve ¼ průměru, cca v polovině výšky těla ingotu a činil 1,40 %. Maximální koeficient segregace manganu zjištěný v těle ingotu byl tedy 1,09.

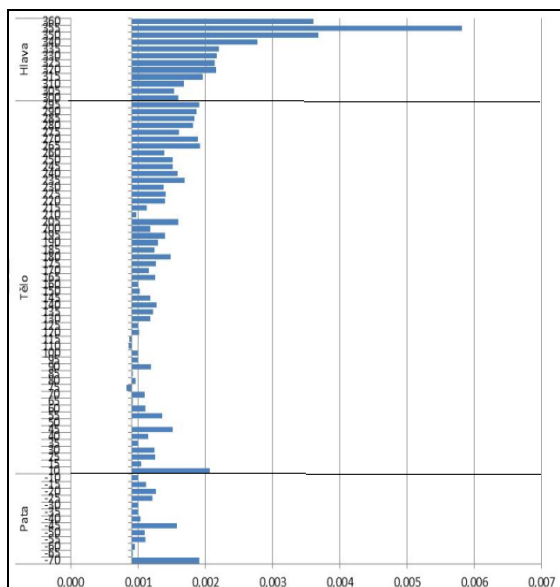
V případě síry a fosforu byly v ose těla ingotu zjištěny výhradně pozitivní segregace. Na rozhraní těla ingotu a hlavy ingotu v jeho ose byl zjištěný obsah síry 0,0019 %. Nejvyšší obsah síry byl zjištěn ve ¼ průměru ingotu, cca v polovině výšky ingotu, a to až 0,0023 %. S ohledem na tavební obsah síry 0,0009 % byl maximální koeficient segregace síry zjištěný v těle ingotu 2,55. Nejvyšší obsah fosforu zjištěný v těle ingotu byl v ose ingotu na rozhraní hlavy a těla ingotu a tento maximální obsah činil 0,013 %. Tavební obsah fosforu činil 0,009 %, takže maximální koeficient segregace fosforu zjištěný v těle ingotu byl 1,44 [7], [8].



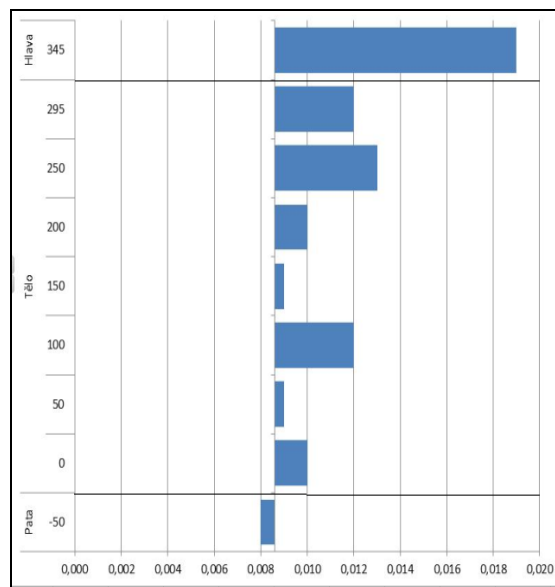
Obr. 4 Obsah uhlíku v ose ingotu



Obr. 5 Obsah manganu v ose ingotu



Obr. 6 Obsah síry v ose ingotu



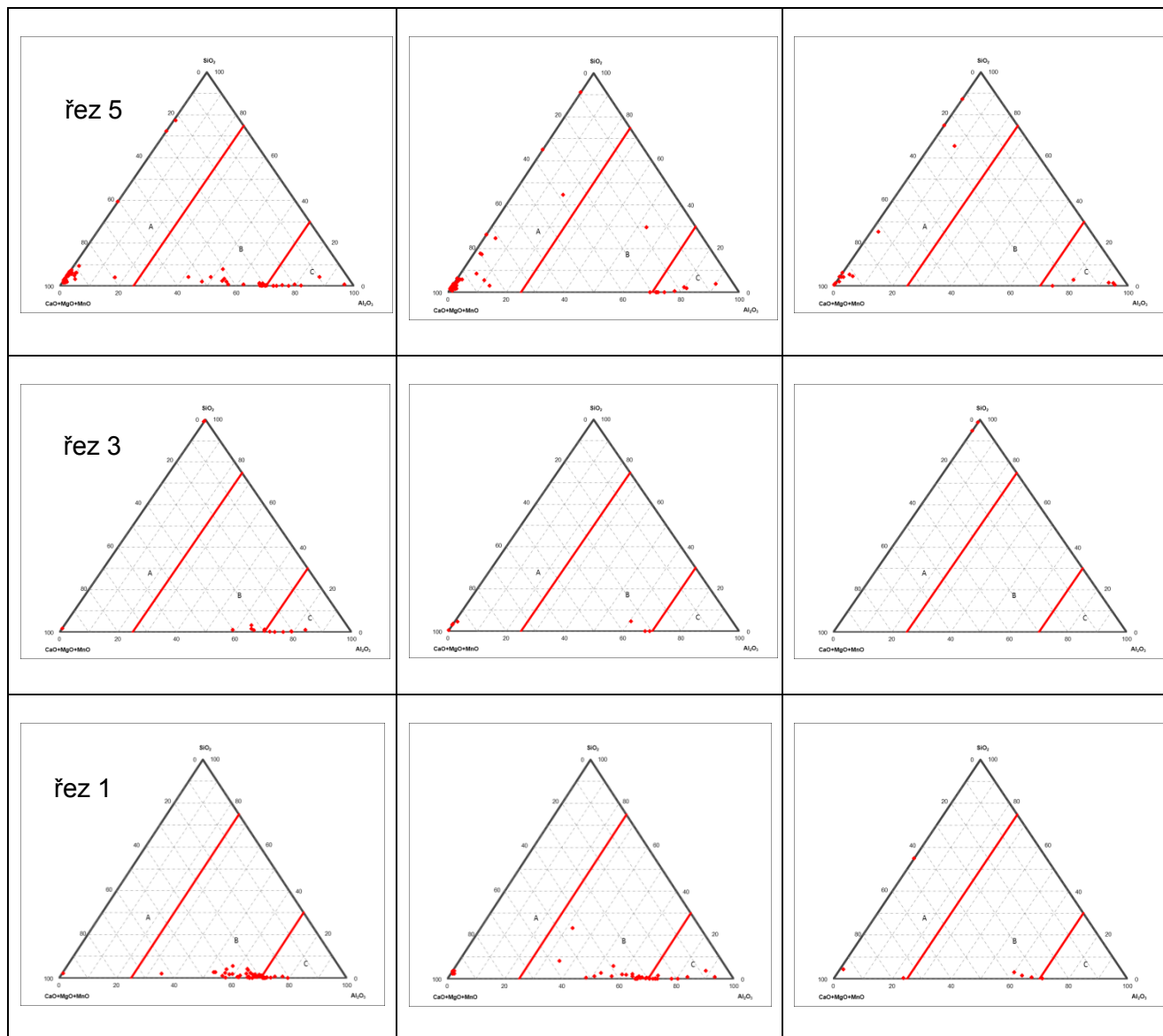
Obr. 7 Obsah fosforu v ose ingotu

3.3 Hodnocení mikročistoty

Hodnocení mikročistoty bylo provedeno na mikroanalytickém komplexu Hitachi, vybaveným energiově disperzním spektrometrem Vantage v TŽ, a.s. Na každém vzorku bylo hodnoceno 90 zorných polí při zvětšení 500x, což představuje sumární plochu hodnocení 5,625 mm². Byl vyhodnocen celkový počet vměstků, jejich hustota, rozdělení do distribučních skupin a plošný podíl vměstků (sumární plocha vměstků/celková hodnocená plocha vzorku*100). Vzhledem k možnosti rámcově vyhodnotit i chemické složení vměstků bylo provedeno i rozřídění oxidických vměstků do ternárních diagramů CaO+MgO+MnO–Al₂O₃–SiO₂. Oxidické vměstky byly dále v rámci uvedeného ternárního diagramu tříděny do oblasti A, B, C, kde oblast A je ohraničena obsahem Al₂O₃ do 30%, do oblasti B pak spadají vměstky s obsahem 30 až 70% Al₂O₃ a do oblasti C pak vměstky s obsahem Al₂O₃ vyšším než 70%. Toto rozřídění je shodné s hodnocením mikročistoty uhlíkových ocelí dle normy Pirelli, metodou HW. U sulfidických vměstků, vzhledem k jejich komplexnímu složení, bylo pak využito ternárních diagramů CaO+MgO+MnO+ Al₂O₃–SiO₂–MnS [9].

K tomuto hodnocení mikročistoty je nutno konstatovat, že se téměř všechny vzorky vyznačovaly velmi dobrou mikročistotou, naměřené plošné podíly oxidických vměstků jen výjimečně překračovaly hodnotu 0,015%, u sulfidických pak hodnotu 0,010% a to zejména ve středových oblastech ingotu. Svědčí to mj. o zvládnuté technologii výroby a odlévání oceli a příznivých podmínkách pro separaci vměstků během vlastního tuhnutí. Je proto obtížné nalézt nějaké výraznější souvislosti mezi mikročistotou a např. chemickým složením oceli či dalšími parametry.

Pro posouzení složení oxidických nekovových vměstků bylo využito dříve zmiňovaných ternárních diagramů CaO+MgO+MnO–Al₂O₃–SiO₂, u sulfidických vměstků, vzhledem k jejich komplexnímu složení bylo pak využito ternárních diagramů CaO+MgO+MnO+ Al₂O₃–SiO₂–MnS. Ukázka ternárních diagramů složení oxidických vměstků ve „středových“ vzorcích označených 3, 8 a 13 z řezů 1, 3, a 5 je uvedena na **obr. 8**. Obdobný charakter těchto diagramů byl získán i u vzorků z dalších řezů.



Obr. 8 Ternární diagramy složení oxidických vměstků ve „středových“ vzorcích 3, 8 a 13 z řezů 1, 3, a 5

Na základě analýz všech ternárních diagramů lze získané poznatky shrnout následovně:

- ve vzorcích se vyskytují komplexní oxidické vměstky na bázi oxidů Ca, Mg a Al
- v podhlavové části ingotu byly pak zjištěny heterogenní vměstky s vyšším podílem CaO
- z hlediska dosahované mikročistoty lze rovněž konstatovat určité rozdíly po průřezu ingotu a zvýšený výskyt sulfidů v podhlavové centrální části. Obecně je však mikročistota celého ingotu velmi dobrá s nízkými plošnými podíly nekovových vměstků.

4. NÁVRH A HODNOCENÍ NOVÉHO TYPU 90 TUNOVÉHO INGOTU

Výsledky výše uvedeného šetření sloužily mimo jiné i pro verifikaci numerických simulací a nastavení okrajových parametrů těchto simulací. V průběhu řešení výzkumného projektu byla provedena řada dílčích numerických simulací, při kterých se ověřovaly zejména vlivy následujících parametrů na velikost středové porozity a rozložení segregací:

- Úkos stěny ingotu

- Poměr výšky ingotu k jeho střednímu průměru
- Počet hran kovářského ingotu (8, 16, 24)
- Volba materiálu kokily
- Síla stěny kokily

Na základě provedeného detailního šetření a na základě provedených numerických simulací byl navržen nový typ 90 tunového ingotu. U tohoto nového typu ingotu byl významně snížen poměr H/D, tedy poměr výšky ingotu k jeho střednímu průměru, dále byl zvýšený úkos stěny ingotu a zvýšený počet hran z 8 na 16. Uvedené změny byly navrženy zejména s cílem snížení středové porozity a omezení výskytu „A“ segregací. Tyto stvolové vycezeniny způsobují více problémů při finální ultrazvukové kontrole výkovků, než středové vycezeniny. Projevují se výrazně zejména u plošných výkovků typu kladky, nebo desky, kdy je zjištěna oblast nevyhovujících vad nacházející se v mezikruží výkovku, zatímco ve středu výkovku se vady nevyskytují.

Také v tomto případě byl odlit experimentální ingot ze stejné oceli, který byl obdobně vyhodnocen. Opět byla použita ocel S355J2G3 s cíleným zvýšeným obsahem niklu v první tavbě a zvýšeným obsahem mědi v tavbě druhé. Experimentální ingot, tentokrát již 16K91SF, byl stejným způsobem podélně rozdělen a analyzován. Provedená zkouška penetrace potvrdila menší výskyt středové porozity. Výrazně jiné bylo také rozložení makrosegregace v novém typu ingotu. Jak bylo očekáváno, vzhledem k většímu průměru nového typu ingotu byl vyšší obsah uhlíku a síry v ose tohoto ingotu. Maximální koeficient segregace C u nového typu ingotu 16K91SF v ose ingotu činil 1,55, zatímco u původního typu ingotu byl v ose ingotu maximální koeficient segregace 1,49, viz. **tab. 2**. Obdobně je tomu v případě síry. U nového typu ingotu byl maximální koeficient segregace síry v ose ingotu 2,86, zatímco v případě původního ingotu byl tento maximální koeficient segregace v případě síry 2,11. Nicméně na druhou stranu bylo dosaženo výrazně nižší odmišení sledovaných prvků v 1/4 průměru ingotu, tzn. v oblasti očekávaného výskytu „A“ segregací. V této oblasti byl u nového typu ingotu maximální koeficient segregace uhlíku 1,08, zatímco v případě původního ingotu byl tento maximální koeficient segregace uhlíku 1,28. V případě síry byl u nového ingotu ve 1/4 jeho průměru max. koeficient segregace 1,71, zatímco u původního ingotu činil 2,56. Obdobně nižší byl také maximální koeficient segregace manganu u tohoto nového ingotu.

Tab. 2 Porovnání koeficientů segregace vybraných prvků u původního a nového typu 90 tunového ingotu

	8K91SF (původní ingot)			8K91SF (nový ingot)		
	koeficient segregace			koeficient segregace		
	tavební	osa	1/4 průměru	tavební	osa	1/4 průměru
C	0.196	1.49	1.28	0.213	1.55	1.08
Mn	1.28	1.07	1.08	1.27	1.05	1.02
S	0.0009	2.11	2.56	0.0014	2.86	1.71

Kromě tohoto nového typu 90 tunového ingotu byly také navrženy a do praxe zavedeny další nové typy těžkých kovářských ingotů o hmotnosti 50 a 150 tun. Také tyto ingoty jsou charakteristické větším úkosem stěny ingotu, nižším poměrem H/D a větším počtem hran. Tyto nové ingoty byly postupně používány i při běžných zakázkách, kde hlavním parametrem hodnocení vlivu těchto změn tvaru ingotu na kvalitu výkovků je zkouška ultrazvukem. Vzhledem k tomu, že se tyto ingoty používají pro různé zakázky s různým stupněm požadavku na zkoušku ultrazvukem, lze vyhodnotit úspěšnost této změny tvaru ingotu pouze mírou nejakostní výroby. Na základě dosavadních zkušeností lze konstatovat, že bylo dosaženo snížení míry nejakostních výrobků na základě změny tvaru ingotu.

ZÁVĚR

V rámci této práce byla provedena detailní analýza heterogenity 90 tunového ingotu vyrobeného na ocelárně VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY a.s. Byla detailně zmapována chemická heterogenita, tzn. rozložení makrosegregace v experimentálním ingotu a vzájemné promísení dvou taveb v ingotu. Dále byla vyhodnocena porozita ingotu a s využitím Baumannova otisku i makroskopické rozložení síry. Výsledky tohoto experimentu byly využity také pro zlepšení přesnosti numerických simulací odlévání a tuhnutí těžkých kovářských ingotů. S jejich využitím pak byly navrženy nové typy těžkých kovářských ingotů, které jsou charakteristické zejména zvětšeným úkosem stěny ingotu, sníženým poměrem výšky ingotu k jeho střednímu průměru a zvýšeným počtem hran. Optimalizována byla také síla stěny kokily pro dosažení lepšího usměrněného tuhnutí. Tyto nové typy ingotů byly zavedeny do praxe. Na základě provedené analýzy i na základě snížení podílu nejakostní výroby na výkovicích z těchto nových typů ingotů lze konstatovat, že bylo dosaženo zvýšení vnitřní kvality těžkých kovářských ingotů.

PODĚKOVÁNÍ

Práce vznikla za finanční podpory Ministerstva průmyslu a obchodu České republiky v rámci řešení projektu číslo TIP FR-TI3/243.

LITERATURA

- [1] TKADLEČKOVÁ M., GRYC K., MICHALEK K., KLUS P., SOCHA L., MACHOVČÁK P., KOVÁČ M. Verifikace okrajových podmínek na velikost objemových vad. In Sborník z konference XXI. *International Scientific Conference Iron and Steelmaking*. 2011, s. 5, ISBN 978-80-248-2484-0
- [2] TKADLECKOVA M., GRYC K., KLUS P., MACHOVCAK P., MICHALEK K., SOCHA L., KOVAC M. Setting of Numerical Simulation of Filling and Solidification of Heavy Steel Ingot based on Real Casting Conditions. In *19th Conference on Material and Technology*. 22th-23th November 2011. Portorož, Slovenia, pp 4, ISBN 978-961-92518-4-3
- [3] TKADLECKOVA M., MACHOVCAK P., GRYC K., KLUS P., MICHALEK K., SOCHA L., KOVAC M. Setting of Numerical Simulation of Filling and Solidification of Heavy Steel Ingot based on Real Casting Conditions. *MATERIALI IN TEHNOLOGIJE*, 2012, vol. 46 no.3, Slovinsko, p. 7 -10, ISSN 1580-2949
- [4] MACHOVCAK P., OPLER A., TKADLECKOVA M., MICHALEK K., GRYC K., KRUTIS V., KOVAC M.: The utilization of numerical modeling to optimize the production of heavy forging ingots in VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY a.s. In *1st International Conference on Ingot Casting, Rolling and Forging*, ICRF 2012, 3.-7. June, Germany [CD ROM], Aachen. TEMA Technologie Marketing AG.
- [5] TKADLEČKOVÁ, M.; GRYC, K.; MICHALEK, K.; KLUS, P.; SOCHA, L.; MACHOVČÁK, P.; KOVÁČ, M. Verifikace vlivu okrajových parametrů lití ocelových ingotů na velikost objemových vad. *Hutnické listy*, 2012, ročník LXV, číslo 2, s. 3-7. © OCELOT, s.r.o., ISSN 0018-8069
- [6] TKADLEČKOVÁ, M., MACHOVČÁK, P., GRYC, K., MICHALEK, K., SOCHA, L., KLUS, P.: Numerical modelling of macrosegregation in heavy steel ingot. *Archives of Metallurgy and Materials*, 2013, roč. 58, č.1, s. 171-177. DOI: 10.2478/v10172-012-0069-5
- [7] MACHOVČÁK P., OPLER A., CARBOL Z., TREFIL A., MERTA K., ZAORAL J., TKADLEČKOVÁ M., MICHALEK K.: Evaluation of Chemical Heterogeneity of a 90-ton Forging Ingot. In 21st International Conference on Metallurgy and Materials METAL 2012. May 23rd-25th, Brno, Czech Republic, EU. TANGER s.r.o. Ostrava. p.30. ISBN 978-80-87294-29-1
- [8] MACHOVCAK P., OPLER A., CARBOL Z., TREFIL A., MERTA K., ZAORAL J., TKADLECKOVA M., MICHALEK K.: Evaluation of chemical heterogeneity of a 90-ton forging ingot. *Archives of Materials Science and Engineering*, 2012, Volume 58, Issue 1, s. 22-27, ISSN 1897-2764
- [9] MICHALEK, K., TKADLEČKOVÁ, M., GRYC, K., MACHOVČÁK, P.: Evaluation of the Chemical Composition and Microcleanliness of the Steel Samples from the Heavy Forging Ingot. *Archives of metallurgy and materials* 2013, vol. 58, Issue 4, s. 1161-1167. ISSN 1733-3490. DOI: 10.2478/amm-2013-0142

OVĚŘENÍ ODLÉVÁNÍ BRAM S VYUŽITÍM TVAROVĚ UPRAVENÝCH ÚZKÝCH DESEK KRYSTALIZÁTORU

Ladislav VÁLEK, Aleš MAREK, Robert MOKROŠ, Libor WITALA

ArcelorMittal Ostrava a.s., Vratimovská 689, 707 02 Ostrava, Česká Republika, EU,
ladislav.valek@arcelormittal.com, ales.marek@arcelormittal.com, robert.mokros@arcelormittal.com,
libor.witala@arcelormittal.com

Abstrakt

Problematika návrhu a ověření odlévání bram s využitím tvarově upravených úzkých desek krystalizátoru byla řešena v ArcelorMittal Ostrava a.s. Jednalo se řešení dílčí části grantového projektu programu TIP Ministerstva průmyslu a obchodu České Republiky, ev. č. FR-TI1/319 „Vývoj nových progresivních nástrojů a systémů podpory řízení spolehlivostí primárního chlazení na bramovém zařízení plynulého odlévání oceli pro zvyšování kvality náročných plochých výrobků“. Předmětem dílčí části řešení byla výroba bram s nižším rizikem vzniku příčných rohových trhlin. Ve spolupráci s externími dodavateli byly navrženy a ověřeny dva typy tvarově upravených úzkých desek krystalizátoru. Byla realizována výroba bram, které neměly standardní tvar na hranách. Výsledky řešení jsou předmětem článku.

Klíčová slova: ocel, brama, krystalizátor, deska, kvalita

1. ÚVOD

Grantový projekt Ministerstva průmyslu a obchodu České Republiky, v rámci programu TIP, pod ev. č. FR-TI1/319 „Vývoj nových progresivních nástrojů a systémů podpory řízení spolehlivostí primárního chlazení na bramovém zařízení plynulého odlévání oceli pro zvyšování kvality náročných plochých výrobků“ byl řešen v ArcelorMittal Ostrava a.s. Spoluřešitelem projektu byla VŠB-TU Ostrava, FMFI, katedra automatizace a počítačové techniky v metalurgii. Projekt byl úspěšně dokončen v závěru roku 2013.

Projekt spočíval v řešení 6. dílčích částí. Nejprve byla věnována pozornost životnosti desek krystalizátorů, poté diagnostickým systémům v oblasti primárního chlazení, následně monitorování pohybu desek krystalizátorů, včetně návrhu a ověřování bezdrátových technologií. V posledních etapách se projekt zabýval kvalitou výrobků (plynule litéch bram, pásu válcovaného za tepla), a to rovněž při použití tvarově upravených desek krystalizátorů.

Výsledky řešení týkající se identifikace provozně technických parametrů (majících vliv na životnost desek a kvalitu bram) a diagnostických systémů byly již částečně publikovány [1]. Rovněž byly zveřejněny dílčí výsledky z ověřování opotřebení povrchu desek krystalizátoru [2]. V rámci této problematiky byl rovněž řešen katalog vad krystalizátorových desek a metodika hodnocení jejich kvality. Zde byla vypracována spoluřešitelem grantového projektu (VŠB-TU Ostrava) metoda ověřování kvality úzkých desek krystalizátoru, po jejich demontování z krystalizátoru, a to pomocí laserového snímání povrchu. Řešitelem projektu byla ve spolupráci s firmou DASFOS CZr, s.r.o. navržena nová metoda měření dutiny bramového krystalizátoru [2]. Za tímto účelem byly provedeny nutné úpravy měřicího přístroje, který byl dříve vyvinut v ArcelorMittal Ostrava a.s. Tento přístroj byl ověřován pro měření tloušťky pokovení desek krystalizátoru (ultrazvukový systém měření). Specialisté firmy DASFOS CZr, s.r.o. vybavili zařízení potřebnou snímací laserovou technikou a vyhodnocovacím softwarem.

2. TVAROVĚ UPRAVENÉ DESKY BRAMOVÝCH KRYSTALIZÁTORŮ

2.1 Bramové ZPO

Základní parametry bramového ZPO (zařízení plynulého odlévání) jsou uvedeny v **tabulce 1**. Bramové ZPO bylo instalováno jako jednoproudé s možností instalace druhého liciho proudu. Hmotnost taveb činí 200 tun. ZPO bylo spuštěno do provozu v 12/1997 s roční kapacitou cca 1,0 mil. tun. V 12/2003 byla provedena modernizace ZPO, díky které se roční kapacita zvýšila na cca 1,2 mil. tun. Poslední větší modernizace byla provedena v 01/2008. Cílem bylo zvýšit kvalitu bram a kapacitu ZPO na cca 1,5 mil. t/rok.

Tab. 1 Základní parametry bramového ZPO v ArcelorMittal Ostrava a.s.

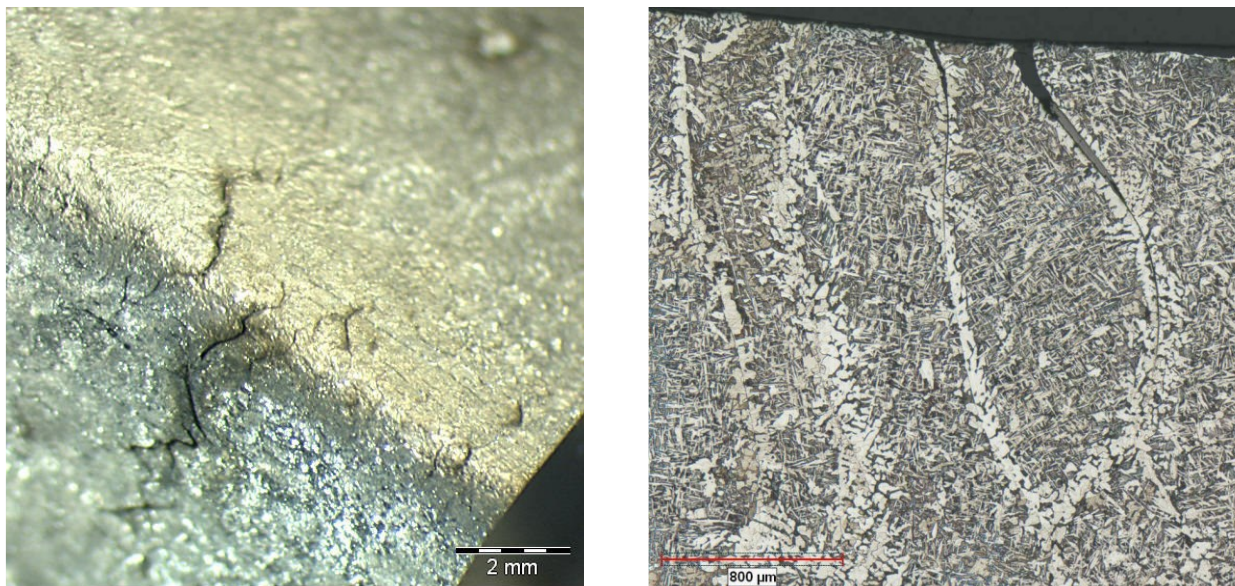
n_{licích proudů} / m_{tavby}	1 (2 - příprava) / 205 t (2003)
r_{oblouku} / l_{met.} / v_{max.}	5 m / cca. 24 m / 2,75 m/min
brama / t_{na výstupu}	150 × 740 ÷ 1575 × 6000 ÷ 18000 mm / cca. 1000°C
stojan mezipánve	dva vozy, vážící zařízení, ponorná výlevka s regulací ponoru, možnost letmé výměny mezipánve
mezipánev	max. objem oceli 28 t (teor.), hloubka 1 m, plynulé měření teploty, zátková tyč s automatickým řízením hladiny oceli v krystalizátoru, výměna ponorné výlevky během odlévání
krystalizátor	rovný, 900 mm, predikce průvalu (termočlánky; výpočet odvodu tepla), EMBR, rychlá změna šířky pomocí 4 el. pohonů na zvedacím stole, servo-hydraulické řízení oscilace
oblouk	krystalizátor s patními válečky, ohýbací segment, tři obloukové segmenty, dva rovnací segmenty, pět horizontálních segmentů s možností instalace šestého, vodo-vzdušné trysky (kromě chlazení patních válečků), metalurgické chlazení o 6. zónách, horizontální segmenty pouze s chlazením válečků, křížové ostříky mohou být použity na spodní válečky (od rovnacích segmentů)

Primárního chlazení lze rozdělit takto:

- deskový krystalizátor o délce 900 mm;
- chladicí vodní systém krystalizátoru;
- 3 řady patních válečků pro zajištění optimálního vedení liciho proudu. Válečky jsou umístěny pod krystalizátorem a tvoří jednu součást s deskami krystalizátoru. Mezi válečky jsou instalovány vodní trysky;
- hydraulický oscilátor krystalizátoru s oscilačním stolem, oscilačním vedením a hydraulickým pohonem pro přímočaré zdvihy. Zdvih krystalizátoru závisí na lici rychlosti a činí 0 až 12 mm. Frekvence krystalizátoru závisí na lici rychlosti a činí 0 až 170 cpm (počet cyklů za minutu);
- krystalizátor je vybaven rychlou změnou šířky (4 el. pohony) pro změnu šířky během odlévání, a to až do rychlosti 2,5 m/min. Lze provádět změny šířky až do 30 cm na cca 10 metrové bramě;
- systém řízení hladiny krystalizátoru (na principu elektromagnetickém);
- predikce průvalu. Byl instalován systémem Argus I a II. Systém Argus I pracuje na principu měření teplot pomocí termočlánků zabudovaných v deskách krystalizátoru. Systém Argus II pracuje s hodnotami vypočtených odvodů tepla z desek krystalizátoru;
- EMBR. Na ZPO je k dispozici elektromagnetická brzda (není stabilně využívána).

2.2 Důvod zavádění tvarově upravených desek krystalizátorů

Přibližně v roce 2001 byly na bramovém ZPO č. 2 poprvé řešeny kvalitativní problémy související s výskytem trhlin na hranách bram. Vzhled příčné rohové trhliny a mikrostruktura v okolí trhliny je uvedena na obrázku 1.



Obr. 1 Vzhled trhliny na hraně bramy (obrázek vlevo) a vzhled mikrostruktury v okolí trhliny po leptání Nitemem (obrázek vpravo).

Výskyt trhlin byl potvrzen poté, co byly analyzovány podélné povrchové vady na okraji pásu válcovaného za tepla. Tyto vady se na páse vyskytovaly do přibližně 3 cm od okraje pásu. Výskyt rohových trhlin na bramách byl potvrzen až po zajištění opalování hran plamenem - skarfování. Výskyt vad byl zejména u mikrolegovaných (X60M PSL 2 dle API spec 5L 44. vydání: 2007) a středněuhlíkových ocelí typu (S355J2+N dle EN 10025-2: 2004). V rámci problematiky daného typu vad bylo zahájeno řešení několika dílčích úloh, a to od úpravy chemického složení oceli, vlivu podmínek odlévání, až po ohřev a válcování bram. Rovněž byla řešena metodika identifikace vad jak na bramách, tak i na pásu válcovaném za tepla. Dále bylo řešeno odstraňování trhlin na hranách bram opalováním, případně řezáním a zabrušováním hran bram [3]. V roce 2003 byla poprvé navržena úprava úzkých desek krystalizátoru. Úzké desky byly po šířce 86 mm tvarově upravené. Tento návrh v ArcelorMittal Ostrava a.s. nebyl v daném období přijat a byla zakoupena jedna sada úzkých desek typu Diaface, a to na základě zkoušek provedených při uvedení ZPO č. 2 do provozu. Zkoušky se zakoupenými deskami však nebylo možno dokončit, a to z důvodu změny tloušťky bram ze 125 na 150 mm, která byla v daném období velmi rychle iniciováno z pohledu zvyšování výkonu ZPO č. 2.

Úvahy o obnovení ověření úzkých desek s upravenými hranami byly obnoveny v roce 2010, a to při zahájení řešení grantového projektu citovaného v úvodu příspěvku. Byl poptán výrobce desek fa KME Germany AG. Tyto desky nazývané „chamfered plates“ (zkosené desky) byly v ArcelorMittal Ostrava a.s. poprvé ověřeny v roce 2011. Na základě výsledků zkoušky byl řešitelem projektu proveden návrh na úpravu použitých úzkých desek. Tento návrh byl konzultován se specialisty KME Germany AG a vlastní úprava byla upravena fa Galvanic Service, s.r.o.

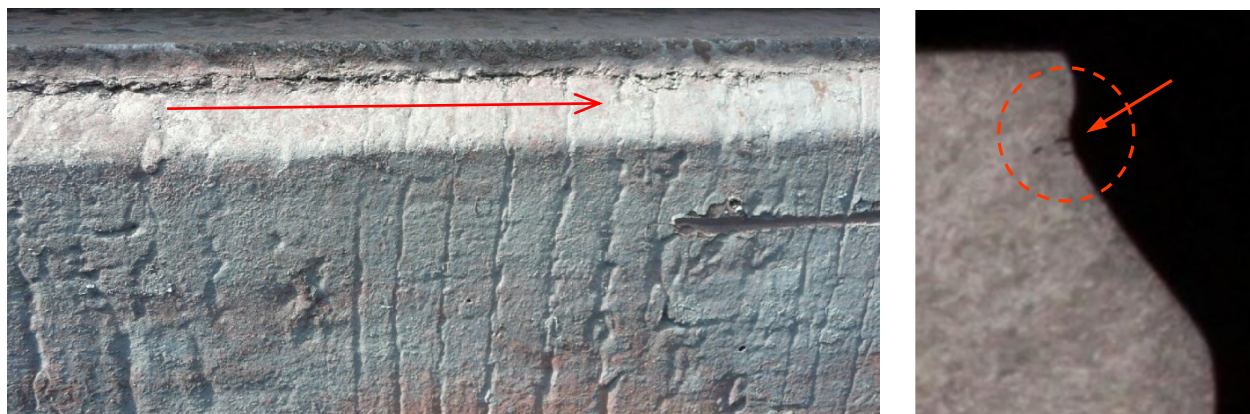
2.3 První návrh tvarově upravených úzkých desek krystalizátoru

V průběhu března až května 2010 byl intenzivně diskutován tvar úzkých desek krystalizátoru pro první zkoušku, a to mezi specialisty KME Germany AG a ArcelorMittal Ostrava a.s. Kromě vlastního tvaru desku byla diskutována rovněž minimální tloušťka desky nad vodním chladícím kanálkem a umístění přídavného

chladicího kanálku. Za tímto účelem byly rovněž provedeny na pracovišti KME Germany AG numerické simulace, které umožnily stanovit teploty povrchu desek. Maximální teplota povrchu tvarově upravených desek činila 286°C. U běžných desek krystalizátoru byla tato teplota nižší, a to 270°C. Nepatrně vyšší teploty byly přesto označeny za vyhovující pro provedení zkoušky.

Provozní zkouška byla provedena na ZPO č. 2 v ArcelorMittal Ostrava a.s. v březnu 2011 při odlévání nízkouhlíkové jakosti oceli s obsahem křemíku do 0,030 %hm. Šířka bramy činila 1545 mm. Průměrná lící rychlost činila 1,6 m/min. Tavba byla odlita bez průvalu, odlévatelnost byla dobrá, během odlévání se vyskytl jemný rozkmit hladiny oceli v krystalizátoru. Tento rozkmit oceli nebyl typickým tzv. bulgingem (rozkmit oceli díky peritektické reakci při tuhnutí oceli). Hrany bram se jeví v oblasti terciárního chlazení dobře prohřáté, lépe než bramy s klasickým tvarem hran bram.

Plynule lité bramy nebyly při zkoušce vsazeny přímo do ohřívací pece, ale byly složeny ve skladě bram k jejich prohlídce. Po vychladnutí bram byly u některých bram zjištěny podélné trhliny v místě úpravy hrany bramy - viz **obrázek 2**.



Obr. 2 Vzhled povrchu bramy s výskytem podélné trhliny (vlevo) a zachycení bramy v příčném řezu (vpravo)

Bylo zjištěno, že první dvě odlité bramy v pořadí měly lepší kvalitu, což bylo zdůvodněno nižší lící rychlostí, nižší teplotou (na začátku lití) a stabilní hladinou oceli v krystalizátoru. Výskyt trhlin byl zachycen pouze na pravé straně ve směru odlévání. Na základě výsledků provozní zkoušky byl proveden řešitelem grantového projektu návrh úpravy použitých úzkých desek krystalizátoru.

2.4 Ověření upravených úzkých desek krystalizátoru

Po diskusích s výrobcem úzkých desek a vyjasnění navržené úpravy spočívající ve zjednodušení tvaru desek bylo zahájeno jednání s fa Galvanic Service, s.r.o., který byl v dané době standardním zhotovitelem repasovaných desek. Se specialisty firmy byl diskutován a vyjasněn tvar desek, postup odstranění pokovení a zhotovení nového typu pokovení (tloušťka a typ pokovení). Vzhledem povrchu desky je uveden na **obrázku 3**. Desky byly zabudovány do vybraného krystalizátoru a byla připravena druhá zkouška. Úprava technologických parametrů odlévání, jako např. nastavení úkosu, bylo provedeno řešiteli projektu v ArcelorMittal Ostrava a.s. Rovněž bylo nutno provést nezbytné úpravy startovací hlavy, včetně najíždění hlavy do krystalizátoru a tzv. pakování hlavy (těsnění a umístění chladítek).



Obr. 3 Pohled na pracovní povrch tvarově upravené desky krystalizátoru (nahore) a pohled na zabudovanou desku v krystalizátoru (vpravo)

Provozní zkouška byla provedena v únoru 2013 u stejného typu jakosti oceli. Šířka bram činila 1269 mm, tedy byly odlity užší bramy. Průměrná rychlost odlévání činila 1,8 m/min, což byla nepatrně nižší lící rychlost dle doporučené lící rychlosti, a to z důvodu předešlých zkušeností s výskytem podélných trhlin na hranách bram. Tavba byla odlita rovněž bez průvalu. Odlévatelnost byla v pořádku. Pomocí ručního pyrometru byla změřena maximální teplota na hraně bramy 735 °C. Nejvyšší teplota na široké straně bramy činila 845 °C. Měření bylo provedeno na začátku odlévání, a to cca 1 m od konce sekundárního chlazení. Během odlévání se tyto teploty zvýšily na 780 °C (hrana) a 890 °C.

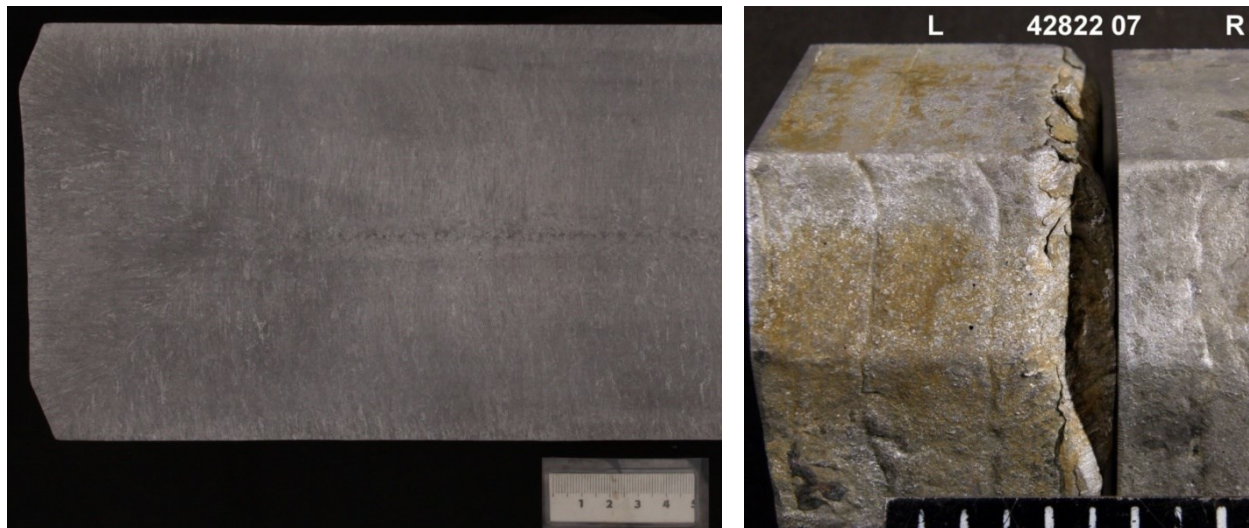
Celkem bylo odlito 8 bram. Byly odebrány vzorky (příčné řezy) z druhé a předposlední bramy. Vzhled odlitých bram po odlití je patrný z **obrázku 4**.



Obr. 4 Vzhled odlitých bram s využitím optimalizovaných tvarově upravených úzkých desek krystalizátoru

Na základě výsledků zavedené metodiky hodnocení kvality vzorků bram (vizuální inspekce po leptání vzorku) bylo konstatováno, že vzorky na levé straně neobsahují žádné trhliny ani jiné defekty. Na pravé straně rovněž nebyl zaznamenán výskyt trhlin. U vzorku sedmé bramy byl zjištěn výskyt mělkého

povrchového vborcení, a to asi 2,5 cm od hrany bramy. Toto bylo vysvětleno ukončováním odlévání, kdy byla snížena lící rychlost. Vzhled vzorku v příčném řezu a vzhled hran po moření je uveden na **obrázku 5**.

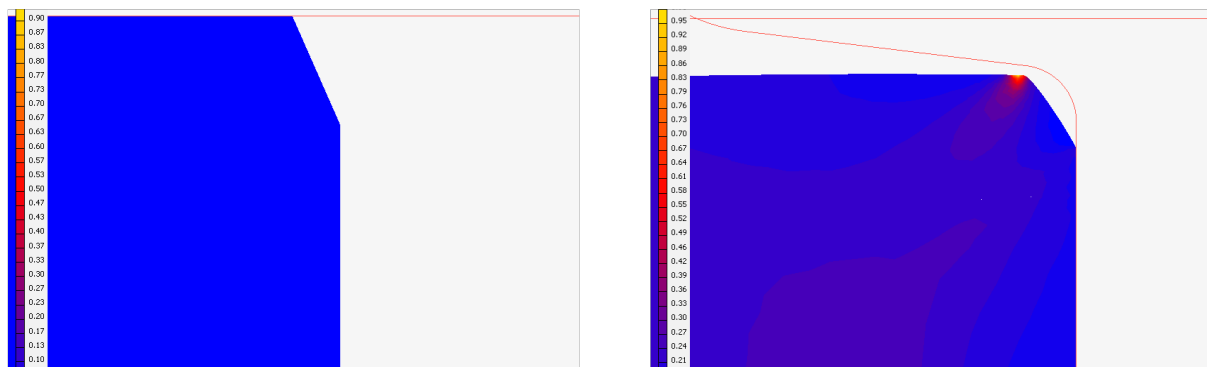


Obr. 5 Vzhled makrostruktury v příčném řezu bramy a vzhled povrchu mořeného vzorku bramy odlité s optimalizovanými tvarově upravenými úzkými deskami v krystalizátoru

Vzorky hran bram byly rovněž podrobeny metalografickému rozboru. Bylo konstatováno, že nebyly analyzovány žádné velké interkrystalické trhliny. Bylo zjištěno pouze velmi jemné síťové povrchových trhlinek, a to jen na vybraných místech.

Bramy byly po vizuální inspekci, která potvrdila dobrou kvalitu, prosazeny do ohřívací pece a následně byly bramy proválcovány na Steckelové trati. Řešitelé projektu před výrobou bram provedli výpočet požadované šířky bramy, která byla širší o 5 mm vzhledem k normální bramě bez upravených hran. Brama byla válcována na sedm průchodů s 14 redukcemi tloušťky bramy, přičemž vertikální stolice byla použita po prvním průchodu. Při výrobě svitků tloušťky 6 mm bylo použito standardní chlazení a odokujení přičemž na okraji pásu nebyly zjištěny podélné vady charakteristické pro výskyt trhlín na hranách bram. Z každého odválcovaného svitku byl odebrán vzorek pásu, který byl podroben metalografické analýze. Zjištěny byly jen velmi jemné podélné vady typu rýh, a to velmi blízko hraně pásu (do 1 cm od hrany pásu). Tyto se vyskytují zpravidla vždy na svitcích válcovaných za tepla.

V rámci spolupráce s fa MSC.Software s.r.o. byly provedeny numerické simulace pro objasnění plastické deformace během prvních dvou průchodů včetně použití vertikální stolice (ukázka viz **obrázek 6**). Na základě numerických simulací bylo konstatováno, že tvar zkosení hrany bramy byl tak velký, že během druhého průchodu nedošlo k úplnému zaplnění kalibru válce vertikálu. Lze předpokládat, že díky této skutečnosti není hrana bramy s případnými inicializačními zárodky trhlín mechanicky namáhána při úběru vertikální stolicí a následně nedojde k nežádoucímu posunu vady směrem k středové ose pásu (z hlediska jeho šířky).



Obr. 6 Výsledky plastické deformace během prvního průchodu (vlevo) a druhého průchodu (vpravo)

3. ZÁVĚR

V rámci řešení grantového projektu MPO ČR pod ev. č. FR-TI1/319 byla navržena úprava tvaru úzkých desek krystalizátoru bramového ZPO. Cílem bylo snížit riziko vzniku příčné rohové trhliny na hraně plynule lité bramy. Na základě první zkoušky byla provedena optimalizace tvaru úzké desky. Lze konstatovat, že jednodušší tvar desky je z pohledu zamezení podélných trhlin na hranách bramy vyhovující. Bylo zjištěno, že velmi důležité jsou podmínky odlévání. Pro další práce bylo doporučeno ověřit tvarově upravené desky na změnu šířky bramy během odlévání, při nižších licích rychlostech a při odlévání jakostí ocelí citlivých na rohové trhliny. Bylo doporučeno ověřit kvalitu pásu válcovaného do větších tloušťek (8 mm a více).

Daná problematika byla přibližně ve stejné době rozpracována Čínským výzkumným institutem, který v současné době provádí ochranu duševního vlastnictví v daném směru. Existuje několik Čínských oceláren využívající technologii „chamfered plates“. Možnost patentování či jiné ochrany duševního vlastnictví byla projednávána s výrobcem desek krystalizátoru. Bylo zjištěno, že myšlenka tvarové úpravy desek krystalizátoru není nová a ochrana duševního vlastnictví je minimálně problematická. Rovněž lze poukázat na to, že odlévání sochorů a bloků se zkosenými hranami je prováděno již delší dobu. Vlastní změna tvaru hran bram (úzkých desek krystalizátoru), konkrétně délka a úhel zkosení je jeden z aspektů dané problematiky. Za další aspekty nutno označit zajištění požadovaného chlazení a provedení vhodného pokovení, tak jako zajištění požadovaných technologických parametrů odlévání.

PODĚKOVÁNÍ

Publikační článek vznikl díky finanční podpory MPO ČR, grantového projektu TIP ev. č. FR-TI1/319 „Vývoj nových progresivních nástrojů a systémů podpory řízení spolehlivosti primárního chlazení na bramovém zařízení plynulého odlévání ocelí pro zvyšování kvality náročných plochých výrobků“.

LITERATURA

- [1] VÁLEK, L., DAVID, J. KOCIÁN, L., KALUŽA, J., MAREK, A. Příspěvek k řešení problematiky kvality desek bramových krystalizátorů a jejich pokovení. In Oceláři: 27. ročník ocelářské konference: 6. - 7. 4. 2011. Hotel Relax, Rožnov pod Radhoštěm, Česká republika. Ostrava: TANGER: 2011, s. 102-108. ISBN 978-80-87294-21-5
- [2] VÁLEK, L., CUDZIK, L., DAVID, PYSZKO, R. Vývoj nové metody měření povrchové kvality desek bramového krystalizátoru. In Oceláři: 28. ročník ocelářské konference: 4. - 5. 4. 2012. Hotel Relax, Rožnov pod Radhoštěm, Česká republika. Ostrava: TANGER: 2012, s. 108-114. ISBN 978-80-87294-28-4
- [3] SUCHÁNEK, P., BLAHOŠ, L., PACHLOPNÍK, R.: Předcházení vadám na okrajích za tepla válcovaných pásů opalováním hran plynule litých bram. Hutnické listy, 2010, roč. LXIII, č. 11, s. 6-9. ISSN 0018-8069

BADANIA MODELOWE PRZEPŁYWU CIEKŁEJ STALI W WIELOWYLEWOWEJ KADZI POŚREDNIEJ URZĄDZENIA COS

Jacek PIEPRZYCA, Zdzisław KUDLIŃSKI, Tomasz MERDER

Instytut Technologii Metali Politechniki Śląskiej, 40-019 Katowice, ul. Krasińskiego 8, Polsko, EU
jacek.pieprzyca@polsl.pl, zdzislaw.kudlinski@polsl.pl,

Abstrakt

Istotny wpływ na jakość wlewków ciągłych ma sposób przepływu i mieszania się ciekłej stali w kadzi pośredniej. Zależy on jest od zjawisk hydrodynamicznych zachodzących w jej przestrzeni roboczej. Prawidłowy przepływ ciekłej stali przez każdą pośrednią urządzenia COS powinien charakteryzować się właściwymi proporcjami obszaru strefy przepływu turbulentnego do obszaru strefy przepływu łukowego oraz minimalnym udziałem przepływów martwych. Obszar przepływu turbulentnego powinien zapewnić maksymalną homogenizację stali pod względem chemicznym oraz ujednolicienie stali pod względem temperaturowym w całej przestrzeni roboczej kadzi pośredniej. Obszar przepływu łukowego zaś, umożliwić łatwe przejście wtrąceń niemetalicznych do żużla. Określenie proporcji wielkości omawianych obszarów przepływów w warunkach przemysłowych jest bardzo trudne, a często niemożliwe. Tym bardziej, że wyznaczane ono jest indywidualnie dla konkretnej konstrukcji kadzi pośredniej jako rezultat rozsądnego kompromisu. Wygodną metodą określania charakteru zjawisk hydrodynamicznych w przestrzeni roboczej kadzi pośredniej jest modelowanie fizyczne.

W artykule przedstawiono rezultaty badań modelowych przepływu ciekłej stali przez wielowylewową kadź pośrednią nie wyposażoną w regulatory przepływu. Badania miały na celu przeprowadzenie diagnostyki poprawności jej działania. Uzyskane wyniki stanowiły podstawę do dalszych badań związanych z wpływem sposobu mieszania i przepływu stali w kadzi pośredniej na jakość struktury pierwotnej wlewka ciągłego.

Słowa kluczowe: Stal, ciągłe odlewanie stali, modelowanie fizyczne, kadź pośrednia

1. WSTĘP

Utrzymanie jednorodności temperaturowej stali w przestrzeni roboczej kadzi pośredniej urządzenia COS stanowi poważny problem z punktu widzenia jakości odlewanych wlewków ciągłych. Ma ona istotny wpływ na charakter tworzącej się w wlewkach struktury pierwotnej. W przypadku kadzi pośrednich wielowylewowych, a szczególnie niesymetrycznych, w których odległość od punktu wlewowego do poszczególnych wylewów jest znacznie zróżnicowana, ze względu na charakter przepływu, rozkład pól temperatury w objętości ciekłej stali może być nierównomierny. Badania o charakterze modelowania fizycznego zjawisk temperaturowych zachodzących w kadzi pośredniej są bardzo trudne do realizacji. Zakładając, że rozkład pól temperatury w przestrzeni roboczej kadzi pośredniej związany jest z charakterem przepływu przez nią ciekłej stali, można tą metodą wyznaczyć pewien trend rozkładu temperatury w kadzi pośredniej. Jednak jego obiektywizacja wymaga dalszych badań weryfikujących w warunkach przemysłowych.

2. MODEL FIZYCZNY URZĄDZENIA COS

Badania modelowe przeprowadzono w hydraulicznym modelu fizycznym urządzenia COS, w którym jako ciecz modelującą ciekłą stal wykorzystuje się wodę. Model, ma charakter modelu segmentowego. W tego typu modelach zasady podobieństwa spełnione są w tzw. segmencie głównym, a pozostałe segmenty pełnią rolę elementów pomocniczych. Segment główny modelu stanowi ten element konstrukcyjny, w którym

zachodzą zjawiska istotne z punktu widzenia oczekiwanych rezultatów eksperymentu. W przypadku opisywanego modelu segmentem głównym jest model kadzi pośredniej, a



Rys.1 Widok modelu fizycznego urządzenia COS

w elektrycznym piecu łukowym i poddanej obróbce pozapiecowej w piecokadzi,

Do budowy modelu fizycznego tego urządzenia jako skalę liniową przyjęto skalę pomniejszającą $S_L = 1 : 2 = 0,5$. Obliczeń skal prędkości przepływu cieczy modelowej oraz czasu przepływu (S_Q i S_t) dokonano przyjmując, że w warunkach rzeczywistych przekrój poprzeczny odlewanych wlewków ciągłych wynosi 140×140 mm, przy prędkości odlewania $V_{odl} = 2 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1} = 0,03 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Model fizyczny urządzenia do ciągłego odlewania stali przeznaczony jest do badań o charakterze wizualizacji oraz dzięki zainstalowanej aparaturze pomiarowej umożliwia wyznaczanie krzywych retencji RTD [1,2,3]. Do wykreślenia krzywych retencji RTD na podstawie uzyskanych pomiarów na modelu opracowano program komputerowy oparty na platformie pakietu Matlab. Dla sformułowania matematycznego opisu wyników badań posłużono się funkcjami przejścia (transmitancja operatorowa) modeli obiektów regulacji w postaci liniowych elementów automatyki [4,5,6]. Przebieg badanego procesu można przedstawić w dziedzinie operatorowej funkcją przejścia odpowiadającą elementowi inercyjnemu I rzędu:

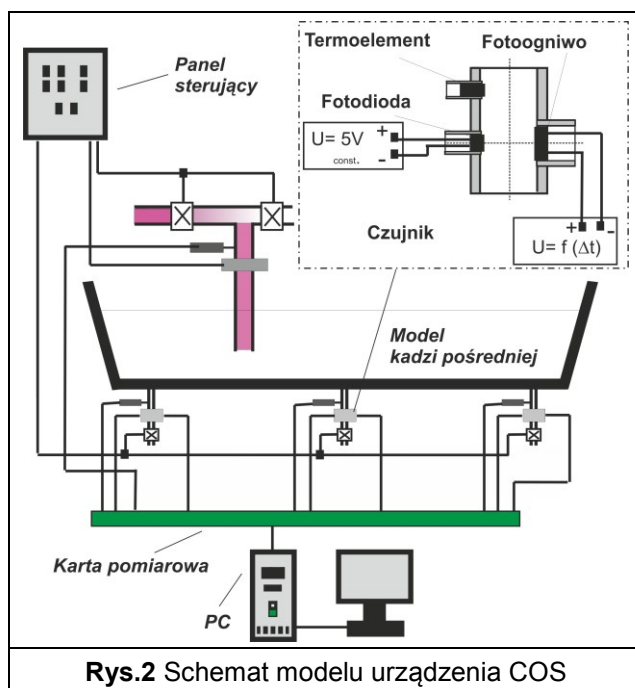
$$G(s) = \frac{k}{1 + sT_0} \quad (1)$$

Mając na uwadze oddalenie otworów wylewowych z kadzi pośredniej do krystalizatora od punktu wprowadzania stali, należy uwzględnić w opisie matematycznym element opóźniający:

$$G(s) = ke^{-s\tau} \quad (2)$$

pozostałe elementy konstrukcyjne (modele kadzi głównych, instalacja hydrauliczna) pełnią rolę segmentów pomocniczych. Rys. 1 przedstawia widok modelu fizycznego urządzenia COS natomiast rys. 2 schemat zainstalowanej aparatury kontrolno pomiarowej. Dominującym kryterium podobieństwa modelu do urządzenia przemysłowego jest liczba Froude'a (Fr).

Pracujące w warunkach przemysłowych urządzenie do ciągłego odlewania stali wyposażone w niesymetryczną 3. wylewową kadełko pośrednią przeznaczone jest do odlewania stali uspokojonej, wytapianej



Rys.2 Schemat modelu urządzenia COS

Uzyskane na podstawie badań modelowych charakterystyki czasowe pozwalają na przyjęcie założenia, że modelem opisującym dynamikę mieszania się cieczy w kadzi pośredniej jest układ inercyjny z opóźnieniem o transmitancji:

$$G(s) = \frac{ke^{-s\tau}}{1 + sT_0} \quad (3)$$

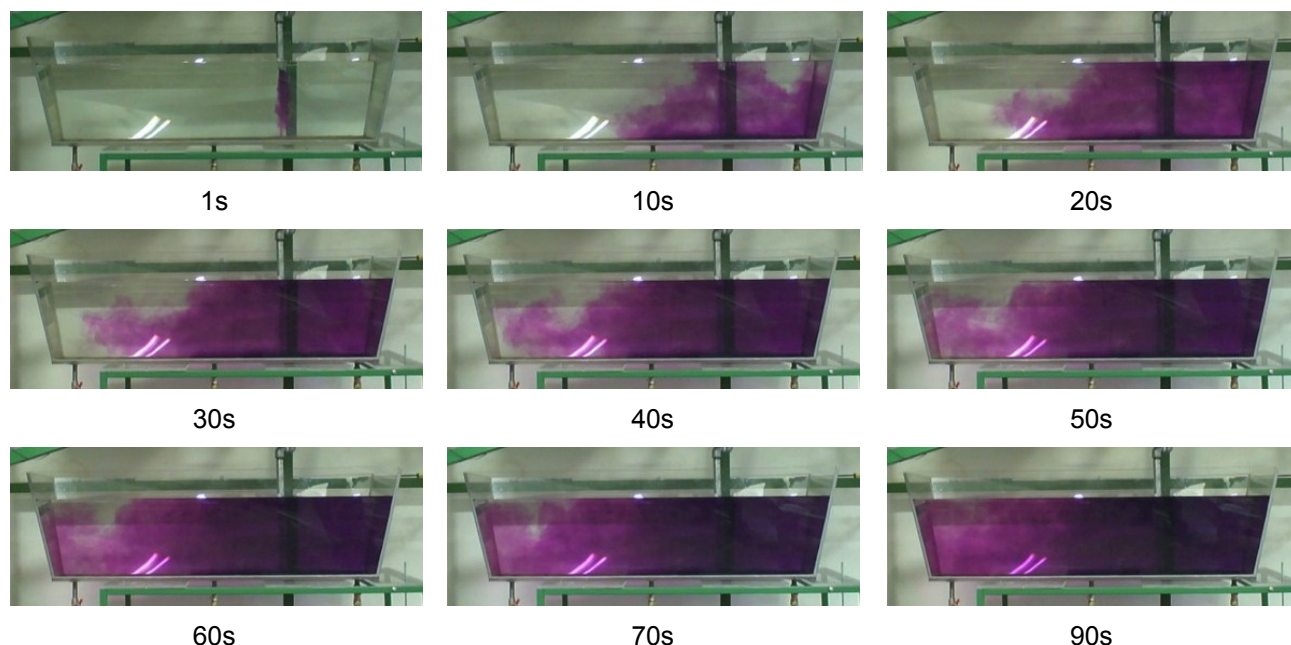
Praktyczne wykorzystanie operatorowego opisu matematycznego możliwe jest po doświadczalnej identyfikacji stałych k , τ i T_0 oraz $c_1(s)$, $c_2(s)$, $c_3(s)$ - transmitancji funkcji stężeń znacznika na wejściu i wyjściu kadzi pośredniej. Do identyfikacji tych stałych wykorzystano uzyskane w badaniach na modelu fizycznym urządzenia COS krzywe retencji RTD, które umożliwiły wyznaczenie teoretycznych stałych czasowych (τ , T_0 , T_1), będących rozwiązaniem opracowanego modelu matematycznego mieszania się stali w kadzi pośredniej urządzenia COS - równanie (3).

Interpretacja fizyczna opisanych stałych czasowych, wyrażonych w sekundach, dla badanego układu jest następująca:

- τ - czas dotarcia znacznika od punktu wlewowego do wylewu modelu kadzi pośredniej,
- T_0 - czas mieszania się cieczy modelowej do osiągnięcia stężenia znacznika określonego wzmocnieniem k (dla obliczeń przyjęto wzmocnienie $k = 1$, czyli wartość stężenia znacznika).

3. WYNIKI BADAŃ MODELOWYCH

Badania modelowe o charakterze wizualizacji wykonano wykorzystując jako znacznik wodny roztwór $KMnO_4$. Przebieg eksperymentów rejestrowano za pomocą systemu kamer. Uzyskane wyniki w postaci materiału filmowego poddano obróbce za pomocą specjalistycznego oprogramowania komputerowego. W rezultacie uzyskano między innymi zaprezentowane na rys. 3. obrazy.



Rys.3 Przykładowe rezultaty badań modelowych o charakterze wizualizacji w postaci zdjęć dla 3.wylewowej kadzi pośredniej

Na podstawie badań o charakterze wizualizacji stwierdzono niedostateczne mieszanie się cieczy modelowej w strefie turbulentnego przepływu. Mieszanie wymuszone jest jedynie odbiciem strumienia cieczy od płyty

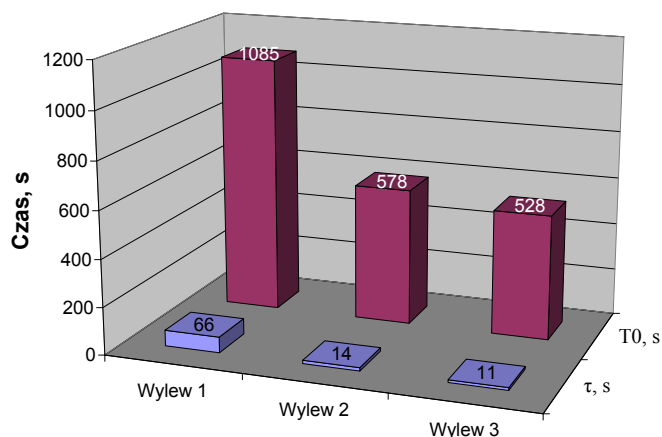
podstrumieniowej. Taki charakter strefy turbulentnego przepływu nie zapewnia wymaganej homogenizacji stali. Objętość tej strefy obejmuje wylewy 2 i 3 usytuowane w niewielkiej odległości od miejsca wprowadzania do kadzi pośredniej stali. O ile, z punktu widzenia wartości czasu dotarcia znacznika w przestrzeni roboczej modelu kadzi pośredniej, wylewy 2 i 3 są do siebie zbliżone to charakter przepływu cieczy modelowej w rejonie tych wylewów jest zróżnicowany. Strumień cieczy modelowej powstający w efekcie odbicia się cieczy modelowej od płyty podstrumieniowej opływając wylew 3 odbija się następnie od ściany bocznej modelu kadzi przechodząc w przepływ cyrkulacyjny. Ilustruje to zdjęcie wykonane w 10 sekundzie eksperymentu. Obszar ten pozbawiony jest przepływu tłokowego. Strefa przepływu tłokowego kształtuje się zaś po przeciwnej stronie obszaru wlewowego w rejonie wylewu 2 (20 sekunda eksperymentu) w kierunku wylewu 1. Prędkość przesuwania się frontu strefy przepływu tłokowego jest niewielka, a mieszanie się cieczy modelowej w rejonie wylewu 1 jest bardzo ograniczone. Skutkuje to kształtowaniem się tam obszernej strefy martwej.

W celu wyznaczenia stałych czasowych τ i T_0 oraz dokonania na tej podstawie analizy krzywych RTD, uzyskane w wyniku przeprowadzonych eksperymentów na modelu fizycznym, poddano obróbce zgodnie z metodologią przedstawioną w punkcie 2. Dane wejściowe wprowadzone do opracowanego w środowisku Matlab programu komputerowego. Po przeprowadzeniu estymacji funkcji nieliniowej (3) uzyskano rezultaty, które przedstawiono w tablicy 1.

Tab. 1 Wartości obliczonych stałych czasowych τ i T_0 dla modelu 3 żyłowej kadzi pośredniej

Nr wylewu	Stała czasowa τ , s	Stała czasowa T_0 , s
1	47	767
2	10	409
3	8	373

Po przeliczeniu stałych czasowy na warunki rzeczywiste uzyskano rezultaty przedstawione w postaci graficznej na rys.4.



Rys.4 Rzeczywiste wartości stałych czasowych τ i T_0 dla 3 żyłowej kadzi pośredniej urządzenia COS

Niesymetryczne kadzie pośrednie urządzenia COS szczególnie narażone są na występowanie znacznych różnic w czasie dotarcia znacznika do poszczególnych wylewów. Potwierdziły to przeprowadzone badania modelowe o charakterze wizualizacji oraz dokonana estymacja rezultatów tych badań mająca na celu wyznaczenie stałych czasowych τ i T_0 . O ile czas dotarcia znacznika do wylewów 2 i 3 jest zbliżony

i wynosi ok. 14 s (wynika to z faktu, iż rura osłonowa kadzi głównej znajduje się w osi symetrii między tymi wylewami), to czas dodarcia znacznika do wylewu nr 1 jest istotnie różny. W przeliczeniu na warunki rzeczywistego procesu odlewania, w oparciu o stałą czasową τ wynosi on ok. 70 s. Tak znaczna różnica w czasie dotarcia stali do tego wylewu może być przyczyną niedostatecznej homogenizacji stali w przestrzeni roboczej kadzi pośredniej. Jeszcze bardziej wyraźnie ilustruje to wartość stałej czasowej T_0 charakteryzującej intensywność mieszania się stali (homogenizacji), która jest prawie dwukrotnie wyższa dla wylewu 1 (1085 s) niż dla wylewów 2 i 3 (ok. 550 s). Może to powodować różnice temperatury ciekłej stali w tych strefach wylewowych.

4. PODSUMOWANIE

W trakcie modelowania procesów hydrodynamicznych zachodzących w niesymetrycznej kadzi pośredniej stwierdzono istotne zakłócenie przepływu polegające na znacznym opóźnieniu dopływu stali do skrajnego wylewu 1 w stosunku do wylewów 2 i 3. Wartość tego opóźnienia w oparciu o stałą czasową τ w warunkach rzeczywistych określono na 52 s. Również intensywność mieszania stali w rejonie wylewu 1, charakteryzowana przez stałą czasową T_0 , jest niedostateczna. Takie rezultaty badań modelowych stanowią przesłankę do dalszych badań dotyczących warunków temperaturowych panujących w badanej kadzi pośredniej w warunkach przemysłowych. Polegać one powinny na pomiarze temperatury w kadzi pośredniej i krystalizatorze. Rezultaty tych badań mogą potwierdzić oczekiwane skutki wpływu słabego mieszania się stali w rejonie wylewu 1 na spadek temperatury ciekłej stali w tym obszarze.

LITERATURA

- [1] MERDER T., PIEPRZYCA J.: Optimization of two-strand industrial Tundish work with use of turbulence inhibitors: physical and numerical modeling. Steel Research International, No. 11, 2012, s. 1029-1038.
- [2] MICHAŁEK, K.; GRYC, K.; TKADLECKOVA, M.; et al.: Model study of tundish steel intermixing and operational verification. Archives of Metallurgy And Materials, Vol. 57, 2012 p. 291-296.
- [3] CWUDZINSKI, A.; JOWSA, J.: Numerical analysis of liquid steel flow structure in the one strand slab tundish with subflux turbulence controller and dam., Archives of Metallurgy And Materials, Vol. 57, 2012 p. 297-301.
- [4] WĘGRZYN S.: *Podstawy automatyki*, PWN, Warszawa, 1979.
- [5] PIEKARSKI M., PONIEWSKI M.: *Dynamika i sterowanie procesami wymiany ciepła i masy*, WNT, Warszawa, 1994.
- [6] SKOCZOWSKI S.: *Technika regulacji temperatury. Systemy regulacji. Regulatory przepływowe.*, Warszawa, Zielona Góra, 2000.

Participation in conference with financial support of the National Centre for Research and Development (project No PBS2/A5/32/2013).

MOŽNOSTI VÝROBY SOCHORŮ MALÝCH KRUHOVÝCH PRŮMĚRŮ V ArcelorMittal Ostrava a.s.

Ladislav VÁLEK, Radim PACHLOPNÍK, Jan PASTOREK, Aleš MAREK

ArcelorMittal Ostrava a.s., Vratimovská 689, 707 02 Ostrava, Česká Republika, EU,
ladislav.valek@arcelormittal.com, radim.pachlopnik@arcelormittal.com, jan.pastorek@arcelormittal.com,
ales.marek@arcelormittal.com

Abstrakt

V ArcelorMittal Ostrava a.s. bylo rozhodnuto o provádění zkoušek s odléváním kruhových sochorů průměru 130 mm, a to na ZPO č. 3. První zkoušky byly provedeny s technologií tzv. otevřeného odlévání. Následně byly provedeny zkoušky s technologií otevřeného chráněného lití. V roce 2013 byla zavedena výroba sochorů kul. 130 mm technologií ponorného odlévání, kdy je využíváno šoupátkového systému instalovaného na mezipánvi. Sochory jsou určeny zejména pro válcování bezešvých trubek v ArcelorMittal Tubular Products Ostrava a.s. V příspěvku je uvedena historie zavádění kruhových formátů malých průměrů a dílčí poznatky z řešeného grantového projektu TAČR pod ev. č. TA03011277.

Klíčová slova: ocel, sochor, kulatina, odlévání, kvalita

1. ÚVOD

Výroba kruhových sochorů má v ArcelorMittal Ostrava a.s. dlouhou tradici, a to včetně výroby sochorů malých průměrů, které lze pro tento účel ohraničit do průměru 160 mm. Při odlévání oceli do ingotů a jejich válcování do bloků byly válcovány kruhové sochory o těchto průměrech: 235, 210, 175, 150, 140, 120 (110) mm. Sochory o průměru 140 mm a níže byly válcovány na Hrubé profilové trati.

Významným bodem, z pohledu výroby sochorů, bylo uvedení do provozu ZPO č. 1 v prosinci roku 1993. Byla zavedena výroba sochorů kulatiny 210 mm a současně kvadrátu 180 mm, který byl určen k převálcování na kulatinu 168, 150 a 120 mm. S odstupem několika let bylo zavedeno plynulé odlévání kruhových sochorů 150 mm. Z důvodu zvýšení výrobnosti a také snížení rizika průvalů byly kruhové sochory 150 mm nahrazeny v roce 2005 sochory o průměru 160 mm. V jisté části historie ZPO č. 1 bylo možno rovněž vyrábět také sochory kvadrátu 130 mm, a to technologií otevřeného odlévání. Výroba těchto sochorů byla zrušena, a to uvedením do provozu sochorového ZPO č. 3 v roce 1999. ZPO č. 1 bylo určeno pro výrobu sochorů s vyššími kvalitativními požadavky, kdy je používáno tzv. ponorného lití (používání výlevků z mezipánve do krystalizátoru a liciho prášku). ZPO č. 3 umožňuje tzv. technologií otevřeného odlévání vyrábět sochory kvadrátu 115 a 160 mm a od roku 2013 rovněž kv. 130 mm. V prosinci roku 2005 bylo zahájeno ověřování výroby kulatiny 130 mm. Postupným vývojem technologie odlévání od otevřeného lití přes otevřené chráněné lití až po ponorné lití byla v roce 2013 zavedena výroba plynule litých sochorů kul. 130 mm na ZPO č. 3. Cílem bylo postupné celkové nahrazení převálcovaných sochorů kul. 130 mm litými ze ZPO č. 3. Na konci roku 2013 byly zahájeny testy modernizovaného ZPO č. 1. Díky modernizaci je plánováno odlévání sochorů kv. 180 mm a kruhových sochorů kul. 160, 200, 270, 350 a 400 mm. V současné době jsou tedy vyráběny malé kruhové sochory o průměru 130 a 160 mm.

2. ODLÉVÁNÍ SOCHORŮ MALÝCH PRŮMĚRŮ

2.1 Sochorové ZPO č. 1

Sochorové ZPO č. 1 je umístěno v samostatné hale společně s pánvovou pecí a od roku 2013 s vakuovací stanicí typu VD. Výroba tekuté oceli je prováděna na T-pecích, která zásobují tekutou ocelí všechna ZPO v ArcelorMittal Ostrava a.s. Po odpichu oceli z T-pece je prováděno stažení pecní strusky na hrable. V hale ocelárny s T-pecemi je jedno zařízení pro stahování strusky z licí pánve. Hmotnost oceli tavby činí cca 205 tun. Z pohledu výroby sochorů malých průměrů je na ZPO č. 1 odlévána kul. 160 mm. Dílčí základní charakteristika ZPO je uvedena v **tabulce č. 1**. Dílčí specifikace primárního a sekundárního chlazení není zde uvedena, jelikož v současnosti na modernizovaném ZPO probíhají provozní testy. Modernizované ZPO obsahuje nové technologie pro výrobu sochorů o vysoké kvalitě.

Tab. 1 Parametry ZPO č. 1 před a po modernizaci v 2013

	Před modernizací	Po modernizaci
Počet licích proudů	6	6
Rádus oblouku	10,5 a 21 m	10,5 a 16,0 a 32,0 m
Metalurgická délka	20,66 až 26,72 m	28,95 m
Sochory	180x180 mm Ø160, Ø210 mm	180x180 mm Ø160, Ø200, Ø270, Ø350, Ø400 mm
v max.	2 m/min (kv. 180) 2,7 m/min (Ø 160), 1,9 m/min (Ø 210)	0,65 až 3,9 m/min
Stojan licí pánve	dvě otočná ramena; nezávislé točení a zdvih ramen	
Mezipánvový vůz	dva vozy, vážící zařízení, možnost letmé výměny mezipánve (úprava boční polohy pro modernizované ZPO)	
Mezipáneve	objem oceli 32 t; max. výška oceli 750 mm; minimalizace opotřebení ve struskové čáře (dle hmotnosti oceli v mezipánvi); plynulé měření teploty; stínící trubice; používání turbostopu; zátkové tyče; ponorné výlevky; víko na mezipánvi	

2.2 Sochorové ZPO č. 3

Sochorové ZPO č. 3 lze charakterizovat jako jednodušší zařízení plynulého odlévání (technologie otevřeného odlévání) avšak o velmi dobrých výkonových parametrech (max. výkon 185 t/hod.). Jedná se o radiální ZPO s poloměrem 6 m s šesti licími proudy. Základní specifikace ZPO k roku 2002 je uvedena v **tabulce 2**. Z pohledu výroby sochorů malých průměrů byla na ZPO č. 3 zavedena výroba kul. 130 mm, a to postupným vývojem technologie až k uzavřenému lití v roce 2013. S ohledem na typ ZPO a hmotnost tavby se jednalo o unikátní a velmi náročný projekt.

2.3 Technologie otevřeného chráněného odlévání

Řešení odlévání kulatiny 130 mm lze považovat za zahájené od prosince 2005. Tento investiční projekt řešil pořízení potřebného zařízení na jeden licí proud ZPO č. 3, včetně přípravy dusíkových ochran pro ZPO č. 3. Koordinátorem projektu bylo jmenováno s ohledem na charakter problému pracoviště Výzkumu ArcelorMittal Ostrava a.s. [1].

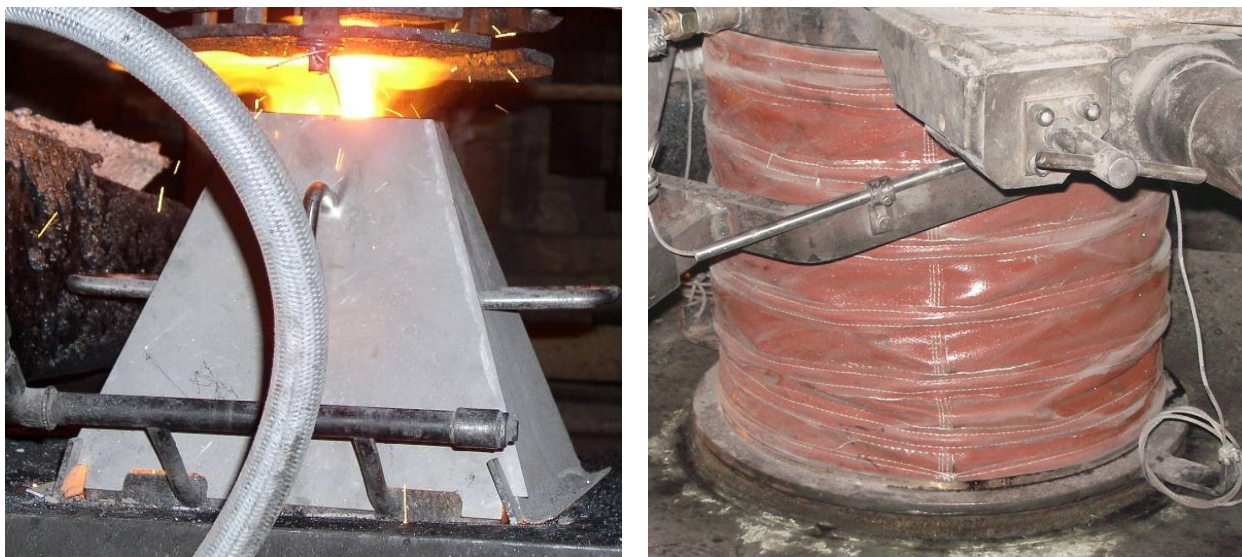
Tab. 2 Parametry ZPO č. 3 k roku 2002

Metalurgická délka	18,7 m
Licí rychlost	max. 5,0 m/min (kv. 115 mm)
Licí stojan	s pevnými otočnými rameny, pohon přes AM motor, havarijní pohon pneumatický
Vůz mezipánve	dva vozy; AC motor s frekvenčním měničem; podélný a příčný pojezd
Mezipánve	objem cca 31,7 t, hladina oceli 824 mm; vysokoteplotní ohřev 2x
Krystalizátor	Concast Convex; délka 1000 mm; Cr pokovení; mazání v KR pomocí oleje (olejové čerpadlo); radiometrický systém měření hladiny oceli v KR (Co60); otevřené lití (bez šoupátka či zátkové tyče - licí rychlost ovlivňována výškou hladiny oceli v MP); mechanická oscilace (max. 300 zdvihů/min; zdvih 8,5 až 10,4 mm)
Sekundární chlazení	3 zóny vodního chlazení; 0,8 až 2,2 l/kg; 4 podpěrné válečky (z toho dva s přitlakem); 1 tažná
Terciární chlazení	1 tažná a rovnací stolice

V rámci primárního chlazení pro odlévání sochorů kul. 130 mm byla provedena řada úprav. První verze úkosu krystalizátoru (Cu vložky) byla provedena po konzultacích a zkouškách v ArcelorMittal Hamburg. Výroba měděné vložky, vodního pláště a přírub byla provedena externí firmou. Upraveny byly rovněž patní válečky, malý a velký kryt krystalizátoru. Bylo nutno také upravit startovací systém se startovací hlavou. Podstatné změny byly provedeny v horních částech sekundárního chlazení. Úpravy bylo nutno také provést v automatizovaném systému řízení.

V rámci zavedení kulatiny 130 mm a zahájení ověřování výroby jakostí ocelí se zaručeným obsahem hliníku (min 0,020 %hm) bylo nutno také řešit chránění lití mezi krystalizátorem a mezipánví. V podstatě se jednalo o nahrazení zavedeného, ale nepoužívaného systému chránění tzv. pyramidy (návrh dle dodavatele ZPO). Výsledky ověření těchto ochran byly částečně publikovány [2]. Spolehlivost daného typu ochran nebyla (z pohledu zabránění reoxidace oceli) prokázána. Jelikož tento způsob chránění proudu oceli odlévaného z mezipánve do krystalizátoru nebyl dostatečně účinný, byl zaveden nový způsob, který pracoval s přetlakem v ochraně dle patentu DE 2834746C2. Podobný typ ochrany mezi krystalizátorem a mezipánví byl v ArcelorMittal Ostrava a.s. zaveden společně se systémem odsávání zplodin z ochran a byl používán v období zkoušek s otevřeným chráněným litím. Ukázka původního typu ochrany a nově zavedeného je uvedena na **obrázku 1**.

V rámci zavedení nového typu chránění otevřeného proudu oceli byl proveden návrh, realizace a zkoušky dusíkových ochran - tzv. měchů (bellows). Byla řešena řada detailů, např. těsnění ochran, typ vlastní textilie, úprava dosedacích ploch (víko krystalizátoru, nový typ měniče výlevky), systém řízení přetlaku. Byl změněn způsob startování (bez korýtek, zavedení startovacích trubic do mezipánve), včetně úpravy nastavení vysokoteplotního ohřevu mezipánve. Jako poslední bylo řešeno odsávání zplodin z ochran.



Obr. 1 Vzhled původní dusíkové ochrany dle dodavatele ZPO (vlevo) a pohled na chránění proudu oceli dopadajícího z mezipánve do krystalizátoru dle AM Hamburg (vpravo)

První úspěšná zkouška odlévání kul. 130 mm na jednom licím proudu byla provedena v 12/2006. Jednalo se o jakost oceli bez zaručeného obsahu hliníku. Poté byl zahájen projekt s cílem instalovat vyvinuté potřebné zařízení na všech šest licích proudů, a to včetně vyvinutých dusíkových ochranných zařízení. První tavba kul. 130 mm byla odlita na všech šesti proudech v 04/2007. Rovněž se jednalo o jakost oceli bez zaručeného obsahu hliníku. Ve stejném měsíci byla provedena velmi důležitá zkouška odlévání oceli se zaručeným obsahem hliníku. Důležitá proto, jelikož řada provozovatelů ZPO s technologií otevřeného odlévání považují odlévání oceli s obsahem Al nad 0,007 %hm za nemožné. Toto je uvedeno jen pro doložení obtížnosti řešení dané problematiky. Vývoj technologie odlévání ocelí se zaručeným obsahem hliníku probíhal intenzívně v roce 2007 a 2008.

Po provedených zkouškách bylo konstatováno, že všechny jakosti oceli se zaručeným obsahem hliníku měly problém s odlévatelností, a to zejména z pohledu zarůstání výlevek či tvorbě tzv. mušlí pod výlevkami mezipánve. Druhým problémem u ocelí se zaručeným obsahem hliníku bylo prskání oceli z krystalizátoru. Jak zarůstání výlevek, tak prskání oceli z krystalizátoru omezovaly plynulé odlévání oceli. Při zarůstání výlevek, či tvorbě mušlí docházelo ke ztrátě toku oceli a nutnosti čištění výlevek. Byly známy případy, kdy zarůstání bylo tak intenzívní, že odlévání tavby bylo nutno přerušit. Čištění výlevek (mušlí) bylo prováděno při spuštěné dusíkové ochraně, tedy docházelo k reoxidaci proudu oceli a vzniku strusky v krystalizátoru. Struska, jakožto zplodiny čištění (mušle) byly strhávány mezi kůrku oceli a stěnu krystalizátoru, což snižovalo odvod tepla a následně hrozilo riziko průvalu. Navíc při čištění výlevek hrozilo vznícení textilie dusíkové ochrany. Samotná mušle na výlevce znamenala rovněž riziko „zalití“ dusíkové ochrany či vzniku slitku v krystalizátoru. Oba dva faktory se podílely na vzniku povrchových vad na odlitých sochorech. Bylo vynaloženo velké úsilí k vyřešení uvedených problémů, jelikož všechny jakosti ocelí se zaručeným obsahem hliníku trpěly sníženou povrchovou kvalitou sochorů. Na povrchu a pod povrchem bylo možno identifikovat výskyt velkých nekovových fází - viz **obrázek 2**. I když byly při válcování trubek dosaženy vysoké kusové výtěžky (až 95 %) nebyly zajištěny stabilní výsledky (výskyt povrchových šup na bezešvých trubkách, detekce povrchových vad nedestruktivní metodou).

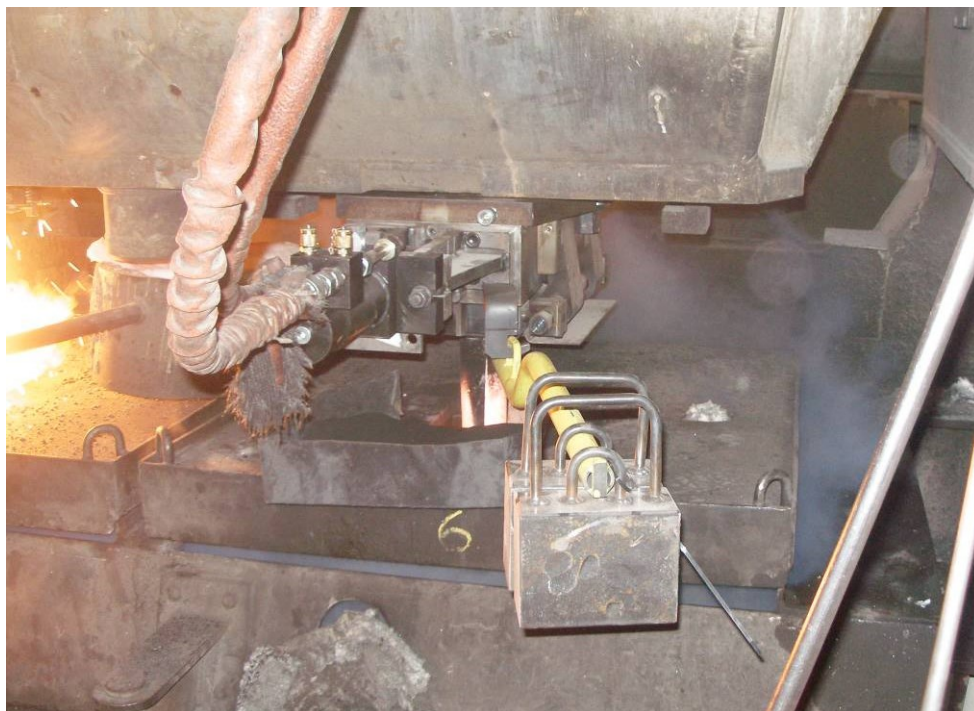


Obr. 2 Výskyt nekovových fází na povrchu sochoru

2.3 Technologie uzavřeného lité se systémem C52

Na základě výše uvedených výsledků s otevřeným chráněným odléváním sochorů malých průměrů (kul. 130 mm) na ZPO č. 3 bylo po dalších analýzách možnosti instalování uzavřeného odlévání na ZPO č. 3 doporučeno provést zkoušky se šoupátkovým systémem C52 od fa Vesuvius. V období 10-12/2010 byly provedeny provozní zkoušky na zapůjčeném zařízení systému C52 na jednom lícím proudu. Jelikož bylo požadováno omezit náklady na provedení zkoušek, byl instalován systém C52 bez regulace šoupátka s ohledem na výšku hladiny oceli v krystalizátoru. Tzn., že byl instalován systém, kdy bylo na začátku odlévání šoupátko systému C52 před startem otevřeno na 100 % a na konci odlévání bylo uzavřeno (bez zpětné vazby na hladinu oceli v krystalizátoru). Rychlost odlévání byla regulována průměrem výlevky šoupátka a výškou hladiny oceli v mezipánvi. Start byl realizován pomocí startovacích trubic v mezipánvi. Lící keramika byla upravena tak, že max. vnitřní průměr činil 17,5 mm. Pohled na instalovaný systém je uveden na **obrázku 3**.

S ohledem na provozní zkoušky s využitím zjednodušeného systému C52 bylo rozhodnuto o zakoupení a instalaci kompletního systému na všech šest lících proudů. První zkouška odlévání se systémem C52 na všech šesti lících prouděch s automatickým řízením polohy otevření šoupátka dle výšky hladiny oceli v krystalizátoru byla realizována v 12/2011. Další zkoušky pokračovaly až do roku 2013, kdy po vyřešení řady dílčích problémů se podařilo odlít 5 taveb v jedné sekvenci (doba lití jedné tavby cca 100 minut). Toto bylo považováno za velký úspěch. V rámci zavádění kul. 130 mm se šoupátkovým systémem C52 na MP byla řešena řada dílčích problematik.



Obr. 3 Pohled na šoupátkový systém C52 s výlevkou instalovaný na jednom proudu při prováděných zkouškách

Z pohledu výroby tekuté oceli a mimopecního zpracování byly přijaty nejlepší technologické postupy pro zabránění zamrzání a zarůstání oceli. Tedy byla optimalizována teplota oceli a obsahy hliníku, vápníku a síry v oceli, tak jako byla optimalizována práce se struskou. Z pohledu rizika průvalů a vzniku podélných povrchových trhlin u peritektických ocelí byl optimalizován obsah uhlíku.

Značná pozornost byla věnována úspěšnosti startování licích proudů. Optimalizována byla teplota oceli a byla provedena řada úprav v oblasti mezipánve, ale rovněž bylo zavedeno používání šoupátka licí pánve s větší výlevkou. V oblasti mezipánve byla zavedena pracovní vyzdívka na bázi suchého zásypu. Byla optimalizována doba vysokoteplotního ohřevu mezipánve. Součástí projektu uzavřeného odlévání byla rovněž úprava mezipánvového vozu (instalace zdvihu mezipánve) a zavedení systému ohřevu výlevek v pozici vysokoteplotního ohřevu. Postupným vývojem a zkouškami se prokázalo za nezbytné upravit víko s hořáky vysokoteplotního ohřevu mezipánve. Poslední práce v oblasti mezipánve se soustředily na výšky startovacích hrnců v mezipánvi a pořadí startování jednotlivých licích proudů, tak jako tvar startovacích hrnců. Tyto práce souvisely nejen s rizikem zamrzáním oceli v uzlu výlevek mezipánve, ale rovněž s rizikem průvalu při startu licího proudu. Do oblasti mezipánve spadají rovněž provedené zkoušky s nahazováním rafinační a izolační strusky.

Velmi důležité bylo rovněž nastavit polohy otevírání šoupátka systému C52 při startování licích proudů. S tím souvisela úprava licí rychlosti a zmíněné teploty oceli, tak jako optimalizace startovacích hrnců v mezipánvi. Se šoupátkovým systémem souvisela také úprava délky ponorné výlevky a její centrování. Rovněž také dosed výlevky na šoupátko, včetně její fixace. Dále pak intenzita foukání inertního plynu do šoupátka.

Za důležité lze označit i další úpravy provedené v rámci primárního chlazení - krystalizátoru. Byl zaveden upravený oscilační faktor. Dle výsledků průvalovitosti byl ověřen a zaveden v roce 2013 nový typ Cu vložky typu Convex. Bylo nutno rovněž nahradit starší typ senzorů pro měření hladiny oceli v krystalizátoru. Pozornost byla zaměřena také na umístění těchto senzorů a tloušťku stěny Cu vložky. V rámci primárního chlazení byla optimalizována hladina oceli v krystalizátoru a průtok chladicí vody, tak jako typ licího prášku a způsob aplikace licího prášku.

V oblasti sekundárního a terciárního chlazení byly provedeny úpravy nastavení průtoku vody v jednotlivých zónách, a to pro jednotlivé jakosti oceli. Dále byly provedeny úpravy přítlaků tažných a rovnacích stolic. Byla věnována velká pozornost značení sochorů a ohlazení sochorů.

První návrh stabilnější technologie odlévání byl nastaven v roce 2013, a to rovněž v rámci prvního roku řešení nově získaného grantového projektu TA ČR (ev. č. TA03011277). Jednalo se o stanovení licích postupů čtyř jakostí ocelí. Dvě nízkouhlíkové jakosti dle ČSN 41 1353: 1983, jedna středněuhlíková jakost ČSN 41 1523: 1994 a jedna středněuhlíková mikrolegovaná jakost X56 PSL 1 dle API Spec 5L 44. vydání: 2007. V rámci zavedení výroby sochorů kul. 130 mm s technologií uzavřeného odlévání bylo konstatováno, že kvalita sochorů byla na přijatelné úrovni pro běžnou výrobu. Kusové výtěžky bezešvých trubek byly v rámci řešení na přijatelné úrovni pro nízkouhlíkové jakosti ocelí. V rámci verifikace bylo dosaženo cca 92 % kusového výtěžku.

3. ZÁVĚR

V ArcelorMittal Ostrava a.s. jsou vyráběny dva rozměry kruhových sochorů, které lze zařadit do skupiny tzv. malých průměrů. Sochory kul. 160 mm byly stabilně odlévány na sochorovém ZPO č. 1. Výroba těchto sochorů bude zachována i po provedené modernizaci ZPO č. 1. Modernizované ZPO č. 1 poskytuje nové možnosti pro zajištění vyšší kvality odlévaných sochorů, a to díky zejména MEMS (elektromagnetické míchání oceli v krystalizátoru) a hydraulické oscilaci krystalizátoru. Sochory kul. 130 mm byly nově zavedeny na ZPO č. 3, a to díky instalaci šoupátkového systému C52 na mezipánev ZPO. Zavádění sochorů kul. 130 mm proběhlo v roce 2013 rovněž v rámci grantového projektu TA ČR. V rámci tohoto projektu byla řešena problematika zjišťování materiálových vlastností ocelí pro bezešvé trubky a vývoj numerického modelu tuhnutí oceli. Výsledky materiálových vlastností a model tuhnutí je plánováno využít v roce 2014 pro finální návrh technologie odlévání sochorů kul. 130 mm. Je plánováno zaměřit pozornost na dosahování vyšších licích rychlostí a s tím souvisejících aspektů.

PODĚKOVÁNÍ

Projekt ev. č. TA03011277 „Výzkum a vývoj v oblasti numerických a materiálových analýz tuhnutí oceli s aplikačním výstupem pro optimalizaci technologie plynulého odlévání oceli v inovativních rozměrech sochorů“ je řešen s finanční podporou TA ČR.

LITERATURA

- [1] VÁLEK, L., ZAJÍČEK, I., KONEČNÝ, L., PASTOREK, J. Vybrané poznatky ze zavádění kulatiny 130 mm v ArcelorMittal Ostrava a.s. In. Teorie a praxe výroby a zpracování oceli: 2. - 3. 4. 2008. Hotel Relax, Rožnov pod Radhoštěm, Česká republika. Ostrava: TANGER: 2008, s. 116-122. ISBN 978-80-86840-39-0
- [2] MORAVEC, R. a kol. Uplatnění dusíkových ochranných plynů při otevřeném odlévání oceli na sochorovém ZPO. In. 20. celostátní konference - Teorie a praxe výroby a zpracování oceli, Rožnov p. Radhoštěm, 6. a 7. duben 2004, s. 71 ÷ 76. ISBN 80-85988-94-1

CHARAKTERIZACE MIKROSTRUKTURY OCELÍ POMOCÍ POMALÝCH A VELMI POMALÝCH ELEKTRONŮ

Aleš LIGAS ^a, Jakub PIŇOS ^a, Dagmar JANDOVÁ ^b, Josef KASL ^b, Šárka MIKMEKOVÁ ^a

^a Ústav přístrojové techniky AV ČR, v.v.i., Královopolská 147, 612 64 Brno, Česká republika, EU,
ales.ligas@isibrno.cz

^b Výzkumný a zkušební ústav Plzeň s.r.o., Tylova 1581/46, 30100 Plzeň, Česká republika, EU

Abstrakt

Od základního výzkumu v materiálových vědách až po důsledné pochopení struktury průmyslových a konstrukčních materiálů je vždy třeba získat snímky s vysokým rozlišením a náležitým kontrastem. Rastrovací nízkoenergová elektronová mikroskopie (SLEEM) se ukázala jako velice vhodný nástroj, a to nejen z důvodu vynikající povrchové citlivosti, ale také díky zvýšení chemického a krystalového kontrastu.

SLEEM nám dovoluje pozorovat vzorky při libovolně nízké dopadové energii primárních elektronů. Princip metody je založen na modulu katodové čočky (CL), v níž jsou primární elektrony bržděny na konečnou energii elektrostatickým polem těsně nad povrchem vzorku a s touto sníženou energií dopadají na vzorek. To má za následek zvýšení účinnosti sběru sekundárních elektronů a detekci elektronů odražených pod vysokými úhly od optické osy. Byla provedena řada experimentů na různých typech ocelí, které potvrdily výhody SLEEM metody v porovnání s klasickou elektronovou mikroskopií a její schopnost zviditelnit dříve skryté detaily.

Klíčová slova: Pomalé elektrony, elektronová mikroskopie, mikrostruktura oceli

1. ÚVOD

Pro charakterizaci mikrostruktury oceli je používána celá škála analytických metod. Mezi nejpoužívanější lze zařadit optickou mikroskopii, která v kombinaci s různými technikami selektivního leptání dokáže poskytnout řadu informací o struktuře. Možnou nevýhodou této techniky je její limitované rozlišení, které se může v řadě případů, a to zvláště u pokročilých typů ocelí, ukázat jako nedostatečné. V tomto případě se běžně přechází k rastrovací elektronové mikroskopii (SEM, Scanning Electron Microscopy), která v dnešní době nabízí rozlišení i pod 1 nm. SEM bývá navíc v mnoha případech vybaven přístroji, které nám umožní získat doplňkové informace o chemickém složení vzorku (energieově disperzní spektroskopie - EDX, vlnově disperzní spektroskopie - WDX) a o krystalografii (difrakce zpětně odražených elektronů - EBSD). V mnoha případech SEM poskytne dostatečné informace o vzorku a není už nutné přistupovat k metodám dalším. Především v oblastech základního výzkumu je ale nezbytné získat informace o struktuře oceli v nanoměřítku a používá se tedy transmisní elektronová mikroskopie (TEM, Transmission Electron Microscopy). TEM umožní získat informace až na úrovni uspořádání jednotlivých atomů, ale jedná se o metodu náročnější z hlediska přípravy vzorků. Ty musí být ve formě velmi tenkých folií, aby byly pro zobrazující elektronový svazek přístupné. V dnešní době se již díky možnosti přípravy vzorku v mikroskopech typu dual-beam, kombinující elektronový i iontový svazek v jednom přístroji, tato procedura značně zjednodušila a částečně automatizovala. Přesto si přístroje TEM udržují svoje postavení především v oblastech základního výzkumu materiálu.

V tomto příspěvku bychom chtěli představit další, dosud málo běžný nástroj pro charakterizaci mikrostruktury ocelí, a to metodu mikroskopie pomalými elektrony (Scanning Low Energy Electron Microscopy, SLEEM). SLEEM nabízí celou řadu výhod v porovnání s klasickými technikami a v mnoha případech může

představovat optimální řešení konkrétních problémů. Přednosti SLEEM budou postupně představeny na vybraných aplikacích a budou naznačeny cesty k úspěšnému využití metody.

2. MIKROSKOPIE POMALÝMI ELEKTRONY

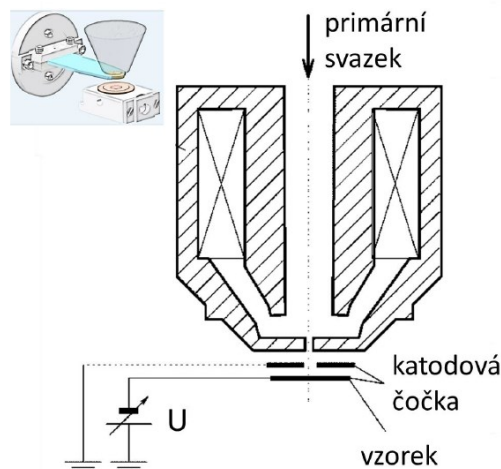
V první řadě vymezme pojmy pomalé a velmi pomalé elektrony. Standardní SEM pracují s energiemi primárního svazku v desítkách keV, i když moderní přístroje umožňují použít i mnohem nižší energie. Za pomalé elektrony prohlásíme primární energie svazku nižší než 5 keV a o velmi pomalých elektronech budeme hovořit pod hranicí 50 eV. Mez 5 keV vychází z toho, že pod touto energií přestává být výtěžek zpětně odražených elektronů (BSE) úměrný atomovému číslu materiálu vzorku a ztrácí se tedy tzv. materiálový kontrast, který ve standardních mikrosnímčích ze SEM ukazuje jako světlejší prvek s vyšším atomovým číslem. Hranice oblasti velmi pomalých elektronů, 50 eV, odpovídá minimu závislosti střední volné dráhy pružného rozptylu elektronů na energii.

Mezi hlavní výhody mikroskopie pomalými elektrony patří zlepšení povrchové citlivosti, a to v důsledku zmenšování interakčního objemu, který klesá rychleji než lineárně s klesající dopadovou energií primárního svazku. Dále se zvyšuje výtěžek sekundárních elektronů (SE) a dochází k redukci, či dokonce k potlačení nabíjení v případě nevodivých vzorků; pro velkou většinu preparátů lze nalézt tzv. kritickou energii, při níž je poměr mezi proudy dopadajících a emitovaných elektronů roven 1 a ani nevodivý vzorek se tedy nenabíjí. Dochází také k potlačení hranového efektu a velmi užitečnou je možnost optimalizovat materiálový kontrast, zvláště u prvků s blízkými atomovými čísly, jejichž kontrast na vysokých primárních energiích je zanedbatelný. Práce v oblasti velmi pomalých elektronů zajišťuje eliminaci radiačního poškození díky ustávání jednotlivých mechanismů nepružného rozptylu a nabízí nové kontrastní mechanismy, jakými jsou interference na povrchových atomových schodcích a tenkých povrchových vrstvách, difrakce na povrchových krystalech, odraz nepřímo úměrný lokální hustotě volných elektronových stavů, aj.

Z přístrojového hlediska existuje několik možností, jak v rastrovacích elektronových mikroskopech dosáhnout nízkých dopadových energií a vypořádat se s okolností, že provozování SEM v oblasti nízkých energií přináší celou řadu problémů, jako je zvětšování chromatické a difrakční vady a rušivého vlivu vnějších elektromagnetických polí a snižování proudu z elektronové trysky. Mezi možné přístupy patří LVSEM (Low Voltage Scanning Electron Microscopy), LESEM (Low Energy Scanning Electron Microscopy) a námi užívaný princip SLEEM [1-4]. V LVSEM vycházejí elektrony z trysky již na konečné nízké energii odpovídající použitému urychlovacímu napětí; v dnešní době se jedná o cca 3 až 5 kV. LESEM je přístroj obsahující ve svém osvětlovacím tubusu mezi anodou trysky a koncem objektivové čočky tzv. booster, tedy trubici izolovanou od tělesa přístroje a udržovanou na kladném potenciálu několika kV. Relativně pomalé elektrony z trysky jsou v boosteru urychleny, takže jejich svazek lépe odolává vnějším rušivým vlivům i vadám čoček, a na konci tubusu pak zpět zpomaleny na konečnou nízkou energii.

Metoda SLEEM je založena na elektronově-optickém prvku zvaném katodová čočka (Cathode Lens, CL), jejíž schéma je znázorněno na obr. 1. Katodu katodové čočky tvoří vzorek, na který je přivedeno záporné předpětí, a anodou je krystal YAG, plnící současně funkci detektoru. Elektrony primárního svazku jsou bržděny v silném elektrostatickém poli CL na svoji konečnou nízkou energii. Signální elektrony emitované ze vzorku jsou polem CL urychlovány směrem k detektoru, což výrazně zvyšuje poměr signál/šum a umožňuje detekovat silný signál zejména při velmi nízkých dopadových energiích. Hlavní výhodou tohoto systému je fakt, že elektronový svazek je při průchodu tubusem ponechán na relativně vysoké energii a je brzděn až v těsné blízkosti povrchu vzorku. Katodová čočka pak funguje jako jistý korektor aberací a umožňuje tak dosažení velmi vysokého rozlišení i na nejnižších energiích. Markantní rozdíl oproti uspořádání LESEM spočívá v tom, že ve SLEEM je vzorek umístěn v silném elektrostatickém poli, zatímco v LESEM se brzdí pole na konci boosteru uzavírá ještě v tubusu. To ovšem způsobuje omezení rozsahu nízkých energií v LESEM na minimálně 100 až 200 eV.

Významným problémem je detekce signálních elektronů v režimu CL. Pole CL stahuje signální elektrony směrem k optické ose mikroskopu, což má velký význam pro detekci elektronů, které byly emitovány pod velkými úhly od osy. Právě tyto elektrony, jako produkty především elastických srážek, nesou informaci o krystalové orientaci vzorku, a proto mikrosnímky SLEEM poskytují lepší krystalografický kontrast v porovnání se standardním SEM.



Obr. 1 Schéma katodové čočky

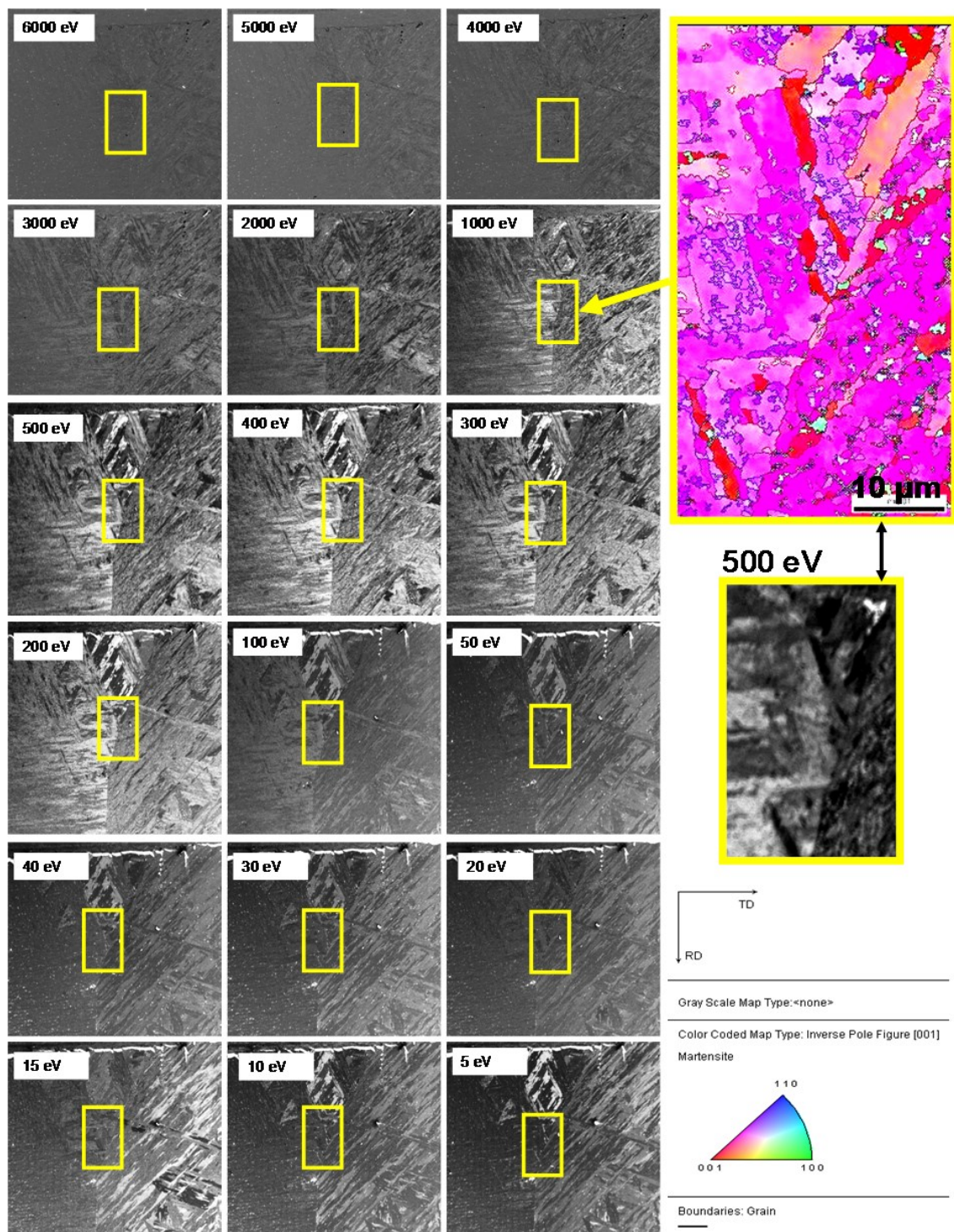
3. VYBRANÉ APLIKACE

Nyní budeme na vybraných vzorcích oceli prezentovat jednotlivé výhody metody SLEEM v porovnání s klasickou SEM. Zejména se bude jednat o zlepšení krystalografického kontrastu v důsledku detekce jak vysokoúhlových BSE, tak i pomalých pružných BSE, o možnou optimalizaci kontrastu atomového čísla, o zvýšení kontrastu mezi precipitáty a maticí a také o zvýšení povrchové citlivosti.

3.1 Zvýšení krystalografického kontrastu ve SLEEM

Jak již bylo zmíněno, v režimu CL jsou signální elektrony stahovány směrem k optické ose, což umožňuje detekci vysokoúhlových zpětně odražených elektronů nesoucích informaci o krystalové orientaci vzorku. Tyto elektrony ve standardních SEM unikají detekci. Série mikrosnímků na obr. 2 demonstruje vývoj kontrastu mezi jednotlivými lankami martenzitu v oceli CB2 s klesající energií dopadu primárních elektronů a tedy s rostoucím imersním poměrem, jímž je poměr primární k dopadové energii, který vyjadřuje intenzitu pole katodové čočky. Je známo, že krystalografický kontrast roste s klesající energií dopadu primárních elektronů, a to v důsledku zvyšujícího se poměru mezi pružně a nepružně odraženými BSE. Metoda SLEEM dokáže propojit oba faktory, tedy nízkou dopadovou energii a detekci elektronů odražených pod velkými úhly, a představuje tedy ideální nástroj pro studium krystalických materiálů [5].

V obr. 2 je identická oblast martenzitické struktury zobrazena pomocí různých dopadových energií, a to od 6 keV až po jednotky eV. Mikrosnímek pořízený na 6 keV reprezentuje standardní BSE mikrosnímek ze SEM, sejmutý bez předpětí na vzorku 0. Informace o krystalové orientaci je zde velmi slabá. Na dalších snímcích byla primární energie svazku 6 keV bržděna prostřednictvím záporného předpětí na vzorku na finální dopadovou energii od 5 keV do 5 eV. Je vidět, že s klesající energií kontrast mezi různě orientovanými martenzitickými jehlicemi roste a dosahuje svého maxima při 500 eV. Mikrosnímky byly konfrontovány s mapou získanou pomocí EBSD, která ukazuje, že jehlice martenzitu mají velmi blízkou krystalovou orientaci. Přesto na snímcích SLEEM je mezi nimi vysoký kontrast. Je nutno podotknout, že tyto výsledky byly získány v ultravysokovakuovém SLEEM (UHV SLEEM), který je vybaven možností in-situ čištění vzorku od přirozeného oxidu pomocí iontového svazku. Toto je velmi důležité především při nízkých dopadových energiích elektronů, jímž vrstva oxidu a další kontaminace nedovolí proniknout k vlastní struktuře vzorku.

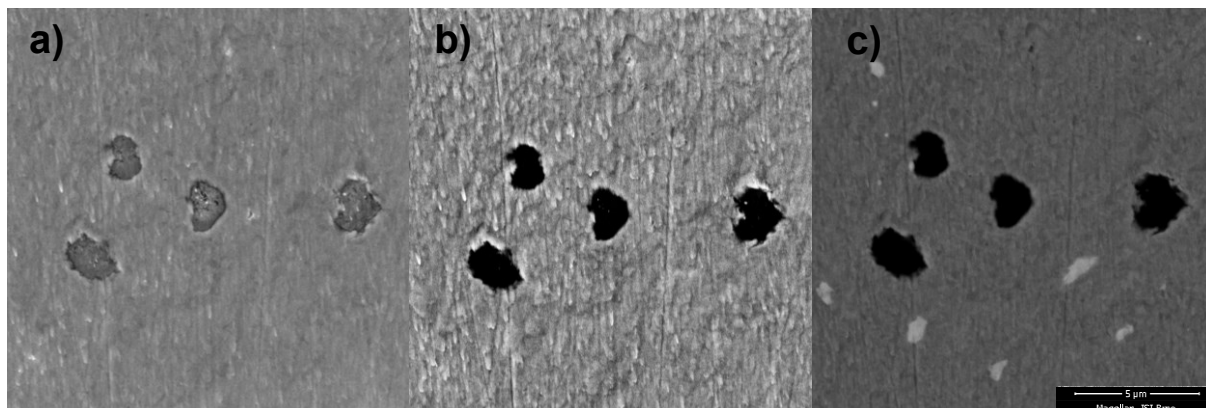


Obr. 2 Martenzitická struktura oceli CB2 zobrazená pomocí SLEEM, společně s mapou krystalové orientace získanou metodou EBSD. Dopadové energie jsou vyznačeny přímo v jednotlivých snímcích

3.2 Zlepšení materiálového kontrastu pomocí SLEEM

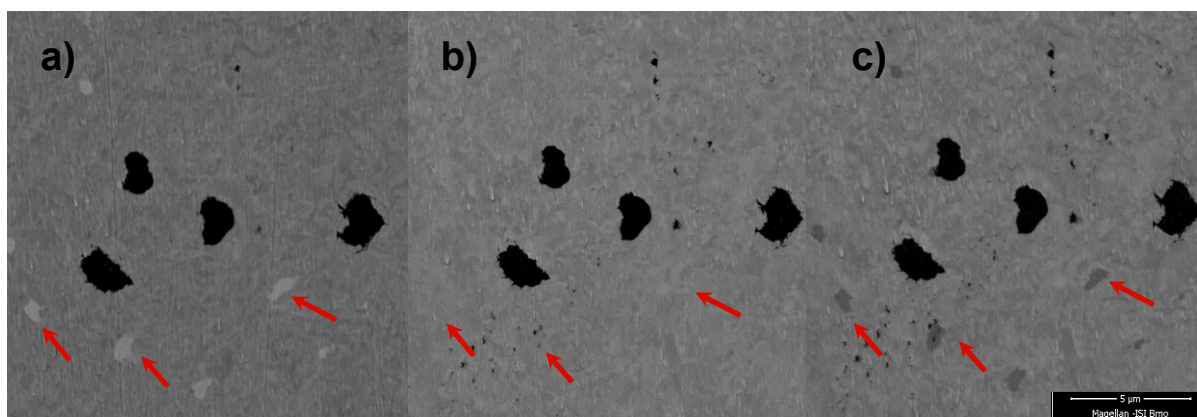
Metoda SLEEM nabízí významnou možnost zlepšení materiálového kontrastu. Ve standardním SEM je výtěžek BSE závislý na atomovém čísle a vyšší výtěžek odpovídá prvku s vyšším atomovým číslem. Struktury chemicky podobné tedy SEM nedokáže rozlišit na základě jejich materiálového složení. U

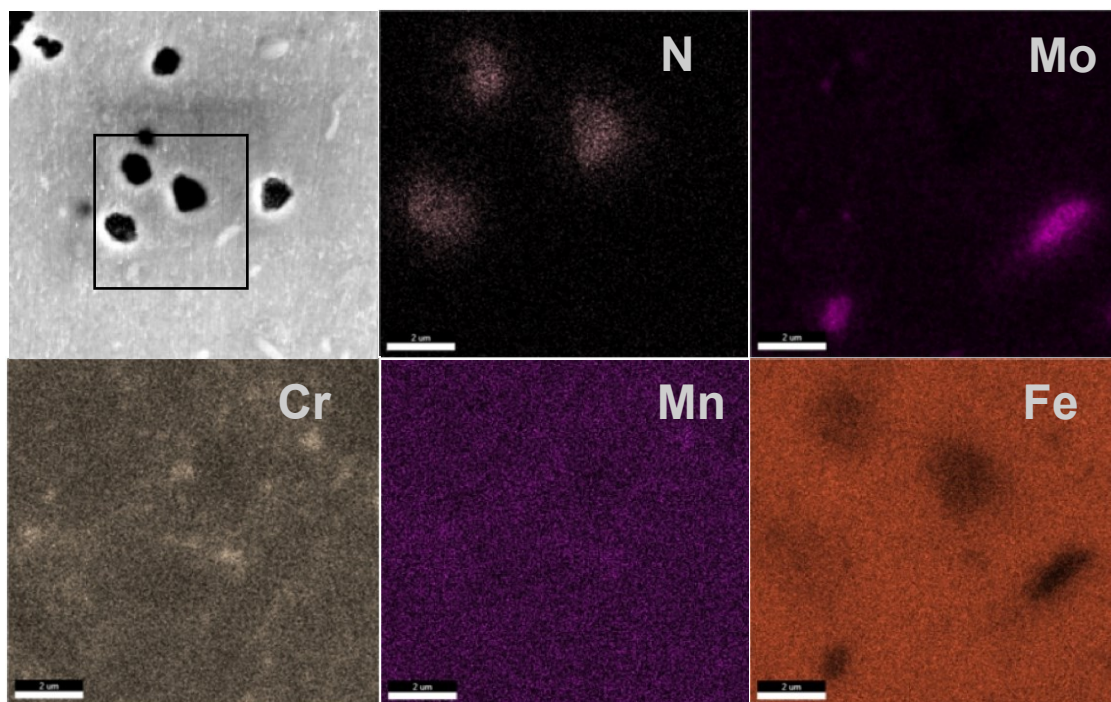
heterogenních vzorků, např. slitin s precipitáty, je důležitý také dosah difuze primárních elektronů uvnitř vzorku, tzv. interakční objem. BSE totiž získáváme z významné části interakčního objemu, která může daleko přesahovat rozměry precipitátů. Jeho signál se pak může i zcela ztrácet v signálu pocházejícímu z matrice v okolí precipitátu i pod ním. Obr. 3 ukazuje tři mikrosnímky vzorku oceli CB2, obsahující precipitáty BN a Lavesovu fázi, jak bylo ověřeno metodou EDX (viz obr. 4). Mikrosnímky (a) a (b) odpovídají standardnímu SEM a byly pořízeny s primární energií 10 keV pomocí detekce SE a BSE. Precipitáty BN jsou viditelné v obou případech, ale informace o Lavesově fázi úplně chybí. Mikrosnímek (c) byl pořízen v SLEEM s dopadovou energií 4 keV a jsou na něm zřetelné jak precipitáty BN, tak Lavesova fáze.



Obr. 3 Ocel CB2 zobrazená pomocí standardního SEM v režimu SE (a) a BSE (b) s primární energií 10 keV, společně s mikrosnímkiem totožné oblasti získaným pomocí SLEEM (c) při dopadové energii 4 keV a s předpětím vzorku -4 kV

Změnu závislosti výtěžku BSE na atomovém čísle demonstruje obr. 4. Všechny mikrosnímky byly pořízeny v režimu SLEEM s předpětím vzorku -4 kV a energií dopadu nastavovanou pomocí změny primární energie. Zde se zaměříme na vývoj kontrastu mezi Lavesovou fází a matricí. Průměrné atomové číslo Lavesovy fáze je vyšší než u matrice a proto je při vyšších energiích světlejší, což odpovídá snímku (a) pořízenému s energií dopadu 4 keV. Při dopadové energii 1 keV (snímek b) se výtěžky BSE z matrice a Lavesovy fáze vyrovnaly a kontrast mezi nimi zmizel. Na snímku (c) je při energii 0,5 keV patrná inverze kontrastu: tmavá fáze a světlá matrice. Pro potvrzení chemického složení byla provedena analýza EDX ukazující rozložení prvků ve vzorku. Je tedy vidět, že pomocí SLEEM lze nalézt optimální dopadovou energii poskytující maximum informací o vzorku.

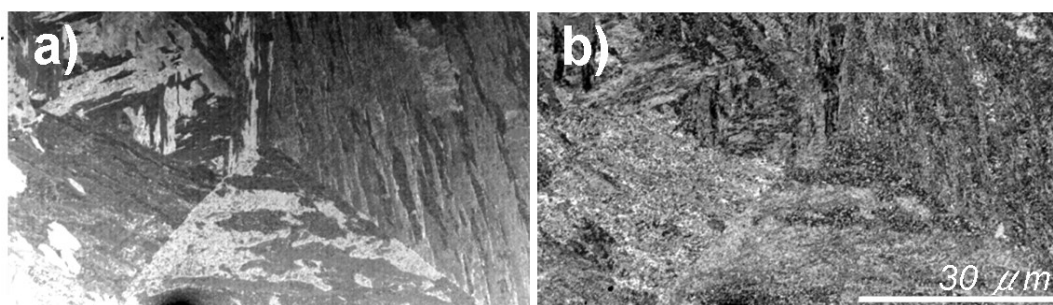




Obr. 4 Mikrosnímky oceli CB2 pořízené ve SLEEM s dopadovou energií primárního svazku 4 keV (a), 1 keV (b) a 0.5 keV (c), společně s odpovídajícími mapami rozložení jednotlivých prvků získanými metodou EDX

3.3 Povrchová citlivost metody SLEEM

Otázka povrchové citlivosti mikroskopické techniky souvisí se zobrazováním substruktur vnořených do matrice, jimiž jsme se zabývali v předchozím odstavci. Nyní si všimneme povrchové citlivosti snímání krystalografického kontrastu. Na obr. 5 je dvojice mikrosnímků SLEEM z totožné oblasti na vzorku oceli CB2. Martenzitická struktura je tvořena velmi jemnými jehlicemi, takže pro rychlé elektrony je snadné tyto struktury "prosvítit" a detekovaný signál pak neodpovídá skutečné morfologii jehlic, ale je směsí signálů z povrchových a podpovrchových struktur. Mikrosnímek (a) byl pořízen s dopadovou energií 4 eV, při níž je interakční objem elektronů výrazně menší než při 3000 eV (snímek b). V tomto případě vyšší energie elektronů přináší značně jemnější strukturu snímku, z čehož vyplývá, že důležité detaily zaujmají hloubku, do níž velmi pomalé elektrony již neprotrhnou a zobrazují tedy jen povrch jehlic. I v tomto případě bylo měření provedeno v UHV SLEEM a vzorek byl před samotným pozorováním očištěn v přípravné komoře od přirozeného oxidu ionty Ar⁺.



Obr. 5 Mikrosnímky oceli CB2 pořízené v UHV SLEEM s energií dopadu primárních elektronů 4 eV (a) a 3000 eV (b)

4. ZÁVĚR

Záměrem bylo demonstrovat přínos metody SLEEM pro studium a charakterizaci mikrostruktury ocelí. Bylo ukázáno, že změnou energie dopadu elektronů na povrch vzorku lze dosáhnout optimálního kontrastu mezi oblastmi s podobným chemickým složením, zvýšit krystalografický kontrast a využít vysokou povrchovou citlivost této metody.

PODĚKOVÁNÍ

Autoři děkují projektu TAČR č. TE01020118 za finanční podporu a Mgr. Aleši Patákovi, Ph.D. za odbornou pomoc při práci s mikroskopem. Autorka Šárka Mikmeková je podporována stipendiem firmy FEI.

LITERATURA

- [1] Reimer, L.: Scanning Electron Microscopy. Berlin: Springer Verlag, 1998
- [2] Niedrig, H.: Physical background of electron backscattering. Scanning, Vol. 1, 1978, p. 17-34
- [3] Bell, D.C., Erdman, N.: Low voltage electron microscopy - principles and applications. Wiley, 2013
- [4] Müllerová, I., Frank, L.: Scanning Low-Energy Electron Microscopy. Advances in Imaging and Electron Physics, Vol. 128, 2003. p. 309-443
- [5] Mikmeková, Š., et al.: Grain contrast imaging in UHV SLEEM. Materials Transactions, Vol. 51, 2010, p. 292-296

NOVÉ VÝROBNÍ TECHNOLOGIE VYBRANÝCH JAKOSTÍ SE ZAMĚŘENÍM NA SNÍŽENÍ VÝROBNÍCH NÁKLADŮ

Miloš MASARIK^a, Libor ČAMEK^b, Jiří DUDA^a, Zdeněk ŠÁŇA^a

^a EVRAZ VÍTKOVICE STEEL, a. s., Štramberská 2871/47, Czech Republic, EU

^b VŠB - Technical University of Ostrava, FMFI, 17. listopadu 15/2172, Ostrava, Czech Republic, EU,
libor.camek@vsb.cz

Abstrakt

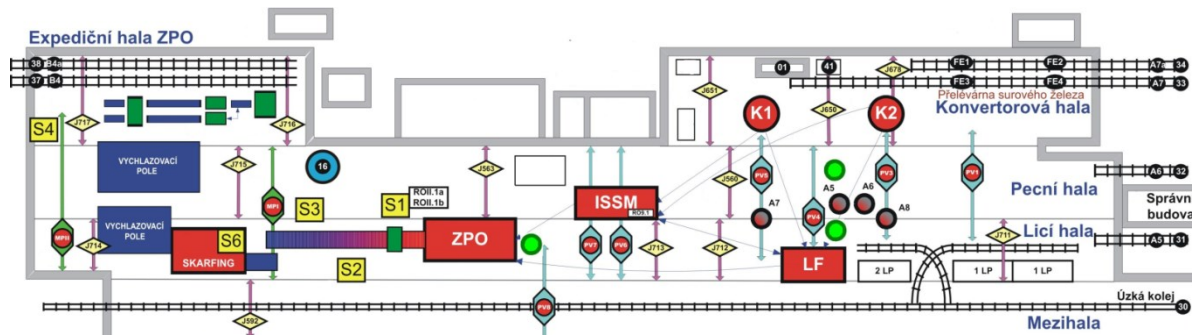
Současný výrobní program v ocelárně EVRAZ VÍTKOVICE STEEL a.s. obsahuje souhrn jakostí v úrovni dvou řádů a z toho plynoucích řady kombinací metalurgických a technologických výrobních postupů. V provozu ocelárny jsou výrobními agregáty dva kyslíkové konvertory, na které navazuje zařízení mimopecního zpracování s pánvou pecí a dvěma kesony osazené kyslíkovou tryskou s následným odléváním do brambových ocelových předlitků. Jednotlivé výrobní postupy jsou standardně vedeny podle detailních technologických předpisů. Z pohledu současné ekonomické stagnace je nutné hledat nové mimořádné výrobní technologie, pro získání možnosti nákladových úspor, s ohledem k dodržení standardů výroby dané značky oceli. Článek předkládá jeden z takových příkladů, zavedení nového výrobního postupu, který byl testován při výrobě konstrukční oceli jakosti S 355.

1. ÚVOD

Pro výrobu oceli v provozu ocelárny EVRAZ VÍTKOVICE STEEL a.s. jsou k dispozici dva kyslíkové výrobní agregáty, konvertory K1 a K2. Následné zpracování oceli se realizuje na navazujícím zařízení mimopecního zpracování oceli, kde je možné použít pánvou pec (LF) a dva kesony (ISSM), které jsou osazeny kyslíkovou tryskou. Finálně zpracovanou taveninu je možné odlévat na zařízení brambového kontiliti (ZPO). Výstupní rozměry předlitků mohou být odlévány v tloušťkách 145 mm, 180 mm a 250 mm s limitovanou šířkou od 800 mm do 1600 mm. Předlitky těchto formátů jsou dále zpracovány na válcovně profilů a především na válcovně tlustých plechů do různých tlouštěk a šířek dle požadavků zákazníků.

2. VARIANTY STANDARDNÍCH VÝROBNÍCH POSTUPŮ V PROVOZU OCELÁRNY

Technologické a metalurgické postupy výroby byly v provozu ocelárny postupně zpracovávány v souvislosti se vznikající investiční výstavbou nového technologického zařízení anebo jeho modernizací. Na **obr. 1** jsou schematicky znázorněny jednotlivé výrobní agregáty a související technologická pracoviště provozu ocelárny. Naznačeny jsou také jednotlivé varianty výrobních postupů [1].



Obr. 1 Schéma výrobních postupů provozu ocelárny

Podle zakázkové náplně jednotlivých jakostí oceli na požadovanou čistotu taveniny jsou definovány jednotlivé varianty výrobní technologie.

- varianta výrobní technologie č. 1 K - LF - ZPO
- varianta výrobní technologie č. 2 K - ISSM - LF - ZPO
- varianta výrobní technologie č. 3 K - LF - ISSM - ZPO

Jako příklad lze uvést některé parametry pro variantu výrobní technologie č. 3, která zajišťuje výrobu oceli s maximální dosažitelnou čistotou, kupříkladu obsahy prvků v konečné analýze $S \leq 3 \text{ ppm}$, $H \leq 2 \text{ ppm}$ a $O \leq 25 \text{ ppm}$.

3. STRUČNÁ CHARAKTERISTIKA STANDARDNÍHO VÝROBNÍHO POSTUPU PRO JAKOST S 355J2

Pro výrobu jakosti oceli S 355J2 dle ČSN EN 10025-2 byla na základě požadovaných parametrů zákazníka se zaručenou čistotou materiálu, dosaženou kontrolní zkouškou ultrazvukem u plechů dle normy SEL 072 stupeň 3 s výstupním produktem plechů do tloušťky 30 mm, zvolena výrobní technologie č. 2 s postupem K - IS - LF - ZPO. Základní údaje o chemickém složení jakosti oceli S 355J2 podle normy ČSN EN 10025-2 a podle detailního technologického předpisu (DTP) jsou uvedeny v **Tab. 1**

Tab. 1 Chemické složení jakosti oceli S 355J2

Analýza hm. [%]	C	Mn	Si	P	S	Al
S 355J2 max.	0,20	1,60	0,55	0,025	0,025	
DTP min.	0,15	1,45	0,15			0,02
DTP max.	0,18	1,55	0,25	0,025	0,005	0,06

Některé vymezené hodnoty mechanických vlastností jsou uvedeny v **Tab. 2**.

Tab. 2 Mechanické vlastnosti jakosti oceli S 355J2

Mechanické vlastnosti	mez kluzu ReH [MPa]	mez pevnosti Rm [MPa]
S 355 J2	max. 345	470 - 630

Při využití varianty výrobní technologie K - ISSM - LF - ZPO byl využíván standardní postup dezoxidace a legování v lici pánvi (LP) pod konvertory pomocí komplexních přísad SiMn, FeMn a FeSi. Závěrečná dezoxidace oceli byla vedena přísadou cca 1,5 kg/t oceli pomocí Al housek a současně podpořena přísadou karbidu vápníku (CaC_2) v množství 0,5 - 1 kg/t oceli. Tvorba strusky byla vedena přídatkem 10 - 12 kg/t oceli směsí CaO a Al_2O_3 . Základní dezoxidace a legování v lici pánvi pod konvertory je spojeno se zvýšenými propaly dodávaných prvků a jejich částečnému přechodu do strusky. Těmito postupy se částečně degradovala požadovaná čistota oceli a chemické složení nově vznikající rafinační strusky. Údaje o technologických postupech (TP) v provozu ocelárny jsou obsaženy v **Tab. 3** s označením TP 1, TP 2 a TP 3.

Tab. 3 Technologické postupy dezoxidace a legování v LP pod konvertory

Přísada	TP č. 1	TP č. 2	TP č. 3
	[kg/t]		
SiMn	20	12,5	0
FeSi	1,7	1,2	0
FeMn	0	7,5	18,7
Al	1,7	1,7	0
CaC2	1	1	0
C smolný	0,5	0,5	0,5
Struskotvorné přísady	12	12	12

Pro příklad navazující standardní technologie ISSM byla vybrána tavba ze sekvence s počtem 6 taveb, vyráběné jakosti S355J2. V **tab. 4** jsou uvedeny některé průběhy měřených hodnot obsahu plynů ve spalínách při zpracování standardním technologickým postupem v zařízení ISSM.

Tab. 4 Obsah plynů při zpracování tavby v zařízení kesonu při TP č. 2

Minuta	Tlak [hPa]	Průtok			Procentuální obsah ve spalínách:					
		Ar [l/min]	H ₂ [l/min]	O ₂ [l/min]	H ₂ [%]	H ₂ [%]	O ₂ [%]	CO [%]	CO ₂ [%]	Ar [%]
0	822,81	93,80	0,00	0,00	0,01	78,03	20,99	0,00	0,03	3,67
1	344,12	98,50	0,00	0,00	0,03	79,91	18,87	0,10	0,35	1,18
2	98,43	98,50	0,00	0,00	0,14	80,35	16,24	0,23	1,92	1,13
3	5,95	98,70	0,00	0,00	14,20	67,05	9,08	4,22	3,34	2,12
4	1,09	96,20	0,00	0,00	32,62	51,78	3,97	5,86	3,01	2,77
5	1,94	56,30	0,00	0,00	25,42	66,03	2,55	2,56	0,90	2,54
6	0,41	68,80	0,00	0,00	28,47	56,40	3,63	6,33	1,98	3,20
7	0,05	68,80	0,00	0,00	26,67	55,57	6,00	4,83	2,55	4,40
8	0,00	69,00	0,00	0,00	16,82	64,79	8,69	3,14	2,57	4,00
9	0,00	68,80	0,00	0,00	15,71	65,98	9,60	2,35	2,80	3,55
10	0,00	68,70	0,00	0,00	12,82	68,72	9,87	2,35	2,47	3,77
11	249,95	74,60	0,00	0,00	10,93	70,42	9,96	2,42	2,31	3,96
12	994,22	157,40	0,00	0,00	10,84	70,50	9,96	2,42	2,30	3,97
13	993,89	82,90	0,00	0,00	10,84	70,50	9,96	2,42	2,30	3,97
14	993,89	48,90	0,00	0,00	10,84	70,50	9,96	2,42	2,30	3,97

Technologické postupy č. 1 a č. 2 vedou ve výrobní fázi pod konvertorem k ukladnění taveniny a následně při zpracování v kesonu, již nedochází k uhlíkovému varu a snížení kyslíku v tavenině (**tab. 4**) a veškeré reakce jsou zde iniciovány pouze na základě prodmychávání taveniny argonem. Vlastní činnosti v zařízení kesonu jsou již minimalizovány na drobné dolegování a dodržení doby hlubokého vakua.

4. NOVÁ VÝROBNÍ TECHNOLOGIE PRO JAKOST S 355J2

Neustálé snahy po úsporných opatřeních a to ve spojení s kesonovým zpracováním vedly k navržení nových výrobních postupů u dané jakosti. Pro nové výrobní technologie bylo možné zvolit několik variant, tak aby byl dosažen výsledný efekt ve správné analýze požadované zákazníkem. V **tab. 3** je uveden příklad technologického postupu dezoxidace a legování č. 3 ve fázi zpracování oceli při odpichu oceli v LP pod konvertorem, který zajišťuje nejenom výslednou analýzu požadované jakosti, ale řeší také výši výrobních nákladů.

Základem je částečné využití uhlíkové reakce při zpracování v ISSM spojené s hlubokým vakuem pro dezoxidaci a rafinaci oceli. Podstatou navržené nové technologie legování oceli v lici pánvi pomocí FeMn a koksu (**tab. 3**) je dosažení příznivého celkového obsahu kyslíku v oceli pro snadnější řízení uhlíkového varu ve vakuu. Během uhlíkové reakce ve vakuu klesají obsahy jak uhlíku, tak i kyslíku v oceli, což je velice účinný a čistý způsob dezoxidace oceli. Poklesy obou prvků je možné nalézt například na Vacher-Hemiltonovu diagramu, který dokumentuje pokles obou prvků se snižujícím se tlakem [2].

Pro názorné porovnání oproti použití standardní technologie v ISSM byla vybrána tavba z testované sekvence vyráběné jakosti S355J2. V **tab. 4** jsou uvedeny některé průběhy měřených hodnot obsahu plynů ve spalínách při zpracování novou výrobní technologií.

Tab. 4 Obsah plynů při zpracování tavby v zařízení kesonu při TP č. 3

Minuta	Tlak [hPa]	Průtok			Procentuální obsah ve spalínách:					
		Ar [l/min]	H ₂ [l/min]	O ₂ [l/min]	H ₂ [%]	N ₂ [%]	O ₂ [%]	CO [%]	CO ₂ [%]	Ar [%]
0	849,31	98,20	0,00	0,00	0,01	78,03	20,99	0,00	0,03	22,58
1	382,69	98,40	0,00	0,00	0,02	79,23	19,21	0,10	0,33	2,93
2	175,44	98,40	0,00	0,00	1,96	67,36	7,50	13,71	8,25	1,23
3	46,55	98,40	0,00	0,00	10,15	25,79	1,84	54,12	6,99	1,12
4	8,54	98,50	0,00	0,00	13,86	15,92	1,38	60,78	6,89	1,17
5	4,23	98,50	0,00	0,00	11,70	18,51	1,56	55,59	10,81	1,83
6	2,40	98,60	0,00	0,00	9,29	29,64	1,74	43,42	13,42	2,50
7	0,42	98,50	0,00	0,00	11,64	36,12	3,04	32,18	13,48	3,55
8	0,00	98,60	0,00	0,00	10,49	58,40	6,15	8,66	11,50	4,81
9	0,15	149,00	0,00	0,00	15,42	65,41	4,41	3,94	5,31	5,51
10	0,00	258,00	0,00	0,00	11,29	66,84	5,51	3,16	3,68	9,58
11	0,83	144,80	0,00	0,00	4,31	75,55	5,89	1,66	3,18	9,42
12	0,64	299,90	0,00	0,00	2,47	83,80	3,97	0,93	3,49	5,34
13	0,15	345,10	0,00	0,00	6,43	70,07	5,12	2,23	4,73	11,45
14	155,22	241,10	0,00	0,00	5,07	69,20	4,55	2,56	3,85	14,77
15	963,60	74,40	0,00	0,00	4,70	68,80	4,78	2,59	3,98	15,14

Po prvních provedených zkouškách bylo zjištěno, že během úvodního zpracování při homogenizaci ocelové taveniny a následném vytvoření hlubokého vakua dochází k poměrně bouřlivé uhlíkové reakci v ocelové tavenině. Po několika zkouškách byla doba uhlíkové reakce stanovena na dobu 5 minut, kdy bylo možné ještě akceptovat pokles teploty spojený s varem ocelové taveniny. Po této době byla uhlíková reakce zastavena přidávkou 0,6 kg/t oceli granulovaného Al a dále bylo pokračováno v úplném dokončení legování v hlubokém vakuu podle požadovaného chemického složení.

5. ZÁVĚR

Testováním nové výrobní technologie pro jakost S 355J2 byly doposud dílčím hodnocením prokázány úspory ve spotřebě Al ve výši kolem 0,7 kg/t oceli a to se sníženým propalem Si. Legování Si bylo prováděno až do plně uklidněné ocelové taveniny v hlubokém vakuu. Hodnota úspory přísad je stále částečně snižována poklesem teploty během vakuového zpracování, což má za následek nutnost opětovného přehřevu na závěrečném zařízení sekundární metalurgie LF stanici. Nová výrobní technologie zpracování se jeví jako perspektivní s cílem v dosahování úspor ve spotřebě dezoxidačních a legujících přísad kovopřísad a současně v dosahované čistotě oceli. Zkušební tavby budou dále prováděny v souvislosti se zakázkovou náplní testované jakosti S 355J2.

LITERATURA

- [1] R. Rech, L. Čamek, Některé aplikace keramických materiálů licích pánví na zařízení sekundární metalurgie EVRAZ VÍTKOVICE STEEL a.s. In 24. ročník konference o teorii a praxi výroby a zpracování oceli. Sborník přednášek. Rožnov pod Radhoštěm, 2.-3. dubna 2008, © TANGER spol. s.r.o., s. 138-142. ISBN 978-80-86840-39-0.
- [2] Thermodynamic study of non-metallic inclusion, *Stolberg division, slide show*, EVRAZ VÍTKOVICE STEEL a.s., Ostrava 2011, pp. 36.

VYTVOŘENÍ KOMPLEXNÍHO NÁKLADOVÉHO MODELU VÝROBY ODLITKU

Lenka FIRKOVÁ ^a, Václav KAFKA ^b

VŠB Ostrava, FMMI, Ostrava, Česká republika, EU, lenka.firkova@gmail.com

RACIO & RACIO, Orlová, Česká republika, EU, vaclav.kafka@upcmil.cz

Abstrakt

Příspěvek je úvodní prací v oblasti vývoje komplexního nákladového modelu výroby odlitku. Představuje jednotlivé fáze výroby odlitku a náklady, které při tomto procesu vznikají. Vychází z dřívějších prací v této oblasti, především z PROJEKTŮ I - XIV zpracovaných odbornou komisí ekonomickou při České slévárenské společnosti. V nich byly náklady na danou výrobní fázi detailně zpřehledněny a vytvořeny dílčí nákladové modely. Detailní poznání nákladů a jejich správné přiřazení umožňuje jejich měření a následně řízení jejich spotřeby.

Klíčová slova: odlitek, nákladový model, kalkulace, výroba odlitku

1. ÚVOD

Výroba kovů je důležitým úvodním krokem v řetězci tvorby přidané hodnoty mnoha odvětví vyrábějících prakticky jakékoli druhy zboží. Světová finanční a hospodářská krize, která začala v roce 2008, jako první postihla výrobce, zpracovatele a v konečné fázi uživatele oceli. Umocnila tak tlaky na snižování nákladů ve výrobě. Pro řadu sléváren je to otázka udržení výroby a zachování efektivnosti firmy. Často jsme ovšem svědky nesystémové snahy o „šetření“ bez komplexního posouzení všech nákladů a přínosů možných řešení. Nezbytné je proto u snahy o snižování nákladů vycházet z jejich důkladné znalosti a analýzy konkrétních podmínek dané výroby. K provedení analýzy výrobního toku je potřeba využití vhodné metody k vlastnímu provoznímu sledování nákladů.

Cílem příspěvku je seznámení s jednotlivými náklady výrobních fází odlitku a představení PROJEKTŮ, které se problematice sledování nákladů věnují. Dále naznačit možné následující kroky ve snaze vytvoření komplexního nákladového modelu odlitku.

2. FÁZE VÝROBY ODLITKU

Výroba odlitku probíhá zjednodušeně v následujících fázích:

1. Výroba tekutého kovu
2. Příprava formovacích směsí
3. Výroba formy
4. Odlévání do formy
5. Apretace

Náklady podniku [1, 2]

Náklady, jak je obecně známo, jsou peněžně vyjádřené účelné a účelové vynaložení prostředků a práce v průběhu hospodářské činnosti podniku. Představují v penězích vyjádřenou spotřebu zhmotnělé a živé práce na výrobu a realizaci produkce. Náklady jsou nejsouhrnnějším ukazatelem hospodaření výrobní jednotky. Odráží se v nich výrobní, zásobovací, odbytová činnost podniku a jeho technická, ekonomická a organizační úroveň.

Je obecně známo, že každá výrobní jednotka ve svém hospodaření pracuje s kalkulacemi tak zvaných úplných vlastních nákladů (UVN). Ty zahrnují veškerá nákladová čerpání jak jednotlivých hospodářských

středisek, tak i výrobních fází nebo výrobků. Pro přímé sledování a následné řízení nákladové spotřeby byla postupně zavedena **kalkulace neúplných vlastních nákladů** (NVN). Jedná se o druh kalkulace, která bere v úvahu pouze náklady přímo související s danou výrobní fází. To znamená, že posuzuje jen ty náklady, které mohou hospodářská střediska (pracovní osádky) svou činností přímo ovlivnit. Tedy zjednodušeně tzn. přímý materiál, přímé mzdy a ostatní přímé náklady. Kalkulace NVN se od klasického typového kalkulačního vzorce na bázi ÚVN liší především tím, že nezahrnuje režijní položky (výrobní, správní ani odbytovou režii). Nezahrnuje tedy např. osvětlení hal, odpisy apod.

Následně se zaměříme na jednotlivé fáze výroby odlitku a u nich posuzované náklady.

3. VÝROBA TEKUTÉHO KOVU [2]

Sestavení kalkulačního vzorce pro tekutý kov

Kalkulační vzorec NVN výroby tekutého kovu má obvykle tuto podobu:

- a) **materiálové náklady:**
 - náklady na vsázku;
 - náklady na kovové přísady;
 - náklady na nekovové přísady;
- b) **zpracovací náklady:**
 - náklady na energii použitou k tavení (el. energie, zemní plyn, kyslík, argon atd.);
 - náklady úměrné době tavby (osobní náklady, náklady na vyzdění /vydusání/ pece, pánve atd.);
 - ostatní zpracovací náklady (náklady na analýzu kovu, strusky, měření teploty kovu atd.).

Součtem obou položek následně získáváme neúplné vlastní náklady.

Kalkulační jednicí je obvykle tuna tekutého kovu. Nebo-li takzvaný kov na žlábků. Z výše naznačeného kalkulačního vzorce vyplývá následující vztah (1) pro výpočet NVN.

$$\text{Výpočet NVN: } NVN = MN + ZN \quad [Kč/t] \quad (1)$$

kde: NVN ... neúplné vlastní náklady [Kč/t]
 MN ... materiálové náklady [Kč/t]
 ZN ... zpracovací náklady [Kč/t]

Výpočet materiálových nákladů

Materiálové náklady, které zahrnují náklady na vsázku, kovové a nekovové přísady, tvoří cca 60-70 % z NVN výroby tekutého kovu.

Stanovení materiálových nákladů se provádí podle vztahu (2):

$$MN = NC_{vs/t} + NC_{kp/t} + NC_{nkp/t} \quad [Kč/t] \quad (2)$$

kde: MN ... materiálové náklady [Kč/t]
 $NC_{vs/t}$... celkové náklady na vsázku v peci [Kč/t]
 $NC_{kp/t}$... celkové náklady na kovové přísady vsazené do pece a pánve [Kč/t]
 $NC_{nkp/t}$... celkové náklady na nekovové přísady vsazené do pece a pánve [Kč/t]

Nejprve jsou vypočteny náklady na tavbu [Kč/tav], poté následuje přepočítání na stanovenou kalkulační jednici - tunu tekutého kovu [Kč/t].

- a) **Vsázka** zahrnuje veškeré kovové a nekovové komponenty vsazené do pece před jejím samotným zapnutím (šrot, vratný materiál, různé druhy kovového a nekovového odpadu, surové železo apod.).

Při kalkulaci nákladů na vsázku vycházíme z množství vsázkové komponenty vsazené do pece a její ceny. Vsázka se na materiálových nákladech podílí největší měrou.

- b) **Kovové přísady** tvoří skupinu přísad, které jsou do pece a následně do pánve přidávány v průběhu tavicího procesu. K určení nákladů na kovové přísady je nutná znalost ceny kovové komponenty a její hmotnost přidaná do pece. Kovové přísady tvoří druhou největší položku materiálových nákladů.
- c) **Nekovové přísady** představují skupinu struskotvorných přísad. Jedná se především o koks, kazivec, vápno a další struskotvorné přísady. K nákladovému hodnocení nekovových přísad je podobně jako u ostatních složek materiálových nákladů předpokládána znalost ceny a spotřebovaného množství nekovové přísady. Nekovové přísady zaujímají nejmenší podíl na materiálových nákladech výroby tekutého kovu.

Výpočet zpracovacích nákladů

Druhou skupinou jsou **zpracovací náklady**. Ty se podílí na výrobě tekutého kovu 30-40 % z NVN. U zpracovacích nákladů jsou hodnoceny náklady na tavicí energii (např. elektrickou), náklady úměrné době tavy (osobní náklady, náklady na vyzdívku a výdusku pece atd.) a dále ostatní zpracovací náklady (náklady na měření teploty kovu, náklady na analýzy kovu a další) dle vztahu (3). Zvláštním případem jsou u EOP náklady na grafitové elektrody, jejichž výše se modeluje jak dle doby tavy, tak spotřeby elektrické energie.

Stanovení zpracovacích nákladů:

$$ZN = N_{ee/t} + N_{ge/t} + N_{on/t} + N_{vv/t} + N_{vp/t} + N_{ak/t} + N_{mt/t} \quad [\text{Kč/t}] \quad (3)$$

kde:	ZN	...	zpracovací náklady [Kč/t]
	$N_{ee/t}$	...	náklady na spotřebu elektrické energie [Kč/t]
	$N_{ge/t}$	...	náklady na spotřebu grafitových elektrod [Kč/t]
	$N_{os/t}$	...	osobní náklady [Kč/t]
	$N_{vv/t}$	...	náklady na vyzdění víka pece [Kč/t] - pro elektrické obloukové pece
	$N_{vp/t}$	...	náklady na vyzdění (vydusání) stěn pece [Kč/t]
	$N_{ak/t}$	...	náklady na analýzy kovu a strusky [Kč/t]
	$N_{mt/t}$	...	náklady na měření teploty kovu [Kč/t]

Podobně jako v případě materiálových nákladů jsou nejprve stanoveny náklady na tavbu [Kč/tav], které jsou následně přepočteny na zvolenou kalkulační jednotku, kterou je tuna tekutého kovu [Kč/t].

- a) **Elektrická energie** je v elektrických pecích spotřebovávána při tavení vsázky a přísad. Při stanovování nákladů na elektrickou energii se předpokládá znalost množství spotřebované elektrické energie a její ceny. Elektrická energie představuje největší nákladovou položku skupiny zpracovacích nákladů.
- b) **Grafitové elektrody** představují významný článek podílející se na ekonomii provozu při výrobě tekutého kovu. Náklady na spotřebu grafitových elektrod se do kalkulačního vzorce výroby tekutého kovu zahrnují pouze u taveb vedených na EOP.
- c) **Osobní náklady** představují mzdové náklady, kterými se pracovní osádka pece přímo podílí na výrobě tekutého kovu. Výpočet osobních nákladů vychází ze znalosti počtu členů pecní osádky, jejich hrubé mzdy, aktuální sazby odvodů sociálního a zdravotního pojištění zaměstnavatele a doby tavy.
- d) **Vyzdění víka a pece** představují další z položek, které nákladový model výroby tekutého kovu zahrnuje. Jejich začleněním do kalkulačního vzorce se model snaží nákladově vyjádřit jejich opotřebení. Vychází přitom především ze znalosti doby tavy, která při stanovování nákladů na vyzdění hraje významnou roli. Dále pak ze znalosti celkových nákladů na vyzdění za rok a součtu

všech dob tavby za rok neboli takzvaný hrubý provozní čas. Náklady na vyzdění víka posuzuje nákladový model zejména v případě tavení v EOP.

- e) **Analýza tekutého kovu** je další z položek, kterou nákladový model v rámci zpracovacích nákladů hodnotí. Prostřednictvím těchto analýz je určováno chemické složení tekuté fáze, a to podle vyráběné jakosti dvakrát i vícekrát za tavbu. U taveb vedených v EOP se obvykle chemický rozbor provádí po natavení, oxidaci a před odpichem (výsledná analýza). V případě EIP jsou analýzy chemického složení méně časté (cca dvakrát za tavbu). Při kalkulaci nákladů na analýzu tekutého kovu metoda vychází ze znalosti přesného počtu analýz na tavbu a z ceny jedné analýzy.
- f) **Měření teploty tekutého kovu** představuje poslední z obvykle posuzovaných položek popisovaného nákladového modelu. Teplota tekutého kovu v elektrických pecích se měří pomocí výměnných sond na měření teploty. Náklady na měření teploty oceli či litiny tedy vycházejí z počtu spotřebovaných sond a jejich ceny.

Prostřednictvím nákladového modelu je například možné zjistit, kolik činí NVN výroby konkrétní jakosti kovu, jaký podíl z těchto nákladů tvoří vsázka, přísady, elektrická energie, grafitové elektrody atd. Na základě těchto informací obdržíme detailní přehled o nákladové náročnosti každé tavby.

4. PŘÍPRAVA FORMOVACÍCH SMĚSÍ [9-11]

Neúplné vlastní náklady jsou opět definovány jako náklady zahrnující hlavní přímé náklady používaného výrobního způsobu přípravy formovacích směsí, které jsou přímo stanovitelné a jejichž vynakládání může osádka nebo vedení příslušného střediska přímo ovlivnit. Jedná se zejména o náklady na přímé vstupy jako je ostřivo, pojivová soustava, přísady, veškeré náklady na energie, dopravu, přímé mzdy apod. Dále náklady na sekundární suroviny - tedy regenerát a vratnou směs apod. Vratná směs byla oceňována pouze vzniklými náklady na manipulaci a úpravu vratné směsi.

Stanovení NVN hlavní výrobní fáze přípravy formovacích směsí vychází z jejího dělení na výrobní fáze.

Pořízení, manipulace a příprava nového ostřiva

Výstupem výrobní fáze jsou náklady na pořízení, manipulaci a přípravu nového ostřiva - tedy ostřiva dopraveného do mísiče.

Regenerace

Kalkulační jednotkou je 1 tuna regenerátu použitelného k výrobě příslušné nové formovací směsi. Výstupem výrobní fáze jsou náklady na výrobu regenerátu.

Manipulace s vratnou směsí

Výstupem jsou náklady na dopravu a „úpravu“ vratné směsi (kalkulační jednotkou je 1 t vratné směsi) a její doprava do mísiče.

Pojivová soustava

Výstupem této fáze jsou náklady na nákup a dopravu pojiva (kalkulační jednotkou je 1 t pojiva) a jeho doprava do mísiče.

Manipulace s uhlíkatými přísadami

Kalkulační jednotkou je 1 tuna uhlíkatých přísad. Výstupem výrobní fáze jsou náklady na pořízení a manipulaci s uhlíkatými přísadami (včetně jejich dopravy do mísiče).

Přípravné práce - předmíchaná směs

Kalkulační jednotkou je 1 tuna vyrobené předmíchané směsi. Výstupem výrobní fáze jsou náklady na předmíchání směsi.

Míchání komponent v mísiči

Kalkulační jednotici výrobní fáze je 1 tuna vyrobené formovací směsi. Výstupem výrobní fáze jsou náklady na míchání komponent v mísiči.

Technologické vlastnosti vyrobené formovací směsi

Kalkulační jednotici je 1 tuna vyrobené formovací směsi. Výstupem výrobní fáze jsou náklady na zkoušení technologických vlastností vyrobené formovací směsi.

Deponie

Kalkulační jednotici je 1 tuna odpadu vzniklého při výrobě příslušné formovací směsi. Výstupem výrobní fáze jsou náklady na 1 tunu odpadu.

5. VÝROBA FORMY [12-13]

Stanovení nákladů na výrobu formy vychází, stejně jako u dříve řešených hlavních výrobních fází odlitku (výroba tekutého kovu, příprava formovacích směsí) nejprve z detailního popisu všech prováděných operací.

Pracovní fáze výroby formy, které zahrnují jak ruční tak strojní způsob výroby formy:

- A. Příprava modelu k formování
- B. Výroba spodní poloformy
- C. Výroba horní poloformy
- D. Složení formy
- E. Přesun formy na lící pole
- F. Výroba jader
- G. Výroba pomocných dílů

Každá výrobní fáze byla dále dělena do dílčích podfází. Dělení je základem, jak pro sběr potřebných dat ke stanovení nákladů, tak i pro vyvíjený nákladový model.

Příklad výpočtu materiálových nákladů

Vlastní příklady výpočtů jsou provedeny podle jednotlivých nákladových druhů.

Materiálové náklady

Výpočet se provádí podle známého vztahu (4):

$$Nm = (c + d_m) \cdot m \quad (4)$$

Kde:

Nm	náklady na materiál (Kč/forma)
c	cena materiálu (Kč/kg)
d _m	doprava materiálu (Kč/kg)
m	množství materiálu (kg/forma)

6. ODLÉVÁNÍ DO FORMY - tato výrobní fáze dosud nebyla nákladově sledována

7. APRETACE [14-16]

Závěrečná hlavní výrobní fáze odlitku je apretace nebo-li čištění odlitku. Nejprve bylo opět potřeba její rozčlenění na výrobní fáze.

Výrobní fáze apretace odlitků:

- A. Transport a odstranění zbytků formovacích směsí
- B. Mechanické čištění (tryskání)
- C. Tepelné zpracování (TZ)
- D. Odstranění náliťků a vtokové soustavy (odřezávání, upalování, urážení apod.)
- E. Úprava plochy po odstranění náliťků a vtokové soustavy, hrubé broušení
- G. Zavařování vad
- H. Jemné broušení
- I. Zažehlování svárů vad
- J. Broušení svárů

NVN jsou tvořeny součtem skupin nákladových položek, a to nákladů materiálových a zpracovacích.

Kalkulační vzorec NVN apretace odlitků má následující podobu:

Materiálové náklady: voda, abrazivo (broky), písek, zavařovací elektrody, brousící kotouče, aj.

Zpracovací náklady: energie, osobní náklady, aj.

Nákladová náročnost výroby odlitků představuje významný hodnotící faktor výroby odlitků. Nicméně je vhodné znát také i jejich další náročnosti. Jedná se zejména o náročnost materiálovou, energetickou a časovou.

Je třeba dodat, že komplexní a velice komplikovaná nákladová položka apretace je stejně detailně rozpracována tak, jak byly výše popsány hlavní výrobní fáze výroba kovu, příprava formovacích směsí apod.

8. VÝCHOZÍ PRÁCE V OBLASTI SLEDOVÁNÍ NÁKLADŮ

Náklady jednotlivých fází výroby odlitků byly během posledních 15 let podrobně zpracovány ve čtrnácti detailních PROJEKTECH I-XIV [3-16].

Tekuté fázi se věnoval PROJEKT I., V. a VI. [3, 7, 8]:

- Porovnání použitých technologií a jejich nákladů při výrobě tekuté fáze litin s lupínkovým a kuličkovým grafitem a ocelí na odlitky, r. 2000.
- Možnosti nákladové redukce při výrobě tekuté fáze litin v českých slévárnách, r. 2004.
- Možnosti nákladových úspor při výrobě tekuté fáze oceli a litin v českých slévárnách, r. 2005.

Na odlitek celkem byly zaměřeny **Projekty II. - IV.** [4-6]:

- Porovnání nákladů na výrobu odlitků ze železných kovů, r. 2001.
- Problematika průběžného sledování nákladů odlitků v českých slévárnách, r. 2002.
- Ověření modelu průběžného sledování nákladů odlitků v českých slévárnách, r. 2003.

Příprava formovacích směsí byla hlavním tématem **Projektů VII. - IX.** [9-11]:

- Vytvoření nákladového modelu přípravy formovacích směsí, r. 2006.
- Problematika posuzování nákladovosti formovacích směsí, r. 2007.
- Rozšířený nákladový model přípravy formovacích směsí, r. 2008.

Výrobě formy v Projektech X. a XI. [12-13]:

- Metodika nákladového hodnocení výrobní fáze přípravy formy, r. 2009.
- Rozpracování nákladového hodnocení výroby forem, r. 2010.

Apretací odlitku se zabývaly tři poslední **Projekty XII. - XIV.** [14-16]:

- Vývoj nákladového modelu pro apretaci odlitků, r. 2011.
- Vývoj nákladového hodnocení apretace odlitků (II. etapa), r. 2012.
- Vývoj nákladového hodnocení apretace odlitků (III. etapa), r. 2014.

Výše naznačené nákladové modely byly v minulých letech řešitelskými týmy vyvinuty a jsou pro dílčí výrobní fáze používány.

Bylo zjištěno, že se největší měrou na celkových nákladech, resp. úplných vlastních nákladech vyrobeného odlitku, a to 40-60 % podílí náklady na výrobu tekutého kovu (tavírna). Následuje proces formování, který tvoří 10-25 % z úplných vlastních nákladů vyrobeného odlitku. Zbývající část nákladů je rozdělena do činností dalších úseků, které se na výrobě odlitků spolupodílejí (sklady materiálu, modelárna, čistírna atd.).

Uvedené dílčí nákladové modely samostatně řeší jednotlivé výrobní fáze. Operativní řízení výroby odlitků a zejména optimalizace (přesněji spíše minimalizace) nákladů na odlitek však vyžaduje komplexní (jednotný) nákladový model.

9. KOMPLEXNÍ NÁKLADOVÝ MODEL ODLITKU

Potřeba metody, která bude náklady výroby odlitku posuzovat v co nejkratší časové jednotce (den, týden) oproti dostupným nástrojům k měření spotřeby nákladů - účetní evidence (účetní období-rok), nákladový controlling (čtvrtletí, měsíc) je značná. Dalším požadavkem je stanovení skutečných nákladů „přímým“ způsobem pokud možno bez (nebo s minimem) rozvrhových základů a vztažných veličin a na každý konkrétní odlitek.

Sestavení komplexního nákladového modelu výroby odlitku je tedy následující úkol, jehož řešení stojí před slévárenskými odborníky.

Možné varianty sestavení komplexního nákladového modelu výroby odlitku

V prvním námětu se jako schůdná cesta jeví spojení všech současných nákladových modelů, které jsou již vyvinuty a provozně ověřeny. Toto spojení musí současně přinést jejich jisté zjednodušení.

Další variantou je prošetření přístupu, který byl naznačen v PROJEKTU III.: Problematika průběžného sledování nákladů odlitků v českých slévárnách. Tedy vyjít ze zkušeností v té době získaných a pokusit se o jeho ověření.

V současné době se připravuje první ověření vybraných etap komplexního nákladového modelu v jedné slévárně. Cílem je na relativně jednoduchém ocelovém odlitku ověřit možná stanovení nákladů v maximálním a minimálním rozsahu. Následně stanovit výši nákladového rozdílu a posoudit možnou realizovatelnost přístupu.

Předpokládané použití komplexního modelu

Při rozpracování nákladového modelu byly konstatovány následující možnosti jeho použití:

- Kalkulace nákladů na odlitek pro porovnání s nabízenou cenou.
- Využití kalkulovaných nákladů pro strategické záměry slévárny, plánování výše zisku, stanovení bodu zvratu apod.
- Využití kalkulačního vzorce pro rozbor nákladů na jednotlivé operace, stanovení podmínek pro možné snížení nákladů.
- Porovnání nákladů na vybraný odlitek vyráběný na různých pracovištích.
- Využití kalkulačního vzorce pro porovnání používané slévárenské technologie.
- Porovnání standardních nákladů se skutečnými za časové období (směnu) k rozboru ztrát ve výrobě. Kontrola dodržování předepsané technologie na jednotlivých operacích. Denní rozbor ve výrobě.

ZÁVĚR

Příspěvek se věnuje komplexnímu nákladovému modelu odlitku. Předkládá k seznámení jednotlivé náklady výrobních fází odlitku. Dále představuje PROJEKTY, které se již delší dobu věnují problematice sledování nákladů výroby odlitku.

LITERATURA

- [1] VOŽŇÁKOVÁ, I., JANOVSÁ, K., MYNÁŘ, M., SIKOROVÁ, A. Ekonomika podniku. Ostrava, VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2008, ISBN 978-80-248-1760-6.
- [2] FIGALA, V. Vývoj a aplikace metody technicko-ekonomické analýzy při výrobě tekutého kovu na elektrických pecích. Disertační práce, rukopis, únor 2011, VŠB-TU Ostrava.

- [3] Kafka, V., ŠENBERGER, J., PALÁN, P., SZMEK, V., PACOLA, D., KUPKA, F., HYVNAR, V., STONAWSKI, J., KNYRŠ, V., REŠKA, R.: Porovnání použitých technologií a jejich nákladů při výrobě tekuté fáze litin s lupínkovým a kuličkovým grafitem a ocelí na odlitky. Závěrečná zpráva PROJEKTU I, březen 2001.
- [4] Kafka, V., ČERNÝ, J., KOUTNÍKOVÁ, I., LÁNA, I., LANČA, M., LEDVOŇOVÁ, A., NEJEDLÝ, J., POVOLNÝ, M., REŠKA, R., ŠENBERGER, J., VEPŘEK, V., VIZNAROVÁ, J.: Porovnání nákladů na výrobu odlitků ze železných kovů. Závěrečná zpráva PROJEKTU II, prosinec 2001.
- [5] Kafka, V., ŠENBERGER, J., COUFAL, J., ANDRES, J., REŠKA, R., ŠTÝBNAROVÁ, E., LEDVOŇOVÁ, A., BLAHUTOVÁ, L.: Problematika průběžného sledování nákladů odlitků v českých slévárnách, r. 2002. Závěrečná zpráva PROJEKTU III, listopad 2002.
- [6] Kafka, V., KRÁLÍČEK, P., ONDRÁČEK, Z., PASEKA, R., ŠENBERGER, J., BLAHUTOVÁ, L., KURKA, J., COUFAL, J., ANDRES, J., REŠKA, R., ŠTÝBNAROVÁ, E., LEDVOŇOVÁ, A., BLAHUTOVÁ, L.: Problematika průběžného sledování nákladů odlitků v českých slévárnách, r. 2002. Sborník PROJEKTU IV, březen 2004, ISBN 80-02-01631-9.
- [7] Kafka, V., URBAN, R., ŠENBERGER, J., BLAHUTOVÁ, L., CHUDÁČEK, S., NETERDERT, K., MATUŠKA, M., SZMEK, V., KOSTELKA, A., LÁNA, I., ŠTĚPÁNEK, L.: Možnosti nákladové redukce při výrobě tekuté fáze litin v českých slévárnách. Závěrečná zpráva PROJEKTU V, prosinec 2004.
- [8] Kafka, V., ŠENBERGER, J., MATUŠKA, M., URBAN, R., SZMEK, V., KOSTELKA, CHUDÁČEK, S., NETERDER, K., LÁNA, I., MACH, L., KURKA, V.: Možnosti nákladových úspor při výrobě tekuté fáze oceli a litin v českých slévárnách. Závěrečná zpráva PROJEKTU VI., prosinec 2005.
- [9] Kafka, V., NYKODÝMOVÁ, V., FOŠUM, J., CHUDÁČEK, S., SZMEK, V., KNIRSCH, V., DOUPOVEC, D., LÁNA, I., FRYČ, P., NOVOBILSKÝ, M., JOCHIM, P., ŠENBERGER, J., MARTIŇÁK, R.: Vytvoření nákladového modelu přípravy formovacích směsí. Závěrečná zpráva PROJEKTU VII., prosinec 2006.
- [10] Kafka, V., NYKODÝMOVÁ, V., FOŠUM, J., CHUDÁČEK, S., SZMEK, V., KNIRSCH, V., DOUPOVEC, D., LÁNA, I., NOVOBILSKÝ, M., JOCHIM, P., MARTIŇÁK, R.: Problematika posuzování nákladovosti formovacích směsí. Sborník PROJEKTU VIII., březen 2008, ISBN 978-80-02-02001-1.
- [11] Kafka, V., NYKODÝMOVÁ, V., FOŠUM, J., SZMEK, V., KNIRSCH, V., DOUPOVEC, D., LÁNA, I., NOVOBILSKÝ, M., JOCHIM, P., MARTIŇÁK, R., NEUDERT, A., VESELÝ, P., ŘEHÁČKOVÁ, K., ŘEHŮRKOVÁ, K., PAZDERKA, J., VOLEK, J.: Rozšířený nákladový model přípravy formovacích směsí. Sborník PROJEKTU IX., březen 2008, ISBN 978-80-02-02129-2.
- [12] Kafka, V., NYKODÝMOVÁ, V., KNIRSCH, V., DOUPOVEC, D., LÁNA, I., NOVOBILSKÝ, M., MARTIŇÁK, R., VESELÝ, P., ŘEHÁČKOVÁ, K., ŘEHŮRKOVÁ, K., PAZDERKA, MARKO, E., HERZÁN, M., VYLETOVÁ, B., JIŘIKOVSKÝ, J., HŘEBÍČEK, L.: Metodika nákladového hodnocení výrobní fáze přípravy formy. Sborník PROJEKTU X., březen 2010, ISBN 978-80-02-02208-4.
- [13] KAFKA, V., NYKODÝMOVÁ, V., DOUPOVEC, D., LÁNA, I., NOVOBILSKÝ, M., VESELÝ, P., HERZÁN, M., VYLETOVÁ, B., HŘEBÍČEK, L., POLOKOVÁ, O.: Rozpracování nákladového hodnocení výroby forem. Sborník PROJEKTU XI., březen 2010.
- [14] KAFKA, V., HERZÁN, M., JELÍNEK, P., LÁNA, I., LASÁK, R., NOVOBILSKÝ, M., PAZDERKOVÁ, V., POLOKOVÁ, O., STANÍČKOVÁ, G., VYLETOVÁ, B., DOUPOVEC, D.: Vypracování metodiky nákladového hodnocení výrobní fáze apretace odlitků, PROJEKT XII, závěrečná zpráva, leden 2012, Česká slévárenská společnost Brno, s. 1- 49, tab.17, obr. 5, přílohy 3.
- [15] Kafka, V., LÁNA, I., NOVOBILSKÝ, M., HERZÁN, M., VYLETOVÁ, BRHEL, J., JELÍNEK, P., LASÁK, R., MIČA, R., STANÍČKOVÁ, G., STROUHALOVÁ, M.: Vývoj nákladového hodnocení apretace odlitků (II. etapa). Závěrečná zpráva PROJEKTU XIII., prosinec 2012.
- [16] Kafka, V., LÁNA, I., NOVOBILSKÝ, M., HERZÁN, M., VYLETOVÁ, BRHEL, J., JELÍNEK, P., MIČA, R., FÍK, M., BRÁZDA, Z., MARKO, E., OBRTLÍK, J., MRÁZEK, M.: Vývoj nákladového hodnocení apretace odlitků (III. etapa). Závěrečná zpráva PROJEKTU XIV., prosinec 2013.

POKRAČOVÁNÍ NÁKLADOVÉHO HODNOCENÍ APRETACE ODLITKŮ V PROJEKTU XIV

MIČA, R. ^d, KAFKA, V. ^b, BRÁZDA, Z. ^c, BRHEL, J. ^d, FÍK, M. ^e, HERZÁN, M. ^f, JELÍNEK, P. ^a,
LÁNA, I. ^g, MARKO, E. ^h, NOVOBÍLSKÝ, M. ^h, OBRTLÍK, J. ^c, VYLETOVÁ, B. ^f, MRÁZEK M. ⁱ

*a) Techconsult Praha s.r.o., b) RACIO & RACIO Orlová, c) Jihomoravská armaturka, s.r.o., Hodonín,
d) ŽĐAS, a.s., Žďár nad Sázavou, e) Tepelná zařízení Fík, s.r.o., Praha, f) KRÁLOVOPOLSKÁ SLÉVÁRNA,
s.r.o. Brno, g) Slévárna a modelárna Nové Ransko, s.r.o., Nové Ransko, h) Slévárny Třinec, a.s., i) VŠB-TU
OSTRAVA, Česká republika, EU*

Abstrakt

Odborná komise ekonomická ČSS od r. 2000 nákladově posuzuje hlavní fáze výroby odlitků. Cílem je postupně podrobit všechny fáze nákladové analýze a následně vytvořit nákladové modely, které by umožnily zjistit finanční náročnost konkrétního odlitku. Výsledkem má být nástroj pro řízení nákladů výroby odlitků. Již třetím rokem se řešitelé věnují oblasti apretace odlitků. Příspěvek stručně shrnuje výsledky PROJEKTŮ XII, XIII s návazností na šetření v PROJEKTU XIV. Seznamuje se zjištěními z oblasti nákladovosti tryskání ocelových a litinových odlitků a tepelného zpracování ocelových odlitků. V závěru je naznačen vývoj v oblasti hledání závislostí apretačních nákladů na charakteristických veličinách odlitků.

Klíčová slova: Apretace odlitků, náklady tryskání odlitků, náklady na tepelné zpracování, závislost apretačních nákladů na charakteristikách odlitku

ÚVOD

PROJEKTEM XII byla v roce 2011 zahájena analýza závěrečné fáze výroby odlitku - apretace [3]. Do řešení této problematiky se postupně zapojilo 8 sléváren, 2 společnosti a studenti VŠB-TU Ostrava. Apretace byla definována jako souhrn operací začínající převzetím vytlučeného odlitku z formovny a končící předáním hotového odlitku na expedici. Následně byla vyvinuta metodika nákladového hodnocení. Obecně předpokládáme, že náklady apretace se pohybují mezi 20% - 40% celkových nákladů pro ocelové odlitky. U odlitků litinových bude tento podíl nižší. Apretace odlitků byla rozdělena na výrobní fáze, jejichž náklady byly měřeny metodikou neúplných vlastních nákladů (NVN), používanou již v předchozích projektech. Apretaci tedy dělíme na tyto operace: transport a odstranění zbytků formovacích směsí, mechanické čištění (tryskání), tepelné zpracování, odstranění nálitků a vtokové soustavy (upalování, urážení), úprava plochy po odstranění nálitků a vtokové soustavy, hrubé broušení, odstranění a zavaření vad, zažehlování a broušení svárů vad, jemné broušení.

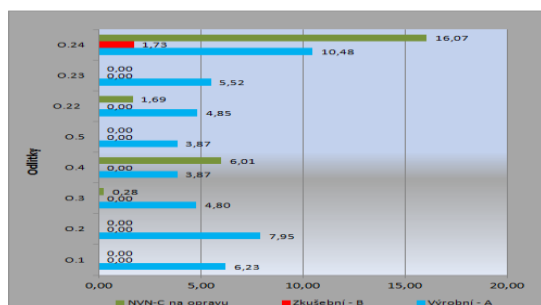
Zjednodušeně se dá říci, že se pro každou fázi a její podfáze měřily přímé materiálové, energetické a mzdové náklady. Nevěnovali jsme záměrně pozornost režijním nákladům, odpisům, nákladům správy atd. Je známo, že apretace odlitků zahrnuje velice rozsáhlou množinu pracovních úkonů, z nichž některé jsou nákladově velice nízké. Pokud se při provedení kvantifikace tento předpoklad potvrdil, došlo k záměrnému vynechání těchto položek ze sledování. Výsledný vzorec NVN apretace odlitku umožňoval členění nákladů na materiálové (abrazivo, brusy, elektrody) a zpracovací (energie, mzdové náklady...). Každá zúčastněná slévárna vybrala minimálně dva odlitky ze svého sortimentu, na kterých měření provedla. Vznikl tak soubor 23 odlitků s naměřenou hodnotou NVN apretace s jejich detailním členěním. Vzhledem k rozdílné hmotnosti vzorků jsme nejčastěji pracovali s náklady vztaženými na kg hrubé hmotnosti odlitku (Kč/kg). Zkoumání těchto NVN pak probíhalo odděleně pro ocelové a litinové odlitky [2, 1].

1. HODNOCENÍ STANOVENÝCH NEÚPLNÝCH VLASTNÍCH NÁKLADŮ APRETACE

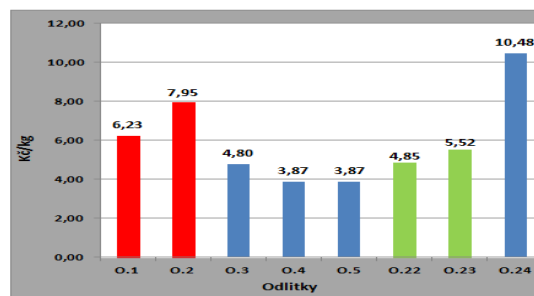
K objektivnímu metodickému posuzování získaných nákladů na apretaci bylo všech 23 odlitků rozděleno do dvou samostatných skupin - ocelové a litinové odlitky. Zpracování ocelových a litinových odlitků se výrazně liší v počtu operací apretace. Popis jednotlivých odlitků byl rozšířen jednak o fotografie zmíněných výrobků a dále pak o tvarové a hmotnostní charakteristiky (viz níže), které budou prostředkem při zkoumání závislosti apretačních nákladů. Jednotlivé naměřené položky nákladů odlitků jsme podrobili detailní analýze. V této části příspěvku předkládáme pouze zjednodušené shrnutí výsledků šetření.

1.1 Ocelové odlitky

První skupina zahrnuje ocelové odlitky se všemi apretačními operacemi. Zahrnuje osm odlitků, jejichž hrubá hmotnost se pohybuje od 805 kg do 1100 kg. Úvodní porovnání nákladů (obr. 1) naznačilo značnou nesouměřitelnost získaných dat a vedlo řešitelský tým k následujícímu přístupu. Jako porovnatelné jsou náklady, kdy dochází k opravě pouze povrchových vad (po provedení vizuální kontroly). Tuto operaci můžeme nazvat pracovní (NVN-A). Pokud zákazník vyžaduje vyšší požadavky na vnitřní čistotu a homogenitu odlitku (definovaných nedestruktivními zkouškami - NDT), pak je třeba vynaložit další náklady, které označujeme pracovní jako „následné opravy“ (NVN-C). Náklady vyvolané provedením NDT nazýváme pracovní „zkušební“ (NVN-B). Lze tedy říci, že v této fázi porovnáváme náklady na apretaci odlitků kontrolované v průběhu jejich výroby zcela standardním způsobem v souladu s normou ČSN 014470. Naměřené náklady se pohybují od 3,87 Kč/kg až po 10,48 Kč/kg (obr. 2). Převážnou část u apretačních nákladů tvoří zpracovací náklady (74%). Materiálové náklady pak činily 26%.



Obr. 1 NVN apretace ocelových odlitků



Obr. 2 NVN - A (výrobní) ocelových odlitků

1.2 Litinové odlitky

Ty jsou charakteristické relativně malým počtem apretačních operací (tryskání, odstranění vtoků, broušení). Hmotnost sledovaných litinových odlitků se pohybuje od 13,5 kg do 878 kg. U 15 litinových odlitků bylo konstatováno variační rozpětí NVN apretace od 0,74 Kč/kg do 11,23 Kč/kg. To považujeme za velice rozsáhlé. Stejně jako u ocelových odlitků dominovaly ve skladbě nákladů zpracovací náklady - 89%, materiálové náklady pak činily pouhých 11%.

Naměřené hodnoty vykazují značný rozdíl a jsou způsobeny jak tvarovou a slévarenskou odlišností odlitku, tak i technologickou a nákladovou úrovní dané slévárny. Při následném hledání závislosti apretačních nákladů bude nutné tyto příčiny oddělovat.

2. ROZBOR NÁKLADŮ MECHANICKÉHO ČIŠTĚNÍ - TRYSKÁNÍ ODLITKŮ

První operací apretace po převzetí vytlučeného odlitku z formovny je čištění od zbytků formovacích směsí tryskáním. Logicky jsme tedy podrobili důkladnému prozkoumání tuto operaci.

Tryskání, je technologický postup opracování povrchu nejrůznějších, obvykle tvrdých materiálů, proudem jemných abrazivních částic. Abrazivo je výtahem přiváděno k metacím jednotkám (MJ), které jej vrhají na

čištěný povrch. Nejvíce se jako abrazivní materiál používají ocelové broky, litinová drť nebo sekaný drát. Ve výrobě odlitků se využívají komorové, závěsné, bubnové, drátěné, průběžné i ruční tryskače.

Tryskání se provádí opakovaně při různých fázích výrobního procesu: na čištění zbytků formovacích směsí, k odstranění okují po tepelném zpracování, čištění povrchu před nátěrem, před provedením nedestruktivních zkoušek, apod. Bylo zjištěno, že NVN tryskání tvoří 3 hlavní složky: abrazivo, energie a osobní náklady. Jejich výše je ovlivněna především technickým stavem zařízení a jeho seřazením, kvalitou abraziva a délkou tryskacích časů. Tryskací zařízení jsou ve svém principu téměř „samodestrukční“ a náklady na jejich údržbu a opravy jsou nezanedbatelné. Mohou dosahovat až 30% celkových nákladů na tryskání. Vzhledem k tomu, že jejich výše značně kolísá nebo nebyla u všech sléváren k dispozici, není tato položka zahrnuta v NVN tryskání.

2.1 Tryskací náklady u ocelových odlitků

Náklady na tryskání ocelových odlitků nepatří k nejvýznamnějším nákladovým položkám NVN apretace. Ocelový odlitek se během základní výrobní fáze tryská 2x až 4x. Tryskání nákladově tvořílo minimálně 5% a maximálně 24 %. V průměru se tato výrobní fáze podílí téměř 17 %. Průměrné složení jednotlivých položek: abrazivo 27%, energie 50%, osobní náklady 23%. U měrných nákladů bylo zjištěno rozpětí od 0,58 Kč/kg do 1,37 Kč/kg.

2.2 Tryskací náklady u odlitků z litiny

Náklady na tryskání u litinových odlitků tvoří významnou část celkových NVN vynaloženou na jejich apretaci. Tryská se maximálně 2x, ale nákladově tvoří minimálně 21% a maximálně 48 % NVN apretace. V průměru se tato výrobní fáze podílí téměř 37 %. Je tedy zřejmé, že tato fáze je nákladově skutečně významná. Skladba NVN: abrazivo 40%, energie 20% a osobní náklady 40%. Zjišťujeme, že náklady na mechanické čištění (tryskání) u 15 litinových odlitků, které měl řešitelský tým ve svém výběrovém souboru, se pohybují od 0,21 Kč/kg do 3,72 Kč/kg. Toto nákladové rozpětí je zcela enormní.

2.3 Posouzení stavu tryskací techniky a sledování spotřeby abraziva

Dále jsme provedli posouzení současného stavu tryskací techniky i abraziva v zúčastněných slévárnách. Toto velmi fundované šetření provedl specialista ing. Pavel Jelínek, který zastupuje dodavatele tryskací techniky. Je třeba dodat, že v řadě případů zjistil i závažné závady na tryskací technice. Z jeho obsáhlého materiálu publikovaného ve zprávách projektů XIII a XIV [2,3] zde předkládáme pouze nejdůležitější závěry.

Skladba tryskacích zařízení používaných v českých slévárnách, je obecně charakteristická především svým různorodým stářím. Setkáváme se se zařízeními „nedefinovatelného“ stáří. Navíc nebývá zvykem, aby tryskací technologie a jejich vývoj stály v popředí pozornosti vedoucích pracovníků. A tak kontrola a údržba těchto zařízení bývá svěřována pracovníkům obsluhy či údržby. Ti sice udržují zařízení v provozu, ale ne vždy bez nedostatků. Mezi hlavní podmínky správného a efektivního provozu tryskače patří vytvoření pracovní (provozní) směsi abraziva a výběr vhodného typu abraziva. Pracovní směs abraziva je směs zrn o velikosti 0,3 až 1,6 mm - pro zrnitost S 390 (1,00 - 1,60 mm), která se tvoří procesem tryskání cca 1 týden. Z uvedeného je patrné, že vytvoření vyvážené provozní směsi je podmíněno řadou vzájemně se ovlivňujících podmínek, které je nutno dodržet.

Větrný odlučovač je z hlediska hospodárnosti provozu nejdůležitějším článkem soustavy oběhu abraziva. Správná funkce větrného odlučovače zaručuje oddělení prachových částic od abraziva a tím snižuje opotřebení především MJ. Zároveň udržuje i efektivitu provozu, protože oběh prachu v tryskači snižuje tryskací výkon. Dále udržuje použitelné abrazivo v oběhu. Částice do velikosti dělicí zrnitosti (tedy 0,3 - 0,4 mm) by měly zůstat v oběhu. Toto jsou samozřejmě protichůdné požadavky a ne každé zařízení je nastaveno pro skutečně ekonomický provoz.

Zásobník abraziva, ač to na první pohled není zřejmé, je důležitá součást oběhu abraziva právě s ohledem na vytvoření vyvážené provozní směsi. Částice abraziva se v procesu tryskání opotřebovávají, zmenšují se až do velikosti dělicí zrnitosti. Poté jsou jako prach odloučeny ve větrném odlučovači. Tento proces trvá obecně jeden týden. Pokud je zásobník „malý“, obíhá v zařízení relativně málo abraziva, rychle dochází k jeho opotřebení. Je nutno jej často doplňovat a v oběhu se pak bude v podstatě nalézat jen abrazivo jmenovité zrnitosti. Pokud by byl zásobník příliš „velký“, nastal by opačný případ - žádné abrazivo nebude o jmenovité zrnitosti a bude obsahovat pouze drobnou frakci. S neúměrně velkým zásobníkem na abrazivo se v praxi nesetkáváme.

Doplňování abraziva do tryskacího zařízení se ve většině případů děje dle uvážení obsluhy, či dle „nějakého“ předpisu. V každém případě zde působí lidský faktor, což není optimální. Jak bylo uvedeno výše, pro vyváženou provozní směs je třeba určité množství abraziva udržovat v oběhu. Kapacitně dostačující zásobník není nic platný, pokud obsluha dopustí klesnout hladinu abraziva „až ke dnu“. Odstranění lidského faktoru lze v tomto případě řešit rezervním zásobníkem abraziva, který je automaticky doplňuje do oběhu na požadovanou úroveň.

Výběr vhodného abraziva. Bereme v úvahu kulaté abrazivo, které je používáno prakticky v každé slévárně. Tato ocelová abraziva se vyrábějí s obsahem uhlíku od 0,1 do 1,2 %. Podle obsahu uhlíku a tepelného zpracování jsou to abraziva se strukturou od feritické přes bainitickou až po martenzitickou. Nízkouhlíková abraziva s obsahem 0,1% C jsou měkká a používají se pro speciální aplikace. Nejvíce používaná jsou tzv. vysokouhlíková abraziva s obsahem uhlíku 0,8 - 1,2 %. Důvodem jejich značného rozšíření není univerzální vhodnost pro všechny způsoby použití, ale skutečnost, že málokterý výrobce nabízí abrazivo jiné. Charakteristické pro tato abraziva je relativně nenáročná výroba a levný výchozí materiál. Zákazník je často kupuje od překupníka a mnohdy ani nezná skutečný původ. Ten by ani nebyl tak důležitý, kdyby kvalita tohoto vysokouhlíkového abraziva nevykazovala obrovský rozptyl. Jsou to řádově stovky procent a zákazník nemá žádnou možnost, jak kvalitu ověřit. Navíc nákup většinou zajišťuje obchodní oddělení, které se v mnoha případech orientuje výhradně podle ceny.

Kvalita abraziva je určena dvěma základními parametry. Trvanlivostí, tedy schopností co nejdéle vydržet v oběhu tryskače do svého úplného rozpadu a intenzitou, tedy schopností předat svoji kinetickou energii otryskávanému povrchu. Pro zjištění obou kvalitativních parametrů se abrazivo laboratorně testuje v tzv. Ervinově turbíně. Je to certifikované zařízení, principiálně podobné metací jednotce, v kterém se 100 g nepoužitého abraziva při 2700 ot/min vrhá proti pevné stěně do úplného rozpadu na prach. Počet otáček, kdy se abrazivo zcela rozpadlo je pak mírou trvanlivosti. Pro zjištění intenzity, tzv. Almentest, se používá stejné zařízení s tím rozdílem, že abrazivo se vrhá proti normou definovanému pásku plechu a zjišťuje se jeho prohnutí v mm. Čím větší je prohnutí, tím větší má abrazivo intenzitu dopadu. Kvalitu abraziva je možno přesně stanovit a lze tedy porovnat jednotlivé druhy abraziv mezi sebou. Dále lze jednoduchou metodou zjistit, jakým způsobem se jednotlivé druhy abraziv opotřebovávají a vyvodit i vztah mezi strukturou abraziva a jeho trvanlivostí. Vysokouhlíková abraziva jsou tvořena směsí martenzitu a zbytkového austenitu. Vzhledem k rozdílné délkové roztažnosti obou fází dochází již při prvotním ochlazení taveniny ke vzniku mikrotrhlin, které již nelze odstranit. V důsledku toho se tato abraziva opotřebovávají rozpadem. Abrazivo s optimalizovaným obsahem C je charakteristické bainitickou strukturou, která se v průběhu tryskání dále zpevňuje a opotřebovává se odlupováním povrchové vrstvy. Rovnoměrně tedy zmenšuje svoji velikost a stále si drží zaoblený tvar. Obě tyto vlastnosti předurčují tento druh abraziva pro výkonné a efektivní moderní tryskací zařízení.

2.4 Stanovení spotřeby abraziva

Stanovit objektivní spotřebu abraziva je velmi obtížné, neboť je mnoho provozních a technických podmínek, které přijatelnou přesnost finálního výsledku ovlivní. Za výchozí nebo **základní metodu** považujeme stanovení průměrné roční spotřeby (kg abraziva/t odlitků) za slévárnu celkem. Tato nejjednodušší metoda vychází z ročního vyrobeného objemu tun odlitků a z množství abraziva vydaného ze skladu. Výsledný

ukazatel dává hrubou představu o průměrné spotřebě abraziva (kg/t, g/kg). Tento ukazatel zprůměrnuje spotřeby abraziva odlitků s různým počtem tryskání i spotřeby jednotlivých zařízení. **Podrobná metoda**, která je založena na detailní evidenci dat, umožňuje výstupy ukazatelů a charakteristik spotřeby abraziva, dávek, tryskacích časů pro každé zařízení. Sledování ukazatelů může pomoci odhalovat příčiny neefektivity tryskání. Například pokud spotřeba abraziva za časovou jednotku vykáže odchylku od dlouhodobého průměru, jde o signál ukazující změnu procesu v tryskači. Umožňuje také hodnotit plánovaný a skutečný počet tryskání konkrétního kusu. Je známo, že řízení každého procesu ve výrobě vyžaduje věrné informace o procesu. Lze proto doporučit slévárnám, které chtějí znát náklady na abrazivo a následně náklady na tryskání i řídit, aby si s přihlédnutím ke konkrétním podmínkám vypracovaly vlastní metodiku, která jim umožní v této oblasti dobrou orientaci. Evidence dat pro výše uvedené metodiky není určitě komplexní a bylo by možné ji rozšiřovat o další údaje související s abrazivem. Kupříkladu druh tryskání, spotřeba náhradních dílů, síťový rozbor pracovní směsi, druh abraziva, atd. Rozsah evidence musí být samozřejmě vždy úměrný očekávaným přínosům. Při snaze řídit nákladovost tryskání musíme mít na paměti, že je to technologie úpravy povrchu. Ukazatel spotřeby abraziva na jednotku plochy však není možné jednoduše použít, neboť se ve výrobě odlitků s touto veličinou nepracuje. Spotřebu abraziva je tedy nutné nejprve posuzovat v ukazatelích kg abraziva/hod tryskání a poté v kg abraziva/t odlitků, kde rozhodující vliv má rozdílná hmotnost tryskacích dávek.

2.5 Závislost nákladů tryskání

Operace tryskání má dávkový charakter, to znamená, že zpracování probíhá v dávkách, které jsou složeny z odlitků různé hmotnosti a tvaru. Náklady tryskání na měrnou jednotku tedy nebudou vykazovat žádnou závislost a budou silně ovlivněny aktuální sortimentní skladbou slévárny. Pokud slévárny dodrží vybraná doporučení, mohou také ovlivnit měrné náklady tryskání hlídáním délky tryskacích časů a složením tryskané dávky.

2.6 Shrnutí hlavních vlivů na nákladovost tryskání

- kvalita a typ abraziva,
- nastavení zařízení (odlučovač, metací jednotky),
- čas tryskacího cyklu,
- výchozí a cílová jakost povrchu (Rz - parametr drsnosti, SA - stupeň výsledné kvality povrchu dle ČSN),
- hmotnost tryskaných dávek,
- proškolená obsluha,
- počet nutných tryskání odlitku,

3. ROZBOR NÁKLADŮ TEPELNÉHO ZPRACOVÁNÍ ODLITKŮ

Další fází, která byla podrobena detailnímu rozboru, byla oblast tepelného zpracování. Tepelné zpracování (TZ) je především záležitostí ocelových odlitků. Vlastnosti oceli jsou závislé nejen na chemickém složení, ale především na struktuře - tj. na fázovém složení a na tvaru a uspořádání jednotlivých fází. Požadované struktury se dosahuje u ocelí vhodného chemického složení tepelným zpracováním. TZ zahrnuje všechny postupy, při nichž se vnitřní stavba kovu záměrně mění pomocí režimů změn teploty. TZ se provádí v různých typech žíhacích pecí (nejčastěji vozokomorové). V převážné většině na zemní, případně směsný plyn. Účinnost průmyslových pecí pro zpracování odlitků se pohybuje od 25% (starší zařízení) do 45% (nové typy plynových pecí).

Pro posouzení problematiky TZ jsme v první řadě soustředili vybrané diagramy tepelného zpracování. Dále jsme se zaměřili na nákladovost TZ standardní metodou NVN, kterou běžně používáme při řešení PROJEKTŮ.

Ocelové odlitky v PROJEKTU XIV byly standardně zpracovávány normalizačním žíháním a max. dvěma popouštěcími cykly. Naměřené výsledky ukázaly, že minimální NVN - A na TZ činí 1,16 Kč/kg. A maximální

3,06 Kč/kg. Je tedy zřejmé, že maximální náklady jsou 2,6 krát vyšší než minimální. Zde je třeba zopakovat, že NVN ve slévárnách obvykle tvoří z úplných vlastních nákladů podíl, který se podle konkrétních podmínek pohybuje od 40 % do 60 %. Za velice důležité považujeme zjištění podílu nákladů této fáze. Zjistili jsme, že náklady výrobní fáze TZ z celkových NVN se pohybuje od 18,6 % do 38,9% (v průměru 26,3%). TZ patří tedy nákladově mezi významné výrobní fáze.

3.1 Zásady pro efektivní tepelné zpracování

Stejným způsobem jakým byla prověřena tryskácká zařízení zúčastněných sléváren se postupovalo i v posuzování žíhacích pecí. Specialista Ing. Michael Fík navštívil zúčastněné slévárny a posoudil jejich zařízení na TZ včetně nákladových ukazatelů. Výsledkem byl soubor připomínek a podnětů pro jednotlivé účastníky. Následně nastínil náměty na hospodárny provoz žíhacích pecí.

Doporučení hospodárného provozu pecí na TZ

- U plynových pecí s výkonem větším než cca 500 kW a s teplotou v pracovním prostoru vyšší než 600°C, po předchozím zpracování technicko - ekonomického rozboru, využívat teplo spalin k ohřevu spalovacího vzduchu (rekuperace).
- Pro vyzdívání a tepelnou izolaci spotřebičů využívat lehčené žáruvzdorné materiály v kombinaci s vláknitými izolacemi, které snižují ztráty tepla stěnami a u cyklicky pracujících pecí snižují podstatně ztráty tepla akumulací.
- V závislosti na velikosti příkonu pece a jejím technologickém určení, vybavit pec odpovídající měřicí a regulační technikou. Cílem je omezení možných negativních vlivů obsluhujícího personálu na hospodárnost topení (programovatelné logické automaty, regulace spalovacího poměru).
- Při projektování topných systémů plynových pecí zvolit vhodné typy plynových hořáků pro daný technologický proces, jejich počet a výkony a umístění v pracovním prostoru pece z hlediska dosažení rovnoměrné teploty a vysoké účinnosti ohřevu vsázky. Proudění spalin v pecích (zejména v průběžných pecích) organizovat tak, aby teplo obsažené ve spalinách bylo maximálně využito pro přehřev vsázky.
- Hospodárnost provozu plynových pecí je závislá i na tahových podmínkách pece a na efektivní regulaci tlaku v pracovním prostoru pece. Přisáváním sekundárního vzduchu do pracovního prostoru pece se zvyšuje ztráta tepla spalinami a tím spotřeba zemního plynu.
- Při zakládání vsázky do pecí optimálně využívat objemovou i hmotnostní kapacitu pece vhodnou skladbou a uložením vsázky v pracovním prostoru pecí.
- U cyklicky pracujících pecí organizovat provozní režim tak, aby se nová vsázka zakládala pokud možno do teplé pece. V pracovních přestávkách uzavírat u plynových pecí komínová hradítka. Manipulační otvory (dveře aj.) otevírat pouze na dobu nezbytně nutnou pro založení vsázky. Obsluhu pecí pravidelně školit ve znalostech zásad hospodárného provozu a zainteresovat ji na úsporách topné energie.
- U plynových pecí pravidelně kontrolovat seřízení optimálních hodnot spalovacího poměru a funkci poměrových regulátorů tak, aby spalování zemního plynu probíhalo s minimálně nutným přebytkem spalovacího vzduchu. Při ohřevu spalovacího vzduchu v rekuperátorech, resp. regenerátorech vybavit pec regulací spalovacího poměru v závislosti na teplotě spalovacího vzduchu.

- Pro zvýšení technické úrovně starších spotřebičů provádět jejich modernizace, při nichž se s relativně nízkými náklady docílí podstatného zlepšení parametrů pecí (výkonu, účinnosti, rovnoměrnosti teplot aj.). U vhodných projektů zvážit možnost EPC (Energy Performance Contracting). Pravidelně prověřovat nákupní ceny energií.
- Pro zjištění aktuálních účinností spotřebičů provádět pravidelná měření pro sestavení tepelných bilancí, které slouží ke zjištění účinnosti spotřebičů.

Při dodržení těchto zásad je možno očekávat podstatné úspory energií a vysokou návratnost vložených prostředků.

3.2 Závislost nákladů tepelného zpracování

Podobně jako u tryskání i TZ probíhá v dávkách. Nelze tedy metodikou NVN vysledovat závislost nákladů na tvaru a hmotnosti. Naměřené náklady vykazují značný rozptyl v závislosti na využití kapacity pece. Slévárny by tedy měly dbát na dodržování zásad hospodárneho provozu, maximálního využití kapacit pecí nebo technologických opatření (využití normalizačního žíhání místo samostatného nahřívání odlitku před pálením náلتků, atd.)

4. HLEDÁNÍ ZÁVISLOSTÍ NÁKLADŮ APRETACE NA CHARAKTERISTICKÝCH VELIČINÁCH

4.1 Charakteristiky odlitků a způsob zkoumání závislostí

V PROJEKTU XIII došlo k vytipování charakteristik odlitků (tab. 1):

Tab. 1 Vybrané charakteristiky odlitků

	pojmenování	označení	jednotky	vymezení	poznámka
1	Hmotnostní zařazení	Ω_{hm}	číslo skupiny	zařazení do 11 skupin	dělení dle Lasáka
2	Tvarové zařazení	Ω_{tv}	číslo skupiny	zařazení do 6 skupin	dělení dle Málka
3	Hrubá hmotnost odlitku	Ω_{hmo}	kg	skutečná hmotnost	
4	Modul odlitku	Ω_{mo}	cm	objem odlitku/povrch odlitku	
5	Objem kvádru	Ω_{ok}	dm ³	a*b*c	nejmenší objem kvádru
6	Brhelovo kritérium	Ω_{br}	kg/dm ³	hmotnost odlitku/objem kvádru	
7	Brhel-Jelínkovo kr.	Ω_{br-jl}	kg ² /dm ³	(hmotnost odlitku) ² /objem kvádru	
8	Herzánovo kr.	Ω_{hr}	1/dm ³	Brhelovo kr./hrubá hmotnost odlitku	

Předpokládali jsme, že některé z uvedených charakteristik nebo jejich kombinace by mohly přímo souviset se spotřebou apretačních nákladů odlitku. Při hledání závislostí NVN apretace odlitků jsme nejprve podrobili statistickému šetření náklady u odlitků sledovaných v PROJEKTECH. Byli jsme si vědomi omezení, které je dáno charakterem i počtem odlitků ve výběru. Ocelových odlitků hodnotíme pouze 8 a všechny spadají do jedné hmotnostní kategorie, litinových odlitků je 15 s hmotnostním rozpětím od 13,5 kg do 878 kg. Při znalosti těchto omezení bylo šetření provedeno. V dalším kroku se uskutečnila posouzení na významnějších výběrových vzorcích odlitků ze sléváren, které apretační náklady sledují vlastní metodikou odlišnou od přístupu NVN. Jejich výsledky měly potvrdit nebo vyvrátit správnost současného postupu. Pro následnou možnou interpretaci bylo nezbytné u naznačených závislostí provést otestování jejich vypovídací hodnoty. K tomu jsme využili koeficientu korelace. Koeficient korelace (r) vyjadřuje míru korelace (závislosti) dat. Vyjadřuje míru „těsnosti lineární vazby“. Je odvozen z R² (koeficient determinace) jako jeho druhá odmocnina. Může nabývat hodnot od -1 až po +1. K otestování jsme využili kritických hodnot korelačního

koeficientu (r_{krit}) získaných pro tento účel ze statistických tabulek. Při řešení statistických úloh používáme přijaté neformální pravidlo, že je-li: $r < 0,3$ je těsnost vztahu nízká, $0,3 \leq r \leq 0,5$ je těsnost mírná, $0,5 \leq r \leq 0,7$ je těsnost význačná.

4.2 Výsledky hledání závislostí - ocelové odlitky zařazené v PROJEKTECH

Bylo zjištěno, že čtyři charakteristiky (hmotnostní zařazení, tvarové zařazení, hrubá hmotnost odlitků a Brhelovo kritérium) vykazovaly r mezi 0,3 a 0,5, tedy těsnost vztahu mírnou. Pouze charakteristika (Brhel-Jelínkovo kritérium) lze hodnotit jako těsnost význačnou $r = 0,7$.

4.3 Výsledky hledání závislostí - litinové odlitky zařazené v PROJEKTECH

Pro posuzované závislosti byly stanoveny koeficienty determinace R^2 . Dodejme, že R^2 po vynásobení 100 uvádí v prvním přiblížení z kolika procent daný jev (nezávisle proměnná, v rovnici hodnota X , v našem případě *příslušná charakteristika* - kupříkladu modul odlitku) určuje výši závisle proměnné.

Vliv vybraných charakteristik nákladů litinových odlitků:

- hmotnost odlitků u mocninné a exponenciální závislosti z 34-35 %, u lineární z „necelých“ 20 %,
- modul odlitků u polynomické závislosti z 65 %, u lineární a exponenciální z 57 -58 %,
- Brhel-Jelínkovo kritérium u polynomické závislosti z 58 %, u lineární z cca 44% a u exponenciální z cca 42%,

Jeví se tedy, že významnými jsou i z pohledu dalších druhů závislosti modul a Brhel-Jelínkovo kritérium.

4.4 Výsledky šetření výběrového souboru odlitků JMA Hodonín

V JMA Hodonín byl vybrán soubor 41 odlitků, které jsou si *tvarově podobné, liší se pouze velikostí a hmotností*. Pro každý odlitek byl spočítán modul odlitku i další charakteristiky odlitků. Apřetací náklady byly určeny z informačního systému SAP R2. Jsou tedy do jisté míry obdobné NVN. Odlitky jsou zařazené ve shodné hmotnostní skupině č. 1. Jejich hmotnosti se pohybují od 6,3 kg /odlitek do 105 kg /odlitek.

SHRNUTÍ VÝSLEDKŮ:

- jako *nejmenší vliv* na náklady apřetace má *Brhelovo kritérium* (vliv podle jednotlivých závislostí od 0,5% do 1%),
- minimální objem kvádrů* charakterizuje náklady z 16% až 29%. Nicméně u lineární závislosti kde $r = 0,4022$ pak po porovnání s $r_{arit} = 0,3081$ konstatujeme *statisticky významnou závislost*.
- Herzánovo kritérium* vystihuje náklady z 27% do 30 %. Také zde, kde $r = 0,5379$ sledujeme *statisticky významnou závislost*.
- vliv *hrubé hmotnosti odlitků* je dán možným rozpětím ovlivnění od 29% až do 43%. I v tomto případě s $r = 0,5408$ musíme uvést, že *je zde staticky významná závislost*.
- Brhel - Jelínkovo kritérium* naznačuje ovlivnění od 37% do 56 %. Také zde s $r = 0,6149$ se jedná o *statisticky významnou závislost*.
- Modul odlitků* vykazuje *nejvyšší vliv* (od 53% do 60%), $r = 0,7292$ odpovídá *statisticky významné závislosti*.

K hodnocení opět v prvním přiblížení lze ještě dodat, že závislosti se jeví logické. Pozoruhodné je také to, že šetření provedené v JMA Hodonín potvrzuje dříve konstatované zjištění o významnosti Brhel-Jelínkova kritéria a modulu.

4.5 Výsledky šetření výběrového souboru odlitků ŽĎAS, a.s.

Slévárna Žďas, a.s. sleduje náklady apřetace odlitků pomocí vlastního informačního systému. Na základě této zkušenosti bylo možné v podmínkách této slévárny provést posouzení vybraných závislostí. Cílem bylo ověřit funkčnost a oprávněnost navržených charakteristik v podmínkách slévárny ŽĎAS a naznačení dalšího směřování při hledání univerzálního vztahu. Testování bylo provedeno na nákladech apřetace u souboru

ocelových odlitků. Výběrový soubor obsahoval několik tisíc různých odlitků v hmotnostním rozpětí 200 kg - 30 000 kg. Data byla částečně očištěna od extrémních hodnot.

Tab.2 Koefficienty determinace a korelace sledovaných závislostí ve ŽĐAS a.s

Kritérium	R ²	r	FUNKCE
MÁLKŮV TŘÍDNÍK - HODNOTY	0,60	0,77	EXP
HMOTNOST BEZ NDT	0,64	0,80	MOC
KVÁDR BEZ NDT	0,44	0,67	MOC
BRHEL	0,09	0,31	MOC
BRHEL JELÍNEK BEZ NDT	0,61	0,78	MOC
BRHEL JELÍNEK NDT	0,38	0,62	MOC
HERZÁN BEZ NDT	0,44	0,67	MOC
MODUL NDT	0,57	0,76	MOC
MODUL NDT DO 800 - 1 200 KG	0,54	0,73	MOC
MODUL X HMOTNOST	0,48	0,69	MOC

Na základě výše uvedených šetření lze konstatovat, že testované náklady apretace u vzorku odlitků *Žďas vykazují silnou závislost na hrubé hmotnosti, Brhel Jelínkovu kritériu a modulu (tab. 2)*. S hmotností lze pracovat jak formou vhodně zvolených hmotnostních kategorií nebo absolutně. Je tedy možné doporučit při dalším zkoumání pracovat s těmito charakteristikami. Výsledkem může být nová charakteristika nebo závislost vyjádřená funkcí o dvou neznámých. Možná je kupříkladu i kombinace Málkova kritéria a hmotnosti. Zařazování odlitků do skupin dle Málkova třídíku je však subjektivní záležitost.

Pokud je naším cílem nalezení univerzálního a objektivního vztahu měli bychom používat pouze „tvrdá data“ (hmotnost, povrch, rozměry...). Také je potřeba zdůraznit nutnost dělení odlitků na odlitky zkoušené NDT zkouškami a odlitky kontrolované pouze vizuální zkouškou.

Přestože byly tímto způsobem šetřeny pouze odlitky Žďasu, jehož sortimentní skladba má svá specifika, je *možné předpokládat, že obdobné závěry mohou platit ve slévárnách ocelových odlitků*. Zjištěné závislosti by mohly mít podobný průběh, pouze budou různě „vysoko posazené“, dle různé efektivity nákladů a technologických zvyklostí slévárny.

Pokud bude funkční kritérium nalezeno, bylo by vhodné jej testovat i na nákladech ostatních výrobních fázích (výroba kovu, výroba formy a jader, ...) a nakonec i na kompletních nákladech na výrobu odlitku.

ZÁVĚR

Je zřejmé, že cesta detailního sledování nákladovosti odlitků po hlavních výrobních fázích je vysoce přínosná. Proto řešitelský tým bude v této práci pokračovat PROJEKTEM XV. Tam se chceme zejména věnovat dořešení problémů z předcházejících PROJEKTŮ a pokračovat v posuzování dalších výrobních fází apretace. Stojí však před námi také „staronové“ problémy výroby odlitků, které je nyní možné s novou kvalitou použitelné výpočetní techniky řešit s významně vyšší účinností.

LITERATURA

- [1] Kafka, V., Brázda, Z., Brhel, J., Fík, M., Herzán, M., Jelínek, P., Lána, I., Marko, E., Miča, R., Novobilský, M., Obrtlík, J., Výletová, B., Mrázek, M. : Vypracování metodiky nákladového hodnocení apretace odlitků (III. etapa), PROJEKT XIV, závěrečná zpráva, prosinec 2013, Česká slévárenská společnost Brno, s. 1- 79, tab.8, obr. 40, přílohy 5.
- [2] Kafka V., Brhel J., Herzán M., Jelínek P., Lána I., Lasák R., Miča R., Novobilský M., Staníčková G., Strouhalová M., Výletová B.,: Vypracování metodiky nákladového hodnocení apretace odlitků (II. etapa), PROJEKT XIII, závěrečná zpráva, prosinec 2012, Česká slévárenská společnost Brno, s. 1- 60, tab.13, obr. 16, přílohy 5.
- [3] Kafka V., Herzán M., Jelínek P., Lána I., Lasák R., Novobilský M., Pazderková V., Poloková O., Staníčková G., Výletová B., Doupovec D.: Vypracování metodiky nákladového hodnocení výrobní fáze apretace odlitků, PROJEKT XII, závěrečná zpráva, leden 2012, Česká slévárenská společnost Brno, s. 1- 49, tab.17, obr. 5, přílohy 3.

ZMĚNY V PARAMETRECH ELEKTRICKÝCH OBLOUKOVÝCH PECÍ V POSLEDNÍCH 45 LETECH SE ZAMĚŘENÍM NA NOMINÁLNÍ HMOTNOST 5 T

Martin MRÁZEK^a, Václav KAFKA^b

^a VŠB - TU Ostrava, Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství, Katedra metalurgie a slévárenství, 17. listopadu 15/2172, 70833, Ostrava - Poruba, Česká republika, martin.mrazek86@gmail.com

^b Racio & Racio, Vnitřní 732, 73514 Orlová, Česká republika, vaclav.kafka@upcmil.cz

Abstrakt

Práce vychází ze zkoumání bývalého Ústavu elektrometalurgie VŠB Ostrava z let 1967 a 1968. Uváděné skutečnosti se porovnávají s údaji, které se zjišťovaly s pomocí Odborné komise tavení oceli na odlitky ČSS v letech 2012 až 2013. Úvodní šetření je zaměřeno na nepočetnější skupinu pecí, která je v obou souborech nejvíce zastoupena - tedy s nominální hmotností tavby 5 tun.

Klíčová slova: Elektrická oblouková pec, Česká a Slovenská republika, změny parametrů pecí, porovnání za 45 let

1. ÚVOD

Vývoj technologií v oblasti elektrometalurgie za posledních 45 let zapříčinil změnu v mnoha oblastech výroby tekutého kovu. Jedním ze základních prostředků jeho výroby je elektrická oblouková pec. Předběžné posouzení změn, kterými prošly konstrukční prvky a vybrané parametry těchto pecí po 45 letech, jsou předmětem tohoto článku. Východiskem pro srovnání je archivní materiál [1] zpracovaný Ústavem elektrometalurgie v tehdejší Československu. Skutečnosti zjištěné o původním stavu parku EOP jsou porovnávány s informacemi o tom stávajícím.

Elektrická oblouková pec (EOP) je poměrně složitým metalurgickým agregátem. Jeho specifická část souvisí s charakterem dodávání tepla - tedy s elektrickou energií, jejím rozvodem, transformací na požadované napětí a udržování elektrických parametrů oblouků, tedy s regulací elektrod. Kromě elektrické části je pak každá EOP vybavena mechanickou částí, která zabezpečuje regulaci elektrod, posun víka, naklápění pece, sázení pece atd. a rovněž vybavením pro chlazení pece a odsávání a čištění pecních plynů [2].

2. CHARAKTERISTIKA POSUZOVANÝCH SOUBORŮ ELEKTRICKÝCH OBLOUKOVÝCH PECÍ V R. 1968 A 2013

V roce 1968 se na území tehdejšího Československa vyskytovalo celkově 102 EOP a k tehdejšímu šetření bylo přistoupeno u přibližně 80% ze zmíněného celku. Posuzovaný park tedy čítal 81 EOP. Aktuálně, tedy v roce 2014, odhadujeme počet agregátů vyskytujících se na území České a Slovenské republiky odhadujeme na přibližně 50 (ať již v trvalém či částečném provozu). Pro tuto práci se podařilo ve spolupráci s Odbornou komisí tavení oceli na odlitky při České slévárenské společnosti (OK tavení) získat informace o 42 EOP, tedy 82% všech instalovaných tavících agregátů. Oba posuzované soubory můžeme tedy považovat za reprezentativní.

2.1 Spolupracující podniky

Mezi závody, které poskytly v roce 1968 informace o svých pecích, patřily: ČKD Blansko, ČKD Kutná Hora, ČKD Praha, KPS Brno, Metaz Týnec nad Sázavou, MŽ Olomouc, NHKG Ostrava, PS Přerov, ROSS Roudnice, Škoda Rotava, SČA Ústí nad Labem - závod Chabařovice, Slatina Brno, SMZ Dubnica, SONP

Kladno, SONP Kladno Koněv, Strojárne Piesok - závod Hronec, Strojírny Prakovce, ŠŽ Podbrezová, Škoda Plzeň, Šmeralovy závody Brno, Tatra Kopřivnice, Transporta Chrudim, Turčianske strojárne Martin, TŽ VŘSR Třinec, Uničovské strojírny Uničov, VŽKG Ostrava, ZJF Chomutov, ZPS Gottwaldov, ŽBC Hrádek u Rokycan, ŽD Bohumín a Ždárské strojírny a slévárny, Žďár nad Sázavou. Jednalo se vždy o státní podniky.

Jak již bylo zmíněno výše, ve spolupráci s OK tavení a pracovníky sléváren a elektrooceláren bylo získáno poměrně značné množství dat k posouzení aktuálního parku. Mezi ty podniky, které přispěly informacemi o jejich pecích, patří: ČKD Kutná Hora, a.s., DSB Euro s.r.o. Blansko, EUROCAST Košice, s.r.o. Košice, KRÁLOVOPOLSKÁ SLÉVÁRNA, s.r.o. Brno, MENCL GUSS s.r.o. Roudnice n. L., METSO Minerals, s.r.o. Píseň, Pilsen Steel s.r.o. Plzeň, POLDI Hütte s.r.o. Kladno, RCC Prakovce, SCB Foundry, a.s. České Budějovice, SLOVAKIA STEEL MILLS, a.s. Strážské, Tafonco a.s. Kopřivnice, Třinecké železářny, a.s. Třinec, UNEX, a.s. Uničov, VIADRUS, a.s. Bohumín, VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY, a.s. Ostrava, Vítkovické slévárny, spol. s r.o. Ostrava, ŽĐAS, a.s. Žďár nad Sázavou, Železiarne Podbrezová a.s. Podbrezová.

Všem zmíněným patří poděkování za jejich spolupráci.

2.2 Rozdělení zkoumaných souborů do skupin dle nominální hmotnosti tavby

Pro dělení pecí jsme vyšli z pojmu, který používá odborná komise tavení oceli na odlitky a sice „nominální hmotnost tavby“. K tomu jsme přiřadili obdobný název ze souboru z r. 1968, který vycházel z tehdejšího pojmosloví „jmenovitá váha“. Rozdělíme-li výše zmíněné zkoumané soubory schematicky do tříd po 10t, bude zjištěný stav vypadat následovně:

Tab. 1 Rozdělení pecního parku do skupin dle tonáže

	Skupina [t]	Park EOP	
		1968	2013
ř./sl.	1	2	3
1	0 - 10	67	25
2	10 - 20	5	10
3	20 - 30	9	1
4	nad 30	0	6

Jak je z **tab. 1** patrné, v obou souborech výrazně dominují pece zařazené do první skupiny, tedy do 10t. Dále je patrný nárůst maximální hodnoty tonáže, kdy v roce 1968 byly používány pece s maximálně třicetitonovou nominální hmotností, kdežto v aktuálním parku se vyskytují pece, které tuto hodnotu výrazně převyšují (až 70 t).

Pokud se pozorněji zaměříme na zmiňovanou nejmenší skupinu pecí, tedy 0-10t, zjistíme, že nejčastěji zastoupenou hodnotou je nominální hmotnost 5t. U původního souboru se tato

hodnota vyskytuje v 27 případech (tedy 33,3% všech pecí). V aktuálním parku EOP ji zaznamenáváme 16 krát (38% celého souboru).

Je tedy zřejmé, že pece s nominální hmotností tavby 5 tun jsou v obou souborech nejčastěji zastoupeny a v předkládaném příspěvku jim proto bude věnována pozornost.

2.3 Parametry EOP

Archivní materiál poskytoval informace o těchto parametrech (v tehdejší nomenklatuře): jmenovitá váha, závod, typ pece, interní číslo pece, rok uvedení do provozu, výrobce, výkon, skutečná váha, způsob vyzdívání a druh vyzdívky, regulace, poslední generální oprava, způsob sázení, poměr ingoty/odlitky, doba tavby celkem, doba natavování, specifická spotřeba elektrické energie na 1 t oceli na tavbu, specifická spotřeba elektrické energie na 1 t oceli na natavování, maximální sekundární napětí a průměr pece.

Pro tento příspěvek je předkládáno posouzení „skutečné průměrné hmotnosti vsázky“ (pojem r. 2013) a jemu přiřazená hodnota z r. 1968 „skutečná váha“. Dále „spotřeba elektrické energie celkem“ [kWh/t] (pojem r. 2013) a „specifická spotřeba el. energie na 1t oceli na tavbu“ - r. 1968. Poslední je „celková doba tavby“ (pojem r. 2013). Ta je v r. 2013 definována „časy odpich - odpich včetně prostojů“ [min]. A pro r. 1968 to byl

pojem „doba tavby celkem“ [hod]. Tato hodnota byla pro potřeby porovnání přepočtena na hodnotu v minutách.

V prvním přiblížení můžeme říci, že uvedené hodnoty z r. 1968 a 2013 jsou přibližně srovnatelné. Nicméně v dalších pracích se této srovnatelnosti pojmů chceme podrobněji věnovat.

3. POROVNÁNÍ POSUZOVANÝCH PARAMETRŮ

V následujících kapitolách je věnována pozornost statistickému posouzení sledovaných parametrů. Při tomto posouzení nejprve otestujeme statistické soubory na existenci odlehlých hodnot. Následně zaměříme pozornost na posouzení, zda výběrový soubor má normální rozdělení. Dále budeme pokračovat výčtem statistických ukazatelů. Grafické hodnocení posuzovaných hodnot je pak posledním bodem statistického šetření.

V dalším šetření budeme používat pojmy z r. 2013, které odpovídají současnému názvosloví.

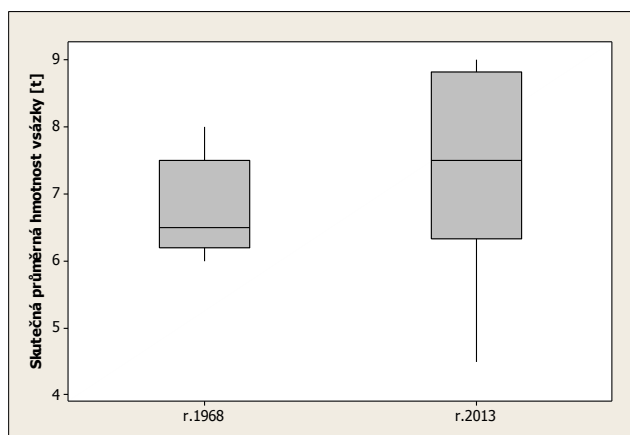
Následuje rozbor výše zmíněných parametrů.

3.1 Skutečná průměrná hmotnost vsázky

Prvním posuzovaným parametrem je skutečná průměrná hmotnost vsázky.

3.1.1 Testování odlehlých hodnot

Prvním krokem statistického posouzení analyzovaných parametrů je testování odlehlých hodnot (OH). Pomocí této metody hledáme OH, tedy hodnoty netypické vzhledem ke zbytku souboru. Graf zachycující potřebné informace se nazývá Boxplot a je zobrazen na **obr. 1**.

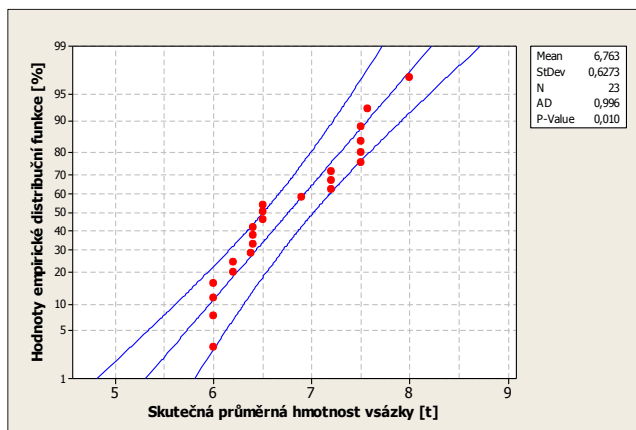


Obr. 1 Boxploty pro jednotlivé soubory - skutečná průměrná hmotnost vsázky

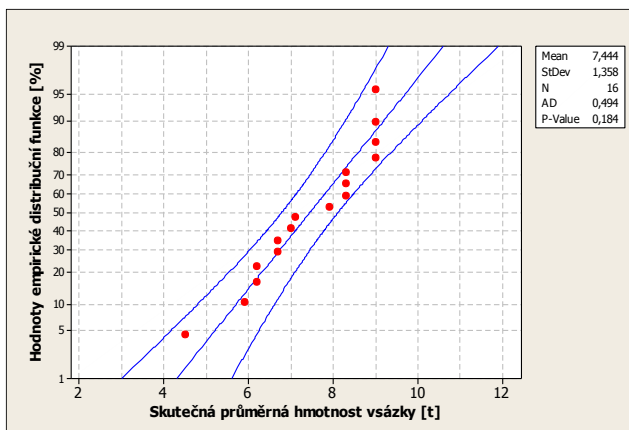
Jak vidíme na **obr. 1** u skutečné průměrné hmotnosti vsázky, ani v jednom souboru se nevyskytuje OH a můžeme tedy přistoupit k dalšímu kroku, kterým je testování normality.

3.1.2 Testování normality

Testování normality, jak sám název napovídá, slouží k zjištění, zda má posuzovaný statistický soubor normální rozdělení (dle Gaussovy křivky). Pro toto testování byl použit nástroj „Probability Plot“ (pravděpodobnostní graf) programu Minitab. Tyto grafy vidíme na **obr. 2a** a **obr. 2b**. Je-li P-Value vyšší než 0,05, lze konstatovat, že soubor má normální rozdělení. Je-li tato hodnota nižší než 0,05, nemá normální rozdělení.



Obr. 2a Pravděpodobnostní graf - skutečná průměrná hmotnost vsázky (1968)



Obr. 2b Pravděpodobnostní graf - skutečná průměrná hmotnost vsázky (2013)

Jak můžeme vidět na obr.2a, hodnota P-Value je v tomto případě 0,01 a je nižší než 0,05. Statistický soubor z roku 1968 tedy nemá normální rozdělení. Naopak u souboru z roku 2013, můžeme konstatovat normální rozdělení, neboť hodnota P-Value se rovná v tomto případě 0,184.

Následuje stanovení základních statistických ukazatelů.

3.1.3 Základní statistické ukazatele

Pro potřebu statistického posouzení byly stanoveny následující ukazatele: minimální a maximální hodnota, aritmetický průměr, modus, medián, variační rozpětí, rozptyl, směrodatná odchylka a variační koeficient. Tyto hodnoty byly uspořádány do tab. 2. Ta zachycuje jejich hodnoty pro výběrové soubory r. 1968 a r. 2013 a rozdíl mezi těmito hodnotami.

Výše bylo konstatováno normální rozdělení hodnot výběrového souboru roku 2013, proto bude jako charakteristická střední hodnota použit aritmetický průměr. Hodnoty souboru roku 1968 naopak nevykazovaly normální rozdělení a budou tedy posuzovány dle hodnoty příslušného mediánu.

Tab. 2 Skutečná průměrná hmotnost vsázky - statistické ukazatele

	Ukazatel	Rozměr	Soubor z roku		Odchylka
			1968	2013	
ř./sl.	1	2	3	4	5
1	Minimum	t	6	4,5	-1,5
2	Maximum	t	8	9	1
3	Průměr	t	6,7	7,4	0,7
4	Modus	t	6	9	3
5	Medián	t	6,5	7,5	1
6	Variační rozpětí	t	2	4,5	2,5
7	Rozptyl		0,4	1,8	1,4
8	Směrodatná odchylka		0,6	1,4	0,8
9	Variační koeficient	%	9,3	18,2	8,9

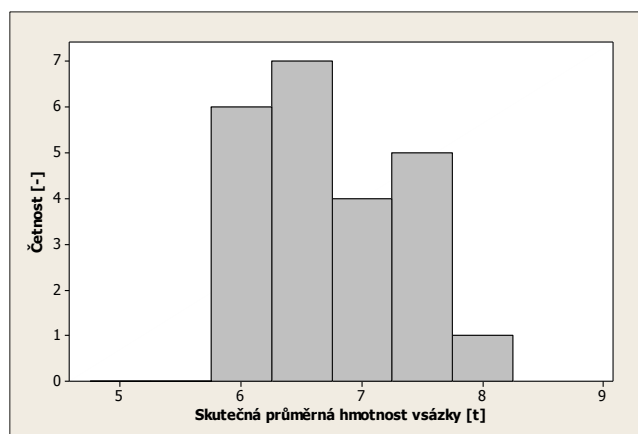
Shrnutí:

- zaznamenáváme rozšíření intervalu hodnot. V roce 1968 byl vymezen minimální hodnotou 6t a maximální hodnotou 8t. V současnosti je zjištěné minimum 4,5t a maximum pak 9t.
- medián v roce 1968 byl roven 6,5t. Aritmetický průměr aktuálního parku EOP je 7,4t. Nejčastěji se vyskytující hodnotou, dle zjištěného módu, v prvním sledovaném souboru byla 6t a v druhém 9t. Soubory jsou děleny mediální hodnotou jednak 6,5t a jednak 7,5t. Konstatujeme tedy jednoznačné zvýšení průměrné skutečné hmotnosti vsázky.
- zvýšení variability je zjištěno jak u směrodatné odchylky, tak u variačního koeficientu. Variační koeficient se například téměř zdvojnásobil.

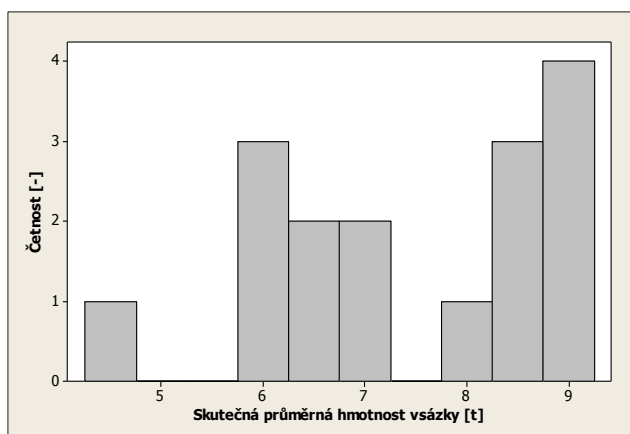
Následuje grafické znázornění získaných výsledků.

3.1.4 Grafické znázornění

Pro grafické znázornění byly použity histogramy četnosti (**obr. 3a**, **obr. 3b**). Četnost je v počtu pecí, které se v dané skupině vyskytly. Nemá tedy jednotky.



Obr. 3a Histogram četnosti - skutečná průměrná hmotnost vsázky (1968)



Obr. 3b Histogram četnosti - skutečná průměrná hmotnost vsázky (2013)

Na **obr. 3a** a **obr. 3b** vidíme zejména rozšíření intervalu, v němž se hodnoty pohybují. Dále je názorné významné zvýšení skutečné průměrné hmotnosti vsázky od 8 do 9 t.

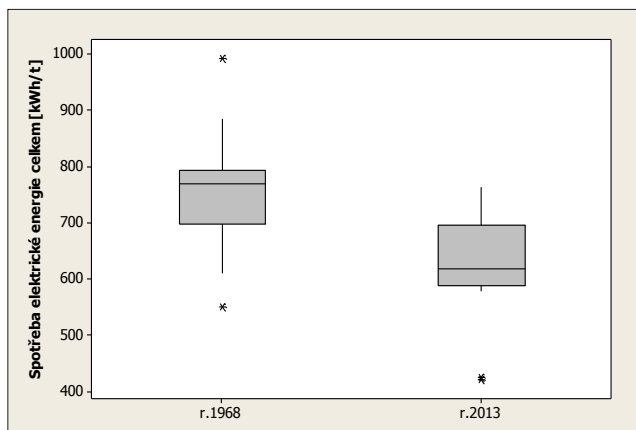
Následuje kapitola zabývající se rozbořem parametru spotřeba elektrické energie celkem.

3.2 Spotřeba elektrické energie celkem

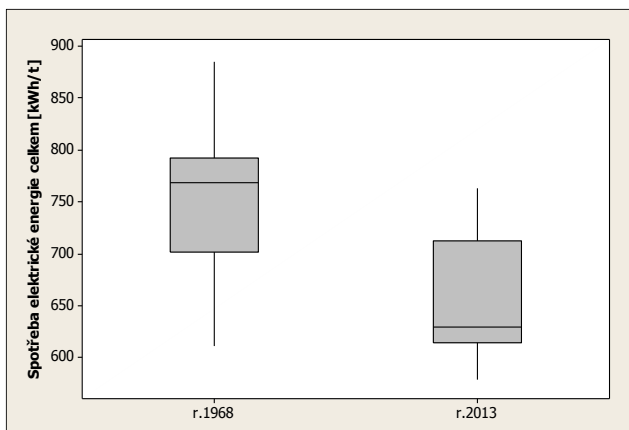
Elektrická energie je jednou z klíčových složek při posuzování ekonomiky výroby. Vyhodnocení její spotřeby by měla být věnována patřičná pozornost. Dalším parametrem, který postoupíme šetření je právě spotřeba el. energie celkem.

3.2.1 Testování odlehklých hodnot

Stejně jako u předchozího parametru začneme posouzení spotřeby elektrické energie celkem testováním OH. Grafické znázornění vidíme na **obr. 4a** a **obr. 4b**.



Obr. 4a Boxploty pro jednotlivé soubory s OH



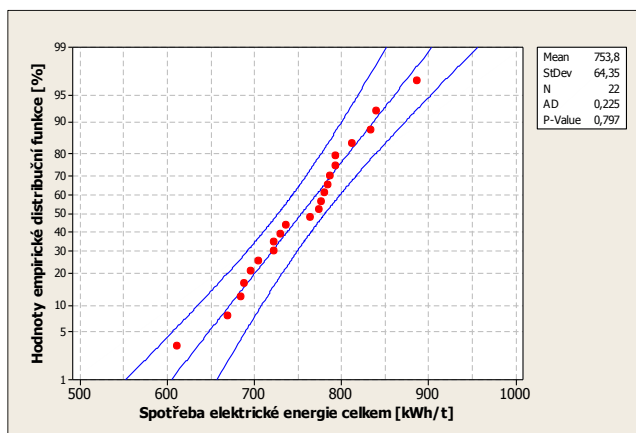
Obr. 4b Boxploty pro jednotlivé soubory bez OH

Jak si můžeme všimnout na **obr. 4a**, u spotřeby elektrické energie zaznamenáváme výskyt OH u obou souborů. Tyto hodnoty byly odstraněny a obr. 4b znázorňuje Boxplot bez odstraněných OH.

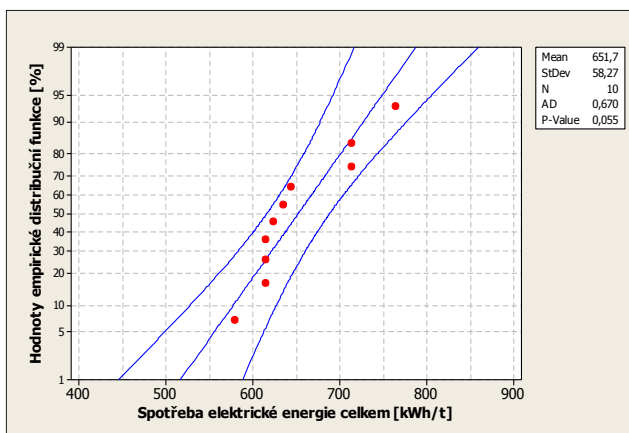
Dále přistoupíme k testování normality.

3.2.2 Testování normality

Pro testování normality bylo opět využito programu Minitab a taktéž signalizující hodnota P-Value rovna 0,05. Grafy odpovídající tomuto testování jsou vyobrazeny na **obr. 5a** a **obr. 5b**.



Obr. 5a Pravděpodobnostní graf - spotřeba elektrické energie celkem (1968)



Obr. 5b Pravděpodobnostní graf - spotřeba elektrické energie celkem (2013)

Hodnoty P-Value jsou v obou případech vyšší než 0,05 (pro soubor z roku 1968 je roven 0,797 a v roce 2013 je tato hodnota rovna 0,055). Lze tedy konstatovat, že oba soubory mají normální rozdělení. Pro další posouzení bude tedy pracováno s aritmetickým průměrem.

3.2.3 Základní statistické ukazatele

Statistické ukazatele zachycuje **tab. 3**.

Tab. 3 Spotřeba elektrické energie celkem - statistické ukazatele

ř./sl.	Ukazatel	Rozměr	Soubor z roku		Odchylka
			1968	2013	
	1	2	3	4	5
1	Minimum	kWh/t	611	579	-32
2	Maximum	kWh/t	886	764	-122
3	Průměr	kWh/t	754	652	-102
4	Modus	kWh/t	722	615	-107
5	Medián	kWh/t	769	630	-139
6	Variační rozpětí	kWh/t	275	185	-90
7	Rozptyl		4140,9	3395,3	-745,6
8	Směrodatná odchylka		64,4	58,3	-6,1
9	Variační koeficient	%	8,5	8,9	0,4

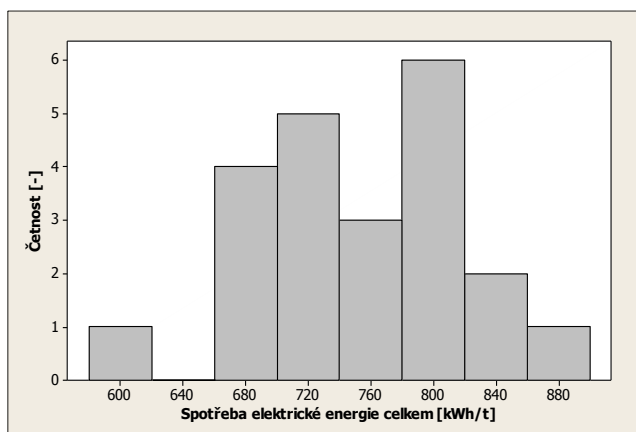
Shrnutí:

U současného parku EOP byl zjištěn pokles spotřeby elektrické energie. Minimální hodnota se snížila o 32 kWh/t, maximální hodnota poklesla o 122kWh/t. Průměrná hodnota v roce 1968 byla 754 kWh/t a v roce 2013 je 652 kWh/t. I nejčastěji zastoupené hodnoty vykazují pokles (ze 722 kWh/t v původním souboru na 615 kWh/t v současném souboru).

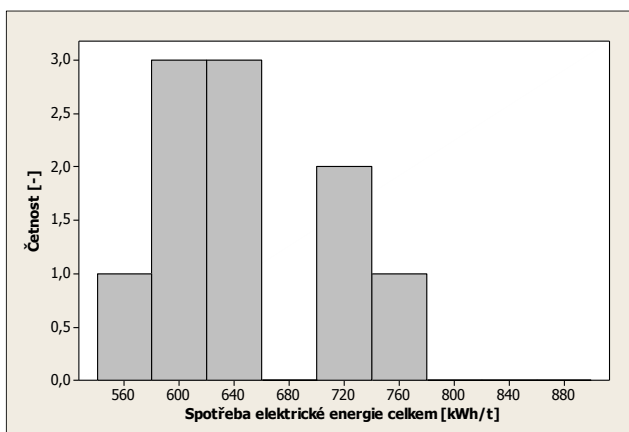
Tuto skutečnost je nutno považovat pouze za orientační a výchozí, neboť při jejím posouzení nebyly zohledněny odlišné technologické postupy v odstupu 45let. Touto otázkou se v současnosti zabýváme a bude předmětem dalšího šetření.

3.2.4 Grafické znázornění

Na **obr. 6a** a **6b** je možno vidět rozložení dat v rámci histogramů četností.



Obr. 6a Histogram četnosti - spotřeba elektrické energie celkem (1968)



Obr. 6b Histogram četnosti - spotřeba elektrické energie celkem (2013)

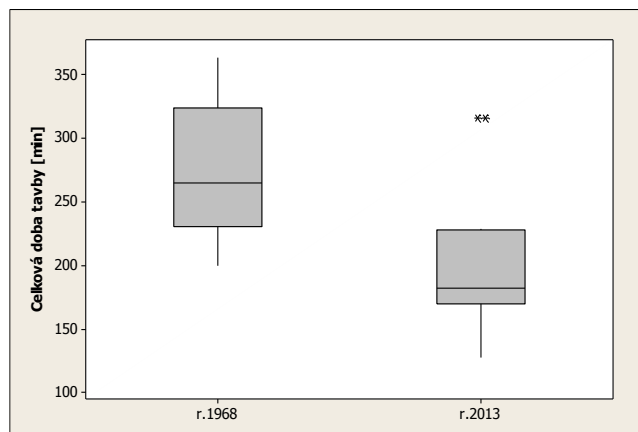
Na **obr. 6a** a **obr. 6b** můžeme sledovat znatelné zúžení rozpětí souboru z roku 2013. Dále také pokles většiny hodnot pod 660 kWh/t.

3.3 Celková doba tavby

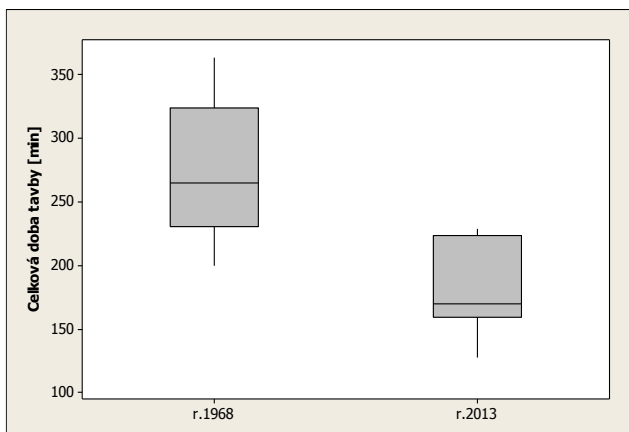
Posledním parametrem posuzovaným v rámci tohoto článku je celková doba tavby.

3.3.1 Testování odlehklých hodnot

Opět začínáme posouzením OH, které je graficky znázorněné na **obr. 7a** a **obr. 7b**.



Obr. 7a Boxploty pro jednotlivé soubory s OH

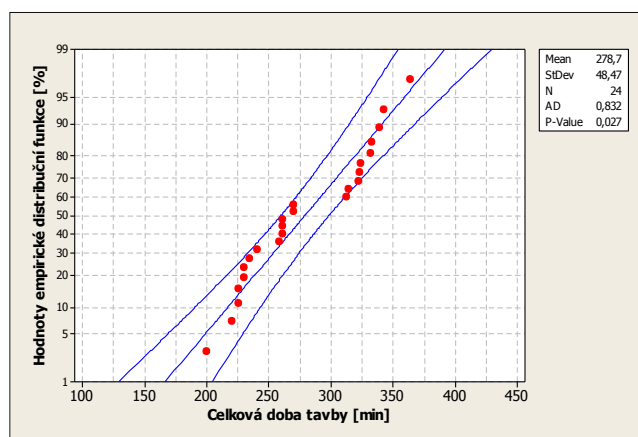


Obr. 7b Boxploty pro jednotlivé soubory bez OH

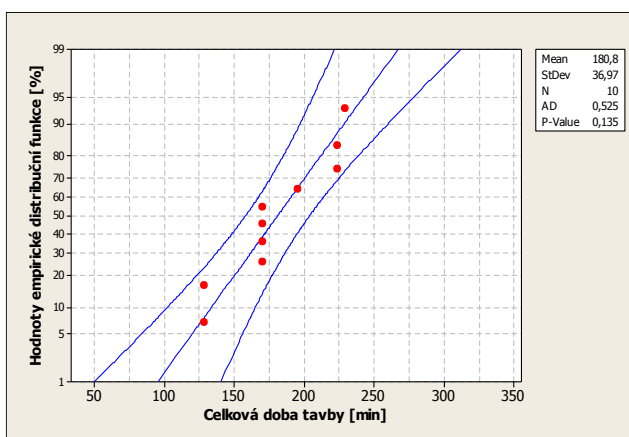
U celkové doby tavby souboru z roku 2013 jsou signalizovány dvě OH (shodně 316 min). V roce 1968 se žádné OH nevyskytují. Obr. 7b znázorňuje boxploty po odstranění OH.

3.3.2 Testování normality

I v tomto případě bylo pro testování normality využito programu Minitab a taktéž signalizující hodnota P-value rovna 0,05. Grafy odpovídající tomuto testování jsou vyobrazeny na **obr. 8a** a **obr. 8b**.



Obr. 8a Pravděpodobnostní graf - celková doba tavby (1968)



Obr. 8b Pravděpodobnostní graf - celková doba tavby (2013)

Jak můžeme vidět na obr.8a, hodnota P-Value je rovna 0,027 (je tedy nižší než 0,05). Statistický soubor z roku 1968 nemá normální rozdělení. Naopak v případě souboru z roku 2013, můžeme konstatovat normální rozdělení, neboť hodnota P-Value se rovná v tomto případě 0,135. Následuje stanovení základních statistických ukazatelů.

3.3.3 Základní statistické ukazatele

Shrnutí hodnot odpovídající této veličině je zachyceno v **tab. 4**. Vzhledem k tomu, že v předchozí kapitole bylo konstatováno normální rozdělení u roku 2013, bude zde pracováno s aritmetickým průměrem. Hodnoty týkající se roku 1968 naopak nevykazovaly normální rozdělení a budou tedy posuzovány dle hodnoty příslušného mediánu.

Tab. 4 Celková doba tavby - statistické ukazatele

ř./sl.	Ukazatel	Rozměr	Soubor z roku		Odchylka
			1968	2013	
	1	2	3	4	5
1	Minimum	min	200	128	-72
2	Maximum	min	364	229	-135
3	Průměr	min	279	181	-98
4	Modus	min	261	170	-91
5	Medián	min	266	170	-96
6	Variační rozpětí	min	164	101	-63
7	Rozptyl		2349,5	1366,6	-982,9
8	Směrodatná odchylka		48,5	37,0	-11,5
9	Variační koeficient	%	17,3	20,6	3,3

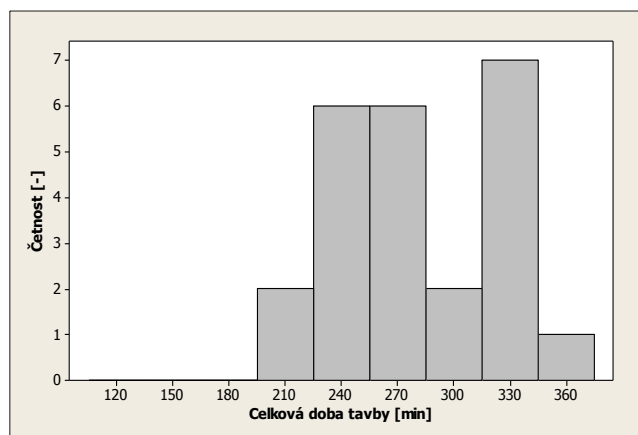
Shrnutí:

Zjištěné hodnoty vykazují zkrácení celkové doby tavby (minimální i maximální hodnoty, průměru, mediánu i módu). Průměrná hodnota u současného souboru je rovna 181 minutám, medián souboru z roku 1968 je 266 minut. Nejčastěji zastoupená hodnota poklesla z 261 na 170 minut.

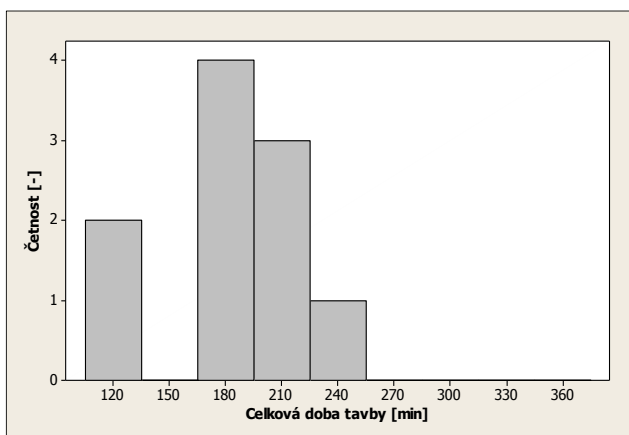
Stejně jako u spotřeby elektrické energie i tento závěr je třeba brát jako orientační a předběžný.

3.3.4 Grafické znázornění

Posledním krokem analýzy i v tomto případě je grafické hodnocení zachycené na **obr. 9a** a **obr. 9b**.



Obr. 9a Histogram četnosti - celková doba tavby (1968)



Obr. 9b Histogram četnosti - celková doba tavby (2013)

Z histogramů je patné zkrácení celkové doby tavby, jak bylo konstatováno výše.

4. ZÁVĚR

Předkládaný text popisuje změny vybraných parametrů EOP v uplynulých 45 letech. Zmíněné výsledky je nutno brát jako předběžné, neboť jsou jakýmsi prvním bližším seznámením s touto tematikou. V budoucnu bude zapotřebí zohlednit i vliv použitých technologií a postupů, které se v odstupu 45 let liší. Tento podrobnější rozbor je předmětem dalšího šetření.

PODĚKOVÁNÍ

Je milou povinností autorského kolektivu poděkovat členům OK tavení oceli na odlitky při ČSS, pracovníkům elektrooceláren a sléváren za poskytnutí dat k tomuto hodnocení.

LITERATURA

- [1] Kafka, V., Bůžek, Z.: Archivní materiál vybraných parametrů elektrických obloukových pecí v Československé socialistické republice, Ústav elektrometalurgie, Hutnická fakulta, Vysoká škola báňská Ostrava, 1968.
- [2] MICHALEK, K. Elektrometalurgie a výroba feroslitin. Studijní opora k předmětu. VŠB-TU Ostrava, kat. Metalurgie; 2008 - 185s.

31. ročník konference o teorii a praxi výroby a zpracování oceli



2. – 3. 4. 2015

Hotel Relax

Rožnov pod Radhoštěm,
Česká republika, EU

Konference se zaměřuje na teorii a praxi výroby a zpracování oceli. Konference je tradičním jarním setkáním ocelářů v příjemném prostředí Beskyd. Přednášky jsou zaměřeny na nové teoretické poznatky a jejich aplikaci v praxi. Podniky zde mohou představit své nové produkty.

TÉMATICKÉ OKRUHY

Teoretické základy výroby, zpracování a odlévání oceli

Výroba oceli kyslíkovými pochody

Výroba oceli v elektrických pecích

Nové technologie výroby oceli

Mimo pecní zpracování oceli

Odlévání oceli, klasické i plynulé odlévání

Řešení ekonomických a ekologických problémů při výrobě oceli

Žárovzdorné materiály při výrobě a zpracování oceli

KONTAKTY



OCELÁŘI/STEELCON 2015

TANGER spol. s r.o.	tel:	+420 595 227 121
Keltičkova 62	fax:	+420 595 227 110
710 00 Ostrava	e-mail:	info@ocelari.cz
Česká republika	URL:	www.ocelari.cz

ŽĎAS a.s. • Žďár nad Sázavou • www.zdas.cz



ZDAS

Tvářecí stroje
Zařízení pro zpracování válcových výrobků
Metalurgie
Lisovací nástroje