



Oceláři

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

Sborník přednášek

Hotel Relax, Rožnov pod Radhoštěm, Česká republika

4. - 5. duben 2012



LECO

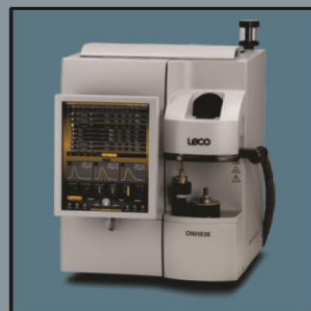
přístrojová a laboratorní technika

Rychlé stanovení elementárních prvků v ocelářském průmyslu je základem našeho podnikání od roku 1936. Po více než 75 letech úspěchů jsou LECO analyzátory stále měřítkem pro rychlost, přesnost a preciznost v analytické charakteristice materiálů. Naše kompletní řada přístrojů, včetně přístrojů pro současné stanovení prvků CS a NOH, ale i měření zbytkového a difúzního vodíku v ocelích, spojuje inovativní technologii s osvědčenou výkonností. Dostatečně robustní technika, tak aby vydržela náročnost provozních laboratoří, přesto nákladově efektivní pro každý rozpočet.



Delivering the Right Results

info@leco.cz • www.leco.cz



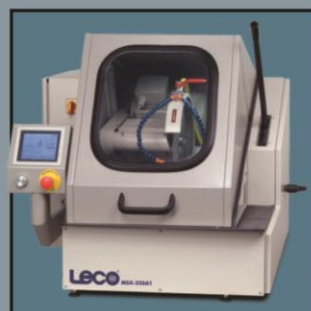
Dusík/Kyslík/Vodík



Uhlík/Síra



GDS Spektrometrie



Metalografie

Inorganic • Organic • Metallographic • Optical • Mass Spectrometry • Spectroscopy

TANGER spol. s r.o. OSTRAVA
VŠB - TU OSTRAVA, FMMI

Sborník přednášek



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

4. - 5. duben 2011

Hotel Relax, Rožnov pod Radhoštěm, Česká republika

© 2012 TANGER spol. s r.o., Ostrava,

ISBN 978-80-87294-28-4

OCELÁŘI 2012

Sborník přednášek, 4. - 5. duben 2012 Rožnov pod Radhoštěm

Kolektiv autorů

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

Vydání: první 2012

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

Počet stran: 170

Obsah

PŘIPOMÍNÁME SI PÁTÉ VÝROČÍ ÚMRTÍ PROF. ING. ZDEŇKA BŮŽKA, CSC.

Václav KAFKA 7

DOPAD SVĚTOVÉ DLUHOVÉ KRIZE NA ČESKÉ SLÉVÁRNY A OCELÁRNY

Václav KAFKA 9

VLIV SELENU NA METALOGRAFICKOU ČISTOTU A TVAŘITELNOST

Vladislav KURKA, Zdeněk ADOLF & Ladislav KANDER 16

PRAKTICKÉ DOPADY NEJISTOT CHEMICKÉHO ZKOUŠENÍ PŘI VÝROBĚ OCELI

Dalibor SLANAŘ, Karel MERTA 17

VYUŽITÍ TERMICKÉ ANALÝZY KE STUDIU TERMOFYZIKÁLNÍCH VLASTNOSTÍ REÁLNÉ JAKOSTI OCELI

Petr KLUS, Monika ŽALUDOVÁ, Karel GRÝC, Bedřich SMETANA, Karel MICHÁLEK, Jana DOBROVSKÁ,
Markéta TKADLEČKOVÁ, Ladislav SOCHA, Bohuslav CHMIEL 24

ZAVÁDĚNÍ STRUSKOVÉHO MODELU PRO ŘÍZENÍ SLOŽENÍ STRUSKY NA SEKUNDÁRNÍ METALURGII

Pavel MACHOVČÁK, Aleš OPLER, Zdeněk CARBOL, Vladimír VADARENÝ, Roman SCHAFFER 32

HODNOTY MECHANICKÝ VLASTNOSTÍ MATERIÁLU V MASIVNÍCH TLOUŠŤKÁCH OCELOVÝCH ODLITKŮ

Jaroslav ŠENBERGER, Antonín ZÁDĚRA, Zdeněk CARBOL, Jiří PLUHÁČEK 39

BEZKONTAKTNÍ MĚŘENÍ TEPLoty VE VÝROBĚ A ZPRACOVÁNÍ OCELI

Vladimír HUBÍK, Libor KELLER 47

VÝVOJ TECHNOLOGIE VÝROBY A TEPELNÉHO ZPRACOVÁNÍ VÝKOVKŮ Z DUPLEXNÍ OCELI

Martin BALCAR, Libor SOCHOR, Jaroslav NOVÁK, Ludvík MARTÍNEK, Pavel FILA, Josef SVATOŇ,
Václav TURECKÝ, Petr MARTÍNEK, Pavel PODANÝ 53

INTENZIFIKACE PROCESU TAVENÍ V EOP NA ELEKTROOCELÁRNĚ ŽŽAS, A.S.

Pavel FILA, Oldřich SUCHÝ, Martin BALCAR, Ludvík MARTÍNEK, Jaroslav BRHEL, Aleš KOSEK 63

VÝVOJ TECHNOLOGIE ODLÉVÁNÍ DUTÝCH INGOTŮ NA OCELÁRNĚ VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY A.S.

Pavel MACHOVČÁK, Zdeněk CARBOL, Aleš OPLER, Martin KORBÁŠ, Marek KOVÁČ, Vladimír KRUTIŠ 68

VÝZKUM, VÝVOJ, OVĚŘENÍ A VYHODNOCENÍ TECHNOLOGIE VÝROBY SUPERDUPLEXNÍ OCELI UNS S3276

Vladislav KURKA, Pavel MACHOVČÁK & Karel MICHÁLEK 75

VERIFIKACE TERMODYNAMICKÝCH PARAMETRŮ NUMERICKÉHO MODELU PLNĚNÍ A TUHNUTÍ TĚŽKÉHO OCELOVÉHO INGOTU

Markéta TKADLEČKOVÁ, Karel GRÝC, Karel MICHÁLEK, Petr FARUZEL, Petr KLUS, Ladislav SOCHA,
Pavel MACHOVČÁK 76

SIMULAČNÍ ANALÝZA VLIVU ODLÉVÁNÍ NA VLASTNOSTI NÁSTROJOVÝCH OCELI

Zdeněk ADOLF, Jiří HODAN, Dana HORÁKOVÁ 84

POROVNÁNÍ CHOVÁNÍ ZTEKUCUJÍCÍCH PŘÍRAD STRUSEK V PRŮBĚHU ZPRACOVÁNÍ OCELI NA ZAŘÍZENÍCH SEKUNDÁRNÍ METALURGIE	
Ladislav SOCHA, Jiří BAŽAN, Petr STYRNAL, Václav PILKA, Zbygněv PIEGZA, Jan MELECKÝ	92
MĚŘENÍ A ANALÝZA FLUKTUACÍ RYCHLOSTÍ LICÍCH PROUDŮ SOCHOROVÉHO ZPO	
René PYSZKO, Leopold CUDZIK, Pavel FOJTÍK, Ladislav VÁLEK.....	99
O PŘÍSTROJÍCH A METODÁCH CHEMICKÉ ANALÝZY V OCELÁŘSTVÍ: EMISNÍ SPEKTROMETRIE A 'SPALOVACÍ' ANALYZÁTORY LECO	
Zdeněk WEISS	107
VÝVOJ NOVÉ METODY MĚŘENÍ POVRCHOVÉ KVALITY DESEK BRAMOVÉHO KRYSTALIZÁTORU	
Ladislav VÁLEK, Leopold CUDZIK, Jiří DAVID, René PYSZKO	108
TECHNOLOGICKÝ ROZBOR PŘÍČIN VZNIKU VNITŘNÍCH PŘÍČNÝCH TRHLIN NA BRAMÁCH	
Miloš MASARIK, Zdeněk FRANĚK, Jaromír ŠMÍD, František KAVIČKA	115
MOŽNOSTI ZVYŠOVÁNÍ ŽIVOTNOSTI KONVERTOROVÝCH VYZDÍVEK	
Rudolf RECH , Libor ČAMEK	122
PÁSMOVÁ ŽIARUVZDORNÁ VÝMUROVKA LIACICH PANVY	
Rastislav KAMENSKÝ, Stanislav BARICA & Ján KRUPA.....	128
ZÚŽITKOVANIE METALURGICKÝCH TROSIEK PRI VÝROBE BEZCEMENTOVÝCH BETONÁRSKYCH ZMESÍ	
Dana BARICOVÁ, Alena PRIBULOVÁ, Peter DEMETER, Branislav BUĽKO	129
MOBILNÍ SPEKTROMETRY, JEJICH POUŽITELNOST A OMEZENÍ V PRAXI	
Karel MERTA, Jakub ZAORAL	137
ANALIZA STATYSTYCZNA WPŁYWU UDZIAŁU ZŁOMU STALOWEGO WE WSADZIE METALICZNYM NA WSKAŹNIK UZYSKU CIEKŁEJ STALI Z WYTOPU KONWERTORA TLENOWEGO	
Zdzisław KUDLIŃSKI, Jacek PIEPRZYCA, Janusz LIPIŃSKI, Jacek KWIECIEN	143
NÁKLADOVÉ POSUZOVÁNÍ APRETACE VYRÁBĚNÝCH ODLITKŮ	
Václav KAFKA, Gabriela STANÍČKOVÁ, Olga Poloková, Miroslav HERZÁN, Blanka VYLETOVÁ, Reinhold LASÁK, Veronika PAZDERKOVÁ, Marcel NOVOBÍLSKÝ, Ivo LÁNA, Pavel JELÍNEK, Dušan DOUPOVEC	149
SLEDOVÁNÍ NÁKLADŮ NA TEKUTÝ KOV - DŮLEŽITÝ NÁSTROJ K EFEKTIVNÍ VÝROBĚ	
Václav KAFKA, Lenka FIRKOVÁ, Václav FIGALA.....	156
VYTVÁŘENÍ EKONOMICKÉHO POVĚDOMÍ PŘÍSPÍVÁ K PŘEKONÁNÍ NEPŘÍZNIVÝCH DOPADŮ SVĚTOVÉ EKONOMIKY	
Václav KAFKA, Marcel NOVOBÍLSKÝ, Zdeněk VLADAR, Vladislav SZMEK, Monika BABULICOVÁ.....	162

PŘIPOMÍNÁME SI PÁTÉ VÝROČÍ ÚMRTÍ PROF. ING. ZDEŇKA BŮŽKA, CSC.

Václav KAFKA

RACIO & RACIO, Vnitřní 732, 73514 Orlová, ČR, vaclav.kafka@upcmail.cz,

Abstrakt

Příspěvek připomíná vybrané hlavní životopisné okamžiky prof. Bůžka. Studium na vysoké škole báňské v Ostravě, aspirantské studium v Moskvě a pedagogickou dráhu opět na VŠB Ostrava. Následně jeho násilný odchod do praxe. A po návratu opět charakterizuje jeho pedagogickou dráhu. V závěru se zaměřuje na jeho vědeckou a pedagogickou činnost a spolupráci s průmyslovou sférou.

Lecture remind the choice main biographical moments of prof. Bůžek. Study on high school in Ostrava, aspirator study in Moscow and pedagogic raceway again on VSB Ostrava. Subsequently his forcible departure to the practice. And after turning back again characterizes his pedagogic raceway. At the close be focusing on his scientific and pedagogic activity and cooperation with industrial sphere.

Snad je možné ještě v roce 2012 předpokládat, že pana profesora Bůžka, který obvykle naše konference zahajoval, není třeba nijak zvlášť představovat.

Nicméně alespoň pár časových pozastavení. Kladenský rodák přes učňovskou školu a vysokoškolské studium na tehdejší VŠB, se stává žákem akademika Samaria na Moskevském institutu oceli a slitin. Po návratu na svoji Alma mater buduje „svůj“ Ústav elektrometalurgie. Soustředil okolo sebe řadu mladých nadšenců různých oborů. Byla to zajímavá a pro všechny z nás velice podnětná „škola“. Tehdy se nehledělo na hodiny strávené na ústavu. Přestože v té době byly volné pracovní soboty, chodívalo se na fakultu v sobotu a často i v neděli. Tento „zlozvyk“ zůstal některým jeho žákům dodnes.

Pan docent (tehdy) řeší řadu státních výzkumných úkolů, vychovává diplomanty, aspiranty, zastává pedagogické funkce (proděkan, prorektor). Přichází rok 1968, vstup vojsk a prověrky. Doc. Bůžek je „převeden“ do kanceláře (bylo-li možné tak nazvat „špeluňku“ nad známou 30. elektrickou obloukovou pecí) ve Staré ocelárně Vítkovických železáren. Vznosně se tomu říká, že „nezatrpkl“. Ale on skutečně pracoval dál „téměř“ jako by se nic nestalo. V rámci možností, které měl, se dále věnoval své práci (životnímu poslání) – metalurgii.

Po sametové revoluci se vrací na katedru „své“ Alma mater v Ostravě, stává se jejím vedoucím a profesorem ocelářství. Přicházejí grantové projekty, doktorandi, přednášky na konferencích a seminářích, školení a publikace. Jeho publikační činnost zdaleka přesahuje počtu pěti set. Z toho snad sto zahraničních, řada monografií a odborných posudků.

Profesor Bůžek nebyl pouze „suchý“ vědec. Kdo ho znal ví, že jeho curriculum vitae mělo svoje zákruty. Vychoval dva šikovné syny. Vědělo se o něm, že měl rád legraci. Jeho žena Šárka dokázala vykouzlit jedinečné zahradní zákoutí u pěkné vilky v Ostravě. Bohužel však neměl čas si tuto krásu v klidu vychutnat. Pouze v případech, kdy jej k tomu přiměla (spíše nečekaná) návštěva.

Pozastavme se nad jeho některými pracovními rysy. Prvním byla patrně enormní snaha o komplexní a doplňme interdisciplinární přístup k řešení snad všech úkolů, kterým se v metalurgii, jak pro tvářené tak i

pro lité oceli a litiny věnoval. K tomu si cíleně budoval tým mladých a zapálených spolupracovníků. Od metalurgů, přes „elektrikáře“ všech oblastí, odborníky v automatizaci, logistiky až k ekonomům.

Velice vítal iniciativu a nové nápady a náměty. Snad žádnou novou myšlenku nikdy neodmítl.

Snažil se – pokud to bylo jen trochu možné – aby získaný výsledek byl přínosem pro praxi. Jejich uplatnitelnost v ocelárnách a slévárnách bylo snad jeho životní krédo. Byl iniciátor a organizátor nepřeborné řady dříve často pořádaných Dnů nové techniky, seminářů, konferencí a kritických diskusí, jejichž cílem bylo rychle zavádět nové zkušenosti do praxe.

To se mimo jiné projevilo v jeho vřelém vztahu k tavičům a mistrům. Pravidelně přednášel na jejich školeních. Nikdy nezkazil žádnou legraci, kterou na pana profesora připravili. To se projevovalo i u jeho žáků a aspirantů, na které byl velice náročný a skutečně jim nic neslevil. Ale na druhé straně se za ně postavil.

Vynikal obrovskou pracovitostí, kterou své mladé kolegy doslovně nakazil. Měl vynikající paměť a myslel podstatně rychleji než hovořil. To vedlo někdy k tomu, že polykal konce slov.

Co je třeba panu profesorovi přičíst také k dobru, že udělal vše pro, aby svým kolegům, kteří byli „odejiti“ z katedry po r. 1968 bylo po dvaceti letech umožněno úspěšně obhájit jejich kandidátské disertační práce.

Proto právem po něm Česká slévárenská společnost nazvala svoji cenu. *Cena se uděluje za mimořádné tvůrčí přístupy k řešení problémů slévárenství ve všech jeho oblastech. Touto cenou lze také ocenit netradiční přístupy k hledání východisek otázek zkoumaných v našem oboru. Uvedené vyznamenání obdrží také osoby, které se mimořádně zasloužily o výchovu a vzdělávání nových mladých odborníků ve slévárenství.*

A je snad i symbolické, že ji poprvé obdrželi prof. Ing. Karel Stránský, Dr.Sc. a doc. Ing. Jaroslav Šenberger, CSc.



DOPAD SVĚTOVÉ DLUHOVÉ KRIZE NA ČESKÉ SLÉVÁRNY A OCELÁRNY

Václav KAFKA

RACIO & RACIO, Vnitřní 732, 73514 Orlová, ČR, vaclav.kafka@upcmail.cz

Abstrakt

Příspěvek nejprve posuzuje, jak se změnily aktuální problémy u nemalé části českých metalurgických společností, uváděné na konferenci Oceláři 2011. Těmi byly zejména: zadlužení podniků, nutnost změny přístupu v práci managementu, neprovádění analýzy rizik u podnikatelských záměrů a podceňování pracovníků. Dále se zaměřuje na nové úlohy, kterým musí české ocelářství v současné době aktuálně čelit.

The list first indicate, how switched topical problem no small parts Czech metallurgical society, featured at the conference Steel maker 2011. By those was especially debt companies, necessity changes access in work management, unattended analyses diversifications of the entrepreneurial intentions and disregard workers. Further be focusing on new problems which must Czech steelmaking at present currently face.

Klíčová slova: výroba oceli, zadlužení, management, rizika v podnikání, podceňování pracovníků, prezentismus, talenty, rekonstrukce kapitalismu.

Keywords: steel making, debt, management, diversification in business, disregard workers, presentism, talents, reconstruction capitalism.

1. ÚVOD

Prakticky celé světové hospodářství je v současné době ovlivněno globální dluhovou krizí. Tato skutečnost významně ovlivňuje i českou metalurgii. Nejdříve se pokusíme predikovat vývoj výroby oceli ve světovém měřítku pro současný rok.

2. VÝHLED SVĚTOVÉ METALURGIE PRO ROK 2012

Výhledy světové výroby oceli [1] předpokládají pro rok 2012 přibližně stejný nárůst jako v r. 2011. Tedy vzestup ze 1565 mil.t na 1670 mil.t. To odpovídá růstu o 6,7 %. Samozřejmě, že trend nebude u všech zemí stejný. Budeme-li porovnávat země v pořadí podle absolutní výše vytvořeného hrubého domácího produktu (HDP) pak USA zvyšují výrobu oceli o 3,3 % (na 123 mil.t). Druhá Čína pak o 9,4 % na 800 mil.t. A třetí Japonsko o 2,3 % na 110,5 mil.t. U Evropské unie (EU) se počítá se vzrůstem o 3,8 % na necelých 185 mil.t. Tedy v prvním přiblížení relativně optimistická prognóza. Pokud se týká predikce výroby oceli v České republice (ČR) tam jsou údaje spíše neoficiální. Očekáváme zde také jistý nárůst. V ČR je jisté, že hlavní výrobci snižují stavy pracovníků. ArcelorMittal,a.s. asi o 700 zaměstnanců a Evraz,a.s. o cca 300. U Třineckých železáren,a.s. nebylo propouštění signalizováno.

Nicméně Eder [2] správně upozorňuje, že ocelářský průmysl čelí globálně bezprecedentním problémům. Jsou to základní segmenty, které determinují citlivost globální ekonomiky. Mezi ně *počítáme reálnou ekonomiku, kapitál a finanční trhy a makroekonomickou pozici hlavních světových ekonomik* (zjednodušeně podle zemí nebo bloků). Není třeba dodávat jak jsou všechny tři uvedené segmenty v současné době nestabilní, navzájem propojené a jejich vývoj je obtížně predikovatelný.

Mezinárodní měnový fond očekává růst světové ekonomiky v r.2012 o 1,6 %. Víme, že v ČR schválený rozpočet na r.2012 předpokládá vzrůst o 2,5 %. A v současné době se plánuje spíše stagnace, neboli tak zvaná „černá nula“.

Podle [3] ocelářský průmysl směřuje v krátkodobém období k tomu, že „bude žít“ s velmi nízkými maržemi u svých výrobců. A bude se muset zaměřit na efektivitu svých operací. Stejnou prognózu vyslovuje také Financial Times [5]. Připomeňme si, že zdravý podnik by za „normálních nekrizových časů“ měl docilovat marží, která se bude blížit 10 %. U metalurgie vzhledem k velkému vybavení základními prostředky se smíříme s marží spíše kolem 4 %. V současné době však nejsou výjimkou slévárny, ale i ocelárny, které oscilují okolo již vzpomenuté „černé nuly“. Tedy tyto úvahy jednoznačně vybízí k napření našeho úsilí k řízení nákladové spotřeby.

Masen je ve své úvaze [3] však optimistický o budoucnosti potřeby oceli. Demonstruje to výrokem „*v době, kdy dvě třetiny ze 7 mld. obyvatelstva světa usilují o vnímaný bohatší životní styl zbývající třetiny tzv. vyspělých zemí, jak to může být případně dosaženo bez oceli jako neviditelné páteře, na níž moderní společnost závisí ve svém rozvoji?*“.

Posudme nyní, jak jsme se vyrovnali s problémy, které byly před rokem diagnostikovány u nemalé části českých metalurgických společností [6].

3. ZADLUŽENÍ ČESKÝCH PODNIKŮ

Prvním problémem, na který jsme před rokem poukazovali byl nedostatek vlastního kapitálu českých společností. Uváděli jsme, že v r. 2008 byla „přeúvěrovanost“ české ekonomiky ve výši 68 %. A doplňovali jsme, že tak zvaných klasifikovaných (rizikových) úvěrů bylo asi 7,5 %. Česká ekonomika by v r. 2009 klesala i bez vzniku krize.

Uvedené skutečnosti dokumentoval i stoupající počet bankrotů. Podle analýzy společnosti CCB- Czech Credit Burelu v roce 2010 [6] stoupl počet firemních bankrotů vůči r. 2009 o 159 na 1615. Počet insolvenčních návrhů týkajících se firem nebo podnikatelů se zvýšil ze 4425 na 4910. Ve slévárenství bylo známo, že se v insolvenčním procesu nalézalo asi 20 jednotek [6].

Jaká je situace nyní, ale zejména jak se změnila nebo mění. Je třeba konstatovat, že během jednoho kalendářního roku asi ztěží bude možné uvedenou v zásadě nepříznivou situaci zásadně změnit. Vavroň [7] uvádí, že zadluženost podniků v ČR v listopadu 2011 meziročně vzrostla o více než 51 mld. Kč na 962,5 mld. Kč. Dále doplňuje, že ve srovnání s říjnem 2011 se zvýšila o 6,9 mld. Kč. Tedy zadluženost českých podniků v posledním roce vzrostla o dalších 5,6 % ! *Tedy problém v zásadě přetrvává a v nejbližších letech patrně nebudeme moci očekávat zásadní příznivý zvrat.*

Doplňme, že podobně roste i státní dluh ČR. Tím se myslí dluhy vlády ČR. Ten v r. 2011 vzrostl o 151 mld. Kč (o více než 11 %) na 1495 mld. Kč. Dodejme, že naše zadlužení čítá „pouze“ cca 40 % vytvořeného HDP.

Pro úplnost je třeba říci, že existuje ještě dluh českých domácností. Ten vzrostl za poslední rok o 58 mld. Kč na 1,108 bil.Kč. Dluh českých domácností tedy rostl za poslední rok o 5,5 %. Je třeba dodat, že zadlužování domácností se zpomalilo.

4. PROBLÉMY ŘÍZENÍ SPOLEČNOSTÍ MANAGEMENTEM

Před rokem jsme dále upozorňovali na skutečnost, že se bohužel ne ojediněle ještě setkáváme doslovně s amatérským přístupem k řízení zejména u menších výrobních jednotek. Jako živnou půdu pro tento stav jsme uváděli situace, kde společnost vlastní skupina vlastníků, kteří prakticky „rotují“ v jejím vedení. Obdobná situace někdy nastává i v rodinných firmách. Amatérský přístup se projevuje v nerespektování základních pravidel řízení společností, obrovskou improvizací a přiklánění se doslovně k nezdravé a neodůvodněné „operativě“. Společnost někdy dokonce nepracuje ani s finančním plánem (pokud ho má sestavený, tak pouze jako „doklad“ pro banky). Obvykle nemá ani formálně zpracovaný strategický plán atd. *Košturíak tento stav nazývá „taková normální česká firma“*. Bohužel výskyt těchto přístupů v ČR není ojedinělý.

Dále jsme upozorňovali na druhý závažný problém, který se nazývá *“riziko manažerské neodpovědnosti”*. „Najatý“ manažer v některých případech bohužel neřídí podnik k jeho dlouhodobé a stabilní prosperitě, ale k rychlému plnění kritérií ziskovosti. Jeho snahou je, aby plnil zejména podmínky bonusových přístupů a znásoboval si příjmy. Je známý pojem „cost killer“. Ten je definován jako manažer, kterému se „lehce řeže“ do „neznámých“ lidí a položek a tak snižuje náklady a zvyšuje produktivitu práce na období své smlouvy. A to obvykle i za cenu neúměrného použití cizího kapitálu.

Jaké jsou nové skutečnosti v této oblasti? Zajímavá zjištění uvádí [8] Česká manažerská asociace ze zkoumání 700 vrcholových manažérů ČR. Studie vychází z dotazníkového šetření. Můžeme tedy předpokládat, že závěry budou poznamenány subjektivními přístupy dotazovaných manažérů. Výsledky (podle vlastního vyjádření manažérů) uvádějí, že mají svojí osobní vizi (u 90 %). Dále dostatek vnitřní motivace a energie. Chtějí žít ve spokojené rodině (82 %). *Téměř 80 % z nich se domnívá, že kvalita jejich práce je srovnatelná s kvalitou obdobných top manažérů v zahraničí*. A tak bychom mohli pokračovat v kladných hodnoceních jak se sami vidí.

Jistým překvapením tedy je, že *uspokojování potřeby a požadavků (jejich) zaměstnanců stojí na žebříčku jejich priorit až na posledním místě*. Za velmi důležitou prioritu to považuje pouze 37 % dotazovaných manažérů. Toto vyjádření manažérů si zaslouží skutečně vážné zamyšlení. Je třeba podle Součka [10] jednoznačně konstatovat *„Podnik není strojem na vydělávání peněz. Dodržujme heslo: Balance between Profit and Care, tzn. musíme vytvářet zisk, ale také pečovat o lidi – jinak řečeno víme, že kdybychom neměli jedno, neměli bychom ani druhé“*. Jistě se shodneme, že přístup uvedený ve studii k zaměstnancům by se měl zásadně změnit.

Problematické je také u dotazovaných manažérů *„čerpání z aktuálních poznatků vědy a výzkumu“*. Mají pocit, že se jím nedaří v dostatečné míře využívat výsledky výzkumu a vývoje v ČR. Téměř dvě třetiny jsou názoru, že česká věda a výzkum neprodukuje dostatek tvůrčích myšlenek, které jsou aplikovatelné v jejich oboru. Výrazně zdůrazňují tento názor manažeři ze sektoru výroby. Z našich šetření [9] z r.2010 však vyplynul v oblasti českých sléváren spíše menší zájem o aplikaci nových myšlenek ze strany vedení. Nicméně všichni cítíme, že v oblasti financování a řízení české vědy a výzkumu také není vše v úplném pořádku.

5. ANALÝZA RIZIK V PODNIKÁNÍ

U této oblasti bylo připomínáno, že je bohužel v ČR a v oblasti metalurgie využívána spíše sporadicky. Připomínali jsme, že při řešení analýzy rizik musíme v prvním přiblížení se pokusit „vyhledat“ nejistoty, které

posuzovaný záměr (plán, investice, atd.) mohou doprovázet. Dále stanovit u zjištěných „nejistot“ vzniklá (možná) „rizika“:

K vyhledávání „nejistot“ slouží tvorba scénářů - různých obrazů budoucnosti. Pro ně jsou následně rozhodující propojení trendů budoucnosti a klíčových nejistot [6]. Kupříkladu při budování nové investice je naprosto nezbytné vytvořit zejména pesimistické scénáře, které se jak při výstavbě, tak i při jejím náběhu reálně mohou vyskytnout. A u každého scénáře stanovit (hledat) možnou optimální reakci a reálně posoudit pravděpodobnost jejího vzniku.

Nejprve se zaměříme na relativně nejjednodušší situaci - *plnění přijatých plánů společnosti*. U nich se často v první řadě projevuje *podceňování konkurence*. Při tvorbě plánů se spíše „preferují optimistické prognózy“. Pochybovači o plánovaných údajích bývají někdy označováni za „nepřátele“.

Z toho vyplývá, že tvořené plány jsou velice často nadhodnocovány! Navíc je prokázáno (z výzkumu v r. 2005), že pouze 15 % společností pravidelně kontroluje a srovnává minulé, skutečně dosažené výsledky s plánovanými!

Obáváme se, že v této oblasti se situace nijak zvlášť také nezměnila.

6. PODCEŇOVÁNÍ PRACOVNÍKŮ

Dále jsme před rokem připomínali skutečnost, že management často dlouhodobě zanedbává komunikaci s vlastními zaměstnanci. Nechává „růst“ rozpor mezi vedením firmy a zaměstnanci. Vedení často zaměstnance podceňuje. Často je klasifikuje, že „je jím všechno jedno“, že jde o lidi „bez zájmu“ bez „vztahu k práci“. Zaměstnance často (podle manažerů) „zajímá jen jejich plat a neudělají nic navíc“.

U malé nebo nulové schopnosti vedení „získat“ zaměstnance pro svoje vize a představy je náprava těžší než vyměnit nekvalitní manažery! Jestliže však pracovníci na řadových a středních pozicích nemohou najít identifikační znaky s nejvyšším vedením, pak společnost přichází o část jejich tvůrčího potenciálu. O jejich loajalitu a zaujetí! Tento stav je ještě více devastující ve vztahu k celkové prosperitě společnosti než problém manažerský.

Bude patrně nemilou skutečností, že tato nepříznivá situace spíše přetrvává. Mimo jiné to dokládá [11] konstatováním „za vším hledejme člověka – pokud podpoříme jeho podnikatelské schopnosti a dovednosti, uspěje on i produktivní systém jako celek“. Dále zkušenosti špičkových manažerů [10] „...faktory úspěchu? Jasná strategie,..., vynikající péče o všestranný rozvoj a spokojenost pracovníků, ..komunikace top managementu s pracovníky,..“

Nicméně současné období, vyjma výše uvedených přetrvávajících problémů, přináší komplikace nové a bohužel neméně závažné.

S tímto tématem velice souvisí relativně nový jev zvaný presentismus.

7. PRESENTISMUS

Vzpomeneme si na dřívější doby, kdy jsme zvažovali, jak se vypořádat s tak zvanými „sezónními nemocenskými“. Tedy zvýšení krátkodobých nepřítomností na pracovišti obvykle „krytých“ náhlým onemocněním pracovníků. Vymýšleli jsme na to různé aktivní motivační příplatky apod. V současné době, zejména po odeznívání světové hospodářské krize se začínáme setkávat s opačným fenoménem. Je to stav,

kdy zaměstnanec je sice nemocen, ale přesto přijde do práce. Tuto situaci přesně vystihuje titulek „Presentismus a kultura strachu“ [12,13] a „Práce nebo život“ [14]. Nemocný pracovník pracuje s podstatně nižším výkonem a s vyšší pravděpodobností dělá při práci chyby. A samozřejmě menší pozornost vyvolaná nemocí může vést ke zvýšenému nebezpečí pracovního úrazu. Vedle chyb a možnosti úrazu je nejnebezpečnějším důsledkem presentismu vznik kultury strachu. A to je velice závažné. Zpráva z roku 2008 uvádí, že ztráty z absence pro nemoc ve Velké Británii činily 8,4 mld. liber, kdežto ztráty z presentismu 15,1 mld. liber. Celou situaci poměrně vystihuje závěr [12] *„spokojenost zaměstnanců se měří obtížněji než produktivita,...je velice důležité se postarat, aby vaši lidé neměli obavy zůstat pár dní doma...“*.

Dodejme, že spokojenost zaměstnanců je naprosto nevyhnutelnou podmínkou k využití všech schopností pracovníků. Ta je v současné literatuře prezentována pod heslem *„využití talentů“*.

8. VYUŽITÍ TALENTŮ ANEB VSTUPUJEME DO ÉRY HUMAN AGE

Předchozí éry lidstva byly pojmenovány po materiálech, které tato údobí poznamenala - doba kamenná, bronzová, a železná. Poté se názvy začaly řídit oblastmi vývoje - průmyslový věk, kosmický a věk informační. A právě nyní vstupujeme do další éry, již bude *lidský věk (HUMAN AGE)* [12,15,16]. Na zahájení světového ekonomického fóra v Davosu A. Joeres uvedl, že hlavním motorem ekonomického růstu se stane lidský potenciál. *Tento trend bude zcela zásadní pro nadcházející období 5 až 10 let.* Hovoří se o tom, že společnosti budou muset svoji stávající strategii upravit o strategii talentů. Dokonce se přiklání k tvrzení, že jsme svědky posunu „od kapitalismu k talentismu“. V této souvislosti vznikla koncepce nazvaná *„bestplacement“* neboli *optimální zařazení člověka* [12]. Přístup k využívání talentů není chápán úzce pouze na hledání mimořádných osobností v lidské populaci. Těch je zcela jistě méně než 1 %. Představme si velice zjednodušeně příklad fotbalového družstva. To je tvořeno útočníky, záložníky, obránci a brankářem. Ale nezapomeňme, že tam musí být i šatnář, stejně tak jako organizační vedoucí, nebo uklízečka a samozřejmě i trenér a maskot. A my musíme tedy velice trpělivě a pečlivě hledat, kdo z členů našeho týmu se na tu nebo jinou pracovní pozici optimálně hodí.

Že to neumíme a jsme doslovně na situaci nepřipraveni a někdy i neteční dokumentuje experiment v metru, který zorganizoval Washington Post [17]. Pokus se odehrál ve všední den těsně před osmou ráno, kdy lidé spěchají ve Washingtonu do práce. Mladý muž v džínách, triku a čepici vytáhl z futrálu housle a hrál nejnáročnější skladby klasické hudby. Během 45 minut kolem něj přešlo více než 1000 lidí. Asi dvacet lidí mu vhodilo do futrálu peníze, aniž by se zastavili. Byl to Josua Bell, jeden z nejlepších houslistů na světě, který dva dny před tím naplnil do posledního místa sál v Bostonu za průměrnou cenu sedadla asi 100 US \$. Housle, na které hrál, mají cenu přes 3 mil US \$.

Pro náročnost situace, kterou musíme řešit, je třeba si uvědomit skutečnost, že uvedený houslista byl známý a zcela projevený talent, který náhodných více než 1000 cestujících nedokázalo rozpoznat [17]! A při hledání talentů mezi zaměstnanci je v řadě případů zadání podstatně jiné: *identifikovat jedince, jehož talent (schopnosti) se teprve rozvíjí, kteří teprve hledají možnosti svého uplatnění.* Učí se z chyb a ze zkušeností a dávají nejasně najevo svůj potenciál! Nicméně obvykle na sebe upozorňují svým charakterem: nepřítomnost strachu a závisti, snaha nezištně pomáhat druhým, přát jim úspěch a jednat s každým čestně a férově.

Snad ještě dodejme jeden ověřený poznatek *„...najít tu správnou práci je jako uzavřít dobré manželství, které přetrvá...“* [17]! A jde o *vzájemné přizpůsobování práce a potřeb pracovníků!*

Že je tato snaha velice přínosná, je dokumentováno na příkladu německé ekonomiky z r. 2009 [16]. Z průzkumu Gallupova ústavu vyplynulo, že pouze 13 % dotázaných zaměstnanců se cítilo zavázáno pomoci své firmě zvýšeným úsilím. Dále 67 % dotázaných uvedlo, že vykonávají svou práci podle předpisů! To znamená, že mohli pracovat produktivněji, kdyby chtěli (nebo směli). Ale 23 % dotázaných sdělilo, že jsou vůči svému zaměstnavateli ve stavu „vnitřní výpovědi“! Gallupův ústav vyčíslil škody ze snížené angažovanosti a vnitřní výpovědi za r. 2009 v německé ekonomice na 90 až 120 miliard €. Z uvedeného vyplývá, že potenciální možnosti HUMAN AGE jsou přinejmenším pozoruhodné.

Že je v ČR a v metalurgii obecně situace neuspokojivá dokládá [21] z výzkumu 25 manažérů z 11 zemí světa. Oproti ostatním zemím je v ČR suverénně nejmenší počet firem (pouze 22 %), které se aktivně zabývají řízením talentů. A to ještě tyto aktivity převážně zaměřují na udržení a rozvoj stávajících zaměstnanců.

Je třeba s plnou vážností připomenout, že vznik světové finanční hospodářské krize, její průběh a následky, vyvolaly velice vážné diskuse o nutnosti rekonstrukce stávajícího tržního systému nazývaného kapitalismem.

9. NUTNOST REKONSTRUKCE STÁVAJÍCÍHO TRŽNÍHO SYSTÉMU NAZÝVANÉHO „KAPITALISMUS“

Titulky amerických novin poslední doby hlásají: „...podnikání v bludném kruhu..., jak znovu vymyslet kapitalismus..., atd.“ [18]. Podle Portera v příspěvku Creating Shared Value z ledna 2011 v Harvard Business Review velká část problémů leží v samotných firmách. *Ty stále chápou vytváření hodnoty jen jako optimalizaci krátkodobého finančního zisku i za cenu opomíjení potřeb zákazníků a ignorování širšího kontextu, který určuje dlouhodobý úspěch.* Řešení podle Portera spočívají v principu sdílených hodnot. To znamená vytváření ekonomických hodnot takovým způsobem, který současně vytváří hodnoty pro společnost. Hodnoty, které vycházejí vstříc jejím potřebám a problémům. Podnikání musí znovu spojit úspěch firmy se sociálním pokrokem. Manažeři si budou muset osvojit především hlubší pochopení sociálních potřeb. A vlády se budou muset naučit regulovat trh tak, aby tento přístup podporovaly. V současné době firmy přehlížejí možnosti jak vyjít vstříc sociálním potřebám. *Nechápou, že sociální škody nakonec dopadnou na ně!* Zapomínají jaký pozitivní dopad na produktivitu a inovativnost může mít sepětí s loajalitou pracovníků [18]. Jako pochopení těchto trendů jsou uváděny přístupy společnosti Nestlé v chudých oblastech Afriky a Latinské Ameriky (poradenství, půjčky, dodávky sazenic, hnojiv apod.). Podobně zkušenosti společnosti Yara v oblastech Afriky.

Velice detailně rozebírá současné neduhy kapitalismu Chál [19]. Rozhodně stojí za zmínku, že *„jednotlivec u dlouhodobé firmy není vnímán jako najatý žoldák, ale člen komunity, která se rozvíjí a oceňuje schopnosti jednotlivce. Cílem není maximalizace zisku, ale komfortní, bezpečný a dlouhý život firmy.“*

Barton [18] tvrdí, že *pokud nebudou urychleně řešeny problémy, které krize obnažila, sociální smlouva mezi kapitalistickým systémem a občany se zhroutí, což přinese ničivé důsledky.* Za klíčovou reformu, kterou byznys musí projít, považuje odklon tzv. kvartálního kapitalismu ke kapitalismu s dlouhou perspektivou. Management musí přijmout myšlenku, že má sloužit zájmům všem zúčastněným - zaměstnancům, dodavatelům, zákazníkům, věřitelům, komunitám, životnímu prostředí atd.

Velice přesně charakterizuje současnou situaci J. Cienciala. Uvádí, že „... v současné době se u nás o rovnováze nedá mluvit, ale o jejím hledání rozhodně ano. Pokud se pomyslné kyvadlo vychýlí příliš na jednu stranu, určitě vzniknou síly, které je mohou dostat do jiného extrému. Jinými slovy, *někde po světě možná*

chodí nový revolucionář a čeká na svoji příležitost. Pokud bude náš systém příliš nespravedlivý nebo asociální a tím ztratí podporu většiny lidí, určitě si znovu na nějakou dobu vezme slovo....“[20].

10. ZÁVĚR

Naznačené problémy, které doprovázejí dluhovou krizi dokládají, že přes predikovaný růst výroby oceli ve světě o 6,7 %, nečeká metalurgii neproblémový vývoj. Dříve neřešené problémy bohužel u některých výrobních jednotek přetrvávají. A globální vývoj si vynucuje hledání východisek u dalších zcela nových úloh. Také s nimi se budou nuceně pracovníci našich metalurgických společností beze zbytku vyrovnávat. Tržní situace bohužel nezná a nedává odklady pro ty, kteří se opozdí. I když je snaha vnést do vysoce turbulentních jevů v globálním tržním prostředí jistý řád [4] .

LITERATURA

- [1] MEPS Steel News, 24.ledna 2012
- [2] EDER W. *Lídři pelotonu*, Stahl und Eisen,131,2011,Nr.11.
- [3] Mason E. Vysoké ceny surovin – požehnání nebo kletba pro ocelářský průmysl, EUnited metalurgy General Assembly, Brusel, 8.11.2011.
- [4] Barton M. Compliance v podniku, Focus Rostfrei č. 20,24.10.2011
- [5] Softening prices spell hars times for steel industry, Financial Times,10.10.2011
- [6] KAFKA, V. Současná etapa dozínání světové a hospodářské krize v našich ocelárnách a slévárnách, Oceláři - 27. ročník ocelářské konference. Teorie a praxe výroby a zpracování oceli. Rožnov pod Radhoštěm 6.-7.4.2011. ISBN 978-80-87-294-21-5. In sborník s.7-14.
- [7] Vavroň J., Na každého Čecha připadne 160 tisíc dluhu, Právo, s.18, 31.12.2011.
- [8] Jací jsou tuzemští manažéři, Moderní řízení, prosinec 2011,s. 54-55.
- [9] Kafka V., Poučení ze světové finanční a hospodářské krize pro české slévárny, In sborník XIX. celostátní konference Výroba a vlastnosti oceli na odlitky a litiny s kuličkovým grafitem, 22.-24.9.2010, Žďár nad Sázavou, Svatka, ISBN 978-80-02-02264-0, s. 16 -22,
- [10] Souček Z., Žádná teorie, ale praktické poznatky, Moderní řízení září 2011,s.22- 26.
- [11] Mikoláš Z., Řízení za podmínek světového chaosu, Moderní řízení září 2011,s.29- 30.
- [12] Kafka V., Problémy českých sléváren po odeznění světové finanční a hospodářské krize, Slévárenské dny, září 2011, Brno, sborník abstraktů s.13, ISBN 978-80-02-02337-1.
- [13] Presentismus a kultura strachu. *Moderní řízení*. 2011, č. 5, s. 30-31.
- [14] Práce nebo život. *Moderní řízení*. 2011, č. 5, s. 32.
- [15] Od kapitalismu k talentismu. *Moderní řízení*. 2011, č. 3, s. 56.
- [16] Potenciál zaměstnanců a jak ho využít. *Moderní řízení*. 2011, č. 4, s. 10-15.
- [17] NÁHLOVSKÝ, P. Management talentů - priorita roku 2011. *Moderní řízení*. 2011, č. 4, s. 18-20.
- [18] Kapitalismus pod palbou. *Moderní řízení*. 2011, č. 5, s. 16-18.
- [19] CHÁL, J. Strategizing. *Moderní řízení*. 2011, č. 5, s. 22-26.
- [20] Možný recept na (dlouhý) život? *Moderní řízení*. 2011, č. 5, s. 19-21.
- [21] České firmy s talenty nepracují, *Moderní řízení*. 2011, č. 11, s. 4.

VLIV SELENU NA METALOGRAFICKOU ČISTOTU A TVAŘITELNOST

Vladislav KURKA, Zdeněk ADOLF & Ladislav KANDER

MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o., Ostrava, ČR

Abstrakt

Na metalografickou čistotu ocelových výrobků má vliv mnoho faktorů počínaje chemickým složením vsázkových surovin, jejich „čistoty“, přes správný výběr technologie výroby, přípravy výrobních agregátů a dodržení všech technicko-technologických operací až po vlastní odlévání a krystalizaci. Tato práce se zabývá vlivem selenu na výslednou čistotu materiálu a to po jeho přetváření volným kovááním. Selen byl identifikován ve vměstcích typu MnS, kde způsobil snížení tvařitelnosti těchto vměstků a to i za velmi vysokého stupně přetváření.

Klíčová slova: čistota, tvařitelnost, ocel, selen

PRAKTICKÉ DOPADY NEJISTOT CHEMICKÉHO ZKOUŠENÍ PŘI VÝROBĚ OCELI

Dalibor SLANAŘ, Karel MERTA

VÍTKOVICE TESTING CENTER s.r.o., Pohraniční 584/142, 709 00 Ostrava-Hulváky, ČR
karel.merta@vitkovice.cz, dalibor.slanar@vitkovice.cz

Abstrakt

Práce nabízí pohled na nedílnou součást ocelářské problematiky, kterou je chemické zkoušení, konkrétně stanovování chemického složení vzorků při výrobě oceli pomocí optické emisní spektrometrie. Optická emisní spektrometrie je rozhodující technikou v ocelářské analytice.

Práce se zabývá některými analytickými charakteristikami optické emisní spektrometrie, zejména pojmem nejistota výsledků, tak jak je v dnešní analytické praxi chápána a jak k ní musí akreditovaná laboratoř přistupovat, jak ji musí vyjadřovat a dokumentovat.

Prezentace rozebírá základní složky nejistot výsledků, jejich zdroje a praktický dopad. Začíná základní kalibrací a vlivem certifikovaných referenčních materiálů, pokračuje sledováním dlouhodobé a krátkodobé stability přístrojů, zabývá se i vlivem času na parametry výsledků a končí odběrem vzorku a jeho podílem na celkové nejistotě výsledku.

U jednotlivých složek nejistot jsou diskutovány možné postupy jejich minimalizace nebo eliminace.

Klíčová slova: kalibrace, certifikovaný referenční materiál (CRM), optický emisní spektrometr, stabilita přístroje, nejistota výsledku, chemické složení

1. ÚVOD

Při výrobě oceli je důležité průběžně sledovat její parametry. V této přednášce se budeme zabývat chemickým zkoušením materiálu. Konkrétně měřením chemického složení oceli a s jakou jistotou nebo chcete-li nejistotou je stanovován výsledek analýzy vzorku.

Dovolte mi abych se na úvod představil. Působím jako metodik na úseku spektrometrie ve Fyzikálně-chemické zkušebně firmy VÍTKOVICE TESTING CENTER s.r.o. Pro přiblížení, firma VÍTKOVICE TESTING CENTER s.r.o. se kromě Fyzikálně-chemické zkušebny, skládá také z Metalografické zkušebny, Zkušebny mechanických vlastností, Nedestruktivního zkoušení, Obrobní zkoušek a Kontrolního metrologického střediska.

Fyzikálně-chemická zkušebna poskytuje chemické analýzy různých typů materiálů, stanovovaných pomocí těchto metod:

- optická emisní spektrometrie
- rentgenová spektrometrie
- atomová absorpční spektrometrie
- klasické chemické postupy

1.1 Optická emisní spektrometrie

V této práci se budeme zabývat jen touto metodou.

- *pomocí optických emisních spektrometrů se stanovuje chem. složení v materiálech:*
 - surové železo, litina, ocel
- *pracuje se v nepřetržitém režimu:*
 - zejména pro analýzu provozních vzorků ocelí hlavních zákazníků VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY a EVRAZ VÍTKOVICE STEEL, kdy je potřeba co nejrychleji vydat výsledek ON-LINE, se využívají automatické laboratorní systémy (tzv. kontejnerové laboratoře či sololinky)

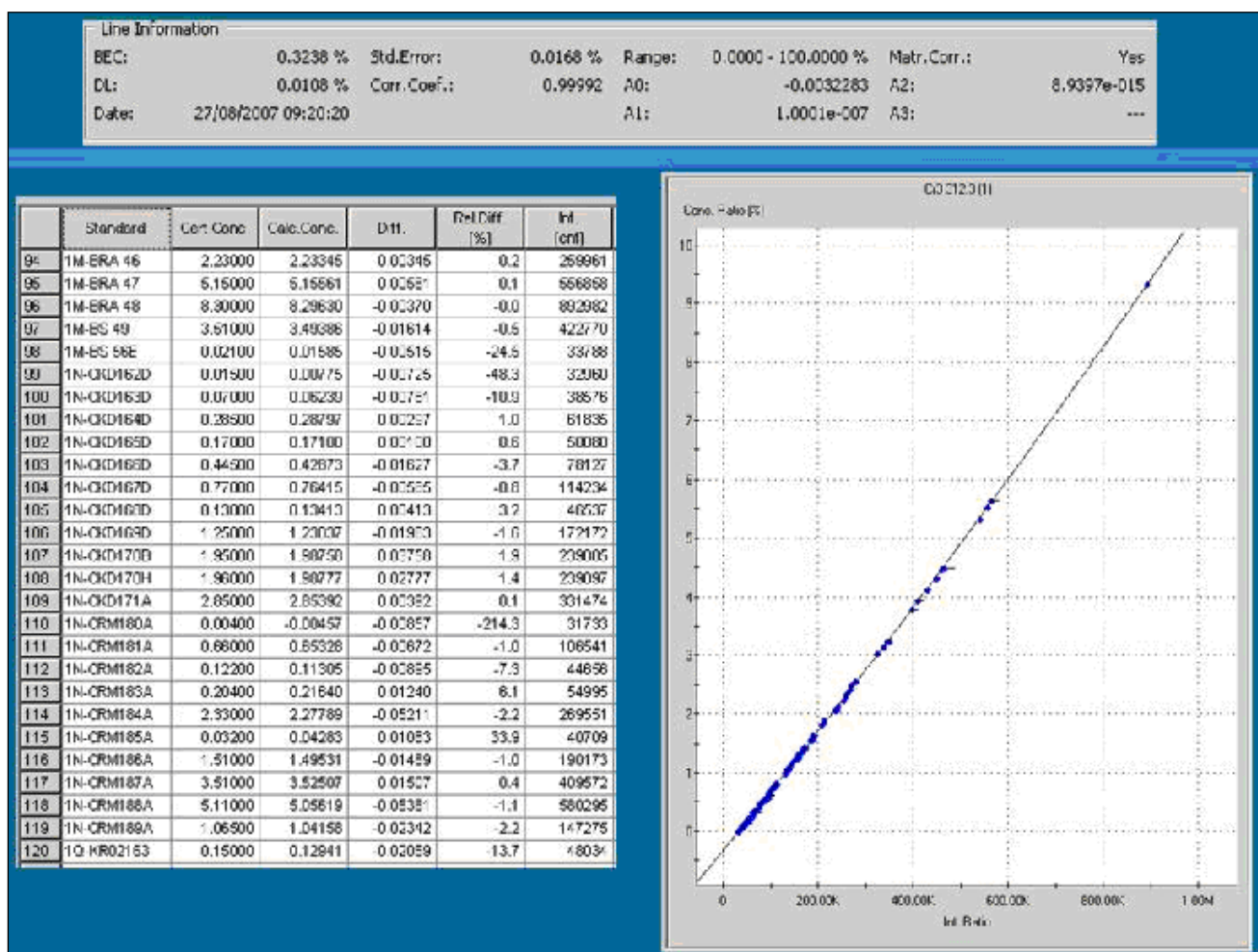


Obr. 1 Automatický laboratorní systém (sololinka)

2. ZAJIŠTĚNÍ KVALITY ANALYTICKÝCH VÝSLEDKŮ

- **Primární KALIBRACE**
 - provádí výrobce přístroje na základě našich respektive vašich požadavků
- **Primární VALIDACE lineární regrese**
 - prováděna po instalaci spektrometru v laboratoři
- **Kontrola stability**
 - roční mezikalibrační kontrola pomocí CRM
 - denní pomocí kontrolních vzorků
- **Regulační zásahy**
 - recalibrace (korekce driftu)
 - otočení a výměna destiček ve fréze
 - čištění jiskřiště, optických sklíček
 - výměna čistících patron apod.

Na výše uvedených bodech je vidět současný přístup v optické emisní spektrometrii, tedy že výrobci měřících přístrojů dodávají přístroje nakalibrované na základě našich analytických respektive vašich výrobních požadavků. Před výrobou a dodáním přístroje je třeba přesně definovat chemické prvky, které má přístroj měřit (dnes cca 30 prvků) a také v jakém koncentračním rozmezí. V řídicím software přístroje je kalibrace uložena v podobě protokolu skládajícího se z tabulky a grafu viz Obr. 2.



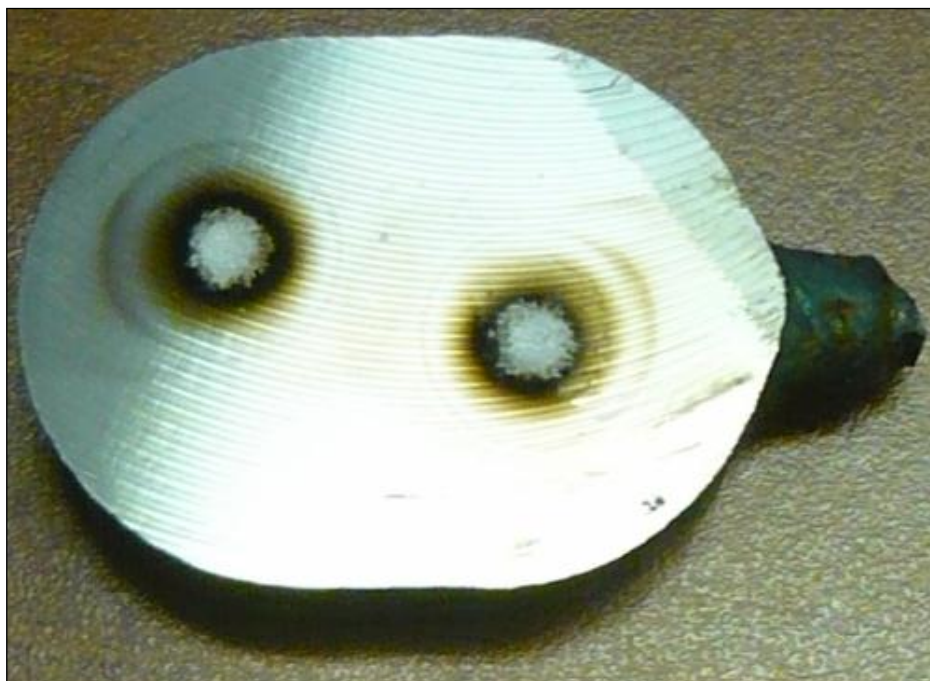
Obr. 2 Příklad kalibrace

Po instalaci spektrometru v laboratoři je provedena validace přístroje, tedy ověření parametrů kalibrace pomocí CRM. Jednoduše řečeno porovnáním certifikovaných koncentrací chem. prvků CRM s naměřenými hodnotami např. lineární regresí. Po začlenění přístroje do pracovního procesu se kontroluje stabilita výsledků přístroje. V naší laboratoři je v automatické sololince nastaven 4 hodinový interval pro měření sady kontrolních vzorků v případě potřeby lze zjistit okamžitý stav přístroje manuálním spuštěním měření kontrolních vzorků. Dále je minimálně jednou ročně prováděna kontrola kalibračních křivek pomocí CRM. Pokud jsou zjištěny odchylky od tzv. regulačních mezí jsou provedeny regulační zásahy např. recalibrace, otočení a výměna destiček ve fréze, čištění jiskřiště spektrometru, optických sklíček apod.

3. NEJISTOTY

Dosud v této přednášce byly zmiňovány postupy, kde se hodnotí tzv. chyby metody. U nejistoty hovoříme o nejistotě výsledku. Název chyba metody používáme proto, že všechny výsledky jsou získány na konkrétním vzorku (o dané koncentraci) za konkrétních podmínek.

Pojem nejistota je dnes různě skloňován mezi metrology, analytiky a statistiky a lze se setkat s pojmy jako *STANDARDNÍ NEJISTOTA TYPU A a B, KOMBINOVANÁ STANDARDNÍ NEJISTOTA MĚŘENÍ, ROZŠÍŘENÁ NEJISTOTA MĚŘENÍ* atd. Jestliže si cíl měření definujeme jako stanovení pravé hodnoty koncentrace daného prvku ve vzorku (sampling target), pak je zřejmé, že nejistota měření musí kromě nejistoty analýzy zahrnovat i nejistotu vzorkování. Na mysli mějme také fakt, že celý objem tavby o hmotnosti 30-70 tun nám reprezentuje vzorek (většinou DISK-PIN) o hmotnosti cca 100 g o velikosti cca 4 cm X 3 cm a v laboratoři měříme koncentraci z povrchu vzorku z oblasti o průměru cca 0,5 cm (tzv. jiskra).



Obr. 3 Vzorek typu DISK-PIN po3 spektrální analýze (2 jiskry)

V praxi pokud analyzujeme vzorky odebírané během výrobního procesu, z důvodu co nejkratšího času sdělení výsledku tzv. předzkoušek jsou výsledky vydávány jako průměr ze dvou případně ze tří jednotlivých měření (jisker). V praxi to probíhá tak, že pokud výsledky prvních dvou měření jsou u daného prvku shodné je z nich vydán ihned průměr, pokud nejsou shodné proběhne dodatečné rozhodující měření.

Můžeme říci, že měřením získáváme jen odhad skutečné hodnoty. Výsledek tedy naměříme s určitou nejistotou měření.

Pro názornost se můžeme podívat do následující tabulky:

Tabulka 1

Místo odb.	Poř.číslo měření	Sn (%)
D1	1.	0,0051
	2.	0,0070
	3.	0,0052
	4.	0,0074
	5.	0,0066
	6.	0,0070
	7.	0,0074
PRŮMĚR		0,0065
	R	0,0023
	σ	0,0009
Nejistota	2σ	0,0017

V tabulce č.1 jsou dodatečně naměřená data z přezkoušky při výrobě oceli.

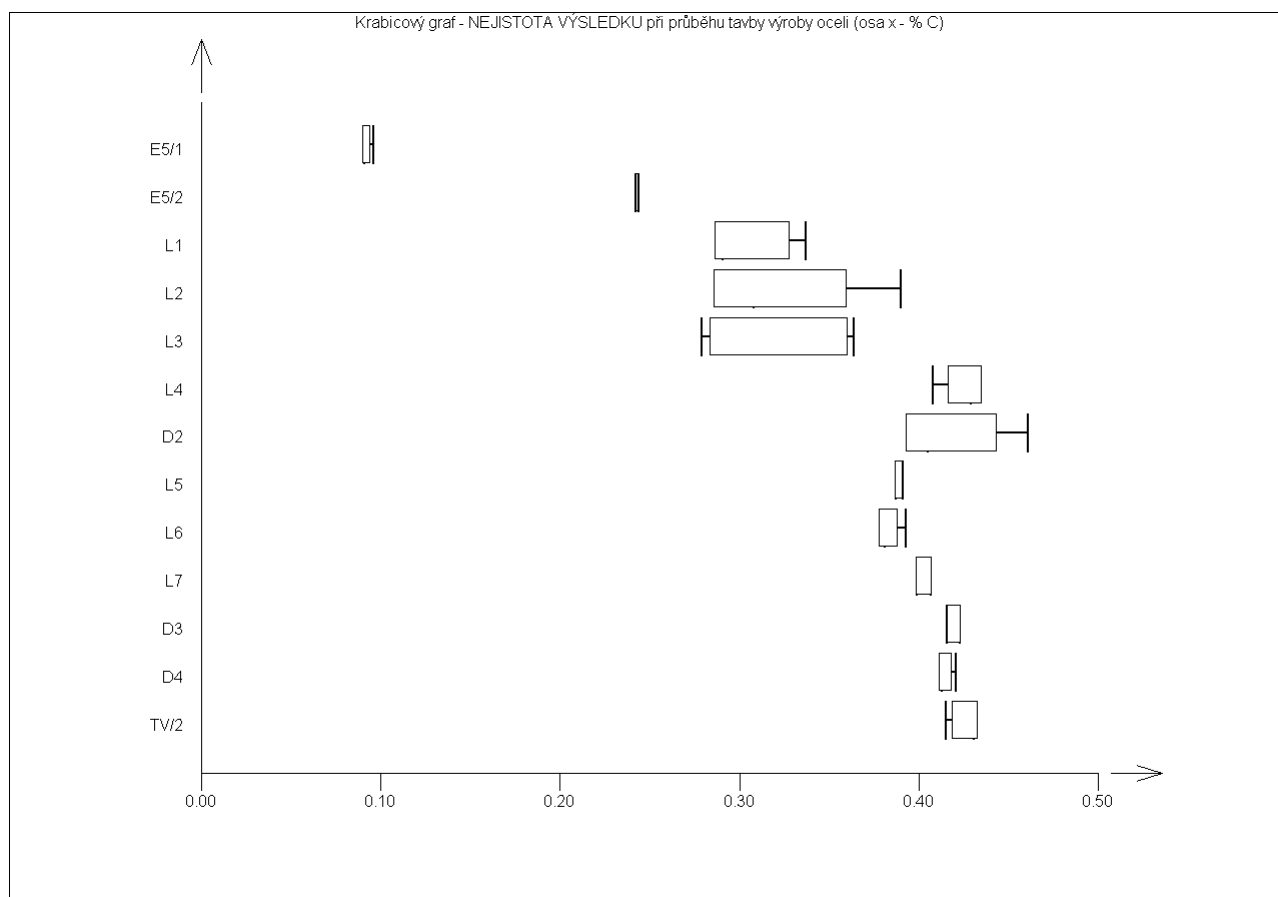
U daného vzorku lze vyjádřit výsledek včetně zahrnuté nejistoty měření takto: **Sn = 0,0065 % $\pm$ 0,0017**

V praxi to znamená, že pokud by na spektrometru byla během výroby naměřena pouze např. 1. a 3. jiskra, výsledek by byl vydán: **0,0052 %**

A pokud by byla naměřena např. 6. a 7. jiskra výsledek by byl vydán: **0,0072 %**

Zcela zásadní vliv na nejistotu výsledků má čas, který je pro provedení analýzy k dispozici. Velmi rychlých výsledků je dosahováno za cenu zvýšení nejistoty výsledků.

Každý vydaný celkový výsledek má svou vlastní nejistotu, jak je patrné z následujícího obr.3, kde je vidět grafické znázornění jednotlivých dílčích měření vzorků odebraných v průběhu tavby při výrobě oceli.



Obr. 4 Průběh tavby při výrobě oceli (krabicové grafy znázorňují rozptyl jednotlivých měření % C)

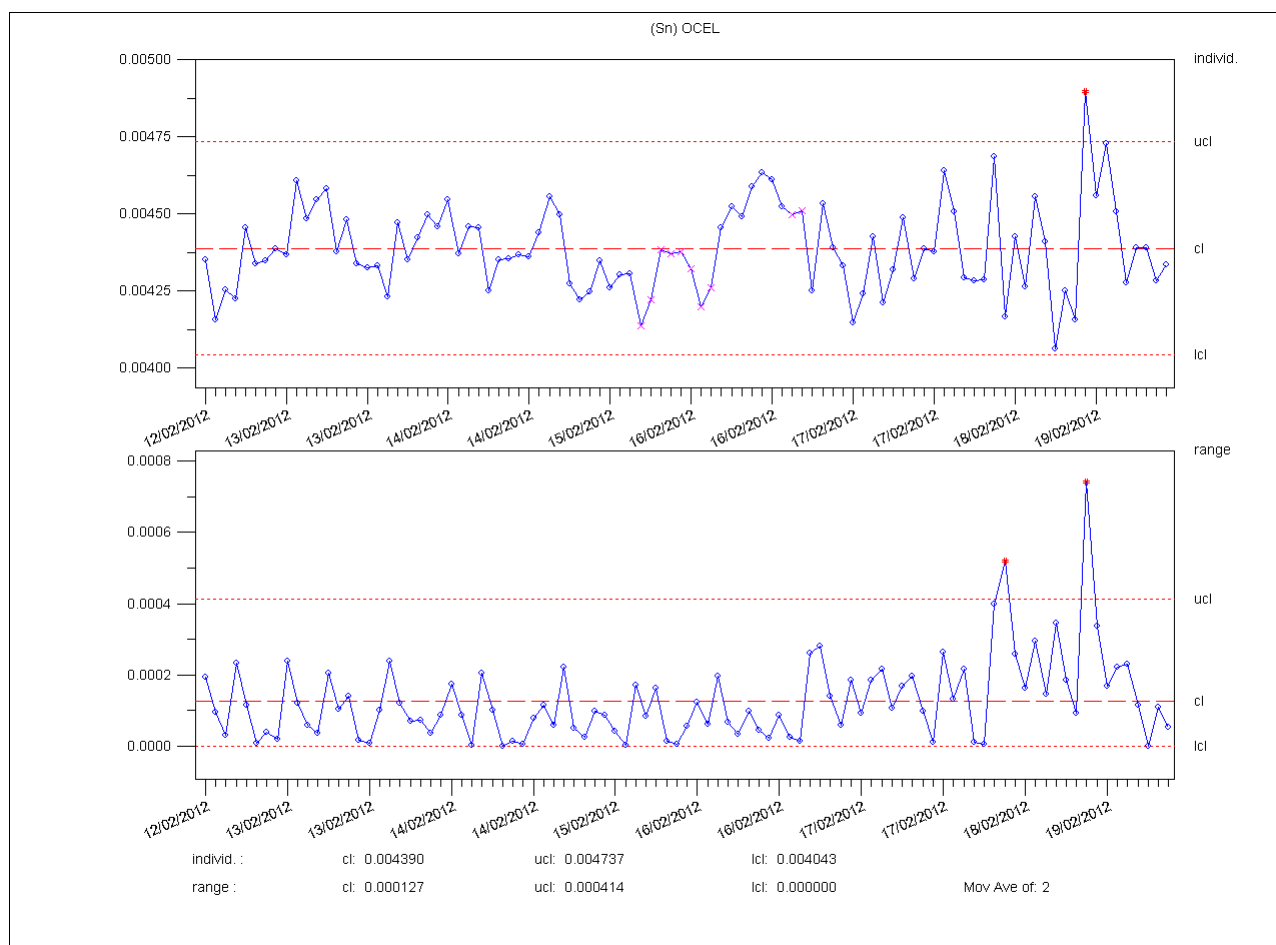
3.1 Podmínky nejistot

Nejčastěji jsou nejistoty definovány za následujících podmínek:

podmínky opakovatelnosti – jeden přístroj, jeden vzorek, jeden laborant, stejná kalibrace, ve stejném čase. „Skleníkové podmínky“.

podmínky vnitrolaboratorní reprodukovatelnosti – jeden přístroj, jeden vzorek, různé kalibrace (korekční zásahy), různí laboranti, dlouhý čas. Podmínky nejbližší praxi. Podmínky se používají pro kontrolu stability, viz Obr. 5 Příklad časové řady pro sledování stability.

podmínky reprodukovatelnosti – stejný vzorek, různé laboratoře



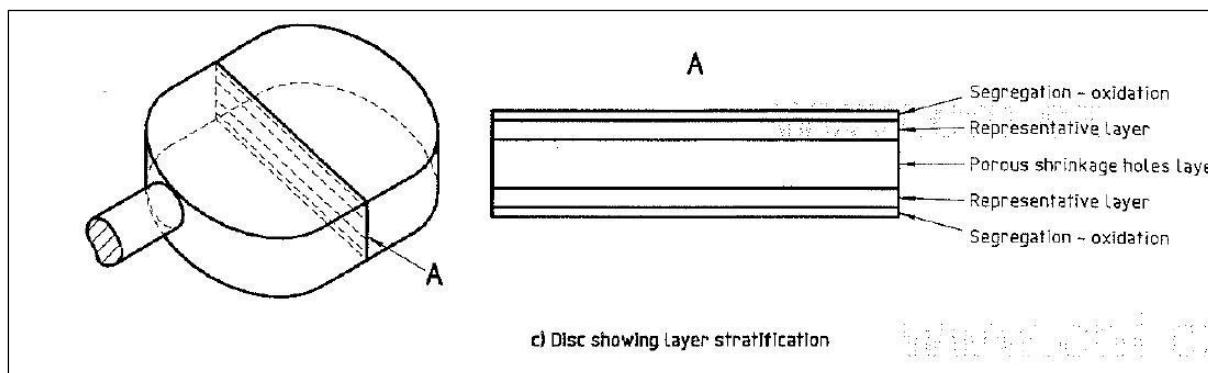
Obr. 5 Příklad časové řady pro sledování stability optického emisního spektrometru

Další důležité faktory pro vyhodnocení nejistoty:

- koncentrace prvku pro jakou je nejistota určena
- čas, který je k dispozici pro provedení analýzy
- počet opakovaných měření, z kterých je výsledek vydán
- případná úprava vzorku mezi opakovanými měřeními
- případné opakované vzorkování a jeho objem
- pokud je sledována proměnlivost nějakého jiného znaku (směr válcování, hloubka pod povrchem apod.)

Poznámka: Pro vzorkování oceli (odběr i úpravu vzorků) je téměř celosvětově platná *ISO 14284 Steel and iron – Sampling and preparation of samples for the determination of chemical composition*, která byla dále přejata jako ASTM, DIN a samozřejmě ČSN.

Mimo jiné uvádí postup, jak se chovat při úpravě vzorků typu DISK-PIN



Obr. 5 Řez vzorkem typu DISK-PIN, převzato z ISO 14284

4. ZÁVĚR

- Při hodnocení nejistoty výsledku nelze oddělit nejistotu metody od nejistoty vzorku. Při dnešní stabilitě přístrojové techniky lze prohlásit, že větší podíl na nejistotě výsledku mají vlastnosti vzorku, o vzorkování nemluvě.
- Zcela zásadní vliv na nejistotu výsledků má čas, který je pro provedení analýzy k dispozici. Velmi rychlých výsledků je dosahováno za cenu zvýšení nejistoty výsledků.
- Na příkladech je dokladováno, že predikce nejistot je vzhledem k velkému počtu vlivů velmi obtížná a prakticky nepřenositelná. Každý vliv je třeba ověřit.
- Trvalé sledování mnohých vlivů na nejistoty ukládá akreditované laboratoři systém managementu. Výsledky jsou on-line k dispozici a využívá se jich jako preventivních opatření k předcházení chybných výsledků.
- V praxi by se měla věnovat větší pozornost rozboru požadavků na zkoušení, při něm by měly být dány odpovědi na následující otázky:
 - jaká část materiálu se má výsledky popsat
 - k jakému účelu mají výsledky sloužit
 - jaká je maximální přípustná difference (MAD = maximum accepted difference), jak je definována (může být pro různé účely různá),
 - jak, odkud a kdy budou vzorky odebírány a jakou technikou a metodami budou vzorky zkoušeny.

Dají se tím eliminovat mnohá rizika a ušetřit finanční náklady.

LITERATURA

- [1] VILÍMEC, J. Nejistota vzorkování jako součást nejistoty měření. In Sborník z konference Referenční materiály a mezilaboratorní porovnání zkoušek. Český Těšín: 2 THETA, 2008, s. 131-136.
- [2] MERTA, K. Chemické zkoušení při výrobě oceli a jeho nejistoty. In Sborník z konference *Teorie a praxe výroby a zpracování oceli 2011*. Ostrava: TANGER, 2011, s. 187-197.

VYUŽITÍ TERMICKÉ ANALÝZY KE STUDIU TERMOFYZIKÁLNÍCH VLASTNOSTÍ REÁLNÉ JAKOSTI OCELI

Petr KLUS^a, Monika ŽALUDOVÁ^a, Karel GRÝC^a, Bedřich SMETANA^a, Karel MICHALEK^a,
Jana DOBROVSKÁ^a, Markéta TKADLEČKOVÁ^a, Ladislav SOCHA^a, Bohuslav CHMIEL^b

*a) VŠB-TU OSTRAVA, Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství, Katedra metalurgie a slévárenství,
Katedra fyzikální chemie a teorie technologických pochodů, 17. Listopadu 15/2172, 70833
Ostrava-Poruba, Česká republika, petr.klus@vsb.cz; monika.zaludova@vsb.cz;
karel.gryc@vsb.cz; bedrich.smetana@vsb.cz*

b) TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY, a.s., Průmyslová 1000, 73970 Třinec-Staré Město.

Abstrakt

V rámci Regionálního materiálově technologického výzkumného centra (RMTVC) - Laboratoře modelování procesů v tekuté a tuhé fázi je v současné době prováděno studium klíčových termofyzikálních a termodynamických vlastností základních materiálů využívaných v ocelářském průmyslu. Propojením vědecko-výzkumných znalostí a potenciálu Katedry metalurgie a slévárenství a Katedry fyzikální chemie a teorie technologických pochodů vzniká v rámci RMTVC možnost měřit termofyzikální vlastnosti, jako jsou teploty a latentní tepla fázových transformací a tepelné kapacity, v širokém rozmezí teplot (20-2000 °C). Předkládaný příspěvek se zabývá studiem průmyslově vyráběných jakostí oceli pomocí metod termické analýzy s využitím experimentálních zařízení STA 449 F3 Jupiter (Netzsch) a Setsys 18_{TM} (Setaram). Vybrané metody termické analýzy umožňují získávat teploty probíhající fázových transformací v oceli při jejím lineárním ohřevu/ochlazení. V rámci technologie odlévání oceli se termická analýza využívá ke stanovení teplot solidu a především pak klíčové teploty likvidu. Data získávána na základě aplikovaného výzkumu v těsné spolupráci s průmyslovými podniky mohou významným způsobem přispět k optimalizaci nastavení provozních podmínek a tím ke zvýšení efektivity samotné technologie výroby oceli a zvýšení finální jakosti odlité oceli. Výsledky prováděného experimentálního studia mohou být použity ke zpřesnění znalostí o základních fyzikálních vlastnostech ocelí a například nahradit tabelované nebo odhadované hodnoty teplot fázových přeměn či tepelných kapacit. Dále budou získaná data implementována do materiálových databází numerických programů, používaných k simulaci metalurgických procesů.

Within the project named the Regional Materials Science and Technology Centre (RMSTC) in the "Laboratory of Modelling of Processes in the Liquid and Solid Phases" is currently being carried out studies of crucial thermophysical and thermodynamic properties of the basic materials used in the steel industry. By linking scientific-research knowledge and potential of the Department of Metallurgy and Foundry and Department of Physical Chemistry and Theory of Technological Processes arises within RMSTC opportunity to measure of thermophysical properties such as temperature and latent heat of phase transformations and heat capacity in the wide range of temperatures (20-2000°C). This paper deals with the study of industrially produced steel grades using the methods of thermal analysis by experimental equipment STA 449 F3 Jupiter (Netzsch) and Setsys 18_{TM} (Setaram). Selected methods of thermal analysis enable to obtain the temperature of phase transformations taking place in steel during the linear heating/cooling. Within the casting technology of steel, thermal analysis is used to determine the solidus temperature and especially the crucial liquidus temperature. On the basis of applied research in close collaboration with

industry companies, the obtained data can contribute significantly to optimize the operating conditions, thereby increasing the efficiency of the steelmaking technology and final quality cast steel. The results of experimental studies can be used to refine the knowledge of basic physical properties of steel and for example replace the tabulated values or estimated values of phase transformation temperatures and thermal capacity. Furthermore, the obtained data will be implemented in the material databases of numerical programs used for the simulation of metallurgical processes.

Keywords: steel, thermal analysis, solidus, liquidus, DTA, DSC

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

1. ÚVOD

Termo-fyzikální a termo-dynamické vlastnosti ocelí jsou předmětem intenzivního výzkumu, přesto jsou experimentální údaje těchto složitých systémů stále nedostatečné. Velmi důležitá data jsou např. teploty a latentní tepla fázových transformací, tepelná kapacita, povrchové napětí. V rámci technologie odlévání oceli je velmi důležitá znalost teploty solidu a především pak klíčové teploty likvidu. Stanovení teplot fázových přeměn u tak složitých polykomponentních soustav, jako jsou oceli, je velice náročné [1-3]. Možnosti experimentálního stanovení teplot fázových přeměn ve vysokoteplotní oblasti, zejména pak nad teplotou 1000 °C, jsou značně složité, přičemž existuje jen několik metod, které poskytují hodnověrné výsledky. Jejich porovnání uvádí např. práce [4]. Metody jsou obecně založeny na detekci změny teploty vyvolané tepelně zabarveným dějem nebo na detekci rozměrových změn vzorku. Experimentálně získané údaje jsou nezbytné pro termo-dynamické výpočty a mohou být využity také jako vstupní data pro řadu matematických a fyzikálních modelů [5, 6].

2. METODY TERMICKÉ ANALÝZY

Metody termické analýzy umožňují sledovat fázové transformace probíhající ve vzorku oceli během jeho ohřevu, resp. ochlazování. V ocelářském průmyslu lze termickou analýzu rovněž využít ke stanovení teplot solidu a likvidu.

Během experimentálních měření byla pozornost zaměřena na stanovení teplot solidu a likvidu vybraného vzorku oceli. Pro získání teplot solidu a likvidu byly v této práci využity následující dynamické metody termické analýzy [7]:

- metoda diferenční scanovací kalorimetrie (DSC),
- metoda diferenční termické analýzy (DTA).

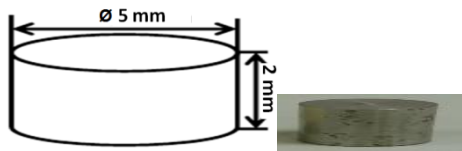
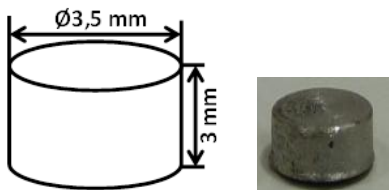
Tyto metody [7] vycházejí ze stejného principu. Základem metod je měření teplotního rozdílu (tepelného toku) mezi měřeným vzorkem a referencí. Referencí je myšlen prázdným referenčním kelímek, je měřen teplotní rozdíl mezi teplotou vzorku a teplotou prázdného kelímku. Vzorek i reference jsou podrobovány současnému (stejnému) nastavenému teplotnímu programu-současnému plynulému lineárnímu ohřevu/ochlazování. Výsledkem jsou tzv. DTA křivky (resp. DSC křivky) vyjadřující závislost teplotního rozdílu (rozdílu tepelných toků) mezi měřeným vzorkem a referencí. V případě, že ve vzorku probíhá fázová přeměna, dochází k odklonům od tzv. základní linie (vzniká pík). Interpretací těchto píků lze získat teploty fázových přeměn za daných experimentálních podmínek.

3. EXPERIMENTÁLNÍ ZAŘÍZENÍ, SPECIFIKACE VZORKŮ A PODMÍNKY EXPERIMENTŮ

Pro experimentální měření byly použity reálné vzorky nástrojové oceli s přibližným obsahem uhlíku 0,6 hm.%, chromu 5 hm.% a ostatních legujících prvků sumárně do 1,5 hm.%. Vzorky byly odlity na zařízení plynulého odlévání a opracovány do tvaru válečků o rozměrech vhodných pro jednotlivá zařízení a metody (viz **tab. 1**) Vzorky o průměru 5 mm a výšce 2 mm byly analyzovány metodou DSC. Vzorky o průměru 3,5 mm a výšce 3 mm byly analyzovány metodou DTA. Před vlastní analýzou byly vzorky obroušeny a očištěny v acetonu pomocí ultrazvuku.

Tabulka 1 Vzorky oceli s uvedenými rozměry pro jednotlivé analýzy

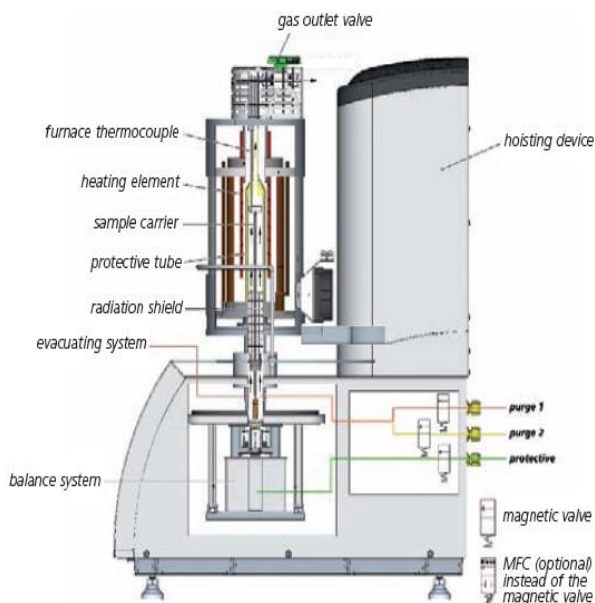
Table 1 Steel samples with dimensions specified for each analysis

Vzorek	NETZSCH STA 449 F3 Jupiter	SETARAM Setsys 18 _{TM}
Rozměry		

Obecně lze říci, že teploty fázových přeměn jsou na základě teoretických výpočtů nejčastěji určovány pro tzv. rovnovážné podmínky, při kterých nedochází k ohřevu či ochlazení daného materiálu. V technické praxi však vzhledem k povaze probíhajících technologických operací dochází k procesům spojeným s tavením a především pak tuhnutím materiálů (v našem případě ocelí). Je proto nanejvýš žádoucí doplnit výpočty stanovené hodnoty experimentálními výsledky. Metoda DSC je využita pro relativně pomalý ohřev vzorku (1 a 2 °C.min⁻¹). Metoda DTA je pak aplikována při rychlostech ohřevu 10 a 15 °C.min⁻¹. K získávání teplot fázových přeměn bylo využito dvou experimentálních laboratorních zařízení pro termickou analýzu:

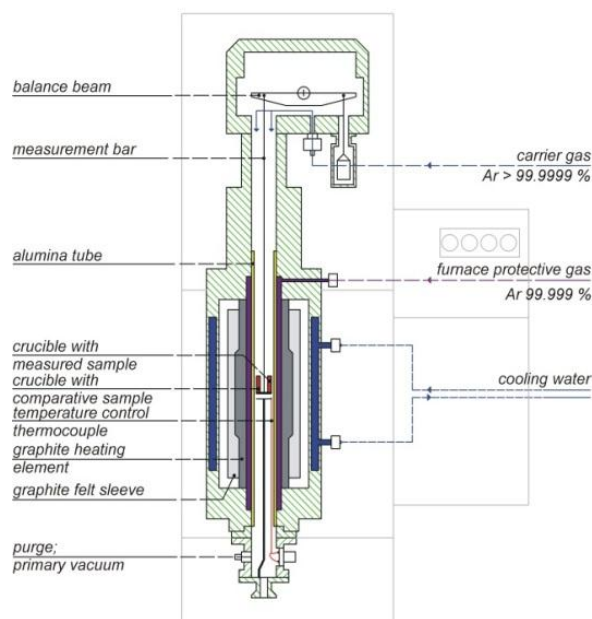
- STA 449 F3 Jupiter firmy Netzsch – pro metodu DSC (**obr. 1**),
- SETSYS 18_{TM} firmy Setaram – pro metodu DTA (**obr. 2**).

V zařízení STA 449 F3 Jupiter byla pro získávání teplot fázových přeměn využita měřicí tyč TG/DSC typu „S“ (termočlánek Pt/PtRh 10 %). Hmotnost analyzovaných vzorků se pohybovala kolem 300 mg. Vzorky byly analyzovány v korundovém (Al₂O₃) kelímku o objemu cca 0,1 ml. Při analýzách byla udržována stálá dynamická atmosféra – inertní argon o čistotě (99,9999 %).



Obr. 1 Zařízení NETZSCH STA 449 F3 Jupiter

Fig. 1 NETZSCH STA 449 F3 Jupiter

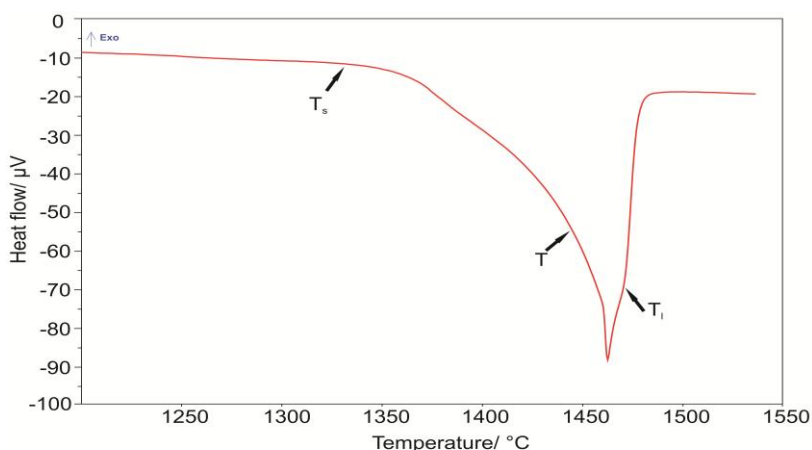


Obr. 2 Zařízení SETARAM Setsys 18™

Fig. 2 SETARAM Setsys 18™

V zařízení Setsys 18™ byla pro získávání teplot fázových přeměn využita měřicí tyč TG/DTA typu „S“ (termočlánek Pt/PtRh 10 %). Hmotnost vzorků analyzovaných touto metodou byla cca 200 mg. Vzorky byly analyzovány v korundových (Al_2O_3) kelímcích o objemu 0,1 ml. Při analýzách nebyl použit srovnávací vzorek – bylo měřeno s prázdným srovnávacím kelímkem. Při ohřevu byla udržována stálá dynamická atmosféra – inertní argon o čistotě (>99,9999 %). Tak vysoké čistoty plynu je dosahováno použitím čistícího zařízení (Getter).

4. VÝSLEDKY A DISKUZE



Obr. 3 DTA křivka ($10\text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$)

Fig. 3 DTA curve ($10\text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$)

Teploty fázových transformací byly získány na základě vyhodnocení DSC, resp. DTA křivek (metody DSC, resp. DTA).

Z **obr. 3** je patrné, že v oblasti mezi teplotami solidu a likvidu se vyskytuje další fázová přeměna, označená symbolem T – její povaha je diskutována níže.

Teploty fázových transformací studované oceli získané metodami termické analýzy jsou uvedeny v **tab. 3**. Teploty likvidu (**tab. 3**) získané pomocí metod DSC a DTA byly korigovány na experimentální podmínky [8].

Tabulka 2 Experimentálně získané teploty fázových transformací

Table 2 Experimentally obtained phase transformation temperature

Metoda	Rychlost ohřevu	T_s	T	T_L
	$^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$	$^{\circ}\text{C}$		
DSC	1	1348,4	1441,1	1468,2
DSC	2	-	1442,3	1465,5
DTA	10	1341,0	1444,3	1464,4
DTA	15	1340,1	1442,8	1465,2

Přesné určení teplot fázových transformací bývá často velmi složité. V případě této nástrojové oceli bylo obtížné zejména určení teploty solidu. Tání vzorků probíhalo zpočátku velmi pozvolna (**obr. 3**). Počátek tání nemusí být, kvůli malému tepelnému efektu, detekován (nebylo možné stanovit teplotu solidu metodou DSC pro rychlost ohřevu $2^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$). Počátek tání může být tedy detekován až při natavení dostatečného množství vzorku (až při pohlcení relativně velkého množství tepla), přestože jsou diskutované metody termické analýzy relativně citlivé. Například metodou DTA lze zaznamenat přeměny i s velmi malým tepelným efektem (pod $1 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1}$). Rozdíl mezi výsledky teploty solidu (T_s) při použití metody DTA je $0,9^{\circ}\text{C}$.

Rozdíl mezi teplotami fázové transformace (T) probíhající mezi teplotami solidu (T_s) a likvidu (T_L) se u obou metod (DSC i DTA) liší maximálně o $3,2^{\circ}\text{C}$.

Teploty likvidu (T_L) zjištěné pomocí metody DSC se od sebe liší o $2,7^{\circ}\text{C}$. Rozdíl mezi teplotami likvidu (T_L) získanými využitím metody DTA je jen $0,8^{\circ}\text{C}$. Při pohledu na výsledky uvedené v **tab. 2** je také zřejmé, že teplotní interval mezi teplotami solidu a likvidu se u provedených měření pohybuje stále v rozsahu cca 120°C až 124°C .

Pro porovnání výsledků z experimentálních měření byly provedeny teoretické výpočty teploty likvidu a solidu podle různých autorů a také pomocí termodynamické databáze Computherm, **tab. 3**.

Tabulka 3 Vypočítané teploty likvidu a solidu

Table 3 Calculated temperatures of liquidus and solidus

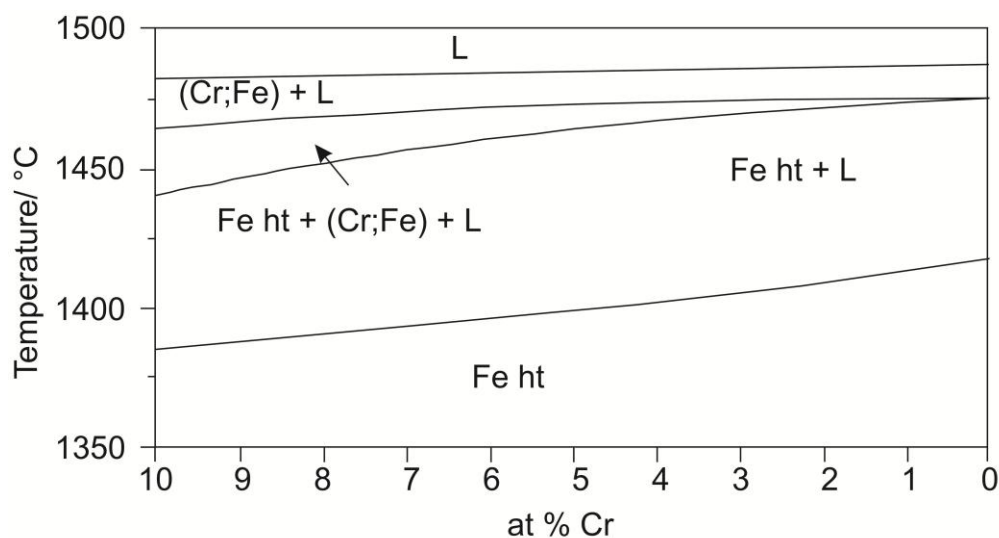
Výpočet	Vzorek	
	T_s	T_L
Computherm	1358	1461
Podle Myslivce	-	1471
Podle Šmrhy [9]	-	1464
Podle CLECIM	-	1461
Podle TECTIP	-	1463
Podle Dubovick	-	1476
Podle Aymard	-	1465
Podle Wensel	-	1479
Podle Voest Alpine	-	1463
Podle VSŽ Košice	-	1478
Podle Hab. prac. Štětiny [10]	1360	1473

Výpočty teplot likvidu a solidu dle různých autorů obvykle nezahrnují všechny prvky detekované při chemické analýze. Většina matematických vztahů neuvažuje s bórem, kyslíkem, dusíkem či vodíkem. Obtížný je i výpočet teploty solidu, jež není v dostupné literatuře téměř uváděn. Rovnice výpočtu teploty solidu je ale například uvedena v habilitační práci Štětiny [10], která neuvažuje s dalšími doprovodnými prvky, jako jsou V, Ti, Nb, Mo či bór. Z uvedené tabulky je patrné, že určení teplot solidu a likvidu je obtížné a uváděné teploty se vzájemně liší. U teplot likvidu je rozdíl mezi minimální a maximální teplotou 18 °C. Průměrná rovnovážná (vypočtená) teplota likvidu je 1468,5 °C.

Experimentálně získané teploty solidu jsou nižší než vypočtené teploty solidu. Tento rozdíl může být způsoben právě nezahrnutím vlivu všech prvků do výpočtu. Experimentálně získané teploty likvidu leží v rozmezí teplot získaných pomocí výpočtových vztahů.

Dále bylo provedeno porovnání experimentálně získaných teplot s teplotami odečtenými z rovnovážného fázového diagramu Fe-C-Cr (**obr. 4**). Na základě analýzy rovnovážného fázového diagramu Fe-C-Cr a získaných křivek DTA lze dále předpokládat, že v dané oceli probíhá v teplotním intervalu 1440-1475 °C také další fázová přeměna, kterou lze vyjádřit následovně: $\text{Fe ht} + \text{L} \rightarrow \text{Cr;Fe} + \text{L}$ – v **tab. 3** je teplota této fázové přeměny označena jako (T).

Rovnovážný fázový diagram Fe-1,8C-Cr (Fe-0,4 hm.% C-Cr) [11], charakterizující přibližně měřenou ocel, je uveden na **obr. 4**. V dostupné literatuře nebyl dohledán - neexistuje diagram odpovídající přesně dané jakosti oceli (vzorku o daném chemickém složení).



Obr. 4 Rovnovážný fázový diagram Fe-1,8C-Cr

Fig. 4 Fe-1,8C-Cr equilibrium phase diagram

Pro obsah chromu odpovídající vzorku oceli (5,2 at. %) byly z rovnovážného diagramu odečteny následující teploty: $T_s=1395$ °C, $T=1465$ °C, $T_L=1485$ °C. Teploty uvedené v rovnovážném diagramu jsou vyšší než experimentálně získané teploty. S ohledem na chemické složení analyzovaného vzorku oceli je nutné brát v úvahu, že prezentovaný rovnovážný fázový diagram uvádí polytermický isokoncentrační řez pouze ternárním systémem Fe-C-Cr. Přítomnost dalších prvků v oceli, i v minimálním množství, může podstatným způsobem posunout hranice rovnovážných křivek diagramu.

5. ZÁVĚR

Pomocí metod DSC a DTA byly získány teploty solidu, likvidu a teplota další fázové transformace probíhající mezi těmito teplotami pro vzorky komerčně vyráběné nástrojové oceli s přibližným obsahem uhlíku 0,6 hm.%, chromu 5 hm.% a ostatních legujících prvků sumárně do 1,5 hm.%. Metoda DSC byla využita pro relativně pomalý ohřev vzorku (1 a $2\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$). Metoda DTA byla aplikována při rychlostech ohřevu 10 a $15\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$. Experimentálně získané teploty solidu a likvidu získané pomocí metody DSC jsou vyšší (max. o $3,8\text{ }^{\circ}\text{C}$). Rozdíl mezi teplotami fázové transformace (T) probíhající mezi teplotami solidu (T_s) a likvidu (T_L) se u obou metod (DSC i DTA) liší maximálně o $3,2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Výsledky z experimentálních měření byly porovnány s teoretickými výpočty teploty likvidu a solidu podle různých autorů, pomocí termodynamické databáze Computherm a také s teplotami odečtenými z rovnovážného fázového diagramu Fe-C-Cr. Experimentálně získané teploty solidu jsou nižší než vypočtené rovnovážné teploty solidu. Experimentálně získané teploty likvidu leží v rozmezí teplot získaných pomocí výpočtových vztahů. Teploty uvedené v rovnovážném diagramu (nebyl nalezen diagram pro konkrétní jakost) jsou vyšší než experimentálně získané teploty.

Prezentovaná práce prokázala, že je i nadále třeba studiu termofyzikálních a termodynamických vlastností oceli věnovat náležitou pozornost. Výsledky získané z provedeného studia teplot fázových přeměn totiž potvrzují rozsáhlý potenciál metod termické analýzy v oblasti aplikovaného výzkumu, který je realizován v rámci Laboratoře modelování procesu v tekuté a tuhé fázi a mohou významným způsobem rozšířit rozsah teoretických poznatků o charakteru chování polykomponentních tavenin. Spolu s využitím moderních přístrojů STA 449 F3 Jupiter Netzsch a Setsys 18_{TM} Setaram je v rámci projektu RMTVC možné důkladněji studovat mimo jiné klíčové aspekty doprovázející výrobu oceli v ocelárnách, čímž se naskytá možnost významného zlepšení podmínek pro řízení metalurgických procesů, vyplouvání nekovových vměstků, povrchové i vnitřní kvality předlitků, snížení počtu technologických poruch zařízení plynulého odlévání ad. Získané výsledky by například mohly být využity pro rozsáhlejší studium kvality ocelových ingotů či plynule litéch předlitků např. využitím v numerických modelech lití a tuhnutí.

PODĚKOVÁNÍ

Tato práce vznikla při řešení projektu č. CZ.1.05/2.1.00/01.0040 "Regionální materiálově technologické výzkumné centrum", v rámci Operačního programu Výzkum a vývoj pro inovace, financovaného ze strukturálních fondů EU a ze státního rozpočtu ČR.



EVROPSKÁ UNIE
EVROPSKÝ FOND PRO REGIONÁLNÍ ROZVOJ
INVESTICE DO VAŠÍ BUDOUCNOSTI



Tato práce vznikla při řešení grantového projektu č. FRVS2012/1610 za finanční podpory Fondu rozvoje vysokých škol.

Tato práce vznikla v rámci řešení projektu GAČR, reg. č. 107/11/1566

LITERATURA

- [1] SMETANA, B., ZLÁ, S., ŽALUDOVÁ, M., DOBROVSKÁ, J., KOZELSKÝ P. Application of High Temperature DTA to Micro-Alloyed Steels. *Metallurgija*, 2012, vol. 51, no. 1, p. 121-124. ISSN 0543-5846.
- [2] MIETTINEN, J. *Metallurgical and Materials Transactions B*, 1997, vol. 28B, p. 281-297.

- [3] SMETANA, B., ZLÁ, S., DOBROVSKÁ, J., KOZELSKÝ, P. Phase transformation temperatures of pure iron and low alloyed steels in the low temperature region using DTA. *International Journal of Materials Research*, 2010, vol. 101, no. 3, p. 398-408. ISSN 1862-5282.
- [4] RUSZ, S., SMETANA, B., SCHINDLER, I., CAGALA, M., KAWULOK, P., VAŠEK, Z. Comparison of phase transformation temperatures for steels determined by several methods. *Hutnické listy*, 2011, vol. 64, no. 4, p. 66-69. ISSN 0018-8069.
- [5] KLUS, P., TKADLEČKOVÁ, M., MICHÁLEK, K., GRÝC, K., SOCHA, L., KOVÁČ, M.: Numerical modelling of casting and solidification of steel ingot. In *XXI. International Scientific Conference Iron and Steelmaking*. 19. - 21. října 2011, Horní Bečva, Beskydy, Česká republika. s.5 ISBN 978-80-248-2484-0.
- [6] TKADLEČKOVÁ, M., MICHÁLEK, K., KLUS, P., GRÝC, K., SIKORA, V. Využití numerického modelování při řešení problematiky lití a krystalizace ocelových ingotů. In *Teorie a praxe výroby a zpracování oceli 2011*. Ostrava: TANGER s.r.o. Ostrava, 2011, ISBN 978-80-87294-21-5.
- [7] BLAŽEK, A. *Termická analýza*. Vydání první. Praha: SNTL, 1972.
- [8] SMETANA, B., DOČEKALOVÁ, S., DOBROVSKÁ, J. Vliv experimentálních podmínek na získávané hodnoty tepelných efektů a teplot fázových přeměn čistého železa a oceli metodou DTA. *Hutnické listy*, 2008, vol. 61, No. 2, p. 64-67.
- [9] ŠMRHA, L. Tuhnutí a krystalizace ocelových ingotů. SNTL, Praha, 1983. ISBN -182664-14825/83
- [10] ŠTĚTINA, J.: Optimalizace parametrů lití sochorů pomocí modelu teplotního pole. Habilitační práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství, Ostrava, 2008. [www \(ke dni 15.2.2011\): http://ottp.fme.vutbr.cz/users/stetina/habilitace/index.htm](http://ottp.fme.vutbr.cz/users/stetina/habilitace/index.htm)
- [11] BUNGARDT K., KUNZE E., HORN E.: Untersuchungen über den Aufbau des Systems Eisen-Chrom-Kohlenstoff, *Archiv für das Eisenhüttenwesen*, 1958, vol. 29, no. 3, p. 193-203. ISSN 0003-8962.

ZAVÁDĚNÍ STRUSKOVÉHO MODELU PRO ŘÍZENÍ SLOŽENÍ STRUSKY NA SEKUNDÁRNÍ METALURGII

Pavel MACHOVČÁK, Aleš OPLER, Zdeněk CARBOL, Vladimír VADARENÝ, Roman SCHAFFER

*VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY a.s., Ruská 2887/101, 706 02 Ostrava-Vítkovice, ČR,
pavel.machovcak@vitkovice.cz*

Abstrakt

Důležitým faktorem pro dosažení vysoké čistoty oceli je použití vhodné strusky pro její rafinaci na agregátech sekundární metalurgie. Struska musí zajistit dokonalý průběh reakcí na rozhraní struska – kov, zejména odsíření, ale také pohltit nekovové vměstky. Rafinační strusky na agregátech sekundární metalurgie jsou polykomponentní a jsou tvořeny postupným smícháním jednotlivých struskotvorných přísad a propalem dezoxidačních a legujících přísad. Vzniklá směs jednotlivých oxidů má nižší teplotu tavení, než jednotlivé oxidy samotné a složení strusky výrazně ovlivňuje její viskozitu a rafinační schopnosti. Složení strusky je ale také negativně ovlivněno průnikem primární strusky uniklé během odpichu oceli z EOP, případně kyslíkového konvertoru. Desoxidace primární strusky je nutná z důvodu docílení požadovaného složení strusky z hlediska velmi nízkého obsahu lehce redukovatelných oxidů, jejichž větší obsah zhoršuje průběh odsíření oceli. V poslední době byla na ocelárně VHM a.s. věnována velká pozornost optimalizaci složení strusky na sekundární metalurgii. Byla upravena desoxidace proteklé pecní strusky v závislosti na jejím množství a předpokládaném složení. Dále byl do řídicího informačního systému ocelárny implementován struskový model, který je schopen průběžně predikovat aktuální složení strusky. Článek popisuje princip fungování struskového modelu, první dosažené výsledky, vyhodnocena je přesnost dosahované predikce složení strusky a zhodnocen je přínos struskového modelu na vybrané technologické parametry.

An important factor in achieving high purity steel is using a suitable slag for steel refining in secondary metallurgy. The slag must be able to ensure the perfect course of reaction at interface slag – metal, especially desulphurization, but also absorb nonmetallic inclusions. Refining slags in secondary metallurgy are polycomponent and are formed by mixing individual slag components. The resulting mixture has lower melting temperature than the individual oxides of the slag itself and significantly affects its viscosity and refining ability. The slag composition is also negatively influenced by the penetration of primary slag from EAF or BOF. Desoxidation of primary slag is necessary in order to achieve the desired slag composition with very low content of the easily reducible oxides because the higher content of these oxides leads to deterioration of steel desulphurization. Optimization of slag regime for secondary metallurgy was given considerable attention at steel plant VHM recently. Desoxidation of penetrated primary slag was adjusted depending on the expected quantity and composition. Slag model was implemented into information system of steel plant. This model is able to predict current slag composition during steel treatment in secondary metallurgy. This article describes principle of this slag model, accuracy of prediction is evaluated and benefits of this model to the selected technological parameters are evaluated.

Klíčová slova: struska, vlastnosti strusky, ternární diagram, model, predikce složení, sekundární metalurgie

Keywords: slag, slag properties, ternary diagram, model, prediction of the composition, secondary metallurgy

1. ÚVOD

Rafinační strusky mají výrazný vliv na výslednou kvalitu vyráběné oceli. Dosažená čistota oceli a obsah síry závisí především na chemickém složení rafinační strusky, jejím množství a na kinetice a době procesu míchání oceli a strusky. Požadavky na pánvovou strusku lze shrnout následovně [1]:

- Splnit zvláštní metalurgické požadavky jako odsíření, nebo absorpce nekovových vměstků
- Minimalizace eroze vyzdívky lící pánve pomocí strusky nasycené oxidem MgO (5 – 10 % MgO)
- Zakrýt elektrické oblouky během ohřevu na LF

Chemické složení strusky ovlivňuje její teplotu likvidu a tudíž i rychlost její tvorby, tekutost a schopnost plnit výše uvedené požadavky. Každá ocelárna je v podstatě specifická s ohledem na výrobní agregáty, vyráběné značky oceli a zvolenou technologii výroby oceli, ale také i vedení struskového režimu.

Elektroocelárna VÍTKOVICE HEAVY MACHIENRY a.s. je vybavena intenzifikovanou EOP o tonáži 80 tun. Odpich oceli je prováděn přes EBT (Eccentric Bottom Tapping). Technologie výroby většiny značek ocelí je na EOP vedena na jednu předzkoušku, desoxidace oceli pomocí hliníku a legování oceli probíhá během odpichu do pánve. Během odpichu se do pánve přidává také základní dávka struskotvorných přísad. Následuje zpracování oceli na zařízeních sekundární metalurgie. Na ocelárně VHM jsou k dispozici agregáty LF, VD, VOD. Ocel je odlévána do ingotů o hmotnosti 1,3 až 200 tun, případně se odlévají odlitky o hmotnosti až 300 tun tekuté oceli. [2,3]

Nezbytným předpokladem pro zavedení jakéhokoliv modelu pro řízení a optimalizaci výrobního procesu je sběr všech dostupných relevantních údajů ovlivňujících sledovaný proces. Současně s modernizací EOP v roce 2006 byl zaveden nový řídicí informační systém ocelárny (ŘISO) pro sledování provozně technických a technologických dat a pro řízení a optimalizaci procesu dalšího zpracování oceli. Elektrická oblouková pec byla osázena spoustou praktických čidel, které snímají různé veličiny během jejího chodu a zjištěné hodnoty jsou ukládány do ŘISO. Do ŘISO jsou také automaticky přenášeny naměřené hodnoty teploty, $a[O]$ a množství přidaných přísad nejen na EOP, ale i na dalších navazujících agregátech, tj. LF, VD, VOD. Do tohoto informačního systému jsou i přenášeny všechny analýzy z laboratoře. Dodavatelem ŘISO byla firma R.T.S. cs, spol. s r.o., která se také podílela na programátorské stránce vývoje popisovaného struskového modelu. [3]

2. PREDIKCE SLOŽENÍ STRUSKY

Cílem predikce složení strusky během rafinace oceli na agregátech sekundární metalurgie je mít k dispozici on-line co možná nej přesnější informaci o aktuálním složení rafinační strusky. Toto složení se mění v průběhu zpracování oceli nejen na základě přidaných struskotvorných přísad, ale je také ovlivněno propalem dezoxidačních a legujících přísad, dále je ovlivněno průnikem primární strusky z EOP a dalšími faktory, např. opotřebením vyzdívky lící pánve. Aby byl vyvíjený model co nej přesnější, musí zahrnovat všechny podstatné faktory ovlivňující složení strusky a databáze používaných materiálů musí být neustále aktualizována. Pro přesnost modelu je nutné mít co nejdříve k dispozici informaci o skutečném složení strusky z laboratoře na počátku zpracování oceli na LF z důvodu možné korekce predikce složení strusky.

Přínosem správně fungujícího modelu bude stabilizace vedení struskového režimu na LF, dosažení optimálního složení rafinační strusky pro hluboké odsíření oceli a pohlcování nekovových vměstků, včetně snížení spotřeby struskotvorných přísad.

2.1 Vstupní data důležitá pro správné fungování struskového modelu

Z výše uvedeného technologického procesu vyplývají následující základní technologické uzly, které výrazně ovlivní složení rafinační strusky a s kterými musí struskový model počítat.

2.1.1 Složení struskotvorných přísad

Během celého výrobního procesu se do pánve přidávají struskotvorné přísady na dvou místech. Při odpichu a během rafinace oceli na LF. V našich podmínkách jsou těmito struskotvornými přísadami zejména vápno, syntetická struska, hliníkové stěry a karbid vápníku pro redukci lehce redukovatelných oxidů ze strusky. Chemické složení těchto komponent je průběžně sledováno, jsou prováděny analýzy jednotlivých dodávek, a tudíž jsou tyto důležité vstupní údaje pro struskový model průběžně aktualizovány. V **tabulce 1** je uvedeno složení základních struskotvorných látek.

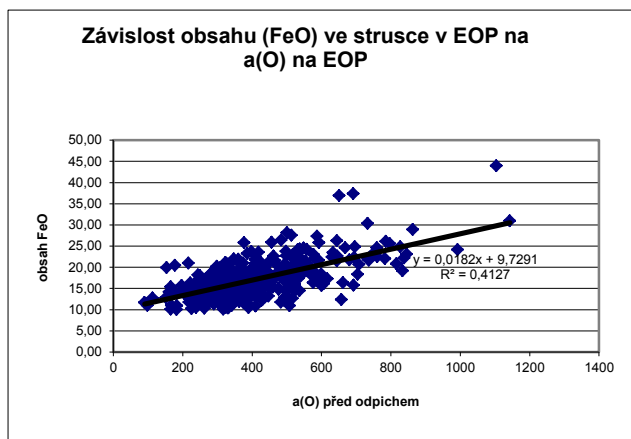
Tabulka 1: složení struskotvorných látek

	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al
vápno	97.37	0.85		1.36		
syntetika JAP	20		80			
Al stěry			27.19	3.5		49
Topex	2	45.4		4.4	5.4	
zásyp EBT - olivín		48.3	0.5	42.4	7.4	

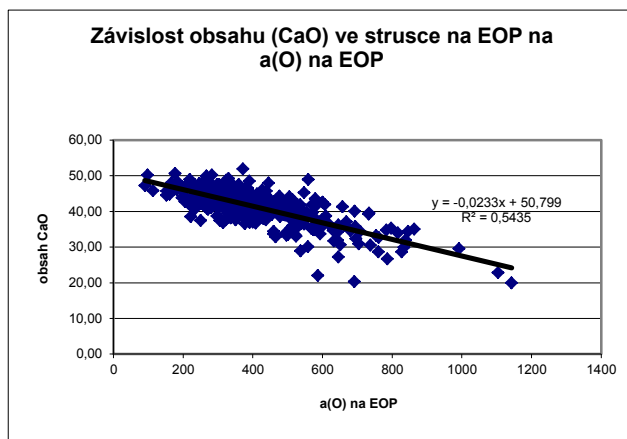
2.1.2 Průnik oxidační strusky z EOP do pánve

Ačkoliv se na EOP pracuje s tekutým zbytkem, tzn., že určitý podíl vytavené oceli zůstává v peci, je nevyhnutelné, že určité množství pecní oxidační strusky proteče během odpichu do pánve. Bylo provedeno šetření, jehož cílem bylo přibližně stanovit složení a množství proteklé pecní strusky. Byla provedena hmotnostní bilance, při které bylo zjištěno, že množství proteklé pecní strusky se pohybuje cca od 100 do 600 kg. Dále byla zjištěna souvislost mezi aktivitou kyslíku v oceli před odpichem a složením pecní strusky. Největší vliv aktivity kyslíku byl zjištěn na obsah FeO a CaO ve strusce, jak je patrné z **obr. 1** a **obr. 2**. S rostoucí aktivitou kyslíku v oceli na EOP byl pozorován růst oxidu FeO a pokles CaO v pecní strusce. Vliv aktivity kyslíku na obsah dalších oxidů nebyl zjištěn. Nárůst obsahu FeO v pecní strusce souvisí s větší oxidací, resp. propalem vsázky při větším množství injektovaného kyslíku. Hodnocení bylo provedeno na souboru 400 taveb.

Uvedené závislosti chemického složení pecní strusky na aktivitě kyslíku na EOP je využíváno při kalkulaci složení strusky na sekundární metalurgii, množství proteklé pecní strusky je ale pouze odhadováno tavičem EOP. Z toho důvodu je právě tento údaj největším zdrojem nepřesnosti celého struskového modelu.



Obr. 1 Závislost obsahu FeO ve strusce na a[O] na EOP



Obr. 2 Závislost obsahu CaO ve strusce na a[O] na EOP

2.1.3 Zásyp EBT a opotřebení vyzdívky licí pánve

Po každém odpichu je odpichový otvor EOP zasypáván olivínem. Při odpichu další tavby veškerý tento zásypový materiál padá do licí pánve a přechází tedy do strusky. Tento zásyp na bázi olivínu je bohatým zdrojem oxidů MgO a SiO₂, viz. **Tab. 1** a množství tohoto zásypu závisí na stáří odpichové vložky a je tedy nutno kalkulovat i s tímto zdrojem oxidů jako součástí rafinační strusky.

Během kampaně každé licí pánve dochází postupně k opotřebování vyzdívky licí pánve. Pracovní vrstva vyzdívky je na bázi C-MgO a její opotřebování vede k ředění rafinační strusky.

2.1.4 Produkty desoxidace

Pro zajištění nalegování oceli a její rafinace po roztavení šrotu na EOP je nutná její hluboká desoxidace. Obsah kyslíku v oceli před odpichem se pohybuje na úrovni 250 – 600 ppm v závislosti na vyráběné značce oceli, zvolené vsázce a technologii výroby. Desoxidace je prováděna hlavně během odpichu pomocí hliníkových housek, jejichž množství je voleno právě s ohledem na dosaženou aktivitu kyslíku v oceli před odpichem. Produkt reakce, Al₂O₃, je nejen zdrojem nekovových vměstků v oceli, ale také zvyšuje množství strusky v pánvi. Dále je třeba také počítat s částečným propalem legujících prvků z feroslitin, jako např. FeMn, FeSi.

Pro snížení obsahu lehce redukovatelných oxidů (FeO, MnO, Cr₂O₃) jejichž zdrojem je nejen průnik pecní strusky do pánve, ale také již zmíněný propal některých legujících prvků se používají hliníkové stěry, případně drcený hliník nebo kbid vápníku (CaC₂). Hliník obsažený ve stěrech reaguje s výše uvedenými oxidy a tím se zvyšuje podíl Al₂O₃ ve strusce na úkor těchto lehce redukovatelných oxidů. Obdobně při použití karbidu vápníku pro redukci lehce redukovatelných oxidů dochází k nárůstu obsahu oxidu CaO ve strusce na úkor těchto oxidů, viz. (1). Dále je v modelu počítáno i s odsířením oceli, tj. přechodem síry obsažené v kovu do strusky



V případě, že dojde během odpichu k extrémně velkému průniku pecní strusky do pánve je možné během zpracování oceli na LF částečně snížit toto množství strusky. Vzhledem k tomu, že je licí pánve neustále na pánvovém voze vybaveném váhou, je možné toto snížené množství strusky přesně odečíst při výpočtu predikce složení strusky.

2.2 Predikce složení strusky v průběhu tavby

V průběhu zpracování oceli na zařízeních sekundární metalurgie je navrhnutý struskový model schopen predikovat složení strusky. V průběhu zpracování oceli na LF jsou odebírány 3 vzorky oceli a 1 vzorek strusky pro analýzy. Po počáteční homogenizaci nutné pro rozpuštění přidaných feroslitin a struskotvorných látek přidaných během odpichu je odebrán vzorek oceli a strusky. Druhý vzorek oceli je odebrán po nalegování oceli na požadované chemické složení a třetí vzorek oceli je odebrán na závěr zpracování. Na zařízení VD je odebrán vzorek oceli a strusky po odvakuování oceli a tavební vzorek oceli je odebrán po vyčerení oceli. Z výše popsaného způsobu odběrů vzorků vyplývá, že na počátku zpracování oceli na LF je možná korekce výsledku predikce složení strusky se skutečnou analýzou. Tím dojde k výraznému zpřesnění modelu a k eliminaci nepřesně odhadnutého množství proteklé pecní strusky do pánve.

Struskový model je schopen počítat složení strusky průběžně během rafinace oceli na LF v závislosti na průběhu zpracování, použitých struskotvorných látkách, průběhu legování oceli. Velmi důležitá je možnost korekce predikované analýzy strusky podle skutečné analýzy provedené na vzorku strusky v laboratoři. S využitím této korekce byla snížena chyba predikce až na polovinu původních hodnot. Model také průběžně počítá bazicitu strusky podle rovnice (2) a poměr oxidů $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$.

$$B = \frac{\text{CaO} + 2/3 * \text{MgO}}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2} \quad (2)$$

Predikována analýza strusky je v ŘISO zobrazována jednak po jednotlivých oxidech, viz. **obr.3**, ale také je toto predikované složení strusky graficky znázorněno v ternárním diagramu $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$. Grafické znázornění v ternárním diagramu, viz **obr. 4**, poskytuje nejen informaci o teplotě likvidu strusky o daném chemickém složení, ale dává i operátorovi LF informaci o tom, které struskotvorné přísady má použít, aby dosáhl optimálního složení rafinační strusky. Z ternárního diagramu $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ vyplývá teplota tavení strusky pro dané konkrétní složení [4].

Výrobní agregát

Soubor Úpravy Zobrazit Výpočty Podpisy Nastavení Návod

A

U

P

S

X

R

V

L

X

S

O

K

Aktuální

Přehled

Složení

Vložit

Oprava

Zrušit

Podpis

Sřídání

Excel

Obnova

Váhy

Sim

Predikce

Vzkazy

Stopky

Konec

EOS

23438

Tavba

53661

Odpich

12 23:40

Značka

34.6140

8630 Mod.

Postup

LF_VD

DTP

01 / DTP-GEN-02

ZrPřed

22.5719

Stav

KLITI

Nalži

68 500

IngTek

62 300

ZbDvls

15000

KVd

72 437

KVd

91 998

ZbPoO

16000

Doba

2:17

Tepl

1 559

Náklady, stav pece

Zkoušky, teploty

Poruchy, struska, vodík

Sázení a přísady

Technol. předpis

Fáze

Kyslík, proud E5

Přij. ana. oceli na LF

Odpich, struska z EOP

Výp.an. struske na SM

Term.diag.

Delta ferit

Přijem komp.

Trendy EOS

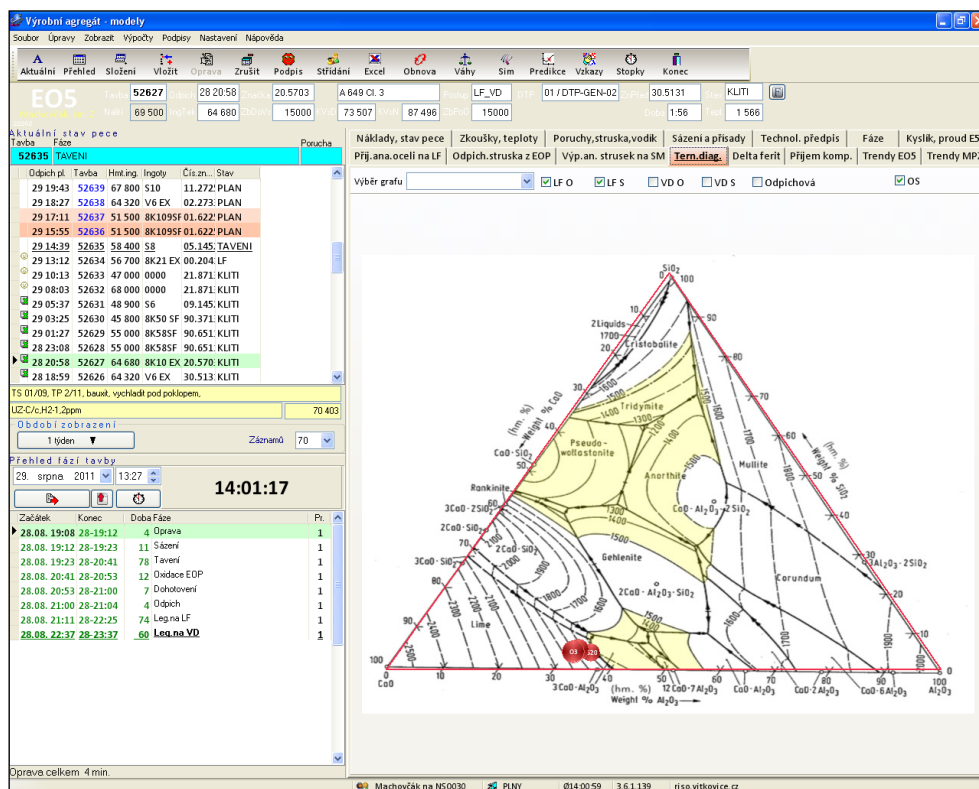
Trendy MPZ

☐ Časové body pro spuštění StrM

☐ Zobrazit přímously

Tavba	Čís.znak	Záznam	CaO	SiO2	Al2O3	MnO	MgO	Fe2O3	FeO	S	P2O5	TiO2	Cr2O3	FeM...	Celkem	CA (vyp)	BZ (vyp)	PE	Chod	Čas.vyp.
53668	92.6511	13.02.12 00:44 LFO/2	703.2	91.7	353.7	11.1	87.0	0.0	2.7	7.8	0.3	1.2	0.3		1 259					
53667	92.6511	Struska na LF	55.8	7.3	28.1	0.9	6.9	0.0	0.2	0.6	0.0	0.1	0.0		100	2.0	1.7	4	LFO/2	13.02.12 00:44:00
53666	90.6849		61.2	8.0	30.8										100			4	LFO/2	13.02.12 00:44:00
53665	92.1452																			13.02.12 00:44:00
53664	92.1452	13.02.2012 00:08 LFS/20	535.5	72.9	309.1	1.2	85.6		2.7	5.4	0.3	1.2	0.3		1 014			3	LFS/20	13.02.12 00:08:00
53663	05.1451	Struska na LF	53.3	7.3	30.8	0.1	8.5		0.3	0.5	0.0	0.1	0.0		101	1.7	1.6	3	LFS/20	13.02.12 00:08:00
53662	11.1452		58.4	7.9	33.7										100			3	LFS/20	13.02.12 00:08:00
53661	34.6140																			13.02.12 00:08:00
53660	22.5719	13.02.12 00:06 LFO/1	562.6	78.8	318.8	2.0	39.4	1.6	3.9	5.1	2.0	0.0	0.0		1 014			2	LFO/1	13.02.12 00:06:00
53659	01.3121	Struska na LF	55.5	7.8	31.4	0.2	3.9	0.2	0.4	0.5	0.2	0.0	0.0		100	1.8	1.5	2	LFO/1	13.02.12 00:06:00
53658	00.2733		58.6	8.2	33.2										100			2	LFO/1	13.02.12 00:06:00
53657	02.1451																			13.02.12 00:06:00
53656	02.1451	12.02.12 23:45 ODPICH [kg	55.2	77.0	307.5	2.0	25.7		3.9	5.1	2.0	0.0	0.0		976			1	LFP/1	12.02.12 23:45:00
53655	01.3121	Odpich.str. z EOP pro [%]	56.6	7.9	31.5	0.2	2.6		0.4	0.5	0.2	0.0	0.0		100	1.8	1.5	1	LFP/1	12.02.12 23:45:00
53654	90.6511	Odpich.str. z EOP pro TD [%	59.0	8.2	32.8										100			1	LFP/1	12.02.12 23:45:00

Obr. 3 Ukázka predikce složení strusky v průběhu zpracování tavby na LF v ŘISO



Obr. 4 Vývoj složení strusky v průběhu tavby znázorněný v ternárním diagramu v ŘISO

3. VYHODNOCENÍ PŘESNOSTI STRUSKOVÉHO MODELU

Po zavedení popsaného struskového modelu do ŘISO byla vyhodnocována přesnost predikce složení strusky. Byly porovnávány predikované analýzy se skutečnými analýzami prováděných v laboratoři na vzorcích strusky odebraných na počátku rafinace na LF a po vakuovém zpracování na VD. Jak bylo uvedeno výše, po získání skutečné analýzy strusky z laboratoře provede model korekci predikce a dojde tedy ke zpřesnění dané predikce. V první variantě modelu bylo dosaženo v případě predikce konečného složení strusky po VD průměrné absolutní odchylky u oxidu CaO 2,2 % u oxidu Al₂O₃ 2,0 % a u oxidu SiO₂ 1,6 %. Pozornost na tyto oxidy byla zaměřena z toho důvodu, že právě z nich se vykresluje ternární diagram. Proto byl stanoven cíl, dosáhnout co největší přesnosti u těchto tří oxidů. Byla provedena analýza možných zdrojů nepřesnosti struskového režimu. Bylo zjištěno, že největší nepřesnost do modelu samozřejmě vnáší nedostatečně popsaný průnik pecní strusky do pánve, tj. množství a složení této strusky. Dalším zdrojem chyby byly označeny hliníkové stěry přidávané zejména během odpichu pro desoxidaci strusky, tj. pro snížení obsahu lehké redukovatelných oxidů. Nyní probíhají práce na zpřesnění modelu, zkoušeny jsou varianty s různým nastavením množství a složení pecní strusky a také různé využití hliníkových stěrů, protože se jeví, že ne všechny stěry přejdou do strusky, část z nich přechází pravděpodobně do vzhledu.

4. ZÁVĚR

Byl vytvořen funkční model predikce chemického složení strusky během rafinace oceli na agregátech sekundární metalurgie. Tento model je schopen predikovat obsah jednotlivých oxidů ve strusce, bazicitu strusky a graficky znázornit aktuální složení strusky v ternárním diagramu v průběhu zpracování tavby na LF a VD. Model je postupně laděn tak, aby chyba predikce byla co nejmenší. Již nyní je predikce zatížena

relativně malou, tedy přijatelnou chybou. S využitím tohoto modelu lze řídit struskový režim tavby tak, aby bylo možné standardně docílit požadovaných vlastností strusky, což se pozitivně odrazí o na kvalitě vyráběné oceli. S využitím tohoto modelu bylo docíleno standardního složení strusek u jednotlivých vyráběných taveb. V dalším vývoji bude pozornost věnována zpřesnění predikce modelu a zahrnutím uvažování kinetiky procesů probíhajících na mezifázovém rozhraní struska – kov.

PODĚKOVÁNÍ

Práce vznikla za finanční podpory Ministerstva průmyslu a obchodu České republiky v rámci řešení projektu číslo TIP FR-TI1/351.

LITERATURA

- [1] STOLTE G.: Secondary Metallurgy. 1. Vydání. Verlag Stahleisen GmbH Düsseldorf 2002, 216 s., ISBN 3-514-00648-2.
- [2] KRAYZEL M., a další: The upgraded EAF operation practice at steelwork of VHM. Acta Metallurgica Slovaca, 2007, roč.13, č.5, s.349 – 354.
- [3] CARBOL Z., MACHOVČÁK P.: Zkušenosti s provozováním modernizované EOP ve VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY a.s. Sborník příspěvků „48. slévarenské dny“, Brno, 11.-12. října 2011, ISBN 978-80-02-02337-1
- [4] ALLIBERT M. aj.: Slag atlas. 2nd Edition, 1995. ISBN 3-514-00457-9..

HODNOTY MECHANICKÝ VLASTNOSTÍ MATERIÁLU V MASIVNÍCH TLOUŠŤKÁCH OCELOVÝCH ODLITKŮ

VALUES OF MECHANICAL PROPERTIES OF THE MATERIAL IN MASSIVE THICKNESSES OF STEEL CASTINGS

Jaroslav ŠENBERGER ^a, Antonín ZÁDĚRA ^a, Zdeněk CARBOL ^b, Jiří PLUHÁČEK ^b

*a) Fakulta strojního inženýrství, VUT v Brně, Technická 2896/2, Brno, 619 00, ČR
senberger@fme.vutbr.cz, zadera@fme.vutbr.cz*

*b) Vítkovice Heavy Machinery a.s., Ruská 2887, Ostrava Vítkovice, 706 02, ČR
zdenek.carbol@vitkovice.cz, jiri.puhacek@vitkovice.cz*

Abstrakt

V masivních tloušťkách stěn ocelových odlitků jsou hodnoty mechanických vlastností silně ovlivňovány jednak segregací prvků jednak slévárenskými vadami. Chemické složení oceli na povrchu odlitků se vyznačuje nižší koncentrací legujících a doprovodných prvků, zejména uhlíku, než je složení oceli v tavbovém vzorku odebraném z pánve. Směrem k tepelné ose se koncentrace legujících a doprovodných prvků zvyšují. V důsledku chemické heterogenity je obtížné dosáhnout současně vyhovujících tvrdostí na povrchu odlitku současně s vyhovujícími pevnostními a plastickými vlastnostmi v oblasti tepelné osy. Ve stěně odlitku pro cementářské pece byl studován vliv vzdálenosti materiálu nálitku od tepelné osy na hodnoty mechanických vlastností a chemické složení oceli. Z výsledků statistického zpracování se pak usuzovalo na vliv chemického složení na průběh hodnot mechanických vlastností po průřezu stěny odlitku a na vliv slévárenských vad. Dosažené výsledky byly porovnány s výsledky získanými během předchozích prací.

In massive thicknesses of steel casting walls the mechanical values are strongly influenced both by element segregation and by foundry defects. Chemical composition of steel on the casting surface is marked by lower concentration of alloying and accompanying elements, particularly of carbon, than is the steel composition in a melt sample taken from a ladle. Towards the thermal axis the concentrations of alloying and accompanying elements are increasing. In consequence of chemical inhomogeneity it is difficult to achieve simultaneously the convenient strengths on the casting surface with convenient strength and plastic properties in the thermal axis zone at the same time. Influence of the distance from the thermal axis on mechanical properties of steel was studied on a casting wall for cement furnaces. Chemical composition of steel was studied together with mechanical properties. Then, from the results of statistical processing, it has been judged about the influence of chemical composition on the course of mechanical values along the casting wall section and about the influence of foundry defects. Obtained results were compared with that ones obtained during previous works.

Klíčová slova: Masivní odlitky, chemické složení, mez pevnosti, mez kluzu, kontrakce, tvrdost

Keywords: Heavy castings, chemical composition, breaking strength, yield point, contraction, hardness

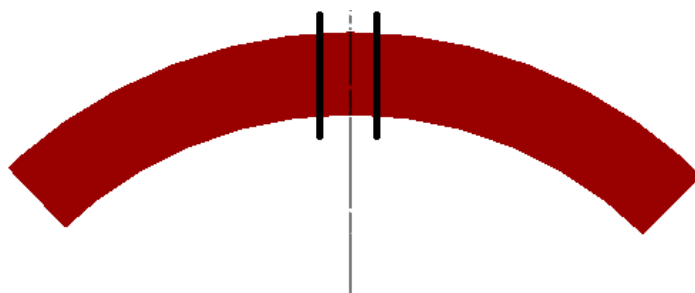
1. ÚVOD

Náklady na výrobu ocelových odlitků závisí zejména na využití tekutého kovu. Metody modelování (simulace) tuhnutí umožňují při výrobě těžkých odlitků zvýšit využití tekuté oceli zmenšením velikosti nálitků. Komerční programy simulace tuhnutí umožňují rovněž odhadnout místa s výskytem vad v odlitku, tedy i pod nálitkem. Lze tedy pomocí simulačních programů odhadnout, jaké zmenšení nálitku je ještě únosné z hlediska zamezení vzniku staženin a ředin v odlitku. U masivních ocelových odlitků je jakost materiálu pod nálitkem ovlivněna dále segregáčními pochody probíhajícími během tuhnutí. Za masivní odlitky považujeme odlitky s tloušťkou stěn větší než 300 mm a nebo s nálitkem o průměru větším než 800 mm. Z hlediska bezpečnosti výroby masivních odlitků je nutné ještě před snížením velikosti nálitku provést zkoušky na vzorcích odebraných z nálitku dříve odlitého odlitku. Tím je možné predikovat jakost oceli v objemu materiálu, o který má být náletek snížen. Mechanické vlastnosti materiálu v těžkých ocelových odlitcích jsou ovlivněny zejména segregacemi, přítomností slévarenských vad, morfologií vměstků a produkty reoxidace. U masivních odlitků je působení uvedených faktorů tím významnější, čím mají odlitky, nebo jejich části větší modul. V některých případech dochází u masivních odlitků k poklesu hodnot mechanických vlastností pod hodnoty předepsané normou. Normy s poklesem mechanických vlastností počítají. A proto normované hodnoty platí nejčastěji pro tloušťky stěn do 100 mm.

Experimenty provedené v dřívější době ve slévárně ŽĐAS a Vítkovice [1,2,3] ukázaly významné snížení všech hodnot naměřených při statické zkoušce v tahu s rostoucí tloušťkou stěny odlitku. Zkoušky byly provedeny u materiálu s tloušťkou stěny do 100 mm a to na separátně litých klínech z nízkolegovaných a nelegovaných ocelí. S rostoucí tloušťkou stěny klesala i hodnota meze únavy. U značek oceli s vyšším obsahem uhlíku však nebyly výsledky zkoušek jednoznačné. Autoři při interpretaci výsledků nezohlednili změnu chemického složení oceli během tuhnutí a její vliv na sledované hodnoty. Autoři práce dospívají k závěru, že mechanické vlastnosti oceli jsou výrazněji ovlivněny podmínkami primární krystalizace a tloušťkou stěny než nespecifikovanou hmotností dílce. Simulace tuhnutí odlitku kruhu pro cementářskou pec naznačila možnost snížení výšky nálitku. Před vlastní úpravou technologie byl ve spodní části nálitku sledován vliv provozní degradace materiálu na základě statické zkoušky pevnosti v tahu.

2. POPIS EXPERIMENTU

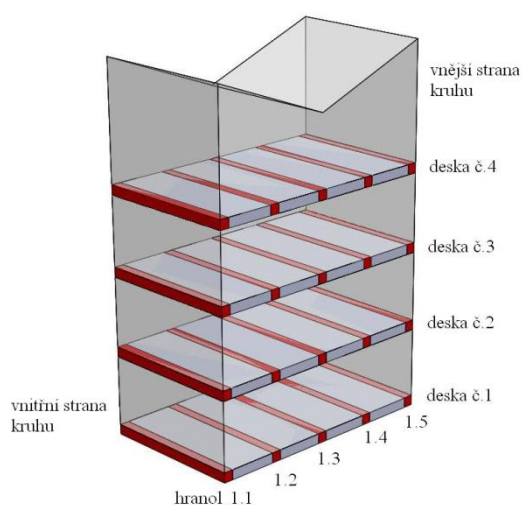
U odlitku kruhu pro cementářské pece vyráběného ve Vítkovicích HEAVY MACHINERY a.s. byl z nálitku vyřezán vzorek o rozměru cca 700x800x250 mm. Řez byl veden kolmo na osu nálitku. Schéma odběru vzorku je uvedeno na **obr. 1**.



Obr. 1 Schéma odběru vzorku z nálitku kruhu cementářské pece

Po opracování vyřezané desky byla deska rozřezána na vzorky, ze kterých byly vyrobeny tyče na statickou zkoušku tahem. V každém místě odběru vzorků bylo z hlavové části vzorku stanoveno chemické složení oceli. Schéma odběru jednotlivých vzorků a způsob značení je uvedeno na **obr. 2**. K odlití formy byla použita ocel DIN EN 10293. Tavba byla odlita z několika pánví současně. Z každé pánve byl odebrán vzorek na chemické složení (tavbový vzorek). Rozmezí základních prvků v pánvích je uvedeno v **tab. 1**. Ocel byla zpracována na zařízeních sekundární metalurgie s ohledem na dosažení nízkých koncentrací dusíku a síry. Před odběrem vzorků na výrobu trhacích tyčí byla deska tepelně zpracována ohřevem na 910 °C a ochlazením na vzduchu. Vzorky měly rovnoměrnou jemnozrnnou feriticko-perlitickou strukturou.

Skutečně naměřené chemické složení u vybraných prvků v jednotlivých vzorcích statické tahové zkoušky je uvedeno v **tab. 2**. Významný vliv na hodnoty mechanických vlastností vzorků se očekával v důsledku segregace uhlíku.



Obr. 2 Schéma odběru vzorků

Tabulka 1 Interval vybraných prvků taveb použitých k odlití kruhu v hmot %.

obsah	C	Mn	Si	P	S	Al	N
min.	0,22	1,37	0,41	0,006	0,001	0,025	0,0036
max.	0,23	1,39	0,45	0,008	0,002	0,035	0,0061

Během odlévání se obsah uhlíku a síry v oceli nemění, obsah, obsah celkového hliníku se snižuje o 0,003 až 0,005 hmot. %, obsah dusíku se zvyšuje o 0,0015 až 0,0025%.

U vzorků z první a druhé vrstvy nad odlitkem je segregace síry zanedbatelná a obsah síry je v toleranci složení taveb použitých k odlití sledovaného kruhu. Totéž platí o obsahu fosforu. Obsah uhlíku ve druhé vrstvě a vzorku ze středu nálitku vykazuje již obsah uhlíku vyšší, než je předepsaný normou.

Tabulka 2 Chemické složení jednotlivých vzorků v hmot. %

Vzorek	C [%]	Mn [%]	Si [%]	P [%]	S [%]	Al-c [%]
1.1	0,207	1,38	0,47	0,006	0,0012	0,023
1.2	0,201	1,15	0,44	0,005	0,001	0,022
1.3	0,248	1,21	0,47	0,007	0,0013	0,022
1.4	0,182	1,16	0,46	0,006	0,0009	0,023
1.5	0,199	1,4	0,47	0,006	0,001	0,023
2.1	0,163	1,14	0,44	0,004	<0,0006	0,023
2.2	0,231	1,19	0,47	0,006	0,0009	0,021
2.3	0,302	1,25	0,49	0,007	<0,0006	0,021
2.4	0,201	1,2	0,48	0,006	0,0012	0,023
2.5	0,211	1,36	0,46	0,006	<0,0006	0,023
3.1	0,167	1,11	0,45	0,005	0,0021	0,022
3.2	0,271	1,22	0,48	0,005	<0,0006	0,022
3.3	0,546	1,41	0,55	0,01	0,0037	0,019
3.4	0,26	1,21	0,49	0,005	<0,0006	0,022
3.5	0,173	1,15	0,46	0,005	<0,0006	0,023
4.1	0,21	1,16	0,46	0,005	0,0011	0,023
4.2	0,27	1,21	0,48	0,005	0,0009	0,022
4.3	0,509	1,52	0,59	0,018	0,003	0,02
4.4	0,27	1,18	0,47	0,005	<0,0006	0,022
4.5	0,176	1,15	0,45	0,004	<0,0006	0,023

Tabulka 3 Výsledky měření statickou zkouškou v tahu, tvrdosti a doba tuhnutí

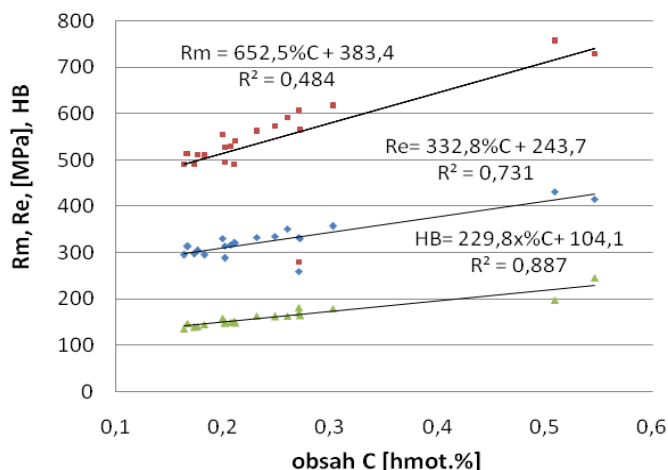
Vzorek č.	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5
Re [MPa]	316	288	335	295	331	295	332	357	314	321
Rm [MPa]	530	495	573	508	556	490	561	616	527	541
A5 [%]	26,6	28	26,4	25,2	27,7	26,6	20,2	21	22,2	24,6
Z [%]	68,6	69,8	52,4	67,5	68,6	68,6	32,8	42,2	49,6	62,8
HB	149	148	162	144	158	136	163	179	148	148
%C	0,207	0,201	0,248	0,182	0,199	0,163	0,231	0,302	0,201	0,211
doba t [hod]*	15,25	15,7	16	15,8	14,8	21,25	20,9	21,7	21,3	21
Vzorek č.	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5
Re [MPa]	313	331	415	351	297	320	259	432	332	304
Rm [MPa]	513	563	730	591	491	491	607	756	279	512
A5 [%]	25,8	22,2	14,6	20,2	14	9,6	15,4	10,8	19	25,6
Z [%]	61,6	39,2	29,4	34,4	26	24,3	29,4	29,4	39,2	65,2
HB	146	164	245	163	139,0	151,0	182,0	197,0	169,0	140,0
%C	0,167	0,271	0,546	0,260	0,173	0,210	0,270	0,509	0,270	0,176
doba t [hod]*	24,65	25,1	25,2	25,2	24,65	25,8	26,2	26,7	26,7	26,5

t – doba tuhnutí v daném vzorku

V **tab. 3** jsou uvedeny výsledky statické zkoušky v tahu u vzorků odebraných podle schématu na **obr. 2** současně s obsahem uhlíku naměřeném v těchto vzorcích. V posledním řádku jsou v **tab. 3** uvedeny doby tuhnutí pro místa, ze kterých byly odebrány vzorky na statickou zkoušku v tahu. Doby tuhnutí byly stanoveny z křivek chladnutí vypočtených simulačním programem pro okamžik dosažení teploty solidu.

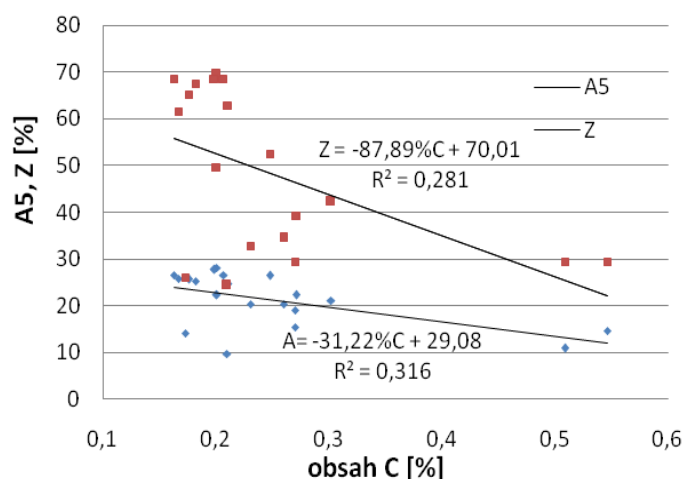
3. INTERPRETACE VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ

Interpretace výsledků vychází z předpokladu, že sledované mechanické vlastnosti oceli korelují s obsahem uhlíku. Odchytky od uvedené korelace jsou způsobeny slévárenskými vadami. Jako slévárenské vady se předpokládají mikrodutiny (mikrořediny) a v místech se zvýšenou segregací výskyt vměstků II. nebo VI. typu. Jak bylo výše uvedeno, obsah síry ve všech vzorcích nepřekročil 0,0037%. Za těchto podmínek se vliv sulfidů na mechanické vlastnosti oceli neočekává. Na **obr. 3** je uvedena korelace mezi obsahem uhlíku, mezí pevnosti, mezí kluzu a tvrdostí. Statistická významnost korelace byla pro uvedené funkce posuzována v hladině spolehlivosti $p = 0,01$. Pro počet volnosti daného souboru (19) vychází kritická hodnota koeficientu lineární korelace $r_{0,01} = 0,55$. Podle očekávání byla zjištěna nejvyšší korelace u funkční závislosti tvrdosti na obsahu uhlíku ($r_{0,01} = 0,94$). Rovněž platí vysoká hodnota korelace pro závislost meze kluzu na obsahu uhlíku ($r_{0,01} = 0,85$). Uvedené zkoušky nejsou ovlivněny plastickou deformací materiálu při zkoušce. Nejnižší hodnotu koeficientu korelace vykazuje závislost meze pevnosti na obsahu uhlíku ($r_{0,01} = 0,70$). Vliv vad na průběh plastické deformace vzorku se projevil nižší hodnotou korelace tažnosti a zúžení s obsahem uhlíku. Závislost mezi obsahem uhlíku, hodnotou tažnosti a zúžení je uvedena na **obr. 4**.



Obr. 3 Závislost mezi obsah uhlíku a hodnotami Re, Rm, a HB

Korelace mezi tažností je v uvažované hladině spolehlivosti statisticky významná ($r^2_{0,01} = 0,316$, $r_{0,01} = 0,56$), ale hodnota lineárního korelačního koeficientu je nižší než u závislostí s pevnostními charakteristikami. Závislost mezi obsahem uhlíku a zúžením v zvolené hladině není statisticky významná ($r_{0,01} = 0,053$).



Obr. 4 Závislost mezi obsah uhlíku a hodnotami A5 a Z

V práci [4] bylo za podobných podmínek v nálitku o průměru 1600 mm stavena závislost mezi obsahem uhlíku v oceli a mechanickými hodnotami. Statistické závislosti stanovené v práci [4] jsou uvedeny v rovnicích (1) až (4).

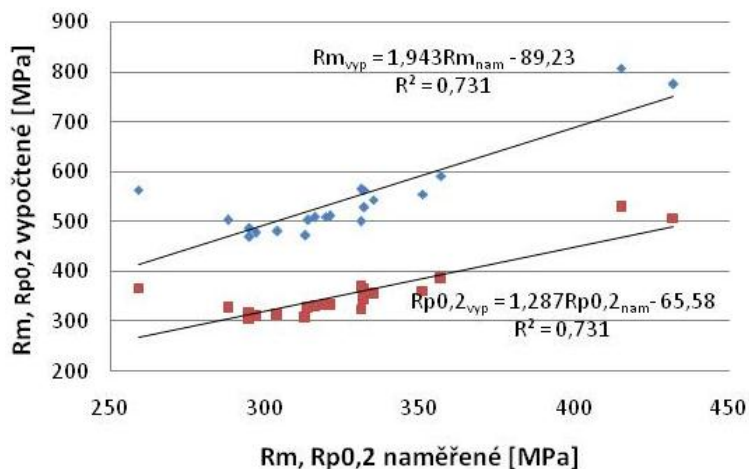
$$R_m = 884,1 \cdot \%C + 325,1 \quad (1)$$

$$R_{p0,2} = 585,9 \cdot \%C + 209 \quad (2)$$

$$A_5 = -90,67 \cdot \%C + 42,72 \quad (3)$$

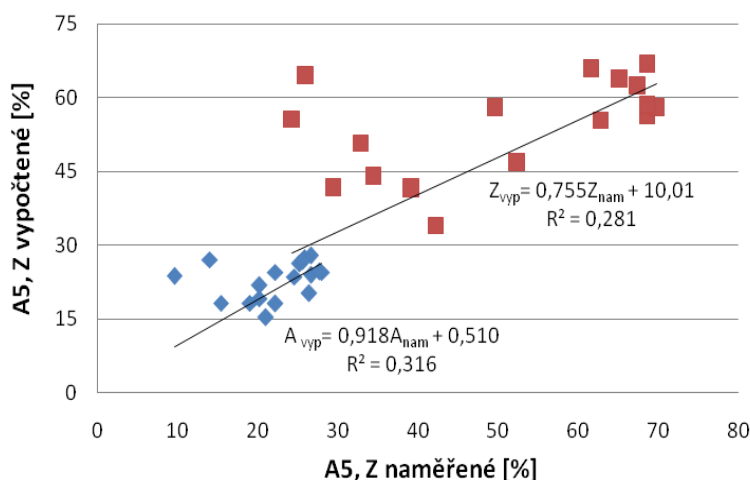
$$Z = -235,7 \cdot \%C + 105,2 \quad (4)$$

Pro naměřené hodnoty obsahu uhlíku byly u odlitku kruhu s použitím rovnic (1) a (2) vypočteny pevnostní hodnoty (R_m a $R_{p0,2}$). Vypočtené hodnoty pevnosti a meze kluzu byly porovnány s hodnotami naměřenými. Korelace mezi naměřenými a vypočtenými pevnostními hodnotami je uvedena na **obr. 5**. Obě závislosti jsou statisticky významné s koeficientem korelace pro hodnoty pevnosti v tahu $r = 0,85$ a pro hodnoty meze kluzu $r = 0,85$.



Obr. 5 Porovnání naměřených a vypočtených hodnot R_m a $R_{p0,2}$

Stejným způsobem byly vypočteny plastické hodnoty podle rovnic (3) a (4). Závislosti jsou graficky znázorněny na **obr. 6**. Závislost mezi vypočtenou a naměřenou hodnotou tažnosti je ve zvolené hladině statisticky významná (0,56). Závislost mezi vypočtenou a naměřenou hodnotou není ve zvolené hladině statisticky významná ($r=0,53$)



Obr. 6 Porovnání naměřených a vypočtených hodnot A5 a Z

4. SHRUTÍ A ZÁVĚR

Na základě měření odlitku a porovnání výsledků s výsledky získaných v předchozích pracích lze vyvodit několik dílčích závěrů:

1. U odlitků vyrobených z oceli zpracované na zařízeních sekundární metalurgie jsou při obsazích síry pod 0,002% segregace síry s hlediska jejího vlivu na mechanické vlastnosti u sledovaného odlitku technicky zanedbatelné.
2. Vlastnosti oceli naměřené při statické zkoušce v tahu u sledovaného odlitku korelovaly vyjma parametru zúžení s obsahem uhlíku.
3. Statistická významná závislost, vyjádřená hodnotou koeficientu lineární regrese, byla nejvyšší mezi obsahem uhlíku a hodnotou tvrdosti. Nižší hodnoty koeficientu regrese byly zjištěny u R_m a dále pak meze kluzu. Nejnížší hodnotu koeficientu dosahovala závislost mezi obsahem uhlíku a tažností.
4. Hodnoty pevnostních vlastností vypočtené podle regresních funkcí uvedených v dříve publikované práci pro podobné podmínky [4] korelovaly ve zvolené hladině statistické významnosti s naměřenými hodnotami meze pevnosti, meze kluzu a tažnosti.
5. Z provedené práce vyplývá, že za sledovaných podmínek má na sledované mechanické vlastnosti nejvyšší vliv segregace uhlíku, který je významnější ve sledované oblasti nálitku než vliv slévárenských vad.

PODĚKOVÁNÍ

Příspěvek byl zpracován za podpory MPO v rámci projektu, ev. č. FR-TI2/091 - Vývoj technologie těžkých odlitků pro energetiku a všeobecné strojírenství.

LITERATURA

- [1] BRHEL, J., SOBOLA, A.. Náhrada výkovků odlitky. *Slévárenství*, 1981, roč. 29, č. 8 str. 321 až 325.
- [2] SOBOLA, A., HRON, M.: Vliv tloušťky zkušebního bloku na mechanické vlastnosti ocelí. *Slévárenství*, 1981, roč. 29, č. 8 str. 326 až 329.
- [3] ZÁDĚRA, A.; ŠENBERGER, J.; PLUHÁČEK, J.; CARBOL, Z. *Solidification of heavy castings. Archives of foundry engineering*. 2011. 11(1). p. 109 - 112. ISSN 1897-3310.
- [4] ŠENBERGER, J.; a kol. Segregace v masivních odlitcích a její vliv na vlastnosti materiálu. In *Teorie a praxe výroby a zpracování oceli Sborník přednášek*. Ostrava, TANGER spol. s.r.o. 2011. p. 63 - 69. ISBN 978-80-87294-21-5.

BEZKONTAKTNÍ MĚŘENÍ TEPLOTY VE VÝROBĚ A ZPRACOVÁNÍ OCELI

Vladimír HUBÍK, Libor KELLER

TSI System s.r.o., Mariánské nám. 1, 617 00 Brno, 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.

Non-contact temperature measurement, non-contact thermometer, pyrometer, ratio pyrometer, line temperature scanner.

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 TEPLOMĚŘŮ

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 odolnosti 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 tlačítky pro ruční nastavení a signalizační dioda. Uvnitř je vlastní elektronika a konektor rozhraní USB. Box má tři kabelové vývodky 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 pouzdru 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 zatlumení 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 hlavice. 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.

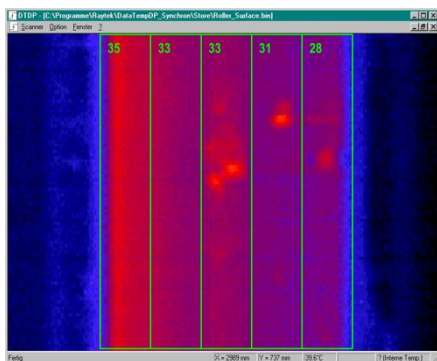
8. ŘÁDKOVÉ TEPLOTNÍ SKENERY

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

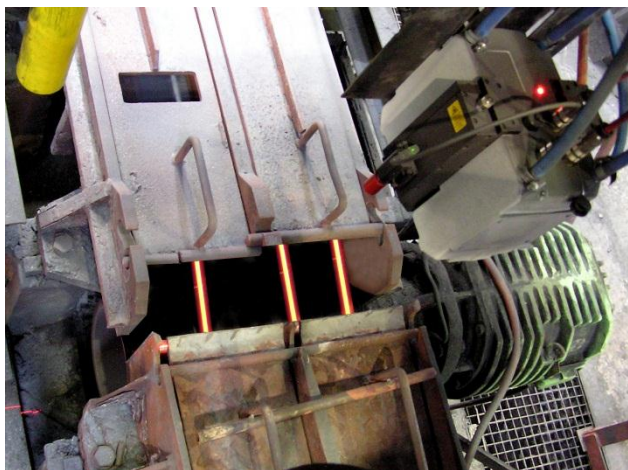
Skener MP 150 může být provozován v samostatném režimu, kdy je spojený s vlastním počítačem, nebo může být integrován do řídicího systému výrobního procesu. V obou případech komunikuje prostřednictvím průmyslového programu DataTemp DP v operačním systému Windows. Program slouží pro konfiguraci skeneru 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 TEPLOTNÍCH 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 tratí.



Obr. 9 Řádkový teplotní skener ve válcovací trati

10. 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

- [1] Firemní literatura Raytek

VÝVOJ TECHNOLOGIE VÝROBY A TEPELNÉHO ZPRACOVÁNÍ VÝKOVKŮ Z DUPLEXNÍ OCELI

DEVELOPMENT OF PRODUCTION TECHNOLOGY AND HEAT TREATMENT OF DUPLEX STAINLESS STEEL FORGINGS

Ing. Martin BALCAR¹⁾, Ing. Libor SOCHOR¹⁾, Ing. Jaroslav NOVÁK¹⁾, Ing. Ludvík MARTÍNEK, Ph.D.¹⁾,
Ing. Pavel FILA¹⁾, Ing. Josef SVATONĚ¹⁾, Václav TURECKÝ¹⁾, Ing. Petr MARTÍNEK²⁾, Ing. Pavel PODANÝ, Ph.D.²⁾

¹⁾ ŽĐAS, a.s., Strojírenská 6, 591 71 Žďár nad Sázavou, ČR, libor.sochor@zdas.cz

²⁾ COMTES FHT a.s., Průmyslová 995, 334 41 Dobřany, ČR, Petr.Martinek@comtesfht.cz

Abstrakt

S rozvojem těžby ropy a zemního plynu z pobřežních nalezišť rostou požadavky na materiály schopné odolávat korozním účinkům mořské vody. Duplexní oceli představují skupinu materiálů, které vykazují zajímavou kombinaci pevnostních vlastností a odolnosti proti chloridy iniciovanému koroznímu praskání. Výroba duplexních ocelí v podmínkách ŽĐAS, a.s. zahrnuje technologii primární a sekundární metalurgie. Pro výrobu základní taveniny jsou využívány elektrické obloukové pece o hmotnosti tekutého kovu 14 až 20 tun. Následné zpracování taveniny probíhá na zařízení sekundární metalurgie, pánvové peci LF a technologickém zařízení VD/VOD. Pro úspěšnou realizaci hmotných výkovků produkovaných technologií volného kování je nezbytné dodržet specifické podmínky tváření a tepelného zpracování. Dosažená výsledná struktura duplexní oceli pak vykazuje feriticko-austenitickou strukturu bez přítomnosti nežádoucích intermetalických fází.

Development of offshore oil and natural gas production requires seawater corrosion resisting materials. Duplex stainless steels represent a group of materials that show an interesting combination of strength properties and resistance to stress-corrosion cracking initiated by chlorides. The production of duplex stainless steel in ZDAS Inc. includes primary and secondary metallurgic processes. Concerning the production of the basic liquid metal, the electric arc furnaces with capacities of 14 to 20 tons of a melt are used. The processing of liquid metal takes place in the secondary metallurgy equipment (LF, VD/VOD). For successful realization of heavy forgings made by open-die forging technology it is necessary to observe the specific conditions of forming and heat treatment. The achieved microstructure of duplex stainless steel then shows a uniform proportion of ferritic and austenitic grains without undesirable intermetallic phases.

Klíčová slova: Duplexní ocel, výkovek, tepelné zpracování, mechanické vlastnosti

Keywords: Duplex Stainless Steel, Forging, Heat Treatment, Mechanical Properties

1. ÚVOD

Ověření možností výroby volně kovaných výkovků z duplexních ocelí v podmínkách ŽĐAS, a.s. bylo na základě požadavků trhu a ve snaze o rozšíření výrobního sortimentu zahájeno v roce 2010. Postup experimentálních prací byl realizován v souladu s plánem řešení výzkumného projektu FR-TI1/222.

2. VÝROBA OCELI A ODLÉVÁNÍ INGOTŮ

Výroba duplexních ocelí v podmínkách ŽŽAS, a.s. předpokládá využití zařízení primární a sekundární metalurgie. Pro výrobu základní taveniny jsou využívány elektrické obloukové pece s kapacitou 14 až 20t. Následné zpracování na zařízení sekundární metalurgie vyžaduje při výrobě duplexních ocelí zpracování na pánvové peci LF (Ladle Furnace) a zařízení pro vakuové zpracování oceli technologií VOD (Vacuum Oxygen Decarburisation) a VD (Vacuum Degassing).

V rámci experimentálních prací bylo provedeno ověření možností výroby duplexní oceli typu X2CrNiMoN2253 dle EN10088-3 [1]. Chemické složení oceli X2CrNiMoN2253 dle EN10088-3 uvádí tab. 1.

Tabulka 1 Základní chemické složení oceli typu X2CrNiMoN2253 dle EN10088-3 [1]

Table 1 Chemical composition of steel grade X2CrNiMoN2253 acc. EN10088-3 [1]

	Koncentrace prvků (hm. %)								
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	N
min.	max.	max.	max.	max.	max.	21.00	4.50	2.50	0.10
max.	0.03	2.00	1.00	0.035	0.015	23.00	6.50	3.50	0.22

Z hlediska požadovaného chemického složení, uvedeném v tabulce 1, patří duplexní ocel X2CrNiMoN2253 do skupiny vysoce legovaných Cr – Ni – Mo ocelí s velmi nízkou koncentrací uhlíku a zvýšeným obsahem dusíku. Součástí požadavku na chemické složení je dosažení ekvivalentu odolnosti proti důlkové korozi PRE = Cr + 3,3 · Mo + 16 · N > 35 (*Pitting Resistance Equivalent*). Dosažené chemické složení experimentální tavby o hmotnosti 16,4 tuny dokládá tab 2.

Tabulka 2 Základní chemické složení experimentální tavby oceli typu X2CrNiMoN2253

Table 2 Chemical composition of experimental heat – steel grade X2CrNiMoN2253

Koncentrace prvků (hm. %)									
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	N	PRE
0.025	1.41	0.28	0.016	0.007	22.30	5.60	3.25	0.178	35.87

Výsledné základní chemické složení experimentální tavby duplexní oceli uvedené v tabulce 2 dokládá splnění požadavků na koncentrace legujících i doprovodných prvků. Současně bylo dosaženo požadované hodnoty ekvivalentu odolnosti proti důlkové korozi (PRE).

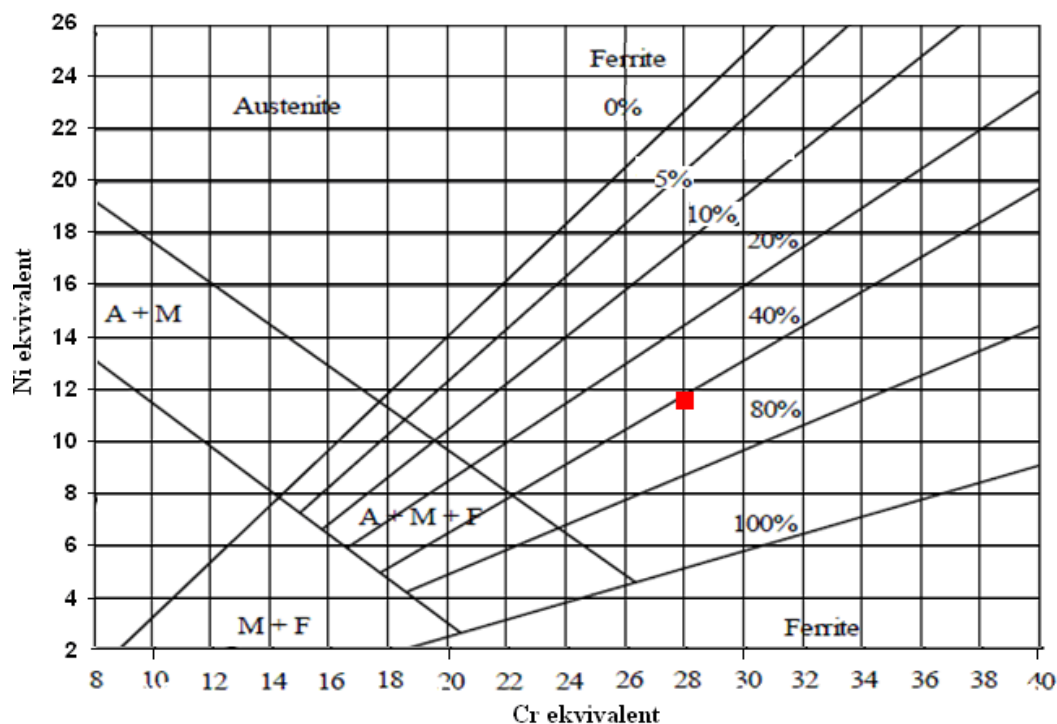
Vyrobená ocel byla odlita do kokil pro odlévání kovářských ingotů typu 8K o hmotnosti od 1000 do 3100kg. S využitím Schaefflerova diagramu [2] byla provedena kontrola chemického složení ve vztahu k předpokládané struktuře oceli, která je prováděna na základě výpočtu ekvivalentu chromu a niklu dle rovnic (1) a (2):

$$Cr_{ekvivalent} = Cr + 2 \cdot Si + 1,5 \cdot Mo + 5 \cdot V + 5,5 \cdot Al + 1,75 \cdot Nb + 1,5 \cdot Ti + 0,75 \cdot W \quad (1)$$

$$Ni_{ekvivalent} = Ni + Co + 0,5 \cdot Mn + 0,3 \cdot Cu + 25 \cdot N + 30 \cdot C \quad (2)$$

Schaefflerův diagram na obrázku 1 znázorňuje předpokládaný podíl feritické a austenitické fáze ve výkovku z duplexní oceli s chemickým složením dle tabulky 2.

Jak je zřejmé z obrázku 1, předpokládaná struktura duplexní oceli s chemickým složením dle tabulky 2 bude tvořena podílem více jak 40% feritické fáze v převažující austenitické struktuře.



Obr. 1 Schaefflerův diagram – předpokládaná struktura experimentální tavby [2]

Fig. 1 Schaeffler diagram – expected structure of experimental heat [2]

Ověření vlastností reálných výrobků z duplexní oceli bylo provedeno tvářením odlitých ingotů a vyhodnocením dosažených mechanických vlastností a struktury v předem definovaných místech zkoušení po průřezu výkovku.

3. TVÁŘENÍ A TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ VÝKOVKŮ

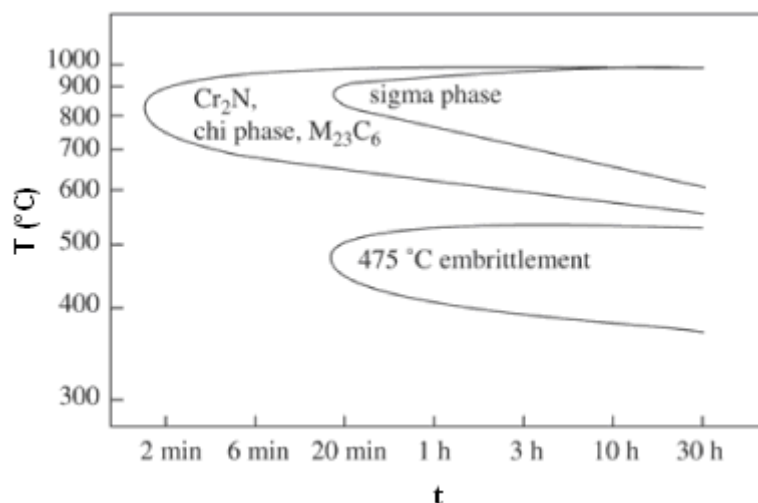
Problematika tváření duplexních ocelí představuje otázky spojené s teplotním režimem výkovku a zajištění dostatečných deformací bez rizika vzniku trhlin a prasklin. Teplotní režim tváření duplexní oceli musí zohlednit možnost výskytu nežádoucích intermetalických fází v oblasti teplot pod 950°C. Duplexní ocel typu X2CrNiMoN2253 vykazuje precipitaci nežádoucích fází v oblasti teplot podle precipitačního diagramu na obrázku 2 [3].

Jak je zřejmé z obrázku 2 teplota výkovku v průběhu tváření musí být udržována v oblasti teplot nad 950°C. Při poklesu teploty výkovku pod uvedenou hodnotu dochází ke změně struktury spojené se vznikem intermetalických fází. Přítomnost intermetalických fází ve struktuře duplexní oceli pak způsobuje výrazný pokles úrovně mechanických vlastností a korozní odolnosti finálního výrobku.

Přestože v oblasti teplot nad 950°C podle diagramu na obrázku 2 nelze předpokládat možnost vzniku intermetalických fází, byla vzhledem k provozním podmínkám výroby hmotných výkovků z duplexní oceli řešena otázka vlivu dlouhodobé výdrže výkovku v oblasti tvářecích teplot na strukturu výkovku.

Experimentální práce zaměřené na danou problematiku byly realizovány na výkovcích z oceli zkušební tavby s chemickým složením dle tabulky 2. Příprava deseti zkušebních vzorků o rozměrech 100x100x150mm probíhala tvářením ingotu 8K1.1 o hmotnosti 1000kg v oblasti teplot 1150 až 950°C s následným vychlazením na vzduchu. Ověření vlivu dlouhodobé výdrže na kovací teplotě pak spočívalo v následném

ohřevu zkušebních vzorků na teplotu 1180°C (teplota pece) s výdrží 2 až 20 hodin. Vzorky byly v daném rozpětí výdrže na teplotě vyjímány z pece v intervalu 2 hodin.



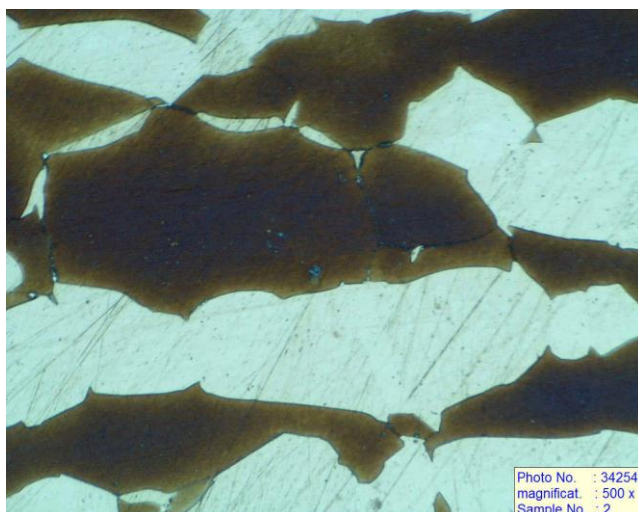
Obr. 2 Precipitační diagram oceli X2CrNiMoN2253 dle EN10088-3 [3]

Fig. 2 Precipitation diagram of the steel X2CrNiMoN2253 acc. EN10088-3 [3]

Obrázky 3 až 6 dokládají dosažené výsledné struktury výkovků oceli X2CrNiMoN2253 ve vybraných dobách výdrže na horní tvářecí teplotě. Analýza mikrostruktury byla provedena z osově části výkovků a metalografický výbrus byl zhotoven v podélném směru k ose původního ingotu.

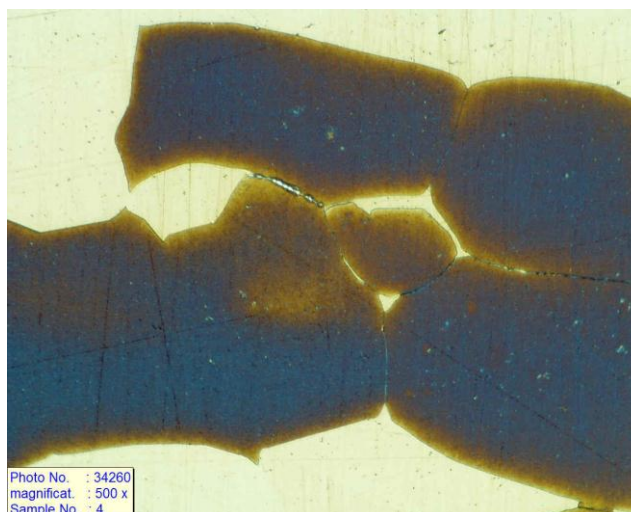
Jak je patrné z obr. 3 až 6, mikrostruktura všech analyzovaných vzorků je prakticky stejná. Struktura je tvořena feritickými a austenitickými zrny bez zřejmé přítomnosti intermetalických fází.

S ohledem na provozní podmínky, kdy dochází ke zpracování ingotů různých hmotností a průřezů, lze na základě výsledků experimentu konstatovat zanedbatelný vliv doby výdrže materiálu na horní tvářecí teplotě na riziko výskytu nežádoucích intermetalických fází.



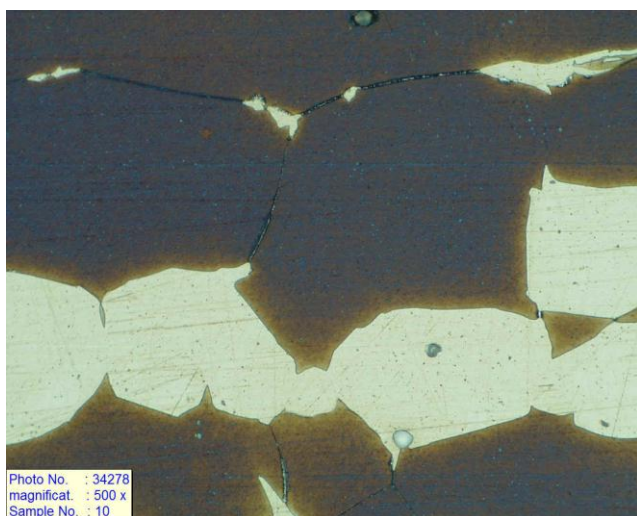
Obr. 3 Struktura oceli X2CrNiMoN2253 výdrž na horní tvářecí teplotě 4 hod/vzduch 500x

Fig. 3 Structure of steel X2CrNiMoN2253 dwell at the top forming temperature 4 hrs/air



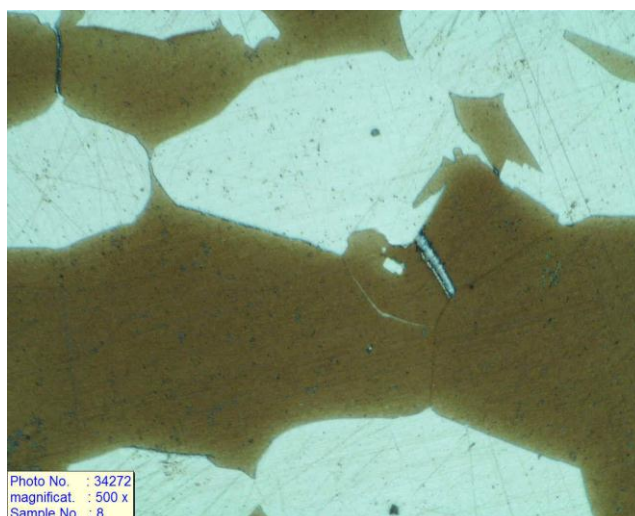
Obr. 4 Struktura oceli X2CrNiMoN2253 výdrž na horní tvářecí teplotě 8 hod/vzduch 500x

Fig. 4 Structure of steel X2CrNiMoN2253 dwell at the top forming temperature 8 hrs/air



Obr. 5 Struktura oceli X2CrNiMoN2253 výdrž na horní tvářecí teplotě 16 hod/vzduch 500x

Fig. 5 Structure of steel X2CrNiMoN2253 dwell at the top forming temperature 16 hrs/air



Obr. 6 Struktura oceli X2CrNiMoN2253 výdrž na horní tvářecí teplotě 20 hod/vzduch 500x

Fig. 6 Structure of steel X2CrNiMoN2253 dwell at the top forming temperature 20 hrs/air

4. VÝSLEDKY HODNOCENÍ EXPERIMENTÁLNÍHO VÝKOVKU Z DUPLEXNÍ OCELI

Experimentální práce pro ověření dosažených mechanických vlastností a struktury výkovku oceli X2CrNiMoN2253 byly realizovány na výkovku tyče průměru 345mm v délce 605mm. Základním požadavky na úroveň mechanických vlastností oceli X2CrNiMoN2253 dle EN 10088-3 uvádí tabulka 3.

Tabulka 3 Předpis mechanických vlastností duplexní oceli X2CrNiMoN2253 dle EN 10088-3

Table 3 Specification of mechanical properties - duplex steel X2CrNiMoN2253 acc. EN 10088-3

EN 10088-3	+20°C			
	Re	Rm	A	KV
	(MPa)	(MPa)	(%)	(J)
min.	450	650	25	100
max.	-	880	-	-

Uvedené požadavky na mechanické vlastnosti výkovků duplexní oceli X2CrNiMoN2253 dle EN 10088-3 jsou však vztaženy k maximálnímu rozměru výkovku do 160mm. Pro výkovky větších průřezů norma předepsané hodnoty mechanických vlastností neuvádí.

Při výrobě výkovků pro aplikaci v oblasti pobřežní těžby ropy a zemního plynu jsou požadovány výkovky větších průřezů a mechanické vlastnosti pak specifikují TDP odběratelů. Tabulka 4 uvádí konkrétní příklad standardních požadavků na výkovky z duplexní oceli X2CrNiMoN2253 určené pro segment pobřežní těžby ropy a zemního plynu.

Tabulka 4 Předpis mechanických vlastností výkovků duplexní oceli X2CrNiMoN2253 dle TDP

Table 4 Specification of mechanical properties of forgings made of duplex steel X2CrNiMoN2253 acc. customers requirement

TDP	+20°C				-46°C			
	Re	Rm	A	Z	Podélná		Příčná	
					Jednotlivě	Průměr	Jednotlivě	Průměr
	(MPa)	(MPa)	(%)	(%)	(J)	(J)	(J)	(J)
min.	450	620	25	45	35	45	20	27

Proti požadavkům na úroveň mechanických vlastností výkovků oceli X2CrNiMoN2253 dle normy EN10088-3 požadují TDP pro aplikace pobřežní těžby ropy a zemního plynu hodnocení houževnatosti oceli při teplotě – 46°C. Uvedené podmínky proto byly definovány jako základní kritérium hodnocení úspěšnosti výroby z hlediska dosažení požadovaných mechanických vlastností.

Vstupní polotovary pro výrobu experimentálního výkovku byl kovářský ingot typu 8K1,7 o hmotnosti 1390kg. Ingot byl zpracován volným kováním v oblasti teplot 1150 až 950°C. Technologie tváření zahrnovala petchování a kování na rozměr s přídavkem na opracování. Dosažený stupeň prokování činil $p_k = 5,6$. Po ukončení procesu tváření byl výkovek vychlazen na vzduchu. Následovalo opracování a tepelné zpracování, rozpouštěcí žhání. Předpis normy EN10088-3 uvádí pro rozpouštěcí žhání rozpětí teplot 1020 až 1100°C. Experimentální výkovek byl tepelně zpracován na spodní teplotě rozpouštěcího žhání 1020°C s následným ochlazením do vody.

Hodnocení mechanických vlastností a struktury výkovku bylo provedeno v místech 100mm od čela výkovku v hloubce $\frac{1}{2}$ a $\frac{1}{4}$ průměru výkovku v podélném a příčném směru. Dosažené hodnoty mechanických vlastností výkovku podle místa a směru zkoušení uvádí tabulka 5.

Tabulka 5 Mechanické vlastnosti experimentálního výkovku z duplexní oceli X2CrNiMoN2253

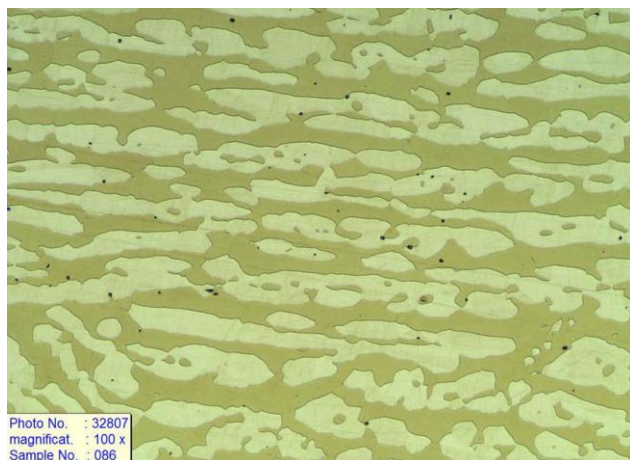
Table 5 Mechanical properties of the experimental forging made of duplex steel X2CrNiMoN2253

Směr	Místo zkoušení	20°C				-46°C						
		Re	Rm	A	Z	KV1	KV2	KV3	KV4	KV5	KV6	Průměr
		(MPa)	(MPa)	(%)	(%)	(J)	(J)	(J)	(J)	(J)	(J)	(J)
Podélná	1/4T	554	702	43.8	71.3	98	112	88	90	89	111	98
	1/2T	554	716	42.8	72.1	95	83	57	71	73	53	72
Příčná	1/4T	570	724	37.0	70.4	40	68	50	61	58	41	53
	1/2T	554	727	37.0	68.6	44	35	35	38	27	32	35

Z tabulky 5 vyplývá dosažení vyhovujících pevnostních vlastností experimentálního výkovku v obou místech i směrech zkoušení dle specifikace uvedené v tabulce 4. Mez kluzu a mez pevnosti výrazně převyšuje požadované minimální hodnoty jak podle normy EN10088-3 tak podle požadavků TDP. Hodnoty nárazové práce při zkoušení za teploty –46°C vyhovují požadavkům TDP.

K dalším kvalitativním parametrům výkovků z duplexní oceli patří hodnocení struktury, stanovení podílu feritické fáze. Struktura nesmí vykazovat přítomnost intermetalických fází.

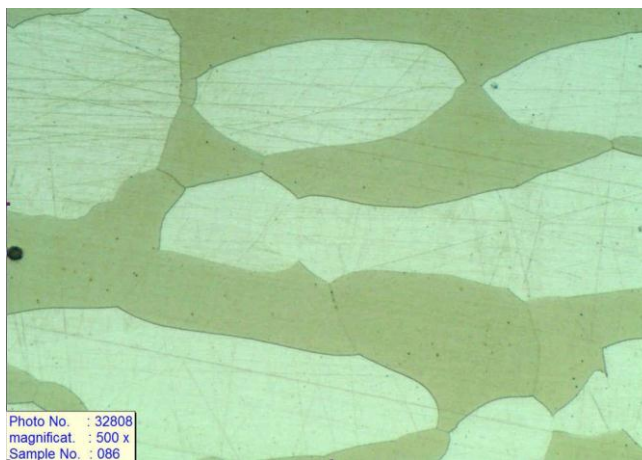
Analýza struktury výkovku a podílu feritu byla provedena v místě odpovídajícím $\frac{1}{2}$ průměru výkovku. Obrázky 7 a 8 dokládají výslednou strukturu experimentálního výkovku.



Obr. 7 Struktura výkovku duplexní oceli

Fig. 7 Structure of the forging

$\frac{1}{2}$ T – 100x



Obr. 8 Struktura výkovku duplexní oceli

Fig. 8 Structure of the forging

$\frac{1}{2}$ T – 500x

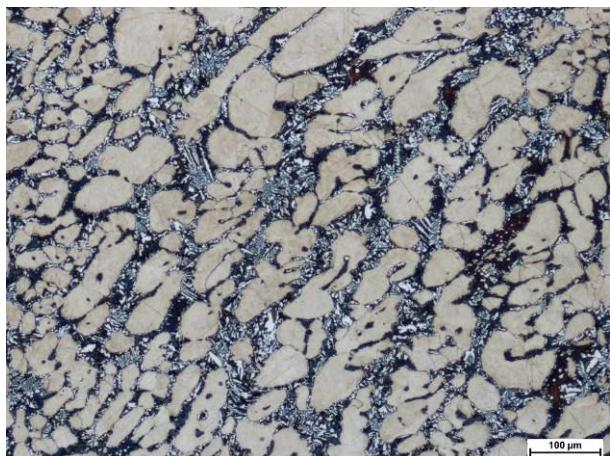
Pomocí obrazové analýzy LECO IA32 byl stanoven 50,0 % podíl feritické fáze ve dvoufázové feriticko-austenitické struktuře. Výsledky měření tak prokázaly možnost výroby a dosažení požadovaných mechanických i strukturních vlastností hmotných volně kovaných výrobků z duplexní oceli X2CrNiMoN2253 dle EN 10088-3 a specifikací zákazníků s uplatněním v podmínkách pobřežní těžby ropy a zemního plynu.

6. LABORATORNÍ ANALÝZA INTERMETALICKÝCH FÁZÍ V DUPLEXNÍ OCELI X2CRNIMON2253

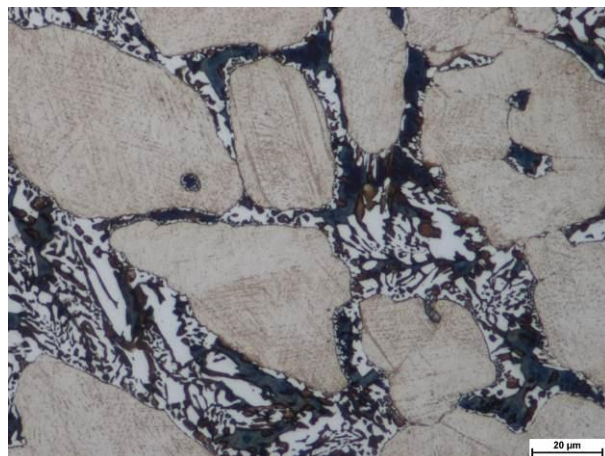
Vývoj technologie výroby výkovků duplexní oceli X2CrNiMoN2253 dle EN 10088-3 byl rovněž zaměřen na problematiku výskytu intermetalických fází (χ fáze, σ fáze). Základním cílem experimentu bylo uměle vyvolat intermetalické fáze ve dvoufázové feriticko-austenitické struktuře a získat tak znalost o stavu materiálu v případě nevyhovující struktury duplexní oceli.

Podmínky pro tvorbu intermetalických fází v původní vyhovující feriticko-austenitické struktuře výkovku experimentální tavby s chemickým složením dle tabulky 2 spočívaly v ohřevu vzorku duplexní oceli o rozměrech 25 x 25 x 25mm na teplotu 750°C s výdrží po dobu 48 hodin s následným ochlazováním na vzduchu.

Následně byla provedena metalografická šetrná struktura se zaměřením na kvantitativní a kvalitativní hodnocení intermetalických fází. Pro vyvolání mikrostruktury bylo použito činidlo Beraha II + K₂S₂O₅. Výslednou strukturu dokladují obrázky 9 a 10.



Obr. 9 Beraha II + $K_2S_2O_5$, 100x

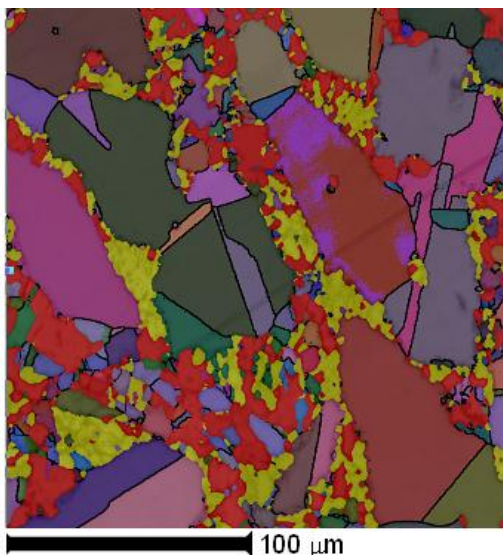


Obr. 10 Beraha II + $K_2S_2O_5$, 500x

Jak je zřejmé z obrázků 9 a 10, jednotlivé fáze jsou dostatečně kontrastní, intermetalické fáze (χ -fáze, σ -fáze) mají při použití činidla Beraha II + $K_2S_2O_5$ bílý odstín, ferit je modrý nebo hnědý a austenitická zrna jsou šedá.

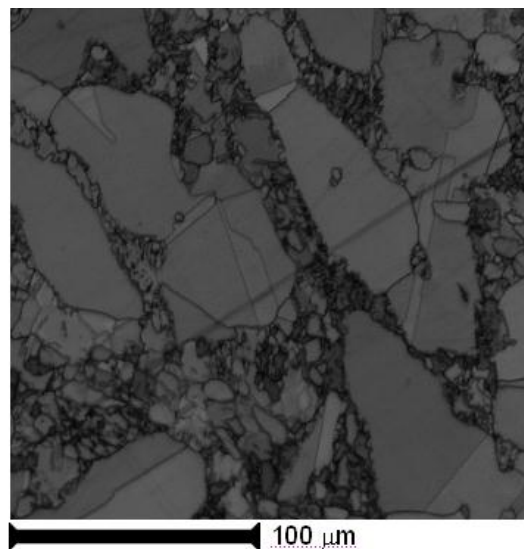
Krystalografická data o studovaného vzorku byla získána za použití techniky difrakce zpětně odražených elektronů (EBSD), která je založena na analýze Kikuchiho linií vystupujících z povrchu silně nakloněného vzorku v komoře SEM. Pomocí EBSD analýzy byl stanoven podíl jednotlivých fází z oblasti o rozměrech $400 \times 200 \mu m$.

Ukázka mapy z EBSD analýzy, na které byl hodnocen podíl intermetalických fází je zobrazen na obrázku 11. Obrázek 12 zobrazuje mapu kvality difrakce. Hodnoty podílu fází zjištěné EBSD analýzou byly následující: 12,5% Ferit, 72,8% Austenit, 14,7% intermetalické fáze.



Obr. 11 EBSD: Ferit - červený, σ fáze žlutá, austenit - dle orientace

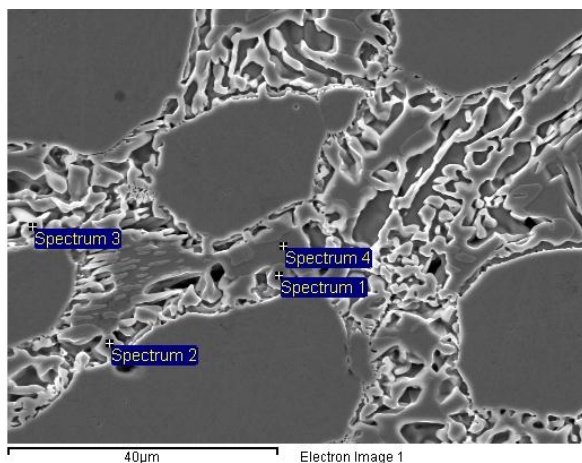
Fig. 11 EBSD: Ferrite – red, σ phase – yellow, austenite – acc. orientation



Obr. 12 Mapa kvality difrakce

Fig. 12 Maps of diffraction quality

V dalším kroku bylo provedeno vyhodnocení struktury oceli v oblasti výskytu intermetalických fází s využitím EDX analýzy. Obrázek 13 dokladuje vzhled struktury a měřená místa pro stanovení chemického složení.



Obr. 13 Struktura duplexní oceli s výskytem

intermetalických fází – EDX – kyselina šťavelová

Fig. 13 Structure of duplex steel with occurrence of inter-metallic phases – EDX – oxalic acid

Tabulka 6 Chemické složení intermetalických fází v duplexní oceli X2CrNiMoN2253 – EDX

Table 6 Chemical composition of inter-metallic phases in duplex steel X2CrNiMoN2253 – EDX

	(hm. %)				
	Cr	Mn	Ni	Mo	Fe
Spectrum 1	17.2	1.2	6.6	0.9	Rest.
Spectrum 2	16.6	1.6	6.6	1.4	Rest.
Spectrum 3	17.5	1.7	7.3	2.0	Rest.
Spectrum 4	21.1	1.2	1.7	0.8	Rest.

Výsledky EDX analýzy v tabulce 6 dokladují významné odchylky chemického složení měřených míst proti chemickému složení oceli uvedeném v tabulce 2. Výskyt intermetalických fází rozložených na hranici austenitického zrna a zasahujících feritické zrna zásadně mění charakter struktury duplexní oceli. V souvislosti s výskytem intermetalických fází (χ fáze, σ fáze), jejichž chemické složení je podobné, založené na přítomnosti železa, chromu a molybdenu, lze předpokládat podstatný pokles užitečných vlastností finálního výrobku, zejména mechanických vlastností a korozní odolnosti [5].

7. ZÁVĚR

Experimentální práce zaměřené na možnost výroby volně kovaných výkovků z duplexních ocelí v podmínkách ŽĐAS, a.s. prokázaly úspěšné splnění požadavku na mechanické vlastnosti finálního výkovku z duplexní oceli X2CrNiMoN2253 dle EN 10088-3. Při dodržení specifických podmínek tváření a tepelného zpracování bylo rovněž dosaženo vyhovující dvoufázové struktury u hmotného volně kovaného výrobku z duplexní oceli.

Práce v oblasti analýzy intermetalických fází v duplexní oceli přispěly k rozšíření znalostí o vzhledu struktury nevhodně zpracovaného polotovaru. Na základě dokumentace výsledků je možné v provozních podmínkách provádět metalografická hodnocení struktury výkovků se zaměřením na kontrolu výskytu intermetalických fází.

Kvalifikace ŽĐAS, a.s. do segmentu trhu s výrobky z duplexních ocelí vyžaduje respektování podmínek současných odběratelů a předpokládá pokračování spolupráce s vysokými školami a výzkumnými pracovišti.

PODĚKOVÁNÍ

Práce byla řešena v rámci programu TIP projektu FR-TI1/222 PROGRESTEEL za finanční podpory Ministerstva průmyslu a obchodu České republiky.

In the paper result obtained in the TIP programme of the FR-TI1/222 PROGRESTEEL project are presented. The project was realized with financial support of the Ministry of Industry and Trade of the Czech Republic.

LITERATURA

- [1] EN10088-3 Korozivzdorné oceli – Část 3: Technické dodací podmínky pro polotovary, tyče, dráty, tvarovou ocel a lesklé výrobky z ocelí odolných korozi pro všeobecné použití
- [2] <http://www.docstoc.com/docs/54839884/Application-of-the-Schaeffler-diagram>
- [3] http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-14392002000300026
- [4] Martínek, P., Míšková, J., Dlouhý, J.: Technická zpráva 2011-074: Metalografický rozbor duplexních ocelí. COMTES FHT, a.s. 2011. 26s.
- [5] Sochor, L., Balcar, M., at al.: Vývoj technologie výroby a tepelného zpracování výkovků z duplexní oceli. Kovárenství říjen 2011/42. s. 4 – 9. ISSN 1213-9289

INTENZIFIKACE PROCESU TAVENÍ V EOP NA ELEKTROOCELÁRNĚ ŽĐAS, A.S.

Pavel FILA^a, Oldřich SUCHÝ^a, Martin BALCAR^a, Ludvík MARTÍNEK^a, Jaroslav BRHEL^b, Aleš KOSEK^b

^a ŽĐAS, a.s. Strojírenská 6, 59171 Žďár nad Sázavou

^b PTI Europe s.r.o.

Abstract

V lednu 2012 bylo na elektroocelárně ŽĐAS, a.s. uvedeno firmou PTI Europe s.r.o. do zkušebního provozu multifunkční zařízení určené jednak k intenzifikaci tavení vsázky na elektrické obloukové peci, ale současně umožňující aplikaci technologie pěnivé strusky. Referát obsahuje popis zařízení včetně hlavních parametrů, předpokládané přínosy, ale především první provozní zkušenosti a dosahované výsledky.

1. ÚVOD

V elektroocelárně ŽĐAS, a.s. proběhla v předchozích letech rozsáhlá modernizace, při které došlo k výraznému rozšíření technologických možností výroby elektrooceli, směřované především do oblasti zvýšení její jakosti. Nemalý důraz je kladen i na intenzifikaci výroby zvyšováním produktivity resp. výrobnosti zařízení a jeho vytížení, při současném snižování nákladů. Pozornost je v tomto směru zaměřována na největší ze tří elektrických obloukových pecí ocelárny – EOP č.2 s hmotností tavby 18 – 22 tun s pecním transformátorem s kapacitou 7.5MVA

2. VÝCHOZÍ STAV

Z hlediska intenzifikačních prvků využívá EOP č.2 systém půdního dmýchání inertního plynu, s možností volby Ar/N₂ pomocí dvou excentricky v nížeji pece uložených půdních dmyšen (DPP systém).

Dalším intenzifikačním prvkem používaným na všech EOP je plynný kyslík. Pro ruční dmýchání kyslíku v oxidační periodě tavby je využívána průmyslově vyráběná speciálně povrchově upravená tavná ocelová trubka (výrobce fa. DAIWA - Japonsko). Kromě oxidační fáze tavby, kdy je kyslík dmýchán přímo do lázně, je kyslík tímto způsobem využíván rovněž k intenzifikaci tavení vsázky pálením šrotu sázecím otvorem resp. struskovými dvířky.

3. NÁVRH NOVÉ INTENZIFIKACE

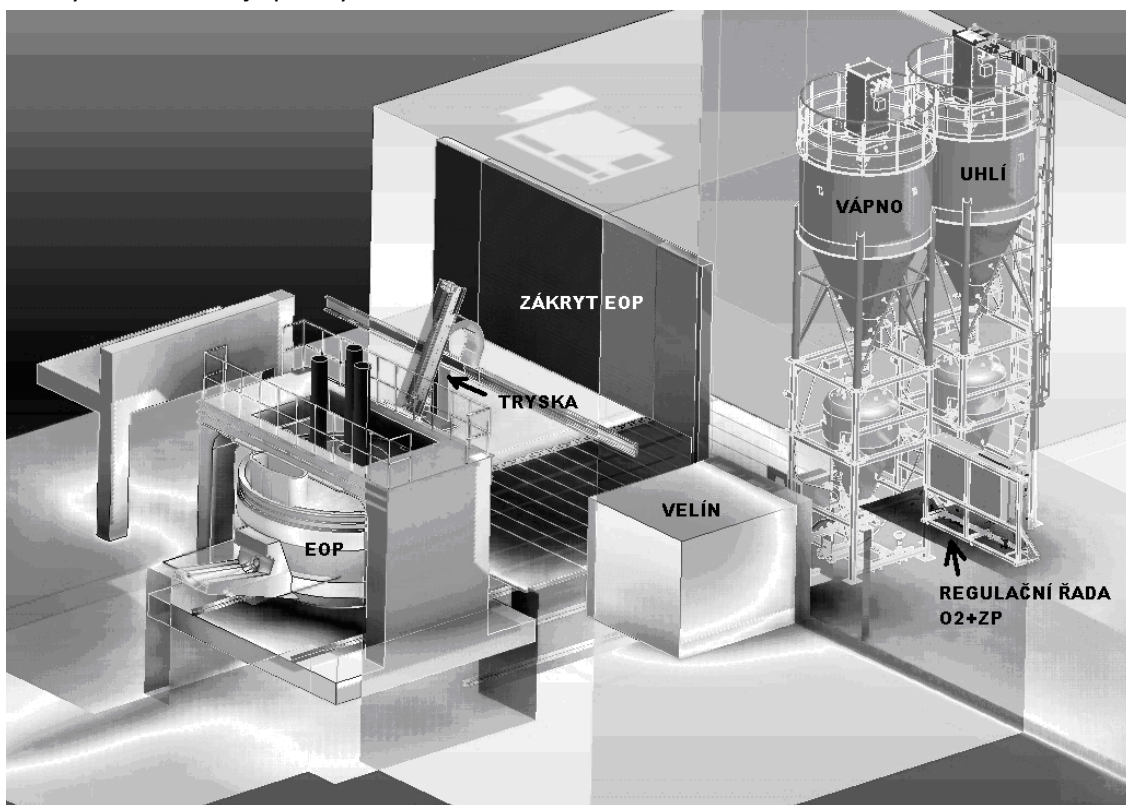
Na základě zadávací dokumentace s názvem „Inovace procesu natavování vsázky v EOP“ a na základě následných jednání a konzultací, provedla firma PTI Europe s.r.o. analýzu a připravila několik návrhů možných řešení intenzifikace pece s využitím technologie pěnivé strusky.

Konstrukce pece s vyjíždějí vanou, ale především prostorová omezení, vyžadovaly řešení speciálně uzpůsobené této situaci. Běžně používané manipulátory před pecí nebyly pro tento případ vhodné z několika důvodů:

- celá pec vyjíždí pro sázení vsázky směrem dopředu
- roleta (posuvná podlaha) před pecí neumožňuje instalaci žádných pevných zařízení

- prostor u pece je příliš malý a úzký pro instalaci otočného ramene manipulátoru
- další úzkým místem je dosažení strmého úhlu kyslíkové trysky vůči hladině oceli struskovými dvířky pro efektivní průnik kyslíku do lázně

Vzhledem k těmto omezením bylo nejvhodnější variantou umístění pohyblivé kyslíkové trysky kombinované s hořákem a tryskou pro uhlí nebo vápno na portál pece a průchod do pece pak řešit novým otvorem ve víku. Celkový návrh řešení je patrný z Obr. 1.



Obr. 1 Návrh intenzifikace EOP č.2 ve ŽĐAS, a.s.

Přívody kyslíku, plynu, uhlí/vápna, chladicí vody a hydraulika jsou vedeny potrubím uchyceným na portálu pece a dále pak pružnými hadicemi mimo prostor pece kde pokračují pevné potrubní rozvody jednotlivých médií. Zařízení pro dávkování uhlí a vápna je umístěno vedle rolety pece. Regulační řada kyslíku a plynu i hydraulická jednotka pro pohyb manipulátoru byla umístěna na plošině mimo prostor pece.

4. NUTNÉ ÚPRAVY V PRŮBĚHU REALIZACE

Víko pece

V první fázi realizace bylo nutné upravit stávající konstrukci víka pece ve smyslu:

- úpravy systému zvedání víka s cílem vytvoření prostoru pro odvod spalin
- návrhu otvoru pro odvod spalin ve víku s vodou chlazeným komínem (čtvrtý otvor)
- návrhu otvoru pro vstup pracovních trysek (pátý otvor)

Portál pece

Na stávající portál pece byla upevněna plošina pro manipulátor, potrubní rozvody chladící vody, vzduchu, kyslíku, plynu, uhlí, vápna a hydrauliky pro ovládání trysky.

Struskový vůz a koš

Technologie pěnivé strusky vyžaduje větší objem struskového koše pro její zachycení. Byly tedy navrženy a vyrobeny nové struskové koše s přibližně dvojnásobným objemem. Vzhledem ke hmotnosti nového koše musel být vyroben i nový struskový vůz.

Stavební část

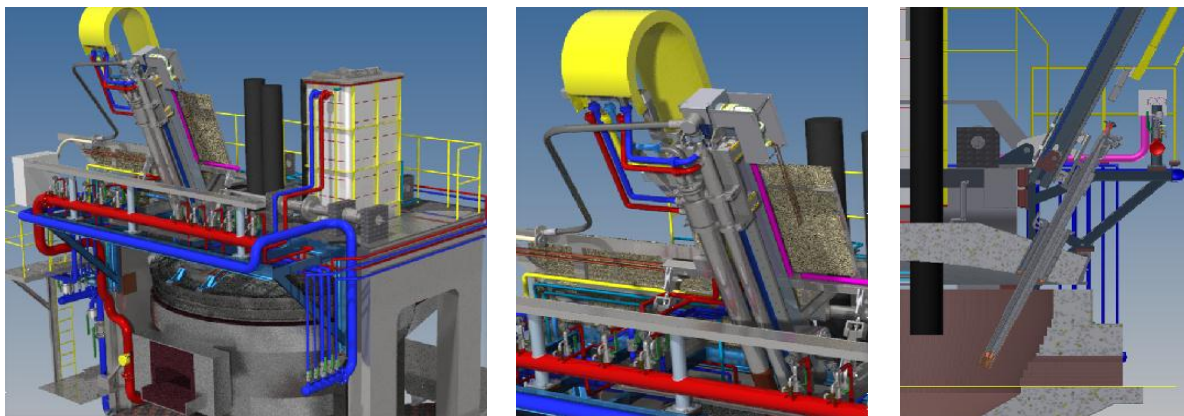
Bylo nutné vybudovat nové základy pro instalaci dopravních strojů a skladovacích sil pro uhlí a vápno. Současně musela být prohloubena jáma z důvodu hlubšího struskového koše, který se pohybuje na kolejovém struskovém voze pod pecí.

Chladící voda

Stávající rozvody chladící vody včetně odpadů byly z kapacitních důvodů nedostatečné a bylo nutné je kompletně rekonstruovat.

5. POPIS ZAŘÍZENÍ A JEHO PARAMETRY

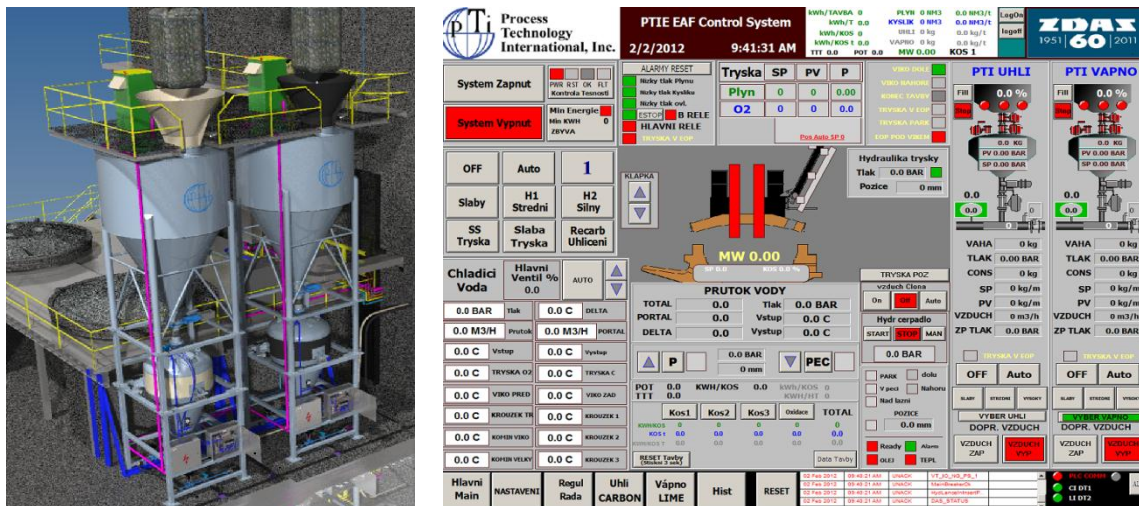
Zařízení se skládá z jedné vodou chlazené kyslíkové trysky kombinované s hořákem, která je připevněna k manipulátoru s hydraulickým pohonem. Hydromotor ovládá přímočarý pohyb trysky víkem do pece a zpět. Dále je manipulátor osazen druhou samostatnou, vodou chlazenou tryskou pro dopravu uhlí nebo vápna. Pro snadné ovládání je manipulátor vybaven koncovými spínači včetně plynulého snímače polohy trysky. Schéma umístění zařízení na portálu pece je znázorněno na Obr.2



Obr. 2 Schéma umístění technologie na portálu EOP

Regulační řada zajišťuje plynulou regulaci a řízení průtoku zemního plynu a kyslíku pro hořák a dále pak regulaci kyslíku pro ultrasonickou trysku. Maximální průtok kyslíku je pro tuto 20t pec omezen na 700 Nm³/h, zemní plyn na max. 250 Nm³/h (2.5 MW).

Zařízení pro injektáž prachového uhlí o zrnitosti 0,5 – 3,0mm má dopravní kapacitu 10÷40kg/min. Systém pro dmychání vápna je v principu podobný, přičemž dopravní kapacita vápna o zrnitosti 2 - 12mm je v rozsahu 30÷80kg/min.



Obr. 3 Zásobník vápna a uhlí + Hlavní obrazovka řídicího systému

Řídicí systém na je vybaven PLC jednotkou Siemens S7-300 přičemž hlavní parametry procesu jsou zobrazovány a vlastní ovládání je realizováno prostřednictvím vizualizačního software InTouch na obrazovce počítače ve velínu pece - Obr.3. Klíčové parametry procesu jsou nepřetržitě zaznamenávány do grafů trendů těchto hodnot.

6. POPIS TECHNOLOGIE A PROVOZOVÁNÍ

V první fázi tavení je zařízení (multifunkční kopí – MFK) provozováno v režimu hořáku pro přehřev a tavení ocelového šrotu. V závislosti na postupu tavení hořák / tryska postupně sjíždí níže do pece. Jakmile je vytvořena hladina oceli, tryska je přiblížena do vzdálenosti cca 200 mm nad hladinu a z režimu hořáku je přepnuta do nadzvukové koherentní trysky s rychlostí 2.3 Mach pro dmychání kyslíku do oceli. Zároveň je zahájeno dmychání prachového uhlí případně vápna pro vytvoření pěnivé strusky. Stávající stahování strusky bylo z velké části nahrazeno sléváním napěněné strusky do zvětšeného struskového hoše. Obsluha zařízení probíhá z ovládacího pultu a obrazovky vizualizačního PC.

7. PŘEDPOKLÁDANÉ PŘÍNOSY

Předpokládané přínosy představené technologie lze obecně očekávat především ve:

- Zvýšení produktivity (zkrácení doby tavby, zvýšení výrobnosti)
- Snížení spotřeby elektrické energie
- Snížení spotřeby vyzdívky stěn a víka
- Zlepšené odfosfoření již během natavování

Významným principem, který je využíván, a ze kterého pramení úspory elektrické energie a nižší opotřebení vyzdívky pece je ochrana oblouku pěnivou struskou. Struska zabraňuje sálení tepla oblouku na stěny pece, snižuje opal elektrod a zvyšuje tepelný tok z oblouku do taveného materiálu resp. roztavené lázně.

Dalším významným přínosem aplikace technologie pěnivé strusky je skutečnost, že oxidační fáze tavby a odfosfoření taveniny může za daných podmínek probíhat dříve a to již ve fázi tavení. Z tohoto hlediska se očekává nižší obsah fosforu v 1. zkoušce po natavení.

Fosfor je u celé řady značek ocelí v konečném chemickém složení limitován na úrovni max. 0,005%. Proto je právě na tento efekt MFK kladen velký důraz.

8. PRVNÍ DÍLČÍ HODNOCENÍ PROVOZU

Instalace popsaného technologického zařízení byla zahájena 17. 12. 2011 aby po 4týdnech, konkrétně 17.1.2012, bylo multifunkční kopí uvedeno do zkušebního provozu.

V prvním krátkém hodnoceném období (1.-2.2012) bylo na EOP č.2 vyrobeno celkem 188 taveb přičemž multifunkční kopí bylo použito u 44 z nich.

Na prvních tavních byla ověřována funkčnost celého zařízení. V průběhu dalších taveb již bylo cílem najít optimální nastavení jednotlivých parametrů zařízení a vytvořit postupně sadu přednastavených programů v závislosti na vyráběné jakosti oceli, složení vsázky nebo počtu sázecích košů tak, aby na obsluhu zařízení zbyla „pouze“ povinnost vybrat z nabídky programů a v průběhu činnosti zařízení kontrolovat.

V tabulce č. 1 je uvedeno porovnání prvních dosahovaných výsledků při provozování multifunkčního kopí. Srovnávacím obdobím je druhá polovina roku 2011.

Tabulka 1 Hodnocení provozu multifunkčního kopí

Hodnocené kritérium		Období	
		VI. - XII. / 2011	I. - II. / 2012
Počet taveb LF/VD	-	373	44
Hmotnost tavby	t	20.0	19.9
Spotřeba el. energie EOP - tavení	kWh/t	467	410
Spotřeba el. energie EOP - celkem	kWh/t	637	571
Průměrný obsah P po natavení	hm. %	0.016	0.008
Průměrný čas tavení	min.	148	131

Provoz multifunkčního kopí byl na EOP ověřován na tavních vyráběných technologiích LF nebo VD tzn. na tavních bez redukční fáze tavby v EOP. Hmotnost tavby se prakticky nelišila a byla shodná s hmotností tavby ve srovnávacím období. Z hlediska spotřeby el. energie došlo k výraznému snížení a to v případě tavení o 57kWh/t a v případě celkové spotřeby na tavbu o 66kWh/t. Jedním z hlavních očekávaných přínosů bylo snížení obsahu P po natavení resp. v 1. zkoušce po natavení. V tomto případě došlo ke snížení o 50%. Intenzifikací údobí tavení došlo zároveň k jejímu zkrácení o 17 minut.

9. ZÁVĚR

První provozní výsledky unikátní aplikace, tzv. multifunkčního kopí, která inovuje a intenzifikuje proces natavování vsázky v elektrické obloukové peci, potvrzují dosažení předpokládaných přínosů. Další očekávané přínosy, ve vazbě na životnost vyzdívky pece, vyzdívky víka, propal vsázky,, bude možné hodnotit po uplynutí delšího období provozování. Součástí hodnocení budou i ekonomické přínosy.

VÝVOJ TECHNOLOGIE ODLÉVÁNÍ DUTÝCH INGOTŮ NA OCELÁRNĚ VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY A.S.

Pavel MACHOVČÁK^a, Zdeněk CARBOL^a, Aleš OPLER^a, Martin KORBÁŠ^a, Marek KOVÁČ^b, Vladimír KRUTIŠ^b

*VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY a.s., Ruská 2887/101, 706 02 Ostrava-Vítkovice, ČR,
pavel.machovcak@vitkovice.cz*

MECAS ESI s.r.o., Technická 2896/2, 616 69 Brno, ČR, marek.kovac@mecasesi.cz

Abstrakt

Na základě rostoucích požadavků na výrobu velkých dutých výkovků, tj. zejména plášťů, kroužků a případně dutých kladek byly ve společnosti VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY a.s. zahájeny práce na vývoji technologie odlévání dutých ingotů, tedy ingotů s dírou v jejich středu. Využití dutých ingotů jako polotovarů pro výrobu výše uvedených výkovků přináší nejenom ekonomickou úsporu, ale je také docíleno lepších kvalitativních parametrů na finálním výkovku. Vlastnosti výkovku jsou více homogenní ve všech směrech a rozsah segregací je výrazně menší než v případě použití klasických ingotů. Výkovky je pak možno použít pro nejnáročnější požadavky, včetně aplikací pro jadernou energetiku z důvodu jejich větší bezpečnosti a životnosti. Při vývoji technologie odlévání dutých ingotů bylo využito numerických simulací průběhu odlévání a tuhnutí ingotů, na základě kterých byla poté vybrána varianta líc sestavy, která byla nakonec ověřena v praxi při provozních tavebách. Článek popisuje zkušenosti se zaváděním technologie odlévání dutých ingotů, jejich kování a vyhodnocení prvních zkušebních dutých ingotů.

Development of technology hollow ingots casting began in VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY a.s. based on the growing demands for production of large hollow forgings, i.e. in particular shells, or hollow rings and pulleys. The use of hollow ingot as a semi-finished product for the production of forgings mentioned above brings not only economic efficiency but also achieves better quality parameters in the final forgings. Forging properties are more homogeneous in all directions and the scale of the segregation is significantly smaller than in case using conventional ingots. Forgings can then be used for the most demanding requirements, including applications for nuclear power because of their greater safety and durability. Numerical simulations of casting and solidification was used during the development of hollow ingot casting technology. The final variant of casting system, which has been verified in practice, was chosen just based on these simulations. This paper describes experience with the introduction of hollow ingot casting technology and evaluation of the first tests of hollow ingots.

Klíčová slova: dutý ingot, odlévání ingotu, segregace, numerická simulace, provozní experiment

Keywords: hollow ingot, ingot casting, segregation, numerical simulation, test experiment

1. ÚVOD

Vývojem technologie odlévání dutých ingotů se začali zabývat jako první pravděpodobně ve společnosti Sheffield Forgemasters International Ltd ve Spojeném Království již v 50. letech 20. století, později v Creusot Forge ve Francii. Hlavním důvodem vývoje tohoto nového typu ingotu byl požadavek na výrazné omezení „A“ segregací v ingotu, potažmo v hotovém výkovku. Jednalo se především o výkovky pro

jadernou energetiku a petrochemický průmysl, tedy o pláště jaderných reaktorů, parogenerátorů apod. Využití dutých ingotů jako polotovarů pro cylindrické výkovky přináší i další následující výhody: dutý ingot potřebuje kratší dobu pro dosažení kovářské teploty během jeho ohřevu vzhledem k jejich menšímu charakteristickému rozměru; vyžadují menší počet kovářských operací během kování, protože operace přechování a děrování jsou vynechány. Uvádí se, že využitím dutých ingotů namísto klasického, konvenčního kovářského ingotu při kování velkých pláštů lze dosáhnout následujících úspor [1,2]:

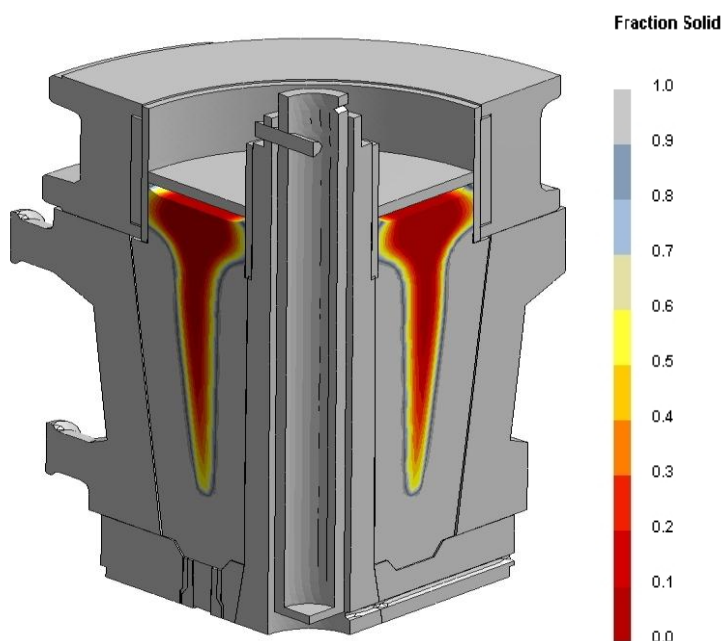
- Snížení předváhy až o 35 %
- Zkrácení doby kování až na třetinu původního času z důvodu dostupnosti vhodného polotovaru, kdy je možné vynechat kovářské operace jako přechování ingotu a děrování trnem
- Úspory energií a snížení emisí CO₂ až o 50 % z důvodu zkrácení doby ohřevu a kování kvůli nižší požadované hmotnosti ingotu

Na základě rostoucí poptávky na výrobu dutých výkovků, např. pláště parogenerátorů, kompenzátorů objemu, ale také dalších různých dutých výkovků pro různé zákazníky, určených zejména pro jadernou energetiku byly ve společnosti VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY a.s. zahájeny práce na vývoji odlévání dutých ingotů.

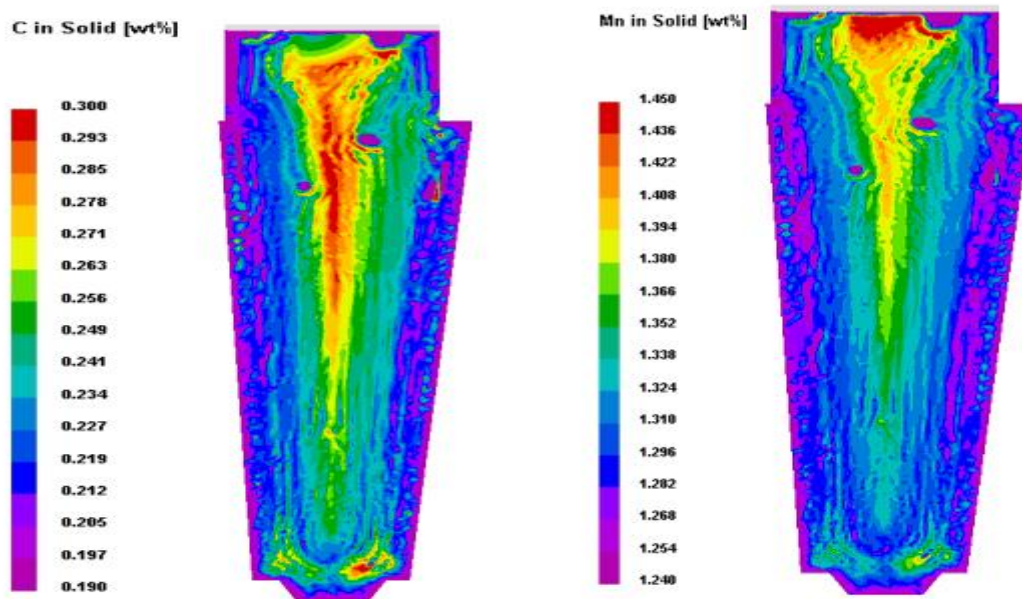
2. NUMERICKÉ SIMULACE ODLÉVÁNÍ A TUHNUTÍ DUTÉHO INGOTU

Po provedení literární analýzy dostupných informací o výrobě dutých ingotů byly zahájeny práce na numerických simulacích již konkrétně vybraného dutého ingotu. Zvolený byl dutý ingot o hmotnosti 57 tun s ohledem na v tu dobu dostupný kokilový park ocelárny VHM a.s. Numerické simulace byly prováděny společností MECAS ESI s.r.o., která pro tyto simulace využívá software ProCAST. Cílem simulací bylo zvolit vhodný materiál jádra dutého ingotu, jeho tvar a způsob chlazení během odlévání a tuhnutí ingotu. Odvod tepla musí být rovnoměrný jak z vnější strany, tj. od kokily, tak i z vnitřní strany, tj. od jádra, tak aby tepelná osa tuhnutí byla stále uprostřed stěny dutého ingotu a aby případná porezita nebyla těsně pod vnitřním povrchem. V průběhu prováděných simulací byly ověřovány různé tvary jádra z písku, hematitu a uhlíkové oceli. Jako chladicí médium byly při simulacích ověřován vzduch, dusík a voda. U zvoleného typu ingotu nakonec nejlépe vyhovovala varianta s ocelovým jádrem chlazeným během odlévání a tuhnutí vzduchem. Provedeny byly také simulace kontaktních tlaků na jádro, které měly ukázat, zda bude vůbec možné ingot po jeho utužení vystřipovat. Simulace také ukázaly, že jádro musí být dobře ošetřeno, aby odolávalo vysokým teplotám, neboť v průběhu tuhnutí se i přes jeho chlazení ohřívá na teplotu 950 – 1 000 °C. Na **obr. 1** je znázorněn průběh simulace tuhnutí v čase 10 000 sekund. Z obrázku je patrné, že teplotní osa ingotu je v této fázi tuhnutí cca uprostřed stěny dutého ingotu. [3]

Dále byla provedena numerická simulace predikce odlévání a tuhnutí dutého ingotu s důrazem na rozložení segregací jednotlivých prvků po utužení. Tyto simulace byly provedeny na základě skutečných podmínek dané, konkrétní tavby. Pro simulace bylo tedy použito chemické složení odlité tavby a dále také bylo kalkulováno se skutečnou teplotou odlévání a lící rychlostí. Na **obr.2** je znázorněn výsledek simulace segregace C a Mn. Jedná se vždy o polovinu dutého ingotu, tj. levá strana představuje jádro dutého ingotu, pravá stěnu kokily. Tyto výsledky byly porovnány se skutečně naměřenými hodnotami, viz. kapitola 3.



Obr. 1 Fáze solidu v průběhu tuhnutí dutého ingotu o hmotnosti 57 tun v čase 10 000 sekund



Obr. 2 Rozložení obsahu C (vlevo) a Mn (vpravo) po průřezu dutého ingotu z oceli S355J2G3
(tavební obsah C 0,21 %; Mn 1,29 %)

Po provozním ověření výroby dutého ingotu o hmotnosti 57 tun se přikročilo k přípravě většího dutého ingotu na konkrétní zakázku pro jadernou energetiku. Požadovaná je dodávka několika plášťů z oceli 10Gn2MFA o čisté hmotnosti 84 – 113 tun. Z toho důvodu byla navržena licí soustava pro odlití dutého ingotu o hmotnosti cca 140 tun. Z předchozích zkušeností s kování dutého ingotu vyvstal požadavek na stejnou tloušťku stěny dutého ingotu po výšce. Tomu byl uzpůsoben i tvar jádra, který přibližně kopíroval úkos vnější stěny ingotu. Také v tomto případě byly simulovány různé tvary a způsoby chlazení jádra, tak aby nedošlo k jeho protavení a aby bylo možné ingot po utuhnutí vystripovat.

3. PROVOZNÍ EXPERIMENTY

Po provedení numerických simulací a vybrání nejvhodnější varianty vlastní lící sestavy byly provedeny provozní experimenty odlévání dutého ingotu o hmotnosti 57 tun. Jak již bylo uvedeno výše, tento typ ingotu byl zvolený s ohledem na kokilový park ocelárny VHM a.s. Pro duté ingoty se v literatuře obecně doporučuje poměr H/D blízký 1,0, což v našich podmínkách nejlépe splňovala kokila 16K73 určená pro odlévání ingotu o hmotnosti 76 tun horem do vakua. Tato kokila je dostatečně široká, aby se dalo v ní umístit jádro. Z důvodů minimalizace nákladů na provozní experimenty bylo rozhodnuto o odlévání oceli značky S355J2G3. Technologie výroby oceli na EOP, LF a VD byla stejná jako v případě výroby klasických ingotů. Jako zásadní se ale jevila lící rychlost, kterou bylo nutno volit s ohledem na nucený odvod tepla ze středu jádrem tak, aby nedocházelo ke vzniku trhlin na vnitřním průměru ingotu. Celkem byly na ocelárně VHM a.s. odlity 2 duté ingoty o hmotnosti 57 tun. Na **obr. 3** je zobrazený dutý ingot po vystripování na ocelárně VHM a.s. Po vystripování prvního ingotu byla na vnitřním povrchu zjištěna trhlina, která byla pravděpodobně způsobena zvolenou vyšší lící rychlostí. První ingot byl dále překovaný na tři různé, odstupňované průměry, aby bylo možné ověřit vlastnosti výkovku s různým stupněm prokování. Byly zvoleny stupně prokování Pk2, Pk3 a Pk4, viz. **obr. 4**. Na výkovku byla provedena UZ kontrola dle normy SEP 1921, stupeň E/e. Byla zjištěna jedna plošná indikace v místě původní trhliny, jinak byl výkovek bez vnitřních vad. To potvrdilo poznatky z literatury, že lze při kování z dutého ingotu snížit stupeň prokování až na 2, přičemž by mělo být dosaženo požadovaných vlastností.

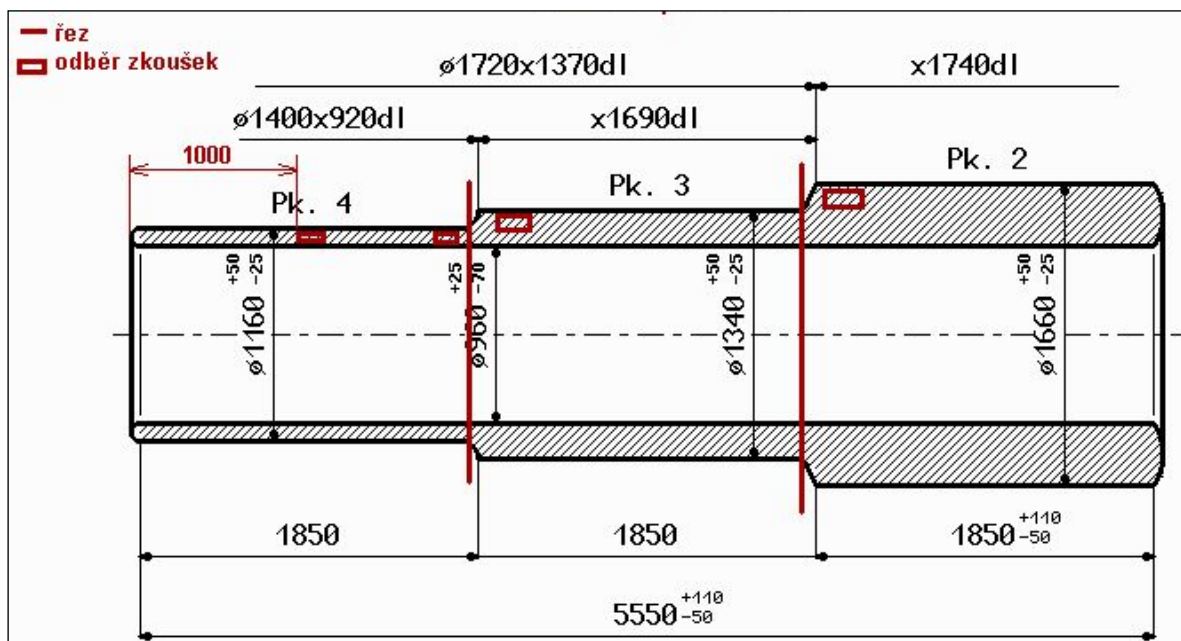


Obr. 3 Dutý ingot o hmotnosti 57 tun odlitý na elektroocelárně VHM a.s.

Při odlévání druhého experimentálního dutého ingotu byla tedy snížena lící rychlost, tak aby se předešlo vzniku trhliny na vnitřním průměru ingotu. Také byla snížena lící teplota o cca 10 °C. Pomocí těchto úprav technologie odlévání byl již druhý odlitý dutý ingot bez trhlin na vnitřním průměru. Tento ingot byl překovaný na plášť o vnějším průměru 1 570 mm a vnitřním průměru 930 mm. Tloušťka stěny výkovku byla tentokrát stejná po celé výšce a to 320 mm. Hodnocení výkovku je popsáno v následující kapitole.

3.1 Vyhodnocení experimentálních taveb

V této kapitole jsou zejména popsány výsledky hodnocení provedené na výkovku z dutého ingotu z druhé tavy, který byl již stoprocentně v pořádku. Z výkovku byly odebrány nejprve 4 základní vzorky a to dva z A konce (označeny 1A, 2A) a dva ze Z konce (1Z, 2Z). Na těchto vybraných vzorcích bylo provedeno hodnocení makrostruktury, vyhodnoceno bylo chemické složení a tvrdost po průřezu, hodnocení mikročistoty a dále byly provedeny na těchto vzorcích zkoušky tahem a vrubové houževnatosti ve třech na sobě kolmých směrech, což by nám mělo dát informaci o izotropii vlastností materiálu.



Obr. 4 Schéma výkovku z dutého ingotu s odstupňovaným stupněm prokování a zobrazení míst řezů a odběrů zkoušek pro hodnocení



Obr. 5 Makrostruktura vzorku 2A (lept. 15 % HNO₃)

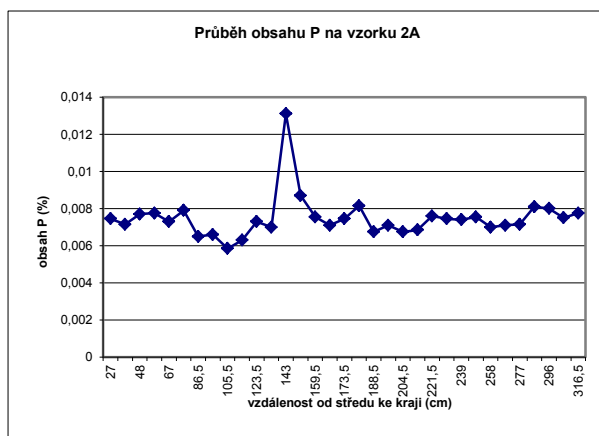
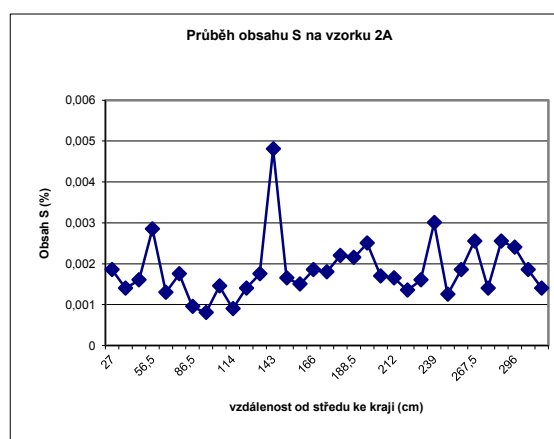


Obr. 6 Makrostruktura vzorku 1A (lept. 15 % HNO₃)

Makrostruktura vzorků 1Z, 2Z a 2A byla podobná, přes průřez vcelku rovnoměrná, bez výrazných strukturních anomálií, viz. **obr. 5** (vzorek 2A). V makrostruktuře vzorku č.1A je v hloubce cca 100 až 120 mm od vnitřního povrchu patrný souvislý pás odlišné leptatelnosti, od hloubky cca 160 mm se pak v makrostruktuře vyskytují drobné oblasti odlišné leptatelnosti o velikosti max. 4,0 mm, viz. **obr. 6**.

Chemické analýzy byly provedeny po průřezu vzorků, takže jsme získali představu o rozložení segregací po tloušťce stěny výkovku, potažmo ingotu (kolmo ke svislé ose ingotu). Analyzovány byly obsahy C, Mn, P a S. Z analýz bylo patrné, že na vzorcích ze Z konce nebyly pozorovány výraznější segregace jednotlivých sledovaných prvků, ale na vzorcích z A konce byly již zjištěny oblasti segregace. Zvýšené koncentrace jednotlivých prvků byly vždy pozorovány na stejném místě výkovku, avšak ne uprostřed, ale blíže stěny výkovku od středu, viz. **obr. 7 – 10**. To by naznačovalo, že odvod tepla středem ingotu, tedy od jádra a tudíž i rychlost tuhnutí byla menší, než ze strany od kokily, což bylo zjištěno i pomocí numerické simulace. Tavební obsah C byl 0,214 %; Mn 1,29 %; P 0,008 %; S 0,002 3 % a max. koeficienty segregace jednotlivých prvků vyjádřené jako podíl maximální zjištěné analýzy ve výkovku a tavebního chemického složení byly v případě C 1,2; Mn 1,07; P 1,6 a S 2,1. Přesto byl rozsah segregací nižší, než v případě prvního experimentálního dutého ingotu, což bylo způsobeno nižší teplotou odlévání u této druhé tavby. Souhrnné údaje o výrobním složení odlévané oceli, skutečné tavební analýze a zjištěné maximální míře segregace jsou uvedeny v **tabulce 1**.


Obr. 7 Průběh obsahu C po průřezu u vzorku 2A

Obr. 8 Průběh obsahu Mn po průřezu u vzorku 2A.

Obr. 9 Průběh obsahu P po průřezu u vzorku 2A

Obr. 10 Průběh obsahu S po průřezu u vzorku 2A

Tabulka 1 Tavební analýza a maximální stupeň segregace vybraných prvků ve výkovku z dutého ingotu

	C	Mn	P	S
min.	0.19	1.2		
max.	0.22	1.35	0.012	0.005
tavební analýza	0.214	1.29	0.008	0.0023
max.analýza ve výkovku	0.257	1.377	0.0131	0.0048
max. stupeň segregace	1.20	1.07	1.64	2.09

Přes rychlejší tuhnutí dutého ingotu byly zjištěny oblasti, kde se vyskytují segregace. Tyto oblasti byly i predikovány pomocí numerických simulací. Jak je patrné z **tabulky 1**, největší míra segregace byla zjištěna u síry a fosforu, u manganu a uhlíku byla míra segregace relativně malá. Některé nežádoucí segregace vyskytující se v podhlavové části lze odstranit optimalizací odseku po kování.

Dále bylo provedeno hodnocení pomocí zkoušky tahem ve 3 na sebe kolmých směrech při teplotě 20 °C u všech 4 vzorků (1A, 2A, 1Z, 2Z). Zkouška vrubové houževnatosti byla prováděna také ve 3 na sobě kolmých směrech a to při teplotách 20 °C, 0 °C, -20 °C, -40 °C a -60 °C. Zkoušky tahem i vrubové houževnatosti prokázaly izotropní vlastnosti materiálu.

ZÁVĚR

Na základě numerických simulací byla navržena licí sestava pro odlévání dutých ingotů. V praxi byla úspěšně ověřena technologie odlévání dutých ingotů o hmotnosti 57 tun. Ukázalo se, že při použití dutých ingotů je výskyt segregací menší, než je tomu při použití klasických ingotů. Predikované oblasti segregací byly potvrzeny i při následných rozbořech. Využitím dutého ingotu lze výrazně snížit předváhu na výkovky typu plášťů, kroužků. Dalším cílem při řešení problematiky výroby dutých ingotů je zvládnutí odlévání těžších dutých ingotů o hmotnosti cca 140 tun pro reálné výrobní zakázky.

PODĚKOVÁNÍ

Práce vznikla za finanční podpory Ministerstva průmyslu a obchodu České republiky v rámci řešení projektu číslo TIP FR-T13/243.

LITERATURA

- [1] TOMLINSON M., TALAMATES-SILVA J., DAVIES P.: The Development of Hollow Ingot Technology at Sheffield Forgemasters International Ltd., 18th International Forgemasters Meeting, Market and Technical Proceedings, Pittsburgh, 2011, p. 169 – 172.
- [2] GIRARDIN G., JOBARD D., PERDRISET F., TOLLINI P., POITRAULT I., GINGELL A.: Hollow Ingots: Thirty Years of Use to Control Segregation and Quality for Nuclear and Petrochemical Large Shells. 18th International Forgemasters Meeting, Market and Technical Proceedings, Pittsburgh, 2011, p. 164 – 168
- [3] MACHOVČÁK P., CARBOL Z., SCHAFFER R., OPLER A.: Optimalizace odlévání ingotů s využitím numerických simulací. In Iron and Steelmaking 2011: XXI. International and scientific conference: 19. – 21.10.2011. Horní Bečva, Hotel DUO, Česká republika. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, říjen 2011, s.166-171, ISBN 978-80-248-2484-0.

VÝZKUM, VÝVOJ, OVĚŘENÍ A VYHODNOCENÍ TECHNOLOGIE VÝROBY SUPERDUPLEXNÍ OCELI UNS S3276

Vladislav KURKA, Pavel MACHOVČÁK & Karel MICHALEK

MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o., Ostrava, ČR

Abstrakt

Zavedení nové jakosti do výrobního procesu doprovází řada problémů, jež lze eliminovat poloprovozními zkouškami s následným vyhodnocením finálního výrobku. Pokud tento materiál obsahuje vysoký podíl legujících přísad (Cr, Cu, Mo, Ni, N) a přísad (W), o kterých se obecně ví, že vyžadují vyšší pozornost při legování, je tento postup poloprovozního ověřování zcela na místě. Práce se zabývá návrhem, poloprovozním (výroba ingotu - v podmínkách indukční tavicí pece) a provozním ověřením (kování a tepelné zpracování) technologie výroby superduplexní oceli a započatým metalografickým, protikorozním a mechanickým hodnocením jakosti UNS S32760. Získané poznatky jakosti UNS S32760 jsou porovnány se stejně získanými publikovanými výsledky k jakosti 1.4477, která byla také řešena v rámci tohoto projektu.

Klíčová slova: superduplexní ocel, koroze, dusík, S32760, 1.4477

VERIFIKACE TERMODYNAMICKÝCH PARAMETRŮ NUMERICKÉHO MODELU PLNĚNÍ A TUHNUTÍ TĚŽKÉHO OCELOVÉHO INGOTU

VERIFICATION OF THERMODYNAMIC PARAMETERS OF NUMERICAL MODEL OF FILLING AND SOLIDIFICATION OF HEAVY STEEL INGOT

Markéta TKADLEČKOVÁ^a, Karel GRÝC^a, Karel MICHÁLEK^a, Petr FARUZEL^a, Petr KLUS^a, Ladislav SOCHA^a,
Pavel MACHOVČÁK^b

^a VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Metallurgy and Materials Engineering,
Department of Metallurgy and Foundry, and Regional Materials Science and Technology Centre, CR
marketa.tkadleckova@vsb.cz, karel.gryc@vsb.cz, petr.klus@vsb.cz,
petr.faruzel@vsb.cz, karel.michalek@vsb.cz, ladislav.socha@vsb.cz

^b VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY, a.s., Czech Republic, pavel.machovcak@vitkovice.cz

Abstrakt

Příspěvek se věnuje verifikaci nastavení parametrů výpočtu numerické simulace plnění a tuhnutí 90 tunového ocelového ingotu v simulačním programu ProCAST. Cílem numerického modelování, prováděného na katedře metalurgie a slévárenství (KMS) v Laboratoři modelování procesů v tekuté a tuhé fázi (která je součástí Regionálního materiálově technologického výzkumného centra, Fakulty metalurgie a materiálového inženýrství, VŠB-TU Ostrava), je optimalizace výrobní technologie těžkých kovářských ingotů vyráběných ve společnosti VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY a.s.(VHM). Podmínky výpočtu byly definovány na základě reálných podmínek paralelně experimentálně odlitého 90 tunového ingotu a technologického předpisu. Koeficienty přestupu tepla byly upraveny dle výsledků termovizního měření povrchu kokily během odlévání. Vlastnosti žáruvzdorných materiálů byly stanoveny dle údajů uvedených v materiálových listech dodaných výrobcem. Termodynamické vlastnosti kokily i oceli byly primárně definovány na základě výpočtu pomocí termodynamické databáze Computherm, která je součástí SW ProCAST. Protože základní vyladěná varianta numerického modelu plnění a tuhnutí ocelového ingotu bude používána následně k simulaci makrosegregací, bylo důležité ověřit šířku dvoufázového pásma oceli (tedy teplotu likvidu a solidu oceli), které je určující pro charakter segregačních procesů a ovlivňuje výslednou homogenitu ingotu. Výsledky výpočtu teplot likvidu a solidu pomocí termodynamické databáze Computherm byly proto porovnány s výsledky termické analýzy dvou vzorků oceli odebraných z utužlého experimentálně odlitého ingotu a také kontrolovány výpočtem pomocí rovnic obecně užívaných k stanovení teploty likvidu a solidu. V další fázi řešení projektu bude pozornost zaměřena na verifikaci tepelné kapacity materiálu kokily.

The paper devotes a verification of setting of calculation parameters of numerical simulation of filling and solidification of a 90-ton steel ingot in the ProCAST simulation programme. The aim of the numerical modelling realized under the conditions of the Department of Metallurgy and Foundry in the Laboratory of Modelling of Processes in the Liquid and Solid Phases (which is a part of Regional Materials Science and Technology Centre at Faculty of Metallurgy and Materials Engineering at VSB-TU Ostrava) is the optimization of the production technology of heavy steel ingots produced in VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY a.s. The calculation conditions were defined based on the real conditions of parallel experimentally casting

of a 90-ton steel ingot and based on the technological instruction. Heat transfer coefficients were adjusted according to the results of thermography measurements of the mould surface during experimental casting. The thermodynamic properties of refractory materials were determined using datasheets of the manufacturer. The thermodynamic properties of mould material and steel were primarily defined by the calculation using the thermodynamic database Computherm, which is a part of SW ProCAST. Because the basic tuned version of numerical model of filling and solidification of steel ingot will be used for the next simulation of macro segregation, it was necessary to verify the width of two-phase zone of the steel (that means the temperature of liquidus and solidus) which specifies the predisposition to the origination of segregations and influences the homogeneity of ingot. Therefore, the calculated results of temperature of liquidus and solidus from the Computherm database were compared with the results of thermal analyses of two samples of steel taken from the solid experimental ingot and also finally checked by calculation of the equations generally used to determine liquids and solidus temperatures. In the next stage of the project solution, the attention will be focused on the verification of specific heat of the mould material.

Klíčová slova: Ocel, ingot, modelování, makrosegregace, termická analýza, likvidus, solidus

Keywords: Steel, ingot, modelling, macrosegregation, thermal analyses, liquidus, solidus

ÚVOD

Výroba ocelových ingotů určených pro výkovky a strojní součásti je i přes stále narůstající objem výroby oceli plynulým odléváním nenahraditelná. Odlévání oceli do ingotů umožňuje výrobu i součástí nadměrné velikosti do hmotnosti až několikaset tun. Snahou konkurenceschopných výrobních podniků je jejich trvale kvalitní výroba. Během tuhnutí těžkých ocelových ingotů však dochází ve struktuře oceli k řadě chemicko-termických jevů, které mohou vést v konečném důsledku k vývoji typických vad, jako je středová porozita, staženina či segregace prvků.

Vady typu porezity mohou být částečně eliminovány dalším zpracováním, prokováním. Při výrobě velkých, rozměrných výkovků z těžkých kovářských ingotů ale již není možné vždy dosáhnout dostatečného prokování a také výskyt segregací u těchto těžkých ingotů je výraznější než v případě menších ingotů, případně kontislitků.

Na základě dostupné literatury [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9] bylo zjištěno, že k zajištění minimalizace rozsahu segregace nestačí jen úprava geometrie kokily, ale i režimu odlévání a především pak řízeného tuhnutí. Segregace je tedy funkcí chemického složení dané oceli, způsobu a doby tuhnutí.

Hlavním cílem spolupráce VHM a KMS je proto vyvinutí nové ekonomicko-technologicky optimalizované technologie odlévání a řízeného tuhnutí těžkých kovářských ingotů do hmotnosti až 200 tun pomocí metody numerického modelování a provozních zkoušek na experimentálně odlitém 90 tunovém ingotu a následný návrh nové řady ingotů určených pro speciální použití.

1. NASTAVENÍ NUMERICKÉ SIMULACE

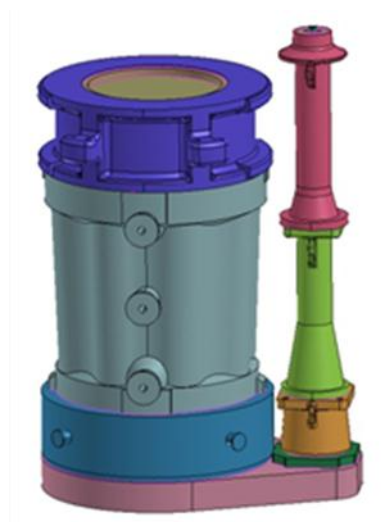
Numerické modelování plnění a tuhnutí těžkého 90 tunového kovářského ingotu je prováděno v SW ProCAST. Konfigurace software umožňuje 3D plně prostorovou simulaci plnění a tuhnutí oceli včetně predikce objemových vad, jako jsou porozita, řediny či staženiny. Díky modulům FLOW a STRESS lze v průběhu výpočtu uvažovat i s působením přirozené konvekce a vznikem vzduchové mezery mezi tělem

ingotu a vnitřní stěnou kokily a predikovat vznik vnitřního pnutí, které může v konečném důsledku vést ke vzniku trhlin a prasklin. Novinkou software je i zabudovaný modul pro výpočet predikce makrosegregace prvků v oceli. Výsledky teplotních a napěťových stavů lze díky jejich konverzi případně využít i při následném matematickém modelování tepelného zpracování či procesu kování. Je však třeba mít na paměti, že kvalita výsledků matematického modelování je závislá na dnešních výpočetních možnostech software, použitých rovnicích popisujících proudění a tuhnutí (SW jsou však obvykle černé skříňky – uživatel nemá přesnou informaci o definici rovnic), a v neposlední řadě vlastním nastavením parametrů výpočtu a interpretaci výsledků.

Jak již bylo v předchozích pracích autorů uvedeno [10, 11, 12, 13, 14], numerické modelování je obecně rozděleno do tří etap. V první fázi (preprocessingu) je nutné vymezit modelovanou oblast, v některém CAD systému vytvořit její 3D geometrii, generovat výpočetní síť a definovat parametry výpočtu. Mezi parametry výpočtu patří:

- materiálové vlastnosti jednotlivých částí lící soustavy,
- přestupy tepla na rozhraní prvků geometrie,
- okrajové podmínky, jako jsou lící teplota, rychlost lití, podmínky odvodu tepla přes povrch kokily,
- operační podmínky (např. působení gravitace),
- počáteční podmínky výpočtu (např. teplota lití oceli, počáteční teploty materiálů lící sestavy – předehřev),
- parametry výpočtu - tzv. RUN PARAMETERS.

Stanovení některých okrajových, operačních či počátečních podmínek nebývá obvykle až tak velký problém. V našem případě byla modelovaná oblast jasně vymezena strojními výkresy lící sestavy 90 tunového ingotu (viz **obr.1**), pro definici rychlosti a způsobu lití či teploty lití oceli byly použity podmínky experimentálního odlévání ingotu. Vlastnosti žáruvzdorných materiálů byly stanoveny dle údajů uvedených v materiálových listech dodaných výrobcem.



Obr. 1 Geometrie lící sestavy 90 tunového těžkého kovářského ocelového ingotu vyráběného ve VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY [12, 13, 14]

Fig. 1 Geometry of the casting system of 90-tons heavy steel ingot produced in VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY [12, 13, 14]

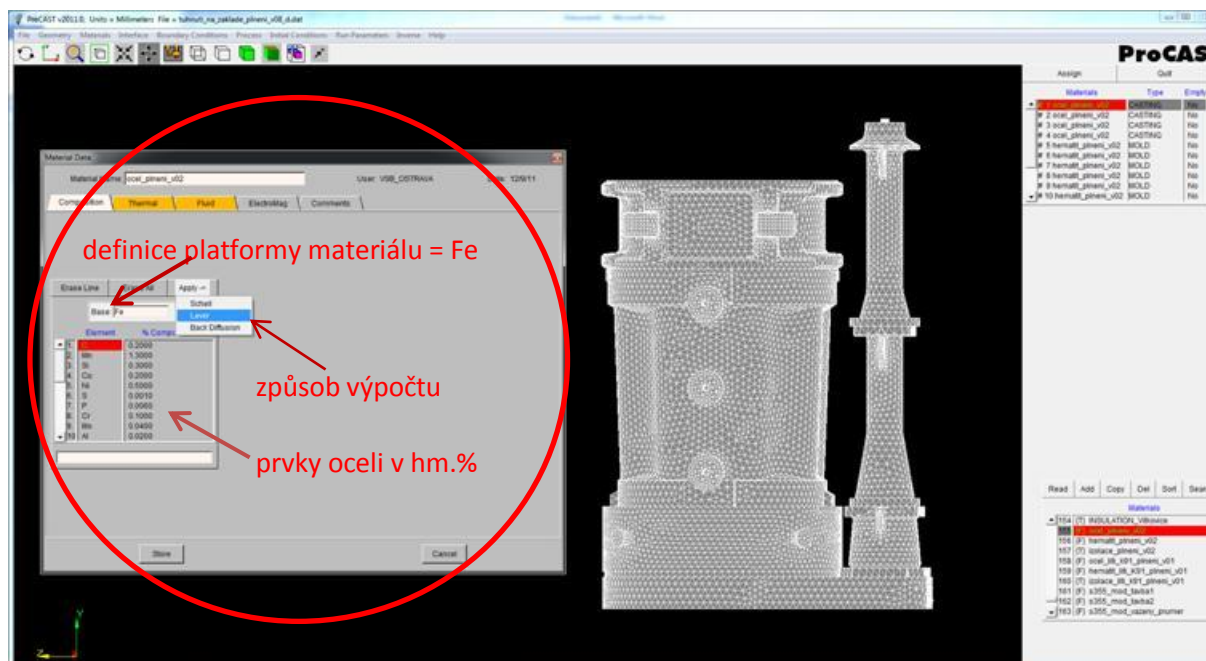
Kvalita výsledků numerické simulace objemových vad ingotů, zvláště pak makrosegregace prvků, je však především určována kvalitou termodynamických veličin oceli i materiálu kokily, potažmo použitými

podmínkami přestupu tepla mezi jednotlivými částmi lící sestavy a způsobem definice odvodu tepla. A zde můžeme narazit na první těžkosti. Materiálová databáze, která je součástí simulačního software ProCAST, obsahuje celou řadu litých materiálů (jakostí ocelí), kovových a pískových forem, filtrů a exotermických obkladů. Jedná se však o nejfrekventovaněji používané klasické materiály. V případě odlišného chemického složení materiálu, který není součástí databáze, je potřeba definovat nový materiál. Buď lze využít literárních poznatků, nebo, jako v našem případě, výpočtu v termodynamickém modulu Computherm, který je součástí SW ProCAST.

2. COMPUTHERM – VÝPOČET TERMODYNAMICKÝCH PARAMETRŮ

Termodynamická databáze Computherm umožňuje uživateli na základě definice chemického složení spočítat termodynamické parametry pro libovolný nový materiál, případně sledovat změny termofyzikálních dat při změně chemického složení. Na základě definovaného chemického složení lze vypočítat v závislosti na teplotě např. entalpii, hustotu, viskozitu či tepelnou vodivost. Jedním z velmi užitečných výstupů je i stanovení teploty likvidu a solidu definovaného materiálu.

Computherm databáze umožňuje provést výpočet pro kovové materiály na bázi Al, Fe, Ni, Ti, Mg, Cu. Výpočet oceli je prováděn na bázi Fe a dále lze definovat tyto legující prvky: Al, B, C, Co, Cr, Cu, Mg, Mn, Mo, N, Nb, Ni, P, S, Si, Ti, V, W. Další legující prvky, které nejsou uvedeny, neovlivňují výsledek výpočtu (při výpočtu se s nimi neuvažuje).



Obr. 2 Pohled na pracovní plochu PreCASTU – nabídka „definice materiálu“ – výpočet termodynamických vlastností nové oceli pomocí termodynamické databáze Computherm [15].

Fig. 2 View on the work screen of PreCAST module – Material Definition – the calculation of the thermodynamic properties of the new steel grade by using the Computherm database [15].

Při výpočtech jsou využívány mikrosegregační modely: Scheil a Lever (Lever Rule – pákové pravidlo). Pákové pravidlo předpokládá velmi dobrou difúzi v pevném stavu. Je možno zvolit i třetí alternativu výpočtu

pomocí tzv. funkce Back Diffusion, která je definovaná rychlostí chlazení (Cooling Rate). Při výpočtech teploty likvidu a solidu oceli je doporučováno pákové pravidlo. Pohled na pracovní okno PreCastu, jehož součástí je i modul Computherm, je zachycen na **obr.2**. Z obrázku je patrné, že databáze Computherm je integrovaný systém základní materiálové databáze software. Výpočet termodynamických parametrů nového materiálu lze zahájit buď zkopírováním již existujícího materiálu a upravením pouze některých hmotnostních procent vybraných prvků. A nebo lze nový materiál přidat pomocí funkce Add. Zde je potřeba zvolit platformu nového materiálu, definovat hmotnostní zastoupení jednotlivých prvků a zvolit způsob výpočtu [15].

Pro výpočet plnění 90 tunového ingotu bylo nutné definovat v PreCASTu novou ocel jakosti S355modifikovaná a vypočítat její termodynamické parametry. V první fázi bylo při výpočtu použito chemické složení oceli první tavby. Ve skutečnosti byl však ingot sléván ze dvou taveb. Každá tavba měla odlišné obsahy především Cu a Ni tak, aby bylo možno v utuhlé struktuře ingotu sledovat charakter promísení obou taveb. Kromě odlišného chemického složení se lišila i hmotnost obou taveb. Protože v SW ProCAST zatím nelze definovat odlévání dvou různých jakostí jedním vtokem za sebou, bylo pro účely definice materiálových vlastností oceli numerického modelu použito chemické složení první tavby (viz **tab.1.**) [16].

Tabulka 1 Porovnání chemického složení vzorku oceli S355mod. odebraného z první tavby a chemického složení použitého při výpočtu termodynamických vlastností oceli S355mod. [16].

Table 1 The comparison of chemical composition of the sampel of steel grade S355mod. from the melt no.1 and chemical composition [16].

Prvek	C	Mn	Si	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Al	N
Tavba č.1	0.194	1.3	0.26	0.006	0.0013	0.13	0.506	0.112	0.04	0.003	0.021	0.0042
Computherm	0.2	1.3	0.3	0.006	0.0010	0.2	0.5	0.1	0.04	0.003	0.02	--

Termodynamické parametry oceli byly počítány postupně pro omezený počet prvků. Při generování materiálu mají totiž některé prvky i při nízkých obsazích až příliš velký vliv na konečné hodnoty termodynamických veličin. Vygenerovaná termofyzikální data lze v případě chybového hlášení v průběhu výpočtu případně i upravit. A to posunutím některých bodů na vypočtených křivkách k vyšším nebo nižším teplotám.

Jak již bylo výše uvedeno, jedním z výsledků je i teplota likvidu a solidu. Protože základní vyladěná varianta numerického modelu plnění a tuhnutí ocelového ingotu bude používána následně k simulaci makrosegregací, bylo důležité ověřit šířku dvoufázového pásma oceli (tedy teplotu likvidu a solidu oceli), které určuje sklon ke vzniku segregací a ovlivňuje homogenitu ingotu.

Segregací se v ocelovém ingotu rozumí chemická a makrostrukturní nehomogenita. Rozdíly chemického složení kovu vznikají omezenou rozpustností doprovodných a legujících prvků v oceli během tuhnutí. Rozpustnost prvku v tavenině při konstantní teplotě je obvykle vyjádřena pomocí rovnovážného rozdělovacího koeficientu stanoveného na základě studia binárního diagramu. Ocel je však multikomponentní materiál, kde je rozpustnost jednotlivých prvků závislá na koncentraci dalších legur či doprovodných prvků. Uplatňuje se zde vliv omezené difuze v tavenině a tuhé fázi, druh dendritické struktury a velikost konvenčních proudů v oceli během tuhnutí. V závislosti na chemickém složení se

výrazně mění i rozpětí mezi teplotou likvidu a solidu. Segregace pak způsobuje problémy při následném zpracování oceli – hrozí nebezpečí vzniku a šíření trhlin těmito segregovanými oblastmi během procesu kování a tepelného zpracování, nebo např. během svařování, kdy je povrch tlakových nádob reaktorů navařen austenitickou nerezavějící ocelí [17, 18]. Vypočítané teploty likvidu a solidu termodynamickou databází Computherm byly proto konfrontovány s teoretickými výpočty teploty likvidu a solidu dle různých autorů (viz diskuze výsledků). Dva vzorky oceli odebrané přímo z experimentálně odlitého ingotu byly podrobeny termické analýze.

3. TERMICKÁ ANALÝZA

Stanovení teplot fázových přeměn, především pak teplot solidu (T_S) a likvidu (T_L) u složitých multikomponentních soustav, což je většina ocelí, je velice náročné. Metody jsou obecně založeny na detekci změny teploty vyvolané tepelně zabarveným dějem nebo na detekci rozměrových změn vzorku.



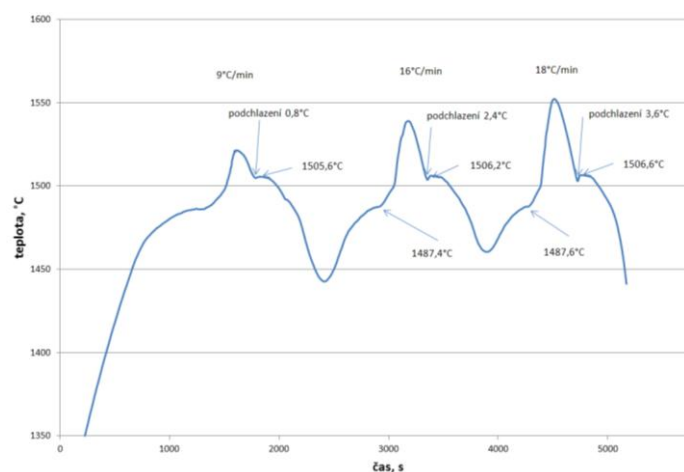
Obr. 3 Místo odběru vzorků
Fig. 3 The sketch of sampling place

Termická analýza byla provedena na dvou vzorcích dodaných hlavním řešitelem projektu. Jednalo se o vzorky odebrané z hotového ztuhlého 90 tunového ingotu. Místa odběru vzorků jsou naznačena na **obr.3**. Chemické složení vzorků je zaznamenáno v **tab.2**. Vzorky byly ochlazovány rychlostí $7,5-18^{\circ}\text{C}.\text{min}^{-1}$ v cyklu 3x roztavení a 3x ochlazení. Na **obr.4** je zobrazen záznam měření teploty T_L a T_S u vzorku 1.

Tabulka 2 Chemické složení vzorků oceli 90 tunového experimentálně odlitého ingotu

Table 2 Chemical composition of steel samples of 90-tons experimentally cast ingot

Prvek	C	Mn	Si	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Al	N
Vzorek 1	0.209	1.30	0.255	0.0058	0.0010	0.133	0.509	0.110	0.040	0.003	0.0247	0.0054
Vzorek 2	0.196	1.30	0.250	0.0054	0.0005	0.133	0.505	0.109	0.039	0.003	0.0243	0.0043



Obr. 4 Záznam měření teploty likvidu a solidu oceli
Fig. 4 The record of the temperature measurement of liquidus and solidus of steel

4. DISKUZE VÝSLEDKŮ

Výsledky výpočtu teploty likvidu a solidu pomocí Computhermu, dle různých autorů a zjištěných experimentální termickou analýzou jsou shrnuty v **tab.3**. Jak je z **tab.3** patrné, ve většině výsledků se T_L pohybuje v rozpětí od $1503-1511^{\circ}\text{C}$. Jako jedni z mála autorů uvádí výpočet teploty solidu Šmrha či Štětina. Teplota solidu dle Computhermu při zahrnutí všech prvků do výpočtu se blíží hodnotě teploty solidu stanovené dle Štětiny. V případě výpočtu teploty solidu dle Šmrhy byly do výpočtu zahrnuty pouze tři prvky, a to C, Mn a

Si. Z provedených měření je patrné, že shoda mezi jednotlivými měřeními teploty likvidu v rámci jednoho vzorku je v rozmezí 0,2 až 1,0 °C. V případě hodnot teploty solidu byl rozptyl u jednoho vzorku 0,2 °C. Mezi teoreticky stanovenou teplotou solidu v Computhermu a experimentálně určenou teplotu solidu termickou analýzou je difference 26°C. Z tohoto důvodu bude pozornost zaměřena na zpřesnění a úpravu termodynamických hodnot oceli využívaných při numerickém modelování na základě výsledků experimentálního měření.

Tabulka 3 Přehled teplot likvidu a solidu oceli S355mod. získaných teoretickými výpočty a experimentem

Table 3 The list of liquidus and solidus of steel grade S355mod. obtained by the theoretical calculation and by experiment.

Vzorek	T _{L1} (°C)	T _{L2} (°C)	T _{L3} (°C)	průměrná T _L (°C)	T _S (°C)	T _S (°C)	průměrná T _S (°C)
1	1505,6	1506,2	1506,6	1506,1	1487,4	1487,6	1487,5
2	1506,8	1506,8	1507,0	1506,8	1487,2	1487,4	1487,3
Computherm				1510			1461
Šmrha				1508			1483
Myslivec				1509			---
TECTIP				1506			---
Štětina				1510			1470

ZÁVĚR

Numerické modelování plnění a tuhnutí ocelového těžkého ingotu, prováděného v podmínkách katedry metalurgie a slévárenství a pod záštitou projektu Regionální materiálově technologické výzkumné centrum, je zaměřeno na verifikaci a optimalizaci podmínek odlévání a tuhnutí ingotů vyráběných ve VÍKTOVICE HEAVY MACHINERY. Hlavním cílem je minimalizace makrosegregací. Při numerickém modelování makrosegregace je využíván software ProCAST. Nezbytným předpokladem relevantních výsledků je mimo jiné i správná definice termo-fyzikálních vlastností oceli, potažmo rozpětí teploty likvidu a solidu oceli. Termodynamické vlastnosti oceli byly stanoveny na základě výpočtu termodynamickou databází Computherm, která je součástí SW ProCAST. Výsledky byly konfrontovány s teoreticky určenými teplotami likvidu a solidu dle různých autorů a s výsledky experimentální termické analýzy. Poznatky aplikovaného výzkumu budou také vhodnou formou prezentovány studentům v rámci výuky specializovaných odborných předmětů.

PODĚKOVÁNÍ

Tato práce vznikla za finanční podpory projektu FRVŠ 1564/2012/F1/a. Podpory programového projektu TIP č.: FR-TI3/243 Ministerstva průmyslu a obchodu České republiky. A při řešení projektu č. CZ.1.05/2.1.00/01.0040 "Regionální materiálově technologické výzkumné centrum", v rámci Operačního programu Výzkum a vývoj pro inovace, financovaného ze strukturálních fondů EU a ze státního rozpočtu ČR.

LITERATURA

- [1] ZJUBAN, N., A. ZULJEV, S. I.: Vlijanije parametrov izgotovlenija krupnyh kuznecnyh slitkov na formirovanije optimalnoj struktury osevoj zony. METALLURG, C.12, S. 38-39, 2001.
- [2] ZJUBAN, N. A. aj.: Issledovanije defektov litoj struktury osevoj zony slitkov stali 38XHNZ3MFA i ich povedenije vo vremja osadki. STAL, C.4, S. 24-27, 2011

- [3] SMIRNOV, A. N.: Ulucsenije kacestva slitkov i zagotovok putem vibroimpulsnogo vozdejstvija pri ich zatverdevanii. STAL, 66, C.4, S. 14-20, 1997.
- [4] EFIMOV, V. A., ELDARCHANOV, A. S., NURADINOV, A. S.: Vlijanije vibracionnoj obrabotki na strukturu i svojstva slitka stali 60. STAL, 71, C.12, S. 15-17, 2002.
- [5] NEDELJKOVIC, LJ., PILYUSHENKO, V. L., SMIRNOV, A. N.: Effect of pulsating stirring of liquid core on solidification of large steel ingots. ironmaking steelmaking, 17, c.6, s. 414-423, 1991
- [6] HALLGREN, L., TAKAGI, S., TILLIANDER, A.: Effect of nozzle type and swirl on flowe patern for initial filling conditions in the mould for up-hill termyny. STEEL RES., 78, C.3, S. 254-259, 2007
- [7] HALLGREN, L. et al.: A First Attempt to Implement a Swirl Blade in Production of Ingots. ISIJ INTERNATIONAL, Vol. 50 (2010), No. 12, pp. 1763-1769, 2010.
- [8] JOENSSON, P. G., TILLIANDER, A., YOKOYA, S., ZHANG, Z.: A numerical study of swirl blade effects in uphill teemingcasting. ISIJ INT., 50, C.12, S. 1756-1762, 2010
- [9] TELEJKO, T., KARBOWNICZEK, M., BIALOWAS, W.: Symulacja numeryczna procesu krzepnięcia wlewkow kuziennych w formach chlodzonych woda. METALURGIA I ODLEWNICTWO, 16, C.2, S. 274-295, 1990
- [10] TKADLEČKOVÁ, M.; MICHALEK, K.; KLUS, P.; GRYC, K.; SIKORA, V. Využití numerického modelování při řešení problematiky lití a krystalizace ocelových ingotů. In Teorie a praxe výroby a zpracování oceli. Rožnov pod Radhoštěm, 6.- 7. dubna 2011, TANGER s.r.o. Ostrava, s. 77-82. ISBN 978-80-87294-21-5.
- [11] TKADLEČKOVÁ, M.; MICHALEK, K.; KLUS, P.; GRYC, K.; SIKORA, V. Testing of numerical model setting for simulation of steel ingot casting and solidification. In 20th Anniversary International Conference of Metallurgy and Materials METAL 2011. May 18th-20th, Brno, Czech Republic, EU. TANGER s.r.o. Ostrava. pp.6. ISBN 978-80-87294-24-6.
- [12] 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. In XXI. International Scientific Conference Iron and Steelmaking. 19. - 21. října 2011, Horní Bečva, Beskydy, Česká republika. s.5 ISBN 978-80-248-2484-0
- [13] 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
- [14] 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, 46 (2012) 3, Slovinsko. s.7-10 (in print)
- [15] ProCAST 2009, Release Notes & Installation Guide. 2009 ESI Group.
- [16] MICHALEK, K., TKADLEČKOVÁ, M. Numerické modelování plnění a tuhnutí těžkého kovářského ingotu – část I. Výzkumná zpráva k projektu TIP FR-TI3/243. VŠB-TU Ostrava, Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství, Katedra metalurgie. Ostrava, 2011.
- [17] GIRARDIN, G., JOBARD, D., PERDRISSET, F., TOLLINI, P., POITRAULT, I., GINGELL, A. Hollow Ingots: Thirty Years of Use to Control Segregation and Quality for Nuclear and Petrochemical Large Shells. 18th18th International Forgemasters Meeting, Market and Technical Proceedings September 12-15, 2011 o Pittsburgh, PA, USA.
- [18] BADEAU, J., P., DOR, P., POITRAULT, I., BADEREAU, A. Segregation phenomena in holloe ingots for heavy forgings. Ironmaking and Steelmaking, Vol.13, No.6, 1986. P327-331

SIMULAČNÍ ANALÝZA Vlivu odlévání na vlastnosti nástrojových ocelí

SIMULATION ANALYSIS OF THE EFFECT OF CASTING ON THE PROPERTIES OF TOOL STEELS

Zdeněk ADOLF, Jiří HODAN, Dana HORÁKOVÁ

*Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, FMMI, 17. listopadu 15/2172, 708 33 Ostrava-Poruba,
Česká republika*

Poldi Hütte s.r.o., Průmyslová 1343, 272 61 Kladno, Česká republika

Abstrakt

V předložené práci je provedena simulační analýza vlivu kokily a vybraných parametrů odlévání na vnitřní jakost ingotů. Analýza byla provedena programem MAGMASoft. Práce je součástí projektu FR-TI1/477 řešeného za finanční podpory Ministerstva průmyslu a obchodu České republiky.

A simulation analysis of the influence of mould and selected casting parameters on the internal quality of ingots is performed in the present work. Analysis was realised by MAGMASoft program. The work is part of FR-TI1/477 project solved under financial support from the Ministry of Industry and Trade of the Czech Republic.

Klíčová slova: odlévání ingotů, simulační analýza; simulation analysis, simulation analysis

1. ÚVOD

Cílem výzkumných prací na projektu „Výzkum a vývoj technologie výroby a zpracování kovaných tyčí z nástrojových ocelí“ bylo vyvinout ocel s vysokými užitnými vlastnostmi, které jsou dány:

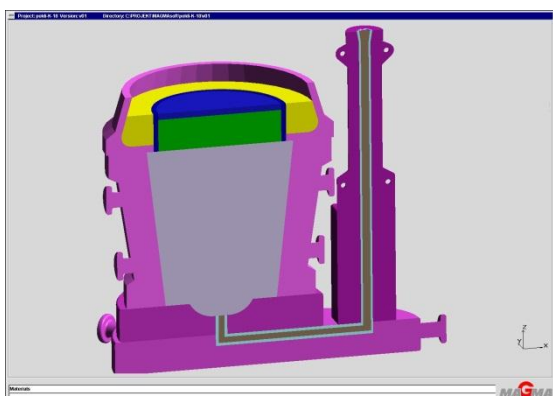
- nízkým obsahem nekovových vměstků,
- vysokou mikrohomogenitou materiálu,
- požadovanou mikrostrukturou materiálu,
- vysokými hodnotami zkoušek rázem v ohybu.

Ocelářská část výzkumu byla zaměřena na tuhnutí oceli v kokile z hlediska tvaru kokily, velikosti kokily a velikosti hlavového nástavce. Simulace tuhnutí byla provedena programem MAGMASoft společností Axiomtech.

2. VÝSLEDKY SIMULACE TUHNUTÍ INGOTU

V první části byl zkoumán proces tuhnutí při odlévání ingotů o hmotnosti 18 a 25 tun v kokilách K18 a K25, následně pak pro ingot o hmotnosti 28,5 tun odlévaný do kruhové kokily K1200.

Výška těla u kokily K18 je 1650 mm, u kokily K25 je 1835 mm a v obou případech byl použit hlavový nástavec o výšce 350 mm. Schéma odlévané soustavy je znázorněno v řezu na **obr. 1**.

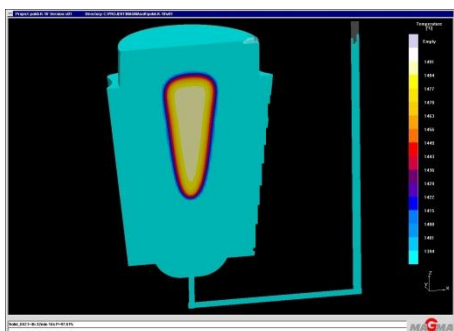


Obr. 1 Odlévací soustava pro ingoty formátu K18 a K25 - řez.

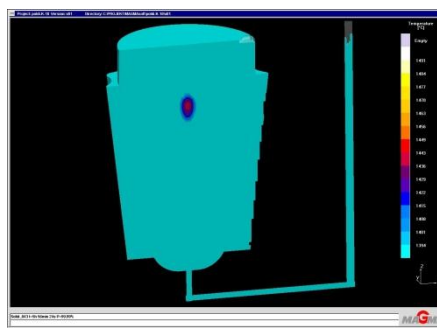
Z kritérií, které charakterizují proces tuhnutí ingotu byly zvoleny:

- doba tuhnutí resp. podíl tuhé a tekuté fáze (SOLTIME),
- výskyt staženin (FEEDING),
- výskyt mikroporozity (Niyama).

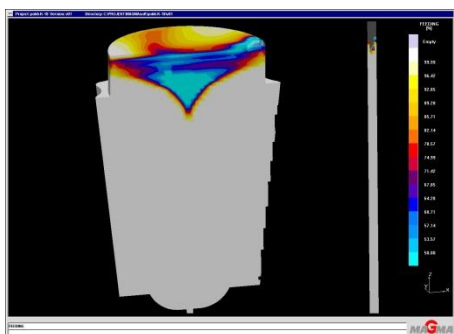
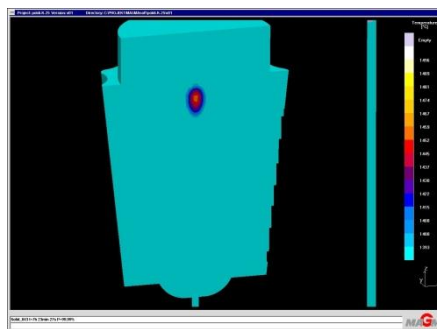
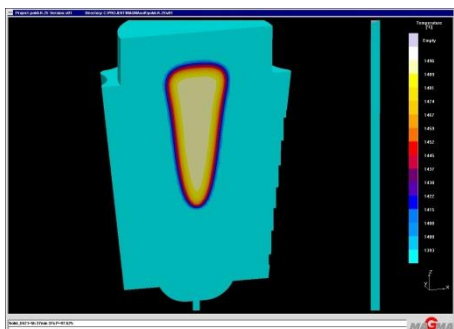
Nejprve byl sledován průběh tuhnutí ingotu. Z **obr. 2** a **obr. 3** vyplývá, že u obou kokil K18 a K25 závěrečná část tuhnutí probíhá nejen v hlavě, ale i v těle ingotu. Obdobně až do těla ingotu zasahuje staženina (**obr. 4** a **obr. 5**) a mikroporozita (**obr. 6** a **obr. 7**).



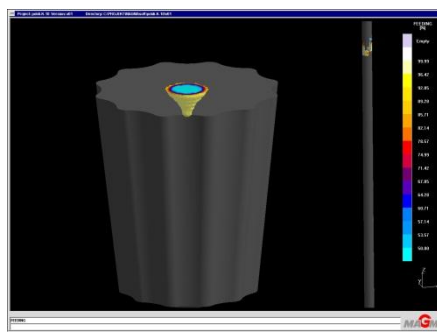
Obr. 2 Tuhnutí tekutého kovu v kokile K18.

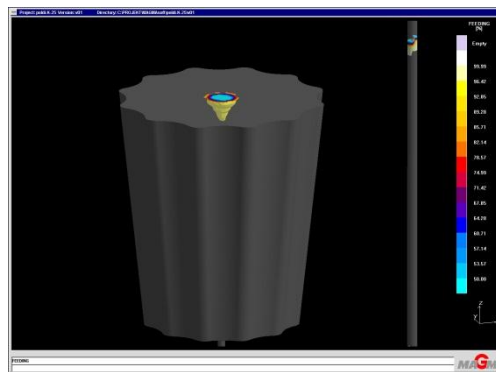
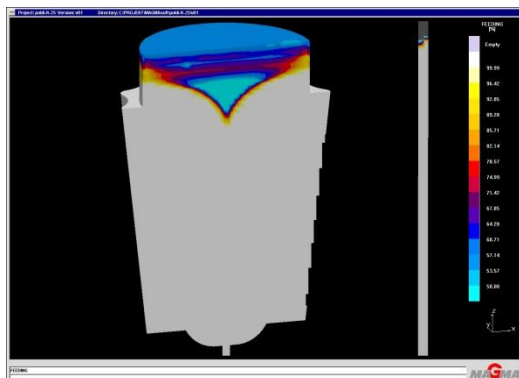


Obr. 3 Tuhnutí tekutého kovu v kokile K25.

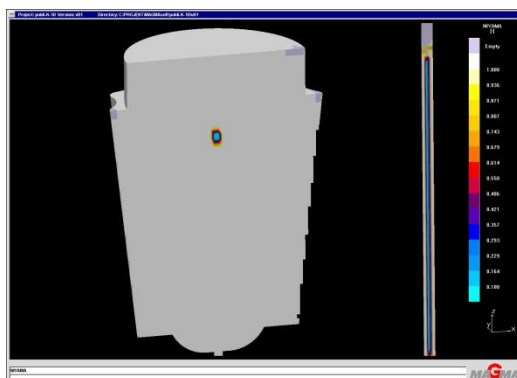


Obr. 4 Staženina v ingotu K18.

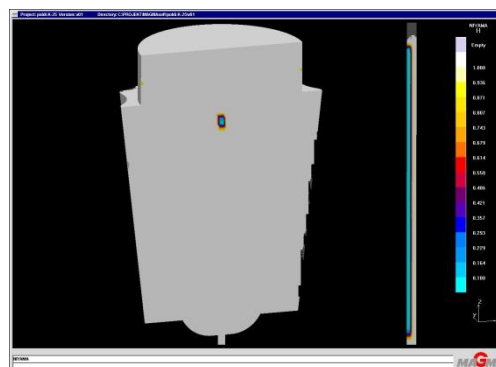




Obr. 5 Staženina v ingotu K25.

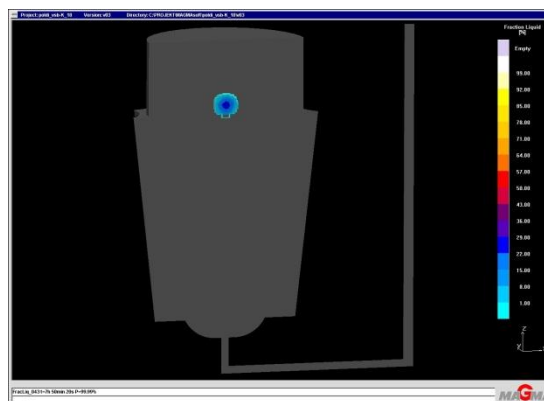
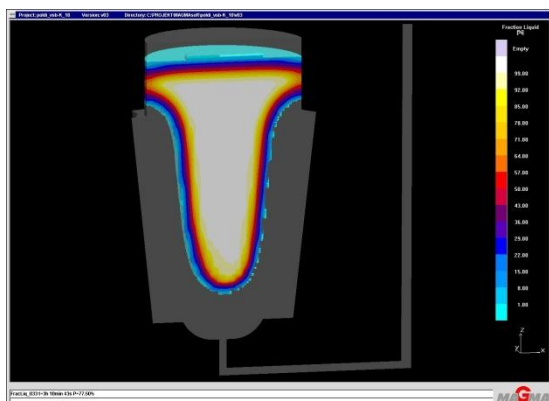


Obr. 6 Mikroporezita v ingotu K18.

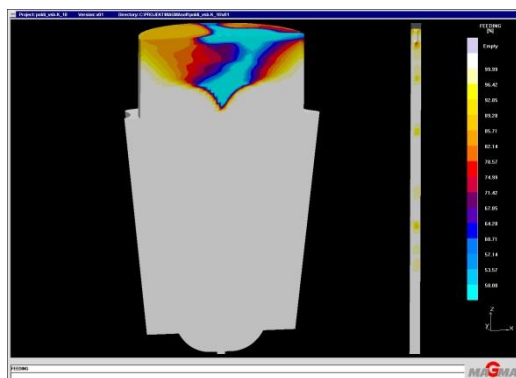


Obr. 7 Mikroporezita v ingotu formátu K25.

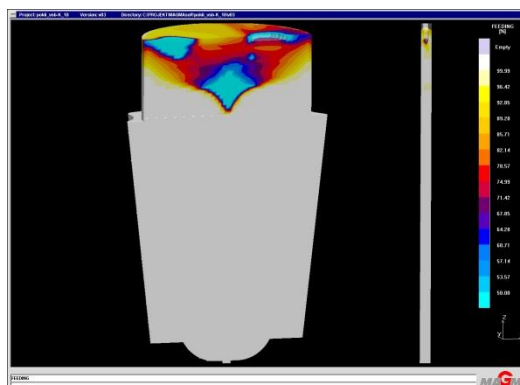
Z uvedené simulace vyplynula nutnost zvětšení objemu hlavové části ingotu. Následně byla proto provedena simulace procesu tuhnutí ingotu se zvýšenou hlavou na 600 mm. V tomto případě se závěrečné tuhnutí ingotu přesunulo do hlavy ingotu (**obr. 8**), staženina se zcela přesunula do hlavové části (**obr. 9** a **obr. 10**) a mikroporezita se v těle ingotu vůbec nevyskytovala. Uvedené výsledky simulace se týkají ingotů K18 a K25.



Obr. 8 Tuhnutí v kokile K18v03, výška hlavy 600 mm



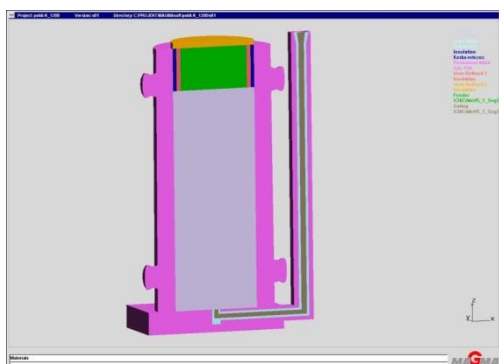
Obr. 9 Velikost staženiny - varianta K18v01, výška hlavy 600 mm



Obr. 10 Velikost staženiny - varianta K18v03, výška hlavy 600 mm

2.1 Simulace tuhnutí ingotu v kokile K 1200

Zvětšení hlavy ingotu z 350 na 600 mm se však projevilo ve sníženém využití kovu ingotu. Proto bylo navrženo odlévat ocel do kruhové kokily formátu K1200 – viz **obr. 11**. Porovnání ingotů formátu K25 a K1200 je dále uvedeno v tab. 1.



Obr. 11 Odlévací soustava pro ingoty formátu K1200 - řez

Tabulka 1 Porovnání ingotů formátů K 1200 a K25

	INGOT K1200	INGOT K25
CELKOVÁ HMOTNOST	28 800 kg	25 000 kg
HMOTNOST TĚLA	25 500 kg	20 080 kg
HMOTNOST HLAVY	3 300 kg	4 200 kg
ODPAD DNO	880 kg	1 200 kg
PROCENTO VYUŽITÍ	86 %	78 %

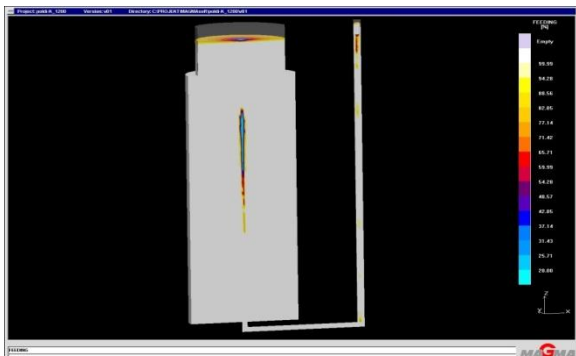
Z **tab. 1** vyplývá, že kruhový ingot zvyšuje teoretickou výtěžnost kovu o 8 %, přičemž 8 % hmotnosti u ingotu K25 činí 2000 kg a u ingotu K1200 činí 2300 kg.

Cílem simulací do kruhového formátu bylo optimalizovat odlévání, tzn. minimalizovat staženinu v ingotu a středovou mikroporozitu. Zadání simulací je uvedeno v **tab. 2**.

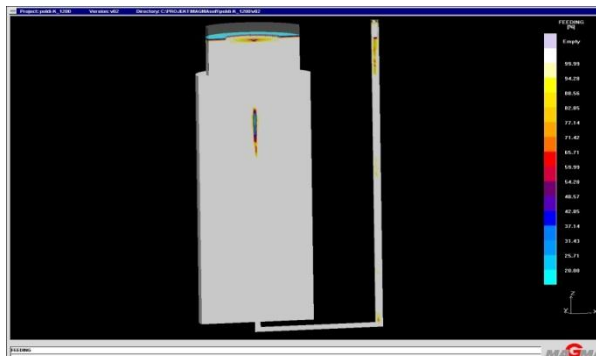
Tabulka 2 Zadání jednotlivých simulací odlévání ingotů formátů K 1200

Varianta	Rychlost odlévání	Teplota odlévání	Šířka izolační vrstvy	Výška hlavy
	(kg.min ⁻¹)	(°C)	(mm)	
1	800	1540	110	600
2	800	1520	110	600
3	800	1510	110	600
4	800	1520	130	600
5	800	1520	110	800
6	800	1520	130	800

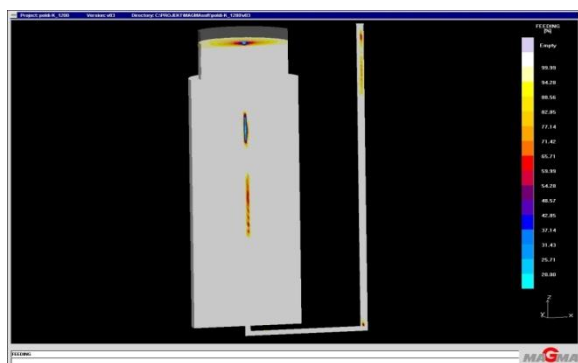
Varianty výpočtů 1 až 3 se lišily v teplotě odlévání, varianty 4 až 6 řešily vliv výšky hlavy a tloušťky izolační vrstvy. Z **obr. 12** až **obr.14** vyplývá, že ve všech případech se objevila staženina ve středové části ingotu.



Obr. 12 Varianta 1 - staženina, teplota odlévání 1540 °C



Obr. 13 Varianta 2 - staženina, teplota odlévání 1520 °C

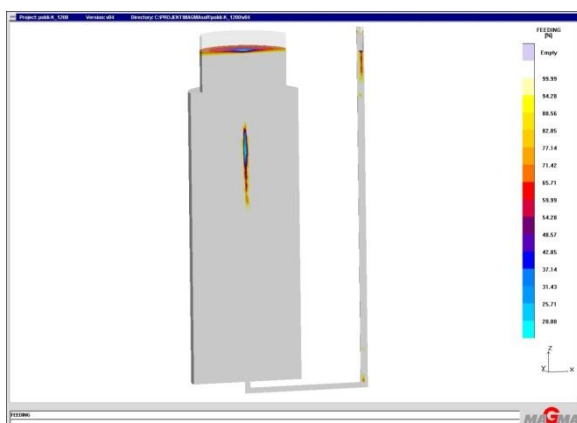


Obr. 14 Varianta 3 - staženina, teplota odlévání 1510 °C

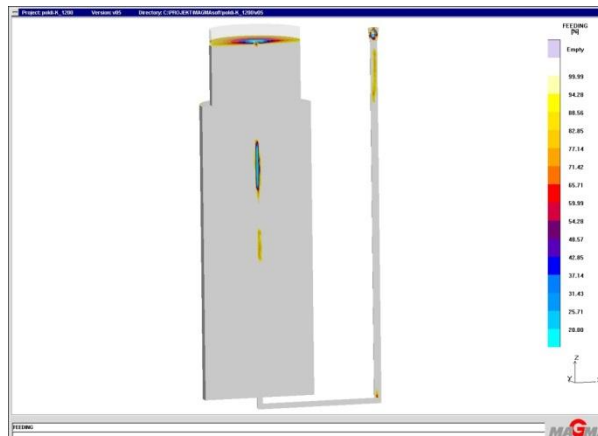
Při teplotě odlévání 1540 °C (varianta 1) se staženina objevila v intervalu 1100 mm až 2690 mm výšky ingotu. Při snížení odlévací teploty na 1520 °C (varianta 2) se staženina zmenšila – interval 2050 až 2690 mm výšky ingotu. Další snížení teploty odlévání na 1510 °C (varianta 3) nepotvrdilo předpoklady, že se staženina bude nadále zmenšovat, naopak došlo k jejímu zvětšení na interval 1110 až 2690 mm od paty ingotu.

U variant 4 až 6 byl zkoumán vliv výšky hlavy a tloušťky izolace hlavy na velikost staženiny. Zvýšení

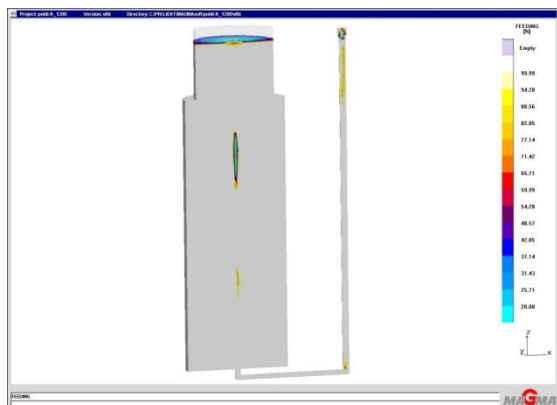
izolační vrstvy ze 110 na 130 mm nemělo na zmenšení staženiny žádný vliv – viz verze 2 (interval 2050 až 2690 mm, tj. 640 mm) a verze 4 (interval 1870 až 2780 mm, tj. 910 mm), resp. verze 5 (interval 1440 až 2730 mm, tj. 1290 mm) a verze 6 (interval 850 až 2730 mm, tj. 1880 mm). Verze 4 až 6 jsou znázorněny na **obr. 15**, **obr. 16** a **obr. 17**.



Obr. 15 Staženina při zvětšení izolace hlavy - Varianta 4



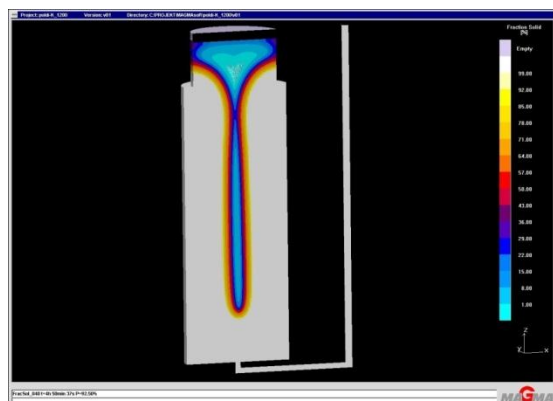
Obr. 16 Staženina v ingotu - Varianta 5



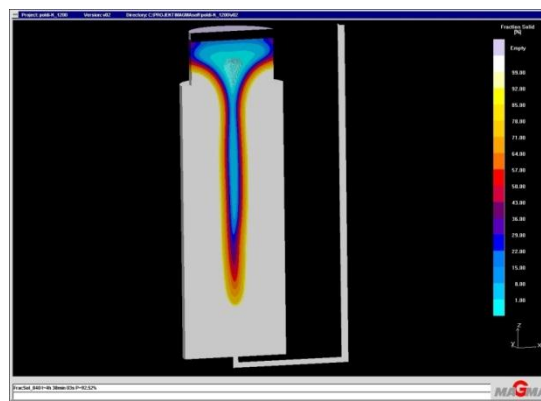
Obr. 17 Staženina v ingotu - Varianta 6

Zvětšení hlavy z původních 600 mm na 800 mm nevyřešil problém se staženinou, jak je vidět na **obr. 16** (varianta 5), resp. na **obr. 17** (varianta 6).

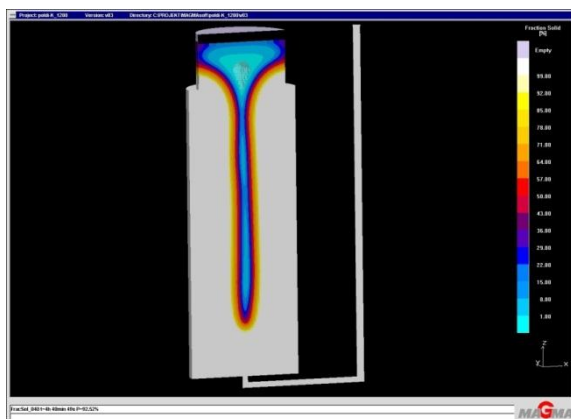
Příčina tohoto jevu je zřejmě zakotvena ve tvaru ingotu, kdy střed těla ingotu má větší tepelnou kapacitu, než hlavová část. Toto je patrné z **obr. 18** až **obr. 23**.



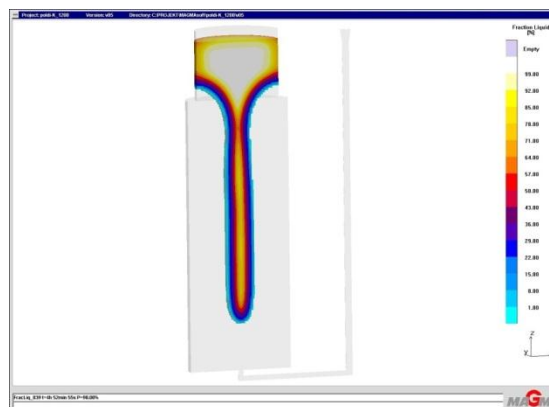
Obr. 18 Podíl tekuté fáze v ingotu v závěru tuhnutí - Varianta 1



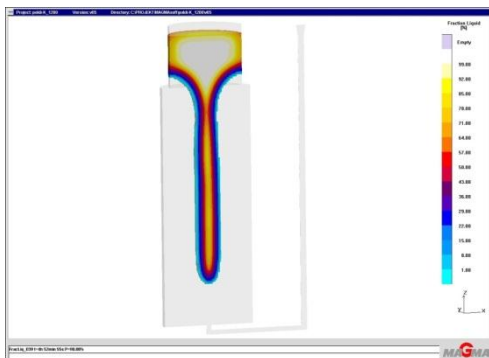
Obr. 19 Podíl tekuté fáze v ingotu v závěru tuhnutí - Varianta 2



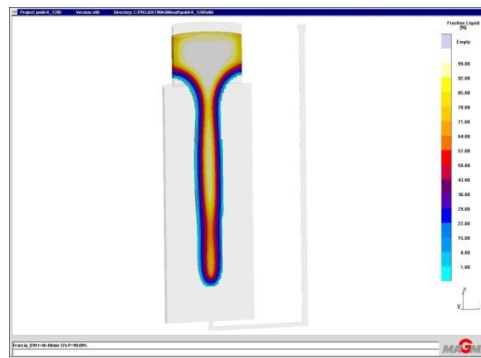
Obr. 20 Podíl tekuté fáze v ingotu v závěru tuhnutí - Varianta 3



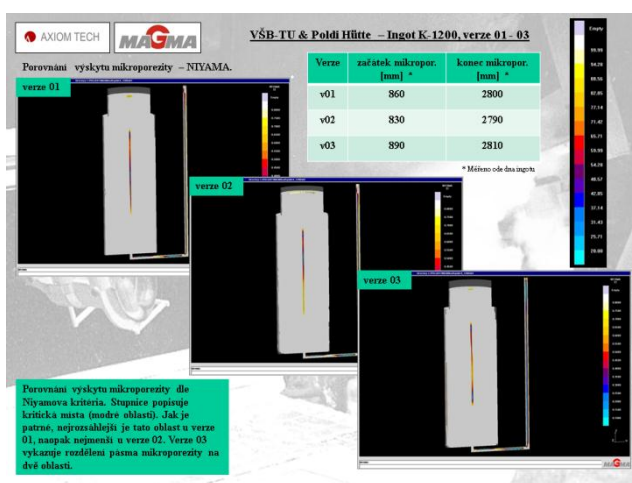
Obr. 21 Podíl tekuté fáze v ingotu v závěru tuhnutí - Varianta 4



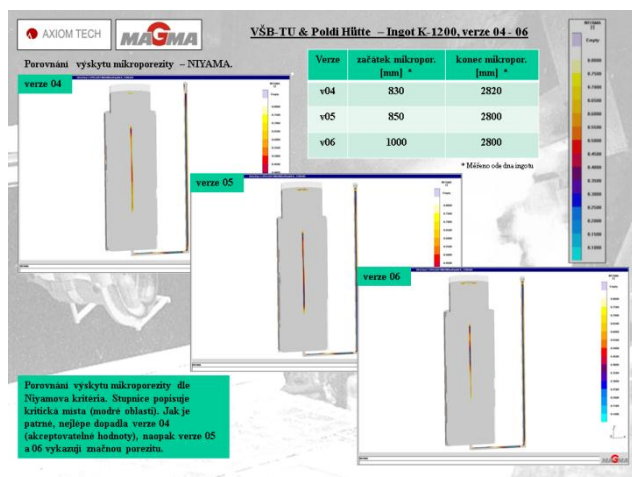
Obr. 22 Podíl tekuté fáze v ingotu v závěru tuhnutí - Varianta 5



Obr. 23 Podíl tekuté fáze v ingotu v závěru tuhnutí - Varianta 6



Obr. 24 Porovnání výskytu mikroporezity podle Niyamova kritéria - verze 01 až 03



Obr. 25 Porovnání výskytu mikroporezity podle Niyamova kritéria – verze 04 až 06

V těchto obrázcích je zobrazen podíl tekuté fáze na konci tuhnutí ingotu pro varianty 1 až 6. Je vidět, že v závěru tuhnutí byl u všech variant střed ingotu ještě tekutý a hlava tak nemohla dosazovat tekutou fází do hloubky těla ingotu. To bylo příčinou vzniku staženiny v ingotech.

Matematická simulace mikroporezity (byla počítána podle Niyamova kritéria) u ingotu K1200 ukázala obdobné výsledky jako simulace staženiny. Z obr. 24 a obr. 25 je patrné, že se mikroporezita vyskytovala u všech variant.

Počátek a konec mikroporezity, měřeno od paty ingotu, jsou uvedeny v tabulce na obr. 24 a 25. Z tabulek je patrné, že změny teplot odlévání, výšky hlavy, resp. izolační vrstvy neměly na výskyt mikroporezity téměř žádný vliv. Výsledky teoretické simulace byly potvrzeny i praktickým výzkumem. Dva ingoty sledované jakosti oceli byly rozřezány a středová staženina byla potvrzena přibližně ve stejném intervalu jako její simulace.

To je patrné z obr. 26 a obr. 27, které znázorňují podélný a příčný řez ingotu.



Obr. 26 Staženina v rozřezaném ingotu
t.č. 20589



Obr. 27 Staženina v rozřezaném ingotu
t.č. 20612

ZÁVĚR

1. Matematická simulace tuhnutí ingotů v kokilách K18 a K25 ukázala na nedostatečnou velikost hlavové části těchto ingotů.
2. Zvětšení hlavy z původních 350 na 600 mm přineslo podstatné zvýšení kvality ingotů, ale současně i značné snížení výtěžku kovu z ingotu.
3. Změnou formátu na kruhový ingot došlo k navýšení výtěžnosti kovu o 8 %.
4. Matematická simulace však ukázala, že vzhledem k tvaru ingotu nelze zcela odstranit staženinu ani středovou porezitu.
5. Tuto porezitu se následně podařilo odstranit změnou postupu kování.

PODĚKOVÁNÍ

Práce vznikla v rámci řešení projektů FR-TI1/477 za finanční podpory Ministerstva průmyslu a obchodu ČR.

LITERATURA

- [1] Hodan, J, Adolf, Z., Mráček, J. Výzkum a vývoj technologie výroby a zpracování kovaných tyčí velkých rozměrů z nástrojových ocelí na formy pro tlakové lití kovů v provedení EFS, Roční zpráva 2010. Kladno, 2010, 56 s.
- [2] Hodan, J, Adolf, Z., Mráček, J. Výzkum a vývoj technologie výroby a zpracování kovaných tyčí velkých rozměrů z nástrojových ocelí na formy pro tlakové lití kovů v provedení EFS, Roční zpráva 2011. Kladno, 2011, 69 s.

POROVNÁNÍ CHOVÁNÍ ZTEKUCUJÍCÍCH PŘÍRAD STRUSEK V PRŮBĚHU ZPRACOVÁNÍ OCELI NA ZAŘÍZENÍCH SEKUNDÁRNÍ METALURGIE

Ladislav SOCHA^a, Jiří BAŽAN^a, Petr STYRNAL^b, Václav PILKA^c, Zbygněv PIEGZA^c, Jan MELECKÝ^d

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

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

^c TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY, a.s., Průmyslová 1000, 739 94 Třinec, Česká republika, Vaclav.Pilka@trz.cz, Zbygnev.Piegza@trz.cz

^d 1. máje 33, 743 01 Bílovec, Česká republika, j.melecky@seznam.cz

Abstrakt

Při zpracování oceli na zařízeních sekundární metalurgie jsou za účelem efektivní rafinace oceli používány ztekucující přísady ocelářských strusek. Jejich základní úlohou je vytvoření aktivní strusky pro zlepšení kinetických podmínek a rafinačních procesů na rozhraní struska – kov, odsíření oceli a také pohlcování nekovových vměstků. V současnosti jsou běžně používány přísady na bázi Al_2O_3 , které jsou vyráběny v různých formách. Na základě spolupráce s firmou JAP TRADING, s.r.o. je prováděn výzkum a vývoj briketovaných ztekucujících přísad spolu s optimalizací způsobu aplikace v provozních podmínkách. Příspěvek uvádí provozní výsledky a zkušenosti s použitím briketovaných přísad na bázi Al_2O_3 za různých technologických podmínek zpracování oceli na zařízení sekundární metalurgie v podmínkách ocelárny TŘINECKÝCH ŽELEZÁREN, a.s. Cílem provozních taveb bylo posouzení výsledků při použití různých množství struskotvorných přísad (vápno a briketované ztekucující přísady) a způsobů dezoxidace oceli. V rámci experimentů byla průběžně prováděna analýza chemického složení oceli, strusky a měřena teplota a aktivita kyslíku v oceli.

Fluxing agents for steel slags are used for the purpose of effective steel refining during steel processing at the secondary metallurgy. Their basic task is creation of active slag to improve the kinetic conditions and the refining processes on the interface slag - metal, steel desulphurization as well as the absorption of non-metallic inclusions. Presently fluxing agents based on Al_2O_3 are commonly used. They are produced in various forms. Following the cooperation with the company JAP Trading, s.r.o., research and development of briquetting fluxing agents together with the optimization of the way of application in plant conditions is provided. The paper presents the plant results and experience with the usage of briquetting fluxing agents based on Al_2O_3 under various technological conditions of steel processing at the secondary metallurgy in the conditions of steelwork TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY, a.s. Objective of the plant heats consisted in assessment of results at using different quantity of slag-making agents (lime and briquetting fluxing agents) and ways of steel dezoxidation. During experiments continuous analysis of chemical composition of steel and slag was performed and temperature and activity of oxygen in steel were measured.

Klíčová slova: ztekucující přísady, struska, ocel, sekundární metalurgie

Keywords: fluxing agents, slag, steel, secondary metallurgy

1. ÚVOD

V ocelářském průmyslu jsou neustále zvyšovány požadavky na kvalitu a užité vlastnosti oceli. Jednu z možností, jak lze tyto požadavky splnit v rámci sekundární metalurgie, představuje optimalizace struskového režimu v lící pánvi. Proces tvorby pánvové strusky je poměrně náročný a závisí na množství struskotvorných přísad (CaO a syntetické strusky na bázi Al_2O_3), způsobu dezoxidace oceli, intenzitě míchání, korozi (opotřebení) vyzdívky lící pánve a množství přeteklé pecní strusky. Vzniklá směs jednotlivých oxidů představuje strusku, jejíž složení výrazně ovlivňuje viskozitu a také její rafinační schopnosti. V průběhu zpracování oceli v rámci sekundární metalurgie dochází k úpravě chemického složení strusky dalšími přísadami struskotvorných přísad, ale také ke snížení obsahu lehce redukovatelných oxidů s cílem vytvoření dostatečně bazické, tekuté strusky s nízkou teplotou tavení, která přispívá k urychlení fyzikálně chemických dějů na rozhraní struska kov, čímž ovlivňuje účinnost metalurgických dějů [1]. Z literárních podkladů [2, 3] bylo zjištěno, že optimální složení rafinační strusky pro ocel dezoxidovanou hliníkem určenou pro sekundární metalurgii by mělo obsahovat následující podíly oxidů: cca 60 % CaO, 30 % Al_2O_3 , méně než 6 % SiO_2 a méně než 1 % FeO.

Cílem provozních experimentů bylo porovnání různých variant struskotvorných přísad a dezoxidačních činidel se zaměřením na posouzení možností dosažení optimálního chemického složení strusky umožňující zlepšení kinetických a rafinačních podmínek pánvové strusky v průběhu zpracování na zařízeních sekundární metalurgie.

2. CHARAKTERISTIKA PROVOZNÍCH EXPERIMENTŮ

Provozní experimenty s briketovanými ztekucovadly strusek byly realizovány při zpracování oceli na zařízeních sekundární metalurgie v podmínkách ocelárny TŘINECKÝCH ŽELEZÁREN, a.s. Hodnocení vlivu ztekucujících přísad a způsobu dezoxidace oceli na chemické složení a rafinační schopnosti strusek bylo provedeno při zpracování oceli na stanici homogenizace inertním plynem (SHIP) a pánvové peci (LF).

Vlastní výrobní proces probíhal následujícím způsobem. Po zpracování oceli v kyslíkovém konvertoru byl proveden odpich do lící pánve. Po začátku odpichu byl nejprve přidán jeden ze dvou typů ztekucovadel (A55C15BW nebo A65C11VS) pro dosažení částečného rozpuštění, protože tato ztekucovadla mají teploty tavení přesahující pracovní teploty oceli. Spolu se ztekucovadlem byl přidán i karbid vápníku (CaC_2) pro snížení obsahu lehce redukovatelných oxidů představujících přeteklou pecní strusku z kyslíkového konvertoru. Následně byl přidán hliník ($\text{Al}_{\text{granul}}$) určený pro dezoxidaci oceli. V průběhu odpichu byly přidány legující přísady jako FeSi, FeSiMn a nauhličovadlo. Na závěr odpichu byla přidána hlavní část struskotvorných přísad vápno (CaO) sloužící jako hlavní složka struskotvorných přísad. Po odpichu byla lící pánve s ocelí a vytvořenou struskou převezena na homogenizační stanici, kde proběhla homogenizace oceli, a to horní tryskou ($700 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$) a spodní dmyšnou ($400 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$) pomocí argonu. Poté byla lící pánve převezena na pánvovou pec, kde došlo k úpravě strusky přísadkou vápna, ztekucovadla (A65C11VS) a hliníku ($\text{Al}_{\text{granul}}$). Těmito přísadami struskotvorných přísad došlo k úpravě chemického složení strusky, po kterém proběhlo standardní zpracování na pánvové peci představující ohřev, odsíření, homogenizaci a rafinaci oceli. Ukončení zpracování na pánvové peci tvoří závěrečnou část, po které následovalo lití na zařízení plynulého odlévání.

V provozních podmínkách bylo realizováno celkem 21 taveb, a to při výrobě nelegované konstrukční oceli S355 různých modifikací, jejíž základní chemické složení je uvedeno v **tab. 1**. Je vhodné uvést, že provozní

experimenty proběhly při výrobě 3 modifikací oceli S355, přičemž byly požadovány rozdílné maximální obsahy síry v oceli (0,012 a 0,015 hm. %).

V průběhu zpracování oceli na zařízeních sekundární metalurgie (stanici SHIP a pánvové peci LF) byly odebírány vzorky oceli a strusky na následujících technologických místech: v lici pánvi po odpichu z kyslíkového konvertoru a příjezdu na homogenizační stanici (vzorek SHIP_{příjezd}), před odjezdem z homogenizační stanice na pánvovou pec (vzorek SHIP_{odjezd}), na začátku zpracování na pánvové peci (vzorek LF_{příjezd}) a na konci zpracování na pánvové peci (vzorek LF_{odjezd}). 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.

Tabulka 1 Základní chemické složení oceli S355

Table 1 Basic chemical composition of steel S355

Jakost	Rozsah	Chemické složení (hm. %)					
		C	Mn	Si	P	S	Al
S355	Min.	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	0,010
	Max.	0,22	1,60	0,55	0,035	0,035	0,060

3. ZÁKLADNÍ PARAMETRY JEDNOTLIVÝCH VARIANT EXPERIMENTŮ

Pro vytvoření aktivní strusky v lici pánvi pro zpracování na zařízeních sekundární metalurgie byly navrženy různé varianty experimentů. Tyto varianty se mezi sebou lišily nejen použitými struskotvornými přísadami, ale i přidaným množstvím přísad do lici pánve. Celkem byly navrženy čtyři varianty, u kterých byly použity následující přísady: vápno (CaO), karbid vápníku (CaC₂), granulovaný hliník (Al_{granul}) a dva typy ztekucovadel (A55C15BW a A65C11VS) na bázi Al₂O₃ vyvinuté firmou JAP TRADING, s.r.o. Základní charakteristika jednotlivých variant je uvedena v **tab. 2**.

Tabulka 2 Charakteristika jednotlivých variant provozních experimentů

Table 2 Characteristics of particular variants of plant experiments

Varianta experimentu	Přidávky hlavní části struskotvorných přísad (kg)				
	A55C15BW	A65C11VS	CaC ₂	Al _{granul}	CaO
A	400	xxx	xxx	150	1200
B	xxx	300	100	150	1200
C	400	xxx	100	300	1200
D	xxx	300	100	200	1500

Z **tab. 2** vyplývá, že u všech navržených variant byla pro provozní experimenty vybrána dvě ztekucovadla na bázi Al₂O₃. Tato ztekucovadla obsahují stejné základní složky, ale mezi sebou se liší v obsahu Al₂O₃, CaO a druhu použitého pojiva. Jejich základní chemické složení je uvedeno v **tab. 3**. Dále byl přidán karbid vápníku (CaC₂) s cílem snížení obsahu lehce redukovatelných oxidů v případě průniku pecní strusky z kyslíkového konvertoru. Pro zajištění hluboké dezoxidace byl použit granulovaný hliník (Al_{granul}), přičemž uvedené dezoxidační činidlo bylo přidáno také s cílem snížení propalu legujících přísad a přechodu vzniklých oxidů do strusky v lici pánvi. Poslední složku představují dvě odlišné dávky vápna (CaO), které sloužilo jako základní složka pánvové strusky.

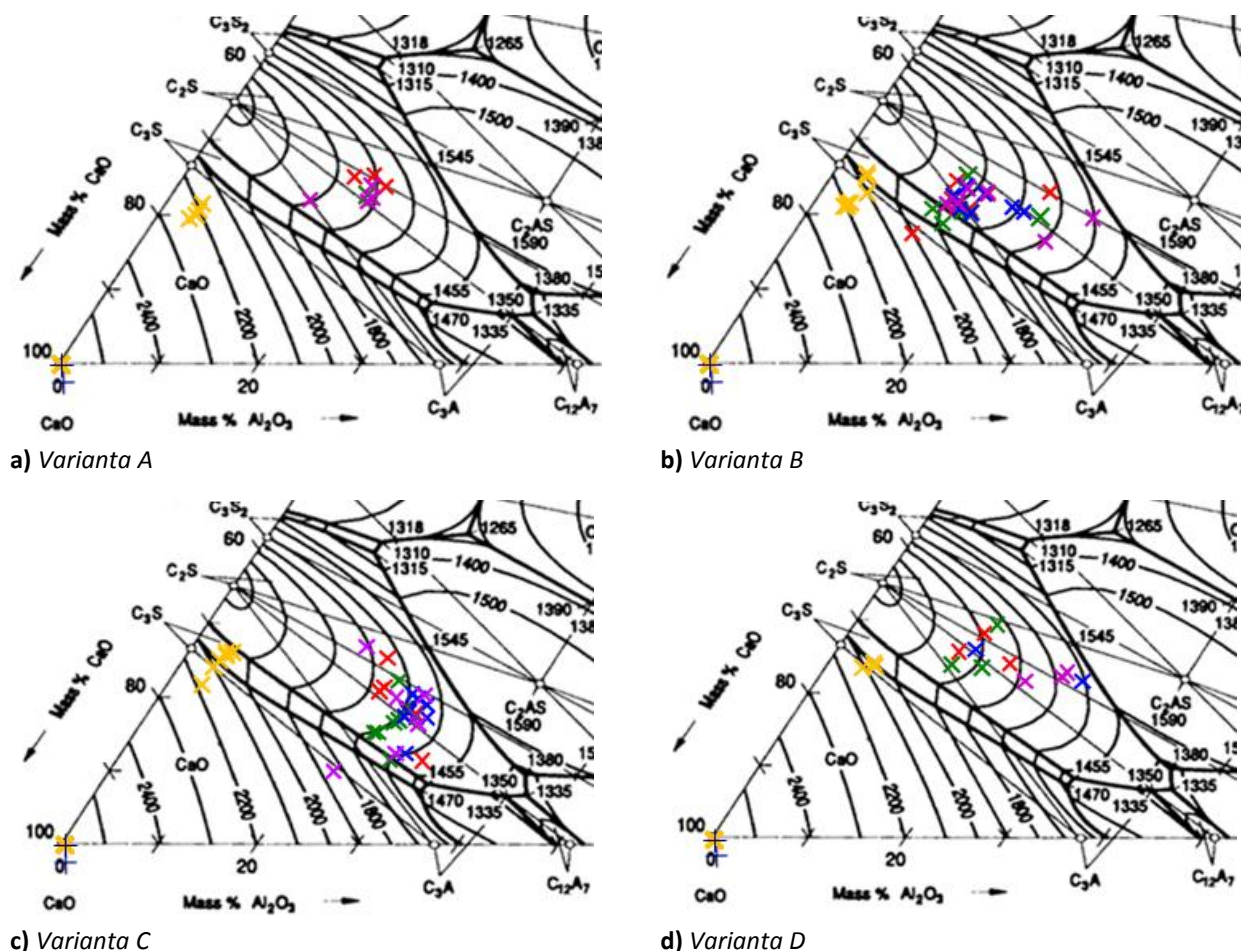
Tabulka 3 Základní parametry použitých ztekucovadel

Table 3 Basic parameters of used fluxing agents

Typ ztekucovadla	Chemické složení (hm. %)					Použité pojivo	Pevnost (MPa)
	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂		
A55C15BW	55	15	4	1,5	2	organické	8 – 15
A65C11VS	65	11	6	xxx	3,5	vodní sklo	8 – 15

4. HODNOCENÍ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ

Posouzení vlivu jednotlivých variant struskotvorných přísad a dezoxidačních činidel na ovlivnění chemického složení strusek bylo realizováno v několika částech. Nejprve bylo provedeno vyhodnocení průběhu změn chemického složení pánvových strusek na základě analýzy vzorků odebraných během zpracování na dvou zařízeních sekundární metalurgie (stanici SHIP a pánvové peci LF). Dosažené výsledky změn chemického složení byly pro jednotlivé varianty zpracovány do ternárních diagramů uvedených na obr. 1a až obr. 1d.



Obr. 1 Ternární diagram CaO-Al₂O₃-SiO₂ složení pánvové strusky [4]

Fig. 1 Ternary diagram CaO-Al₂O₃-SiO₂ of ladle slag composition [4]

Poznámka: žlutá barva – konvertorová struska, červená barva – struska homogenizační stanice (vzorek SHIP_{příjezd}), zelená barva – struska homogenizační stanice (vzorek SHIP_{odjezd}), modrá barva – struska pánvová pec (vzorek LF_{příjezd}), fialová barva – struska pánvová pec (vzorek LF_{odjezd})

Z ternárních diagramů $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ na **obr. 1a** až **obr. 1d** vyplývá, že v případě varianty A (**obr. 1a**) se teploty tavení strusek v pánvi pohybují v průběhu celého zpracování v oblasti nad 1800°C . Tento trend lze vysvětlit nízkými obsahy Al_2O_3 cca 15 hm. % ve strusce se současně zvýšenými obsahy SiO_2 v rozsahu 18 až 20 hm. % a obsahem CaO cca 49 hm. %. Lze předpokládat, že na zvýšeném obsahu SiO_2 se podílí propal FeSi nebo FeSiMn použitého při odpichu jako legující přísady. Z ternárního diagramu také vyplývá, že v průběhu zpracování dochází k mírné změně chemického složení a pánvové strusky se přibližují k hraniční oblasti teploty tavení 1600°C . Tento jev lze vysvětlit přidavky hliníku ($\text{Al}_{\text{granul}}$) na pánvové peci, kdy došlo ke snížení obsahu lehce redukovatelných oxidů.

U varianty B (**obr. 1b**) je patrný výraznější průběh změn chemického složení strusek, ale i v tomto případě se teplota tavení strusek pohybuje v oblasti nad 1800°C . Uvedený trend lze vysvětlit nízkými obsahy Al_2O_3 ve strusce cca 13 hm. %, přičemž obsahy SiO_2 byly nižší než v předchozí variantě cca 17 hm. % a obsah CaO se pohyboval v rozsahu 51 až 54 hm. %. V tomto případě lze konstatovat, že nižší přídavek ztekucovadla A65C11VS se negativně projevil na množství Al_2O_3 ve strusce, i když toto ztekucovadlo obsahuje vyšší obsahy Al_2O_3 . V případě několika taveb je však dosažena oblast teploty tavení v rozsahu 1600 až 1800°C , a to u odjezdových strusek z pánvové pece. Uvedený jev lze vysvětlit přidavky vápna (CaO), ztekucovadla (A65C11VS) a hliníku ($\text{Al}_{\text{granul}}$), což vedlo k úpravě chemického složení strusky.

V případě varianty C (**obr. 1c**) lze konstatovat, že chemické složení strusek se od počátku zpracování pohybuje v oblasti teplot tavení 1600 až 1800°C . U této varianty byly dosaženy následující obsahy základních oxidů: Al_2O_3 cca 21 hm. %, SiO_2 cca 15 hm. % a rozsah CaO 45 až 50 hm. %. V tomto případě se zřejmě potvrdil pozitivní vliv vyšších přídavek ztekucovadla A55C15BW a také dvojnásobně vyšší množství hliníku ($\text{Al}_{\text{granul}}$) pro zajištění hluboké dezoxidace. Některé tavby se však pohybují na hranici teplot tavení 1400 až 1800°C . Tento trend lze vysvětlit postupným rozpouštěním jednotlivých složek pánvové strusky, ale také přidavky vápna (CaO), ztekucovadla (A65C11VS) a hliníku ($\text{Al}_{\text{granul}}$) na pánvové peci s cílem úpravy chemického složení strusky a vytvoření rafinační strusky.

Poslední varianta D (**obr. 1d**) vykazuje největší změny chemického složení strusek v průběhu zpracování. Hlavní část jednotlivých strusek se však pohybuje v oblasti teplot tavení nad 1800°C . Tento trend lze vysvětlit nízkými obsahy Al_2O_3 cca 13 hm. % a současně zvýšenými obsahy SiO_2 cca 21 hm. %, přičemž CaO se pohybuje v rozsahu cca 46 až 52 hm. %. V tomto případě lze konstatovat, že nižší obsahy Al_2O_3 ve strusce představují nižší přídavek ztekucovadla A65C11VS přidaný během odpichu. Lze také předpokládat, že na zvýšeném obsahu SiO_2 se podílí propal FeSi nebo FeSiMn použitého při odpichu jako legující přísady, a zřejmě také nižší přídavek hliníku ($\text{Al}_{\text{granul}}$) během odpichu. Z ternárního diagramu také vyplývá, že několik odjezdových strusek z pánvové pece dosahuje na spodní hranici teplot tavení v oblasti 1600°C . Tento trend lze vysvětlit přidavky ztekucovadla (A65C11VS) a hliníku ($\text{Al}_{\text{granul}}$) přidaných na pánvové peci s cílem zvýšení obsahu Al_2O_3 ve strusce a snížení obsahu lehce redukovatelných oxidů.

Kromě hodnocení dle chemického složení strusek v ternárních diagramech bylo provedeno i hodnocení pomocí základních parametrů strusek. Výsledky jsou uvedeny v **tab. 4** a představují bazicitu, obsah lehce redukovatelných oxidů, poměr $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ a Mannesmannův index.

Porovnáním sledovaných parametrů strusek v průběhu zpracování na zařízeních sekundární metalurgie z **tab. 4** lze vyvodit následující poznatky. Z porovnání jednotlivých bazicit vyplývá, že varianty A a D lze zařadit do skupiny středně bazických (B1) až slabě kyselých strusek (B2). Zbylé varianty B a C patří do

skupiny silně (B1) až středně zásaditých strusek (B2). Tyto hodnoty odpovídají nižším celkovým stupňům odsíření, které se pohybovaly v rozsahu 49 až 56 %.

Tabulka 4 Sledované parametry strusek v průběhu zpracování

Table 4 Monitored parameters of slags during processing

Varianta	Vzorek	B1	B2	LRO	C/A	MM
A	SHIP _{příjezd}	2,30	1,57	2,91	3,15	0,15
	SHIP _{odjezd}	2,56	1,79	4,72	3,07	0,17
	LF _{příjezd}	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
	LF _{odjezd}	2,64	1,82	1,32	3,45	0,18
B	SHIP _{příjezd}	2,97	2,02	8,77	4,51	0,26
	SHIP _{odjezd}	3,09	2,04	5,56	4,41	0,25
	LF _{příjezd}	2,89	2,01	4,44	4,0	0,22
	LF _{odjezd}	2,93	1,91	1,75	3,73	0,21
C	SHIP _{příjezd}	3,14	1,53	9,62	2,38	0,16
	SHIP _{odjezd}	3,68	1,64	3,39	2,40	0,18
	LF _{příjezd}	3,23	1,50	2,42	2,13	0,14
	LF _{odjezd}	3,70	1,65	2,17	2,47	0,18
D	SHIP _{příjezd}	2,29	1,64	14,27	4,25	0,21
	SHIP _{odjezd}	2,39	1,70	7,01	4,40	0,20
	LF _{příjezd}	2,34	1,42	5,70	3,20	0,15
	LF _{odjezd}	2,44	1,37	1,85	2,37	0,12

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 $C/A = (CaO)/(Al_2O_3)$, MM – Mannesmannův index: $MM = ((CaO)/(SiO_2))/(Al_2O_3)$

Další parametr, který byl sledován v pánvových struskách, je obsah lehce redukovatelných oxidů (**tab. 4**). V tomto případě byl zjištěn jejich výrazně vyšší obsah, a to u variant B, C a D. Tyto vyšší obsahy dokazují, že došlo k průnikům pecní strusky do lící pánve na závěr odpichu. U variant B, C a D byl přidán karbid vápníku (CaC_2) pro snížení obsahu lehce redukovatelných oxidů, což se projevilo postupným snižováním těchto oxidů při postupném rozpouštění karbidu vápníku (CaC_2). Tento proces byl podpořen na pánvové peci přísadkou hliníku (Al_{granul}), což vedlo k redukcí a poklesu hodnot. Lze předpokládat, že určité množství lehce redukovatelných oxidů vzniká částečnou dezoxidací a legováním oceli, což se projevilo v dosažených obsazích ve variantě A.

V případě vápenato-hlinitanového podílu je patrné, že jednotlivé varianty dosahují odlišné hodnoty (**tab. 4**). Optimální hodnota tohoto parametru by měla být vyšší než 2,0, protože v rafinační strusce jsou požadovány vyšší obsahy Al_2O_3 , a to > 25 hm. %. Nejstabilnějších hodnot dosahuje varianta C, kdy se tento parametr pohybuje v rozmezí cca 2,4 až 2,5. V případě varianty A se tento podíl pohybuje v rozsahu cca 3,1 až 3,5, což je způsobeno nízkými obsahy Al_2O_3 ve strusce cca 15 hm. %. Varianty B a D na začátku experimentu dosahují hodnot > 4, což je opět způsobeno nízkými obsahy Al_2O_3 ve strusce cca 12 hm. %. U těchto variant dochází následně během zpracování k poklesu hodnot, což je způsobeno postupným rozpouštěním ztekucovadel (A65C11VS) a přísadkou hliníku (Al_{granul}), přičemž k optimální hodnotě se přiblížila pouze varianta D. Poslední sledovaný parametr představuje Mannesmannův index (**tab. 4**), jehož optimální hodnota se pohybuje v rozmezí 0,15 až 0,30. Z výsledků vyplývá, že u varianty A a C dochází k jeho mírnému růstu, což je způsobeno postupným rozpouštěním ztekucovadla (A55C15BW) a přísadkou hliníku (Al_{granul}) pro

redukci lehce redukovatelných oxidů za vzniku Al_2O_3 ve strusce. Dosažené hodnoty se pohybují v rozsahu cca 0,15 až 0,18 a odpovídají nižším stupňům odsíření 57 a 56 %. U zbylých variant B a D však v průběhu zpracování dochází k poklesu hodnot, což je způsobeno rostoucími obsahy Al_2O_3 ve strusce. Tento nárůst je způsoben výraznými přídávky ztekucovadla (A65C11VS) obsahujícího Al_2O_3 a hliník ($\text{Al}_{\text{granul}}$) pro redukci lehce redukovatelných oxidů. Tímto nárůstem dojde k poklesu hodnot MM indexu, což se projevilo na dosaženém stupni odsíření 52 a 49 %.

5. ZÁVĚR

V provozních podmínkách TŘINECKÝCH ŽELEZÁREN, a. s. bylo provedeno porovnání vlivu odlišných množství struskotvorných přísad a dezoxidačních činidel na vytvoření rafinační pánvové strusky. Cílem těchto experimentů bylo získat relevantní informace nejen o chování ztekucujících přísad vyvinutých firmou JAP TRADING, a.s., ale také vlivu přídavek karbidu vápníku (CaC_2) a hliníku ($\text{Al}_{\text{granul}}$) na chemické složení pánvových strusek. Z dosažených výsledků provozních experimentů lze definovat následující poznatky:

- z ternárních diagramů $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ vyplývá, že k optimálnímu složení strusky dle literárních poznatků se nejvíce přiblížila varianta C, u které bylo dosaženo následujících obsahů: 45 až 50 hm. % CaO , cca 21 hm. % Al_2O_3 a cca 15 hm. % SiO_2 ,
- nejnižší oblasti teplot tavení pánvových strusek bylo dosaženo u varianty C, a to v rozsahu 1600 až 1800 °C, přičemž některé tavby se pohybovaly na hranici teplot tavení 1400 °C,
- z vyhodnocení obsahu lehce redukovatelných oxidů jednotlivých variant byl potvrzen pozitivní vliv přídavek karbidu vápníku (CaC_2) na snížení lehce redukovatelných oxidů,
- z použitých ztekucovadel (A55C15BW a A65C11VS) se jako vhodnější na základě obsahu Al_2O_3 ve strusce, výsledků vápenato-hlinitanového podílu a Mannesmannova indexu jeví ztekucovadlo A55C15BW,
- zajištěním hluboké dezoxidace oceli pomocí hliníku ($\text{Al}_{\text{granul}}$) při odpichu byl snížen propal legujících přísad FeSi a FeSiMn , což se projevilo nižšími obsahy SiO_2 v pánvové strusce,
- v další fázi výzkumu bude pozornost zaměřena na potvrzení těchto provozních výsledků při výrobě odlišných značek ocelí, a to při použití varianty C obsahující následující složky: ztekucovadlo (A55C15BW), karbid vápníku (CaC_2) a hliník ($\text{Al}_{\text{granul}}$).

PODĚKOVÁNÍ

Práce vznikla za podpory Ministerstva průmyslu a obchodu v rámci programu TIP při řešení projektů reg. čísla FR-TI2/319 a reg. čísla FR-TI1/351.

LITERATURA

- [22] GHOST, A., CHATTERJEE, A. *Ironmaking and Steelmaking: Theory and Practice*. PHI Learning Private limited, 2008, 472 p. ISBN 978-81-203-3289-8.
- [23] 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.
- [24] RÓŻAŃSKI, 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.
- [25] ALLIBERT, M., et al. *Slag atlas*. 2nd edition. Düsseldorf: Verein Stahleisen GmbH, 1995, 616 p. ISBN 978-3-514-00457-3.

MĚŘENÍ A ANALÝZA FLUKTUACÍ RYCHLOSTÍ LICÍCH PROUDŮ SOCHOROVÉHO ZPO

René PYSZKO¹⁾, Leopold CUDZIK²⁾, Pavel FOJTÍK¹⁾, Ladislav VÁLEK³⁾

¹⁾ VŠB-TUO, 17.listopadu 15, 708 33 Ostrava – Poruba, rene.pyszko@vsb.cz

²⁾ DASFOS, v.o.s., Božkova 45/914, 702 00 Ostrava – Přívoz, ladislav.valek@arcelormittal.com

³⁾ ArcelorMittal Ostrava a.s., Vratimovská 689, 707 02 Ostrava-Kunčice, cudzik.l@dasfos.com

Abstrakt

Je obecně známo, že rychlost, kterou je licí proud v zařízení pro plynulé odlévání oceli (dále ZPO) vytahován z krystalizátoru a transportován přes sekce sekundárního chlazení, je významnou veličinou v procesu plynulého odlévání a souvisí nejen s povrchovou i vnitřní kvalitou předlitku, ale může mít vliv i na vznik průvalu. Žádoucí je nejen nastavit optimální licí rychlost, ale udržet její konstantní hodnotu v průběhu lití. Je známo, že tření v krystalizátoru budí oscilace proudu, které se projevují kolísáním licí rychlosti. Tažné stolice spolu se systémem regulace, které mají za úkol kompenzovat změny licí rychlosti, v některých případech nejsou schopny odchylky eliminovat. Bylo provedeno experimentální měření na sochorovém ZPO č. 3 v ArcelorMittal Ostrava a.s. s cílem analyzovat příčiny nerovnoměrnosti tažné rychlosti. Měření zahrnovalo také nasazení speciálního diagnostického systému DGS - xT firmy Dasfos CZr. s.r.o. pro měření třecí síly v krystalizátoru, kromě snímání otáček válců tažných stolic, zrychlení proudu aj. Vyhodnocení ukázalo, že je potřeba rozlišovat dva stavy pohybu proudu. Prvním je mírné periodické kolísání tažné rychlosti v důsledku působení vnějších sil na proud, které je tlumeno třením ve vedení proudu a regulací pohonu tažných stolic. Druhým stavem je velké rozkmitání, nazývané cukání proudu. Statistická analýza měřených dat ukázala, že nerovnoměrnost tažné rychlosti souvisí sice s některými veličinami, jako je například tření v krystalizátoru, ale závislost není silná. Vznik výrazného cukání je potřeba posuzovat z pravděpodobnostního hlediska a souvisí především s frekvencí oscilace krystalizátoru.

Klíčová slova:

plynulé odlévání, licí rychlost, fluktuace, měření, tření, zrychlení proudu

1. ÚVOD

Na sochorových zařízeních pro plynulé odlévání oceli (dále jen ZPO) se v některých případech objevuje nerovnoměrný pohyb plynule litého proudu při dané licí rychlosti, který je v provozních podmínkách nazýván „cukání“. Pro výzkum tohoto nežádoucího jevu bylo zvoleno sochorové ZPO č. 3 v ArcelorMittal Ostrava a.s. Zařízení ZPO č. 3 bylo uvedeno do provozu v srpnu roku 1999 firmou CONCAST STANDARD. Základní parametry licího stroje jsou uvedeny v tabulce 1.

Licí rychlost je parametr s největším vlivem na tepelné děje na povrchu i uvnitř proudu, který nejvýrazněji ovlivňuje rychlost tuhnutí oceli i teplotní gradienty v licí kůře, a tedy i vznik trhlin. Licí rychlost musí být optimálně nastavena s ohledem na výrobnost, proces tvorby licí kůry a metalurgickou délku. Důležité je také licí rychlost stabilizovat v průběhu lití, neboť při skokových změnách licí rychlosti dochází k rázovému mechanickému namáhání licí kůry a k nestabilitě dějů v oblasti menisku oceli, které mohou být příčinou povrchových vad, vzniku trhlin a průvalu. Z těchto důvodů byla řešena problematika cukání licích proudů.

Bylo provedeno experimentální měření, které proběhlo ve dvou kampaních, během kterých bylo proměřeno celkem 24 taveb. Experimentální měření bylo prováděno v ArcelorMittal, Ostrava a.s., ve spolupráci katedrou tepelné techniky, FMMI, VŠB-TU Ostrava a firmou DASFOS CZr, s.r.o. [1], [2], [3].

Tabulka 1 Vybrané charakteristiky ZPO č. 3

Typ	radiální sochorové / bramové, typ Concast 25/10.2-6CCS s technologií Convex
Rádus, metalurgická délka	6 m; 18,7 m
Formát sochorů / bramek	kvadrát 115 a 160 mm, bramka 102x160 mm
Licí rychlost (kv. 115 mm)	max. 5,0 m·min ⁻¹ ; průměr 4,5 m·min ⁻¹
Krystalizátor	Concast Convex, vypouklé vnitřní stěny v horní části
- délka, stěny	1000 m; Cu (Cr vrstva), spodní ½ postupně zúžena
- mazání stěn	individuální čerpadlo pro každý licí proud
- oscilace	mechanická - vačkový systém se sinusoidním pohybem
- frekvence, zdvih	max. 300 zdvihů·min ⁻¹ ; 12 / 8,5 / 10,4 mm
Vytahování / rovnání proudu	1 tažná a rovnací stolice (dvě řady)

2. MĚŘICÍ SYSTÉM A VELIČINY

Vybrané uzly ZPO byly osazeny snímači pro měření mechanických, elektrických veličin a teplot. Krystalizátor byl vybaven akcelerometry pro měření zrychlení ve třech kolmých osách a snímačem polohy ve svislém směru. V krystalizátoru bylo dále umístěno celkem 12 teplotních čidel. V každé stěně byla dvě čidla umístěna v mědi ve vzdálenosti 240 mm pod horní hranou krystalizátoru a jedno ve stejné pozici v chladicí vodě. Na hřídel pohonu oscilací byl instalován dvouhodnotový snímač otočení excentru. Ojnice oscilačního mechanismu byla opatřena tenzometrickým snímačem osově síly. Otáčky válců tažné stolice byly měřeny jak analogovou metodou, tak i frekvenčním způsobem pomocí inkrementálních snímačů. Frekvenční metodou byly také měřeny otáčky pohonů tažné stolice a odměřovacího válce pro měření odlité délky proudu. Rovněž byly měřeny elektrické proudy pohonů tažné stolice. Po omezenou dobu bylo měřeno i zrychlení proudu akcelerometrem.

Veličiny byly snímány dvěma měřicími systémy navzájem synchronizovanými a spojenými s řídicím systémem ZPO za účelem získávání technologických dat.

První měřicí jednotka označená jako „**Měřicí a diagnostický systém**“ realizovala měření veličin pro účely následné analýzy dynamicky se měnících veličin (akcelerometry, snímače otáček, síly, elektrického proudu). Frekvence vzorkování veličin byla 364 Hz.

Druhá měřicí jednotka „**DGS – xT**“ měřila a zpracovávala veličiny, potřebné pro hodnocení pracovních podmínek v krystalizátoru v reálném čase. Jednotka konkrétně měřila teploty v krystalizátoru s periodou 0,5 s a ze zrychlení krystalizátoru vyhodnocovala nepřímě měřené veličiny, a to velikost tření, úroveň mazání v krystalizátoru [5], [6], [7], frekvenci a amplitudu oscilace a fluktuace měřených teplot s periodou 5 s. Jednotka „DGS – xT“ také synchronizovala a ukládala veličiny, přijaté po komunikační lince z řídicího systému ZPO. Šlo především o údaje k tavně a parametry lití (licí rychlost, výška hladiny oceli, frekvence kmitání krystalizátoru, průtok maziva, množství a teploty chladicí vody v krystalizátoru a přítlaky tažných stolic).

3. PŘÍPRAVA DAT

Zpracování dat bylo náročné z důvodu velkého objemu dat a rozdílných vzorkovacích frekvencí [4]. Rychle měřené soubory, doplněné o teploty a veličiny měřené DGS – xT, obsahovaly 39 veličin v jednom záznamu, 364 záznamů za sekundu. To představovalo celkem 1,6 miliardy hodnot za 31,3 hodin měření. V rámci zpracování dat byla data rozdělena na 5-sekundové intervaly a z nich byly vypočteny základní statistické charakteristiky a Fourierovy koeficienty harmonické analýzy. Tím byly vytvořeny redukované datové soubory, které jsou tvořeny záznamy, obsahujícími 187 odvozených veličin s periodou 5 s. Za celou dobu měření to představuje 22 500 záznamů, celkem asi 4,2 milionu hodnot.

Dominantní budící frekvencí v celém systému ZPO je frekvence kmitání krystalizátoru. Přenos této frekvence na další veličiny v lícím stroji je důležitým diagnostickým kritériem, které souvisí s cukáním plynule litého proudu. Proto program pro redukci dat počítal Fourierovu analýzu (amplitudu a fázi), omezenou na základní harmonickou složku, odpovídající oscilaci krystalizátoru. Fourierův rozklad byl počítán pro všechny dynamicky měřené veličiny. Popsanou redukcí se objem dat zmenšil více než 300 krát, přičemž byly získány nové informace.

4. IDENTIFIKACE CUKÁNÍ

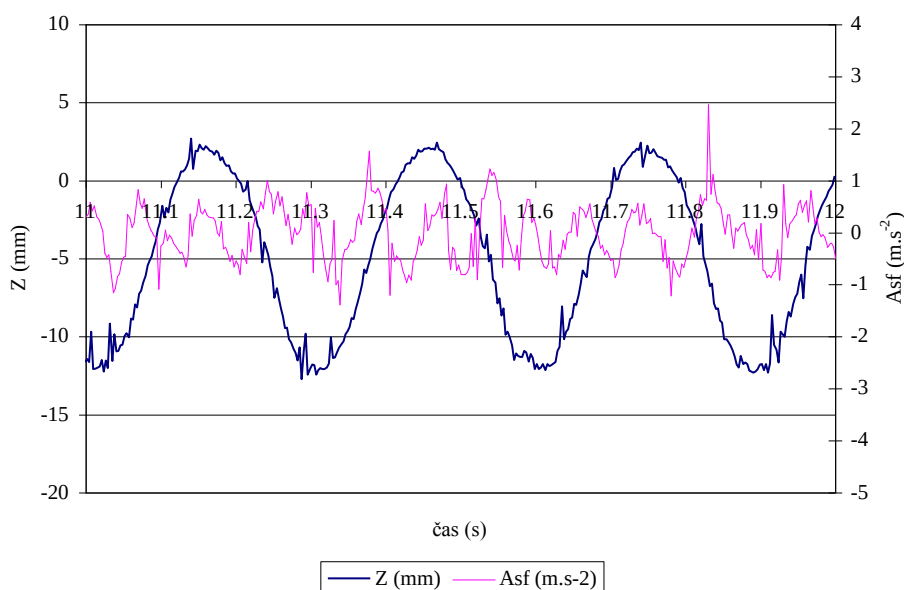
Cukání plynule litého proudu je v reálných podmínkách obvykle viditelné pouhým okem. Z měřených dat je možno cukání snadno identifikovat například z nerovnoměrnosti otáček odměřovacího válce nebo válců tažných stolic. Přímým důkazem cukání je naměřené zrychlení plynule litého proudu. Na obrázku 1 je zachycen průběh zrychlení proudu (veličina Asf) a dráhy krystalizátoru (Z) v době zdánlivě klidného pohybu proudu. Je vidět, že i v tomto stavu není pohyb proudu rovnoměrný.

Obrázek 2 zachycuje tytéž veličiny během cukání proudu. Při cukání se objevují špičkové hodnoty zrychlení proudu zpravidla v okamžiku, kdy se krystalizátor nachází v úvrati. Teoreticky v případě kapalinného tření v krystalizátoru by měly špičky zrychlení nastávat během největší relativní rychlosti krystalizátoru vůči proudu, tedy nikoli v úvrati krystalizátoru [7]. Naměřené průběhy odpovídají spíše přítomnosti suchého tření a společného pohybu proudu a krystalizátoru po část periody oscilace krystalizátoru.

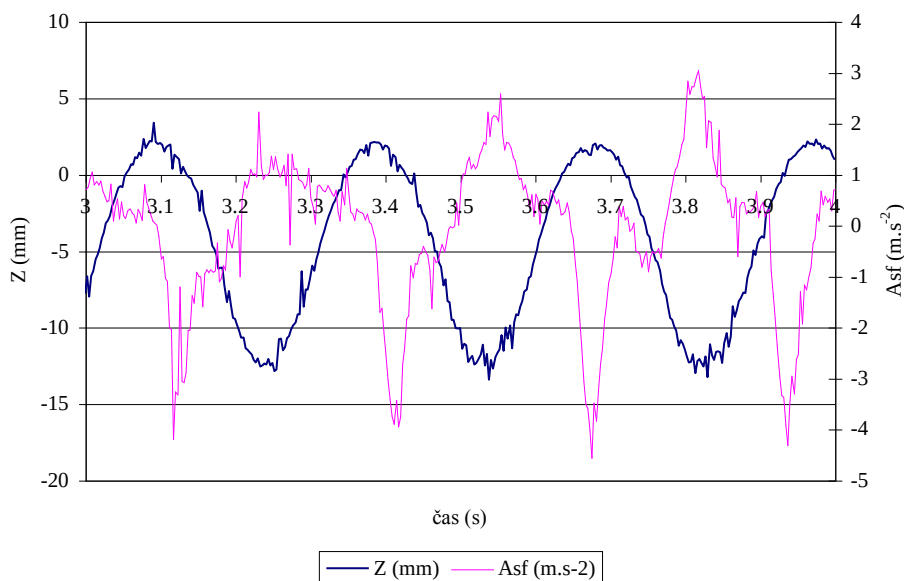
Kapalinné tření je typické pro dokonale mazané plochy, kde třecí síla je úměrná relativní rychlosti ploch. Suché tření se vyskytuje v místech, kde chybí mazivo a plochy jsou v přímém kontaktu nebo mazivo je v tuhém skupenství. Suché tření se vyznačuje skokovými změnami třecí síly v okamžicích změny směru relativní rychlosti třecích ploch.

Změny pohybu proudu jsou výsledkem působení nejen tření v krystalizátoru, ale i jeho mechanické vazby v tažných stolicích a pravděpodobně také akčních zásahů regulačního systému pohonu tažných stolic.

Pokud se elektrickou cestou od snímače hladiny nebo od měření lící rychlosti přes ovládání měniče dostane na pohon válce tažné stolice frekvence oscilace krystalizátoru resp. proudu, může dojít k vazbě a rozkmitání systému. Systém lícího proudu s tažnou a rovníací stolicí může mít frekvenci vlastních kmitů (nebo více vlastních frekvencí). Pokud je frekvence krystalizátoru vhodným celistvým násobkem (nebo podílem) vlastní frekvence proudu nebo systému jako celku, může vzniknout rezonance.



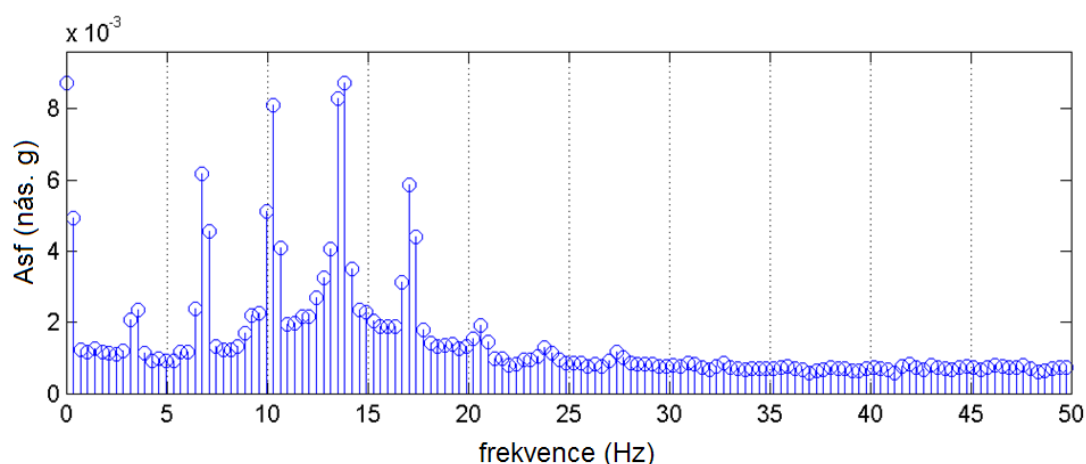
Obr. 1 Průběh dráhy krystalizátoru Z a zrychlení proudu Asf, formát 115×115 mm, frekvence oscilací 209 min^{-1} , licí rychlost $4,2 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, proud necuká



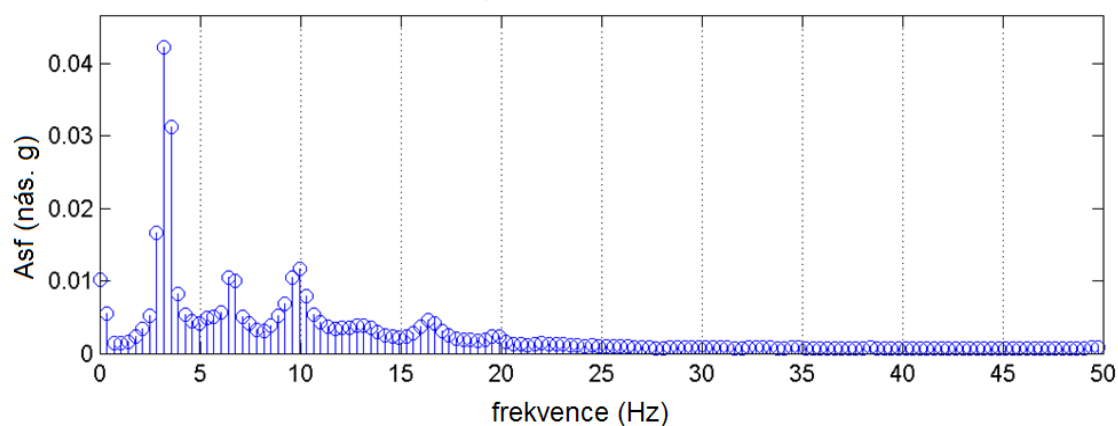
Obr. 2 Průběh dráhy krystalizátoru Z a zrychlení proudu Asf, formát 115×115 mm, frekvence oscilací 209 min^{-1} , licí rychlost $4,2 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, proud cuká

Zrychlení proudu (Asf) bylo podrobena frekvenční analýze. Amplitudové spektrum na obrázku 3 potvrzuje, že proud vibruje i tehdy, když se jeho pohyb vizuálně hodnotí jako pohyb rovnoměrný. Zrychlení proudu je v tomto grafu vyjádřeno v násobcích zemského gravitačního zrychlení. Lze říci, že pokud proud necuká, je frekvence oscilace krystalizátoru (asi 3 Hz) utlumená a převládají, i když s malou amplitudou, frekvence vyšší, rovné celistvým násobkům frekvence kmitání krystalizátoru (nejvýraznější jsou 2. až 5. harmonická).

Pokud proud začne cukat, viz obrázek 4, pak frekvence v pásmu 5 - 10 Hz (2. a 3. harmonická) ve spektru zůstanou, tlumí se frekvence v pásmu 11 - 15 Hz (4. a 5. harmonická) a výrazně vzroste amplituda na frekvenci kmitání krystalizátoru. Třecí síla v krystalizátoru způsobí přenos energie na nízkých frekvencích z oscilujícího krystalizátoru na proud a vzniká oscilace, kterou tažné stolice nemohou utlumit.



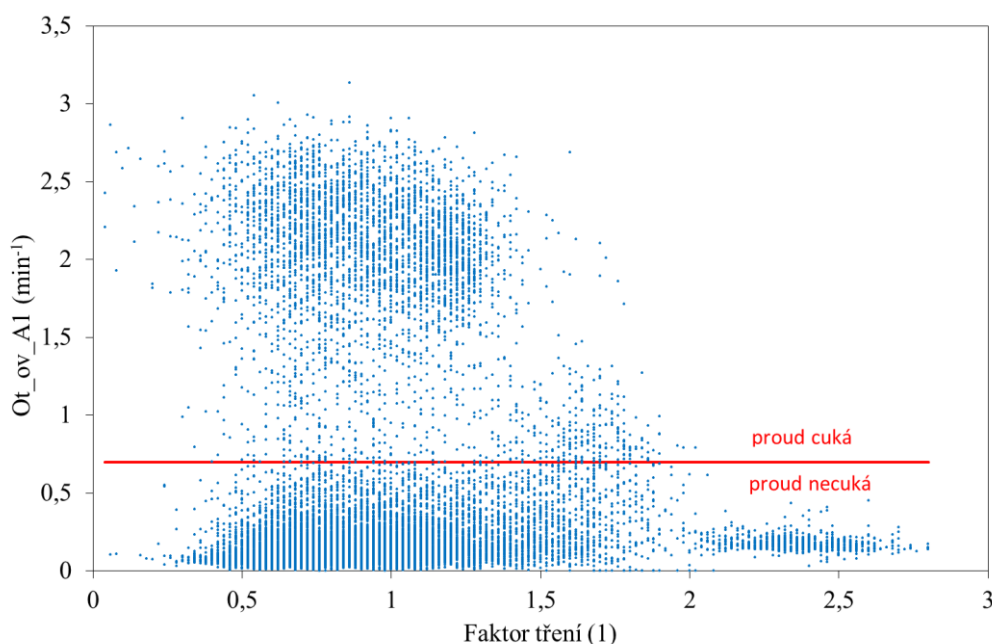
Obr. 3 Frekvenční spektrum zrychlení proudu, formát 115×115 mm, frekvence oscilací 209 min⁻¹, licí rychlost 4,2 m·min⁻¹, proud necuká



Obr. 4 Frekvenční spektrum zrychlení proudu, formát 115×115 mm, frekvence oscilací 209 min⁻¹, licí rychlost 4,2 m·min⁻¹, proud cuká

5. PODMÍNKY VZNIKU CUKÁNÍ

Tření v krystalizátoru je bezpochyby hlavním budičem oscilací v systému licího stroje. Proto byla analyzována závislost vzniku cukání na velikosti tření. Jelikož zrychlení proudu bylo měřeno pouze po omezenou dobu, pro statistické vyhodnocení byla použita náhradní veličina, a to otáčky odměřovacího válce. Na obrázku 5 jsou hodnoty amplitudy oscilací odměřovacího válce, získané harmonickou analýzou, o frekvenci shodné s oscilací krystalizátoru (označení Ot_ov_A1), vyhodnocené z 5-sekundových úseků. Po vyloučení chybných záznamů je vyneseno 21 766 bodů v grafu v závislosti na velikosti tření v krystalizátoru.

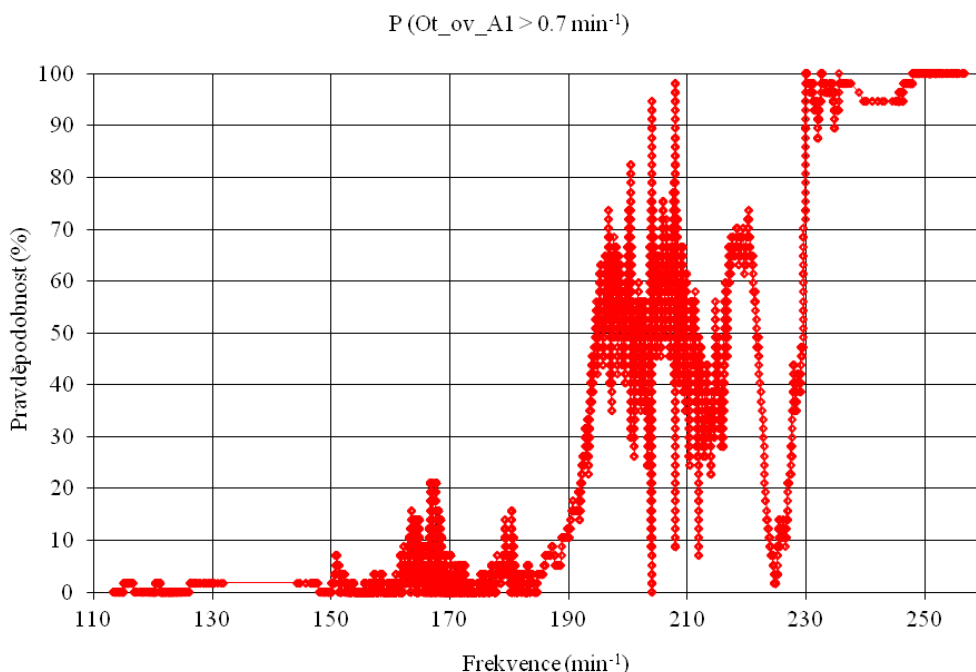


Obr. 5 Závislost amplitudy základní harmonické složky v otáčkách odměřovacího válce na tření v krystalizátoru, červeně je vyznačena zvolená hranice pro identifikaci cukání

Tření je charakterizováno bezrozměrovou relativní veličinou, zvanou faktor tření, který je výstupem systému DGS – xT. Vzájemná závislost těchto veličin sice statisticky není vyloučena, kladný Pearsonův korelační koeficient 0,018 je vyšší než kritická hodnota 0,013 na hladině významnosti 5 %, ale je velmi slabá. Na obrázku jsou zřetelné dva shluky bodů, které odpovídají stavům pohybu proudu „cuká“ – „necuká“. Pokud stanovíme hranici mezi oběma stavy pro hodnotu amplitudy oscilací otáček odměřovacího válce $0,7 \text{ min}^{-1}$, pak je cukání identifikováno ve 3 956 případech z 21 766 vyhodnocovaných bodů za celou dobu měření během odlévání 24 taveb. Z obrázku 5 je vidět, že paradoxně při největším tření vůbec nenastalo cukání proudu. Vyhodnocení tedy nepotvrdilo, že velké tření nutně vyvolává cukání proudu.

Statistickou analýzou dat bylo dále zjištěno, že nejvýznamnější vliv na vznik cukání má frekvence oscilací krystalizátoru. Vliv frekvence je však nutno hodnotit z pravděpodobnostního hlediska. Při některých frekvencích se může objevit cukání a může pokračovat i po odeznění spouštěcího faktoru, například suchého tření v krystalizátoru, při jiných frekvencích k cukání dochází zcela výjimečně.

Jak je vidět z obrázku 6, na konkrétním ZPO č. 3 existují frekvence, kdy pravděpodobnost vzniku cukání nepřesahuje 10 % (např. 110 až 163 min^{-1} , 224 až 226 min^{-1}). Pravděpodobnost cukání do 20 % je například pro intervaly frekvencí 163 až 168 , 179 až 181 , 223 až 227 min^{-1} . Naopak existují frekvence, při kterých je téměř 100 % jistota vzniku cukání (230 až 256 min^{-1}). Při ostatních frekvencích (např. 190 až 223 min^{-1}) je systém v nestabilním stavu, kdy proud může nebo nemusí přejít k cukání po excitaci.



Obr. 6 Pravděpodobnost vzniku cukání proudu v závislosti na frekvenci oscilace krystalizátoru

6. ZÁVĚR

Licí proud i při zdánlivě klidném pohybu neustále kmitá s malou amplitudou. V amplitudovém spektru je dominantní frekvence, odpovídající 4. vyšší harmonické oscilace krystalizátoru. Pokud nastane případ, že systém „licí proud – tažná a rovní stolice“ nemohou utlumit nízké frekvence, které budí krystalizátor, dojde k interferenci, jejímž výsledkem může být kmitání proudu s větší amplitudou na frekvenci kmitání krystalizátoru.

Silou, která může vybudit cukání proudu, je tření v krystalizátoru. Třecí poměry v krystalizátoru způsobují přenos energie na nízkých frekvencích z oscilujícího krystalizátoru na licí proud. Pokud existuje zvýšené tření a zejména nedokonalé mazání (suché tření), je splněn první předpoklad vzniku cukání, který ještě neznamená jistý přechod k cukání.

Systém přechází do stavu cukání při jen určitých frekvencích oscilace krystalizátoru, a to při různých frekvencích s odlišnou pravděpodobností. Příčinu cukání je potřeba hledat v dynamické vazbě mezi krystalizátorem, licím proudem a stolicemi, která je závislá na frekvenci oscilace a systém se může dostávat do rezonance.

Prvním opatřením k zamezení cukání je minimalizace tření v krystalizátoru a zvýšení kvality mazání. Spočívá to ve volbě vhodného typu a množství maziva, optimalizaci profilu vložky krystalizátoru, tvaru oscilační křivky a seřízení licí osy. Prozatím bylo prakticky zavedeno druhé opatření, kterým je volba frekvence oscilace krystalizátoru. Je vhodné nezávisle řídit frekvenci oscilace krystalizátoru, a to nejen podle licí rychlosti, ale (prioritně) s ohledem na vznik cukání a vyvarovat se frekvencím oscilace krystalizátoru se zvýšenou pravděpodobností cukání. Jelikož podmínky pro vznik cukání se mohou časem měnit, je vhodné instalovat na tažnou stolicí nebo odměřovací válec čidlo cukání proudu. Pokud snímač indikuje cukání, řídicí systém by měl automaticky upravit frekvenci oscilace krystalizátoru.

PODĚKOVÁNÍ

Práce byla řešena v rámci grantového projektu Konsorcia FD-K/035 financovaného Ministerstvem průmyslu a obchodu. Tento příspěvek vznikl z podpory grantového projektu MŠMT č. SP 2012/196 Specifický výzkum v metalurgickém, materiálovém a procesním inženýrství a č. SP2012/28 Snížení energetické náročnosti procesů v metalurgii.

LITERATURA

- [1] VÁLEK, L. Experimentální měření pracovních podmínek v krystalizátoru sochorového ZPO. In Sborník přednášek mezinárodní konference Iron and Steelmaking. Malenovice, 2005, s. 30-33, ISBN 80-248-0947-8
- [2] CUDZIK, L., FOJTÍK, Z., BARABÁŠ, R., FOJTÍK, P. Experimentální měření pracovních podmínek v krystalizátoru kv. 115 mm na ZPO č. 3 (etapa 1 Studené zkoušky). Technická zpráva. DASFOS, Ostrava, 12/2002, 6 str.
- [3] CUDZIK, L., FOJTÍK, Z., BARABÁŠ, R., FOJTÍK, P. Experimentální měření pracovních podmínek v krystalizátoru kv. 115 mm na ZPO č. 3 (etapa 2 Provozní měření). Technická zpráva. DASFOS, Ostrava, 05/2003, 21 str.
- [4] PYSZKO, R., FOJTÍK, P., BARABÁŠ, R. Rozšířené vyhodnocení experimentálního měření na ZPO č. 3 a návrh na snížení tření KR / cukání licích proudů plynoucích z výsledků vyhodnocení. Průběžná technická zpráva. VŠB-TU Ostrava, FMML, 12/2003, 25 str.
- [5] PYSZKO, R., FOJTÍK, P., BARABÁŠ, R. Rozšířené vyhodnocení experimentálního měření na ZPO č. 3 a návrh na snížení tření KR / cukání licích proudů plynoucích z výsledků vyhodnocení. Závěrečná výzkumná zpráva. VŠB-TU Ostrava, FMML, 04/2004, 121 str.
- [6] PYSZKO, R., FOJTÍK, Z., ADAMIK, M. Monitorovací a protiprůvalový systém s integrovaným on-line numerickým modelem tuhnutí DGS-DMT pro ZPO formátu D550. Acta Metallurgica Slovaca, vol. 13, no. 5/2007 (special issue), p. 366-369. ISSN 1335-1532.
- [7] PYSZKO, R., CUDZIK, L., BARABÁŠ, R., FOJTÍK, P., ADAMIK, M. Advanced Process Monitoring Systems for Continuous Processes. In Proceedings of the 16th IFAC World Congress. Prague: Elsevier, June 2006, Paper code: Th-E14-TO/4. 6 p. ISBN-13: 978-0-08-045108-4, ISBN-10: 0-08-045108-X.
- [8] PYSZKO, R. - FOJTÍK, P. - MOLINEK, J. - ADAMIK, M. Continuous Casting Process Monitoring and Dimension Measuring Systems for Round and Rectangular Moulds. In Proceedings of the 14-th Steelmaking Conference. San Nicolas, Argentina. 11-13. 11. 2003. p. 267-276.

O PŘÍSTROJÍCH A METODÁCH CHEMICKÉ ANALÝZY V OCELÁŘSTVÍ: EMISNÍ SPEKTROMETRIE A 'SPALOVACÍ' ANALYZÁTORY LECO

Zdeněk WEISS

LECO Instrumente Plzeň spol. s r. o.

Abstrakt

Velkou většinu požadavků na chemickou analýzu ocelí a jiných kovových materiálů je možné pokrýt s použitím optické emisní spektrometrie v kombinaci s metodami určenými speciálně pro analýzu lehkých prvků - C, S, N, O, H. Optická emisní spektrometrie je univerzální metoda schopná analyzovat všechny prvky periodické tabulky. Ve své modifikaci s buzením pomocí doutnavého výboje (GDOES - Glow Discharge Optical Emission Spectroscopy) umožňuje kromě běžné objemové analýzy i hloubkově rozlišenou analýzu, jejímž výsledkem jsou hloubkové koncentrační profily jednotlivých prvků. Toho se s výhodou používá k analýze různých povlaků, tenkých vrstev a povrchově modifikovaných materiálů. Pro velmi přesnou analýzu lehkých prvků, a to i ve velmi nízkých koncentracích, jsou určeny jednak spalovací analyzátory pro uhlík a síru, kde se vzorek spálí v proudu kyslíku a ve spalínách se měří obsah CO₂ (uhlík) a SO₂ (síra), jednak metoda fúze v inertním plynu (IGF - inert gas fusion) pro analýzu kyslíku, dusíku a vodíku. U metody IGF se vzorek zahřeje na teplotu až 3000°C v grafitovém kelímku v proudu helia nebo argonu a rovněž se analyzují plyny uvolněné při tomto procesu. V příspěvku budou uvedeny typické příklady takových analýz a budou popsány analyzátory LECO GDS500A, GDS850A, CS844 a ONH836.

VÝVOJ NOVÉ METODY MĚŘENÍ POVRCHOVÉ KVALITY DESEK BRAMOVÉHO KRYSTALIZÁTORU

Ladislav VÁLEK^{a)}, Leopold CUDZIK^{b)}, Jiří DAVID^{c)}, René PYSZKO^{d)}

^{a)} ArcelorMittal Ostrava a.s., Vratimovská 689, 707 02 Ostrava - Kunčice, ČR,
ladislav.valek@arcelormittal.com

^{b)} DASFOS, CZr, s.r.o., Božkova 45/914, 702 00 Ostrava-Přívoz, ČR, cudzik.l@dasfos.com

^{c)} VŠB-TU Ostrava, FMMI, katedra automatizace a počítačové techniky v metalurgii, 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava - Poruba, ČR, j.david@vsb.cz

^{d)} VŠB-TU Ostrava, FMMI, katedra tepelné techniky, 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava - Poruba, ČR,
rene.pyszko@vsb.cz

Abstrakt

Diskutovaná problematika je řešena v ArcelorMittal Ostrava a.s. Na řešení se podílí VŠB-TU Ostrava, a to v rámci grantového projektu v programu TIP. Grantový projekt pod 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“ je dotačně podpořen MPO ČR. Projekt má několik cílů, které souvisí s oblastí primárního chlazení bramového ZPO. Jedním z cílů je problematika kvality povrchu krystalizátorových desek, a to rovněž z pohledu diagnostických metod. V rámci řešení projektu byl řešen katalog vad krystalizátorových desek a metodika hodnocení jejich kvality. Dále byla vypracována spoluřešitelem grantového projektu (VŠB-TU Ostrava) metoda ověřování kvality úzkých desek krystalizátoru, které jsou demontovány v rámci údržby. Bylo navrženo laserové snímání povrchu desky. Ve spolupráci s firmou DASFOS CZr, s.r.o. byla navržena nová metoda měření dutiny bramového krystalizátoru. V příspěvku jsou uvedeny dílčí výsledky řešení z této oblasti, včetně prvních výsledků vývojového měřicího zařízení.

Klíčová slova: ocel, odlévání, krystalizátor, brama, kvalita, laser

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 spolehlivosti primárního chlazení na bramovém zařízení plynulého odlévání ocelí pro zvyšování kvality náročných plochých výrobků“ je řešen v ArcelorMittal Ostrava a.s. Spoluřešitelem projektu je VŠB-TU Ostrava, FMMI, katedra automatizace a počítačové techniky v metalurgii. Výsledky řešení projektu byly již částečně publikovány [1-3].

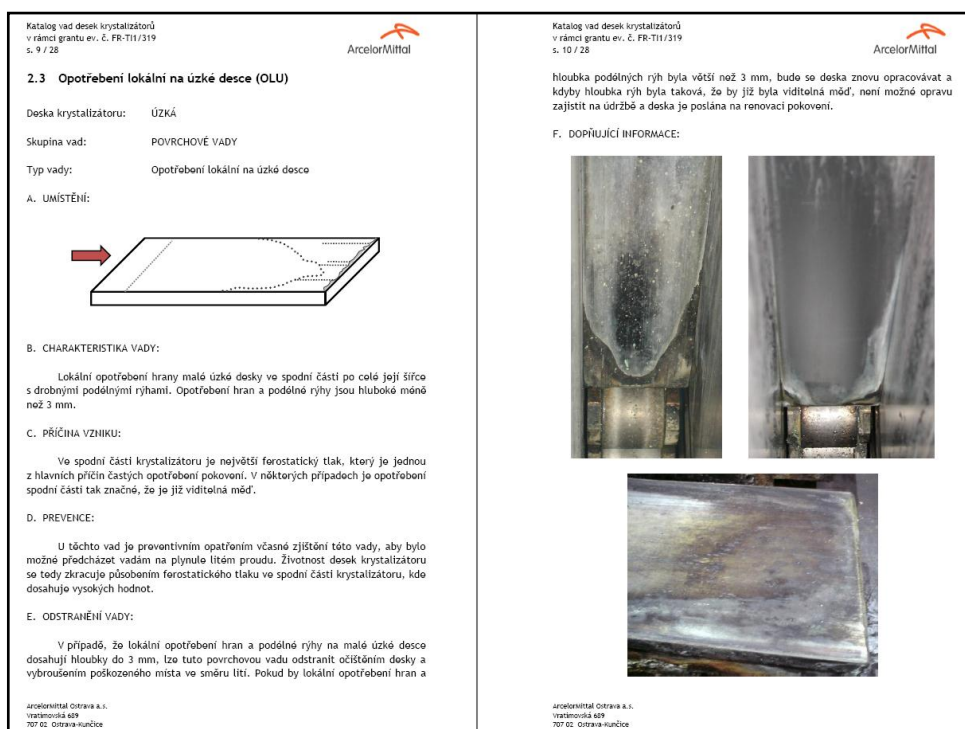
Jednou z etap řešení projektu, týkajících se primárního chlazení bramového ZPO je identifikace diagnostických veličin a vývoj diagnostického systému (etapa č. 2). V rámci dané etapy je rovněž věnována pozornost problematice kvality povrchu desek krystalizátorů. Proto byl řešen katalog vad krystalizátorových desek a metodika hodnocení jejich kvality. Dále byla vypracována spoluřešitelem grantového projektu (VŠB-TU Ostrava) metoda ověřování opotřebení povrchu úzkých desek krystalizátoru, které jsou demontovány v rámci údržby. Za tímto účelem bylo navrženo laserové snímání povrchu desky. Ve spolupráci s firmou DASFOS CZr, s.r.o. byla navržena nová metoda měření dutiny bramového krystalizátoru. V příspěvku jsou uvedeny dílčí výsledky řešení z této oblasti, včetně prvních výsledků vývojového měřicího zařízení.

2. METODY KONTROLY KVALITY KRYSTALIZÁTOROVÝCH DESEK

Součástí uvedení do provozu bramového ZPO v ArcelorMittal Ostrava a.s. bylo předání dokumentace k údržbě ZPO (dodavatelem S-VAI). V této dokumentaci jsou uvedeny způsoby oprav, včetně termínů oprav a popis limitů vad, jako např. maximální velikost (hloubka) vady desky krystalizátoru. Danými instrukcemi se řídí osádka ZPO a zaměstnanci údržby. S ohledem na neustálé zvyšování kvality výrobků, zavádění nových a náročnějších jakostí ocelí, tak jako s ohledem na neustálý tlak zvyšovat životnost komponent výrobních agregátů, při snižování nákladů na výrobu daných výrobků je daný způsob, resp. předpis údržby nedostatečný. Jinými slovy je nutno mít datový a hodnotící systém s potřebnými analytickými metodami, pomocí kterého je možno hledat vazby mezi kvalitativními parametry produktu (bramy, resp. pásu válcovaného za tepla), výrobními parametry ZPO (chemické složení oceli, licí rychlosti, teplota oceli aj.) a parametry životnosti desek krystalizátorů (výskyt přesně specifikovaných vad na deskách). Posledně uvedený aspekt je řešen v rámci výše citovaného projektu, a to v následujících třech rovinách.

2.1 Katalog vad desek krystalizátorů a metodika hodnocení vad [4, 5]

Hlavním úkolem při tvorbě katalogu bylo zjištění a zmapování nejčastějších vad desek krystalizátoru. Vady desek se objevují jak na deskách úzkých, tak i na deskách širokých. V katalogu byly vady desek rozděleny na vady povrchové, podpovrchové a tvarové. Nejčastěji se vyskytují povrchové vady desek. V katalogu je u každé vady popsáno: umístění vady na desce (formou nákresu), charakteristika vady, pravděpodobná příčina vzniku vady, možná preventivní opatření výskytu vady, možnosti odstranění vady (v rámci údržby nebo renovace povrchové úpravy desek). Dále jsou uvedeny doplňující informace, včetně fotodokumentace každé vady. Ukázka z katalogu je uvedena na **obrázku 1**.



Obr. 1 Ukázka dvoulistu z Katalogu vad desek krystalizátorů [4]

V návrhu metodiky je uvedeno kvantitativní hodnocení vad desek krystalizátorů, přičemž je zde rovněž uveden současný stav hodnocení vad. Vady diskutované v Katalogu vad desek krystalizátorů jsou

v Metodice hodnocení vad desek krystalizátorů specifikovány místem výskytu (umístění) vady, a to formou nákresu a fotodokumentace. Ve zprávě k metodice hodnocení vad je dále uvedena tabulka, ve které jsou specifikovány parametry jako maximální délka, šířka a hloubka vady, celkový počet dané vady na desce, či daném segmentu desky. V navržené metodice jsou uvedeny vzorce pro výpočet stupně kvality „Q“ dané desky, a to s využitím sledovaných parametrů. V současné době je plánováno ověření navržené metodiky hodnocení vad v provozních podmínkách údržby ArcelorMittal Ostrava a.s.

2.2 Vývoj metody ověření kvality povrchu úzké desky krystalizátoru

V rámci řešení výše uvedeného grantového projektu byla v laboratořích katedry automatizace a počítačové techniky v metalurgii, VŠB-TU Ostrava, vyvíjena metoda pro ověření opotřebení povrchu úzké desky krystalizátoru na bázi laserového snímače (vzdálenosti). Vytýčeným cílem řešení je návrh metody a provozního zařízení, pro vizualizaci a hodnocení povrchu úzké desky krystalizátoru na provozu údržby v okamžiku, kdy je krystalizátor rozebrán na jednotlivé desky. Jelikož se již většinou jedná o vyřazování úzkých desek, je cílem analýzy zmapovat povrchovou kvalitu desky na konci životnosti dané desky a tak získat další, doplňující informace do vyvíjeného systému. Manuálním měřením není možno zachytit a proměřit všechny rozměrové změny v porovnání s původním stavem desky.

Návrh metody probíhal v několika etapách. Základem řešení bylo ověření možností laserového snímače vzdálenosti a posouzení jeho vhodnosti. Za tímto účelem bylo vytvořeno jednoduché mechanické zařízení pro snímání, které bylo ověřeno, a na jehož základě byl vytvořen nový laboratorní model, jenž automaticky řídil posun laserového snímače ve směru x a y – viz **obrázek 2**. K zařízení byla současně vytvořena softwarová aplikace pro vizualizaci naměřených hodnot [3].



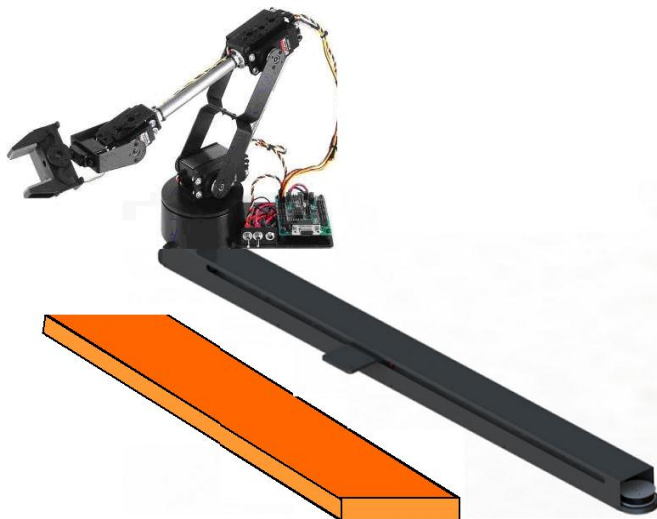
Obr. 2 Pohled na jednoduché mechanické zařízení pro snímání zkušební povrchu (vlevo)
a laboratorní model s posunem laserového snímače (vpravo)

Pro provozní řešení byl navržen a vytvořen prototyp robotického zařízení s lineárním pojezdem – viz **obrázek 3**. Toto zařízení je plánováno napojit na měřicí počítač, který bude zaznamenávat naměřené hodnoty, vizualizovat a hodnotit stav desky krystalizátoru [6].

2.3 Vývoj metody ověření kvality povrchu dutiny krystalizátoru

V rámci diskutovaného projektu byla navržena nová metoda měření dutiny bramového krystalizátoru, a to ve spolupráci s firmou Dasfos. Jedná se o zařízení s laserovým snímačem, jehož cílem je proměřit kvalitu instalovaných krystalizátorových desek na vlastním krystalizátoru. V roce 2010 byly provedeny první práce, v rámci kterých byl proveden návrh a úpravy zařízení a rovněž také první ověření tohoto prototypového zařízení. Za tímto účelem bylo nutné provést 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 vybavili zařízení potřebnou snímací laserovou technikou a vyhodnocovacím softwarem. Byla provedena první měření. Byly formulovány náměty pro zlepšení výsledků měření. V roce 2011 byly konkretizovány návrhy na úpravu měření dutiny v rámci pokračující spolupráce s firmou DASFOS.



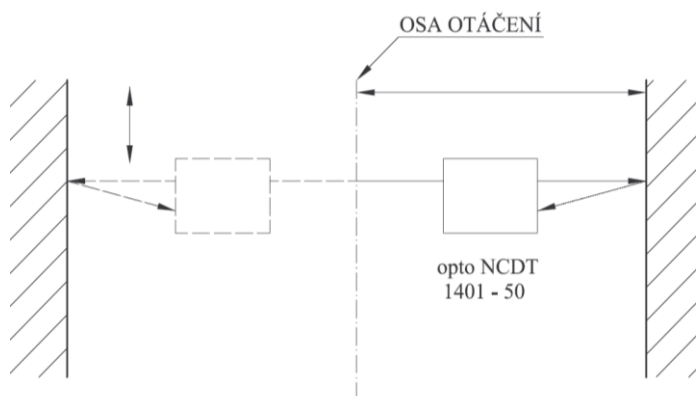
Obr. 3 Prototyp zařízení pro měření opotřebení povrchu úzké desky krystalizátoru

3. OVĚŘENÍ MOŽNOSTI LASEROVÉHO MĚŘENÍ DUTINY KRYSTALIZÁTORU

Informace uvedené v této části článku jsou vybranými informacemi samostatné zprávy vypracované zástupci fa DASFOS [7].

3.1 Metoda měření

Na začátku řešení metody měření byla nejprve provedena analýza zapůjčeného zařízení z ArcelorMittal Ostrava a.s. Poté specialisté firmy DASFOS formulovali návrhy. Následovala realizace potřebných úprav a ověřování funkčnosti zařízení. Jednalo o mechanické úpravy měřicího zařízení, které se týkaly zejména upevnění laserového snímače vzdálenosti. Jako snímací element vzdálenosti byla použita laserová hlava MKL se softwarem upraveným pro snímač model ILD 1401-50 od firmy Microepsilon. Rozlišení měření činilo 5 μ m (linearita +/- 0.2 %). Přesnost nastavení odměřování hloubky činila +/- 0,1 mm (vzorkovací frekvence 1 kHz). Pro měření vnitřního rozměru krystalizátoru byl využit měřicí systém firmy DASFOS pod označením MKL 100/420. Tento systém bylo nutno upravit pro podmínky měření dutiny bramového krystalizátoru. Úpravy se týkaly konfigurace vlastního software řídicí jednotky, a to pro řízení polohovacího mechanismu měřicí hlavy v dutině krystalizátoru. Princip měření vyplývá z **obrázku 4**. Laserový snímač pracoval na triangulačním principu. Měřenými daty byly údaje vzdálenosti měřeného bodu (povrchu desky krystalizátoru) od osy otáčení snímací hlavy.



Obr. 4 Princip měření dutiny bramového krystalizátoru

Měření jedné horizontální hladiny probíhalo po šířce 1500 mm. Četnost snímání hodnot z laserové hlavy byla jedna hodnota na 1 mm posunu. Měření probíhalo 2x (při posunu tam i zpět). Pro hodnocení byla data redukována na 150 hodnot, tzn. jednu hodnotu na 1 cm posunu. Z každých 20-ti hodnot (2x10 mm) byl vypočítán jeden výsledek, a to takovým způsobem, že byly současně filtrovány poruchy měření. Celkem bylo proměřeno 18 hladin dolní poloviny krystalizátoru a po přesunu laseru o 450 mm výše dalších 18 hladin horní poloviny krystalizátoru (jedné strany krystalizátoru). Po otočení laseru o 180° bylo opět měřeno 18 dolních a 18 horních hladin druhé široké desky krystalizátoru. Celkem bylo na každé stěně vyhodnoceno 36 horizontálních hladin s roztečí 25 mm a 150 body po šířce krystalizátoru v každé hladině. Provozní měření bylo provedeno v prostorách údržby ArcelorMittal Ostrava a.s. Pro měření byl využit krystalizátor, na kterém bylo odlito 1305 taveb. Tento počet taveb odpovídá vyšší životnosti desek krystalizátoru. Pohled na měřicí sestavu v provozních podmínkách je uveden na **obrázku 5**.

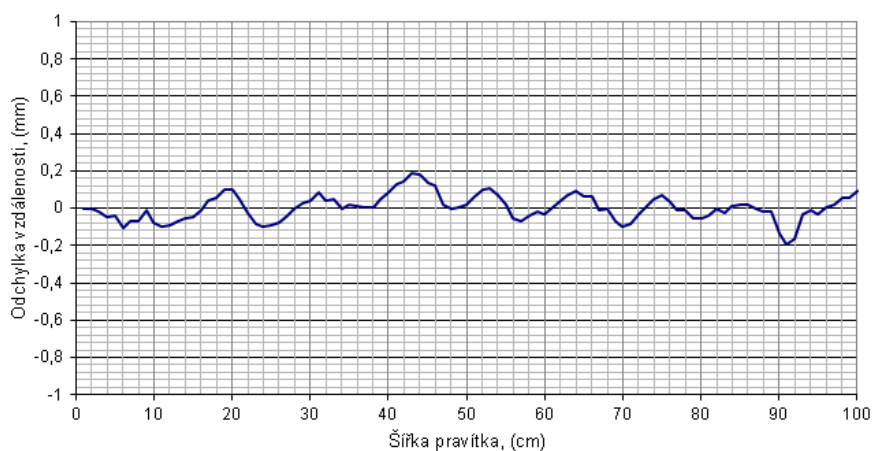


Obr. 5 Pohled na měřicí sestavu

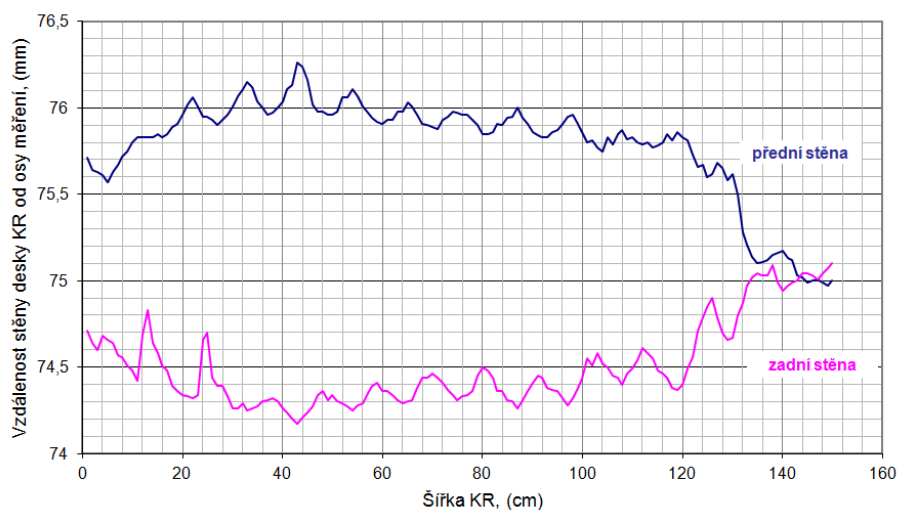
3.2 Výsledky měření

V rámci ověřování nového systému měření dutiny krystalizátoru bylo zjištěno, že vlastní polohovací mechanismus zanáší do měření chyby. Výpočty a analýzami bylo zjištěno, že velikost chyby závisí na pozici vodicích kladek. Diskutovaná chyba byla vyšší při větší hloubce vysunutí měřicí tyče. Dále bylo zjištěno, že popisovaná chyba měření má periodický charakter (viz graf na **obrázku 6**), který odpovídá obvodu vodicí kladky. Na základě těchto poznatků byly formulovány návrhy úprav měřicího zařízení. Ukázky ucelených výsledků měření dutiny brambového krystalizátoru jsou uvedeny na **obrázku 7 a 8**. Na základě provedených experimentů a analýzy dat bylo konstatováno, že ověřovaný systém je z mechanické stránky kompaktní, provozu schopný a vhodný pro systematické měření dutiny krystalizátoru. Zařízení umožňuje detekovat relativní odchylky rozměru dutiny (např. rýhy krystalizátorové desky). Na druhé straně bylo konstatováno, že uvedený systém má své limity z pohledu přesnosti a reprodukovatelnosti měření. Pro zlepšení přesnosti měření byly rovněž formulovány návrhy úprav prototypového zařízení. Jednalo se zejména o návrhy úprav

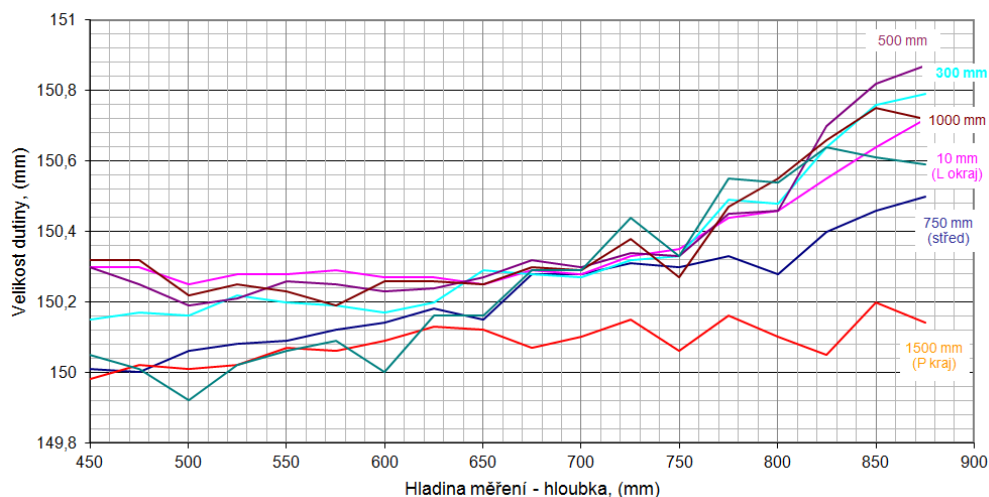
vlastní konstrukce mechanismu z pohledu tuhosti systému, jeho stavění a centrování a rovněž z pohledu zajištění přesného pohybu a vedení měřicí hlavy, bez výskytu periodických chyb měřených hodnot.



Obr. 6 Charakter periodické chyby při měření vzdálenosti (použití pravítka, měření v laboratoři)



Obr. 7 Výsledek měření dutiny bramového krystalizátoru s využitím upraveného měřícího zařízení (hladina 875 mm – spodní část krystalizátoru)



Obr. 8 Velikost dutiny v závislosti na hladině měření pro různá místa měření od okraje krystalizátoru

4. ZÁVĚR

V příspěvku byla prezentována část výsledků řešení grantového projektu, která se týká oblasti primárního chlazení bramového ZPO, konkrétně kvality povrchu krystalizátorových desek. V první části řešení byl vypracován Katalog vad krystalizátorových desek a Metodika hodnocení jejich kvality. Dle nově navržené metodiky bude zkušebně ověřována a hodnocena kvalita desek krystalizátorů během jejich používání na bramovém ZPO. Nová metoda hodnocení umožní klasifikovat kvalitu desek, na základě výsledků měření předem stanovených a definovaných parametrů. Díky této klasifikaci bude možno hodnotit vliv jednotlivých výrobních parametrů bramového ZPO, jak dalece ovlivňují životnost desek krystalizátorů. Klasifikace bude dále využita pro hledání vazeb mezi kvalitou desek krystalizátorů a kvalitou bram, resp. pásu válcovaného za tepla. V druhé části řešení byla navržena a částečně ověřena nová metoda pro měření opotřebení úzkých desek krystalizátorů, které jsou demontovány v rámci údržby. Výsledky měření umožní získat další data, která budou charakterizovat stav povrchu úzké desky na konci její životnosti. Zejména budou zajištěny údaje, které jsou obtížně měřitelné zaměstnancem údržby (přesný profil opotřebení povrchu desky). V poslední části řešení byl proveden návrh a ověření nového laserového systému pro snímání dutiny bramového krystalizátoru, který je vyvíjen v rámci spolupráce s firmou DASFOS CZr, s.r.o. Již v rámci ověřování navrženého systému byly zjištěny informace, jak se mění velikost dutiny vybraného bramového krystalizátoru. Byly změřeny rýhy na širokých deskách krystalizátoru. Na základě ověřovacích zkoušek byly formulovány návrhy pro další úpravu měřicího systému. V současné době je prováděna další úprava měřicího systému. Je plánováno zajistit několik měření vybraného krystalizátoru v průběhu jeho používání na bramovém ZPO. Cílem prací je doplnit údaje z nové klasifikace kvality desek krystalizátorů.

PODĚKOVÁNÍ

Publikační článek vznikl díky finanční podpoře Ministerstva průmyslu a obchodu České republiky: řešení 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

- [26] VÁLEK, L., KALUŽA, J.: Vybrané zkušenosti z monitoringu oscilace krystalizátoru bramového ZPO. In. Teorie a praxe výroby a zpracování oceli 2010, Rožnov pod Radhoštěm, 2010/04, s. 119 - 124. (ISBN 978-80-87294-14-7)
- [27] VÁLEK, L. a kol.: Příspěvek k řešení problematiky kvality desek bramových krystalizátorů a jejich pokovení. In. Teorie a praxe výroby a zpracování oceli 27. ročník, Hotel Relax, Rožnov pod Radhoštěm, 04/2011, s. 102 až 108. (ISBN 978-80-87294-21-5).
- [28] DAVID, J., HEGER, M., VROŽINA, M., VÁLEK, L. Visualisation of Data Fields. Archives of Metallurgy and Materials, Volume 55, Issue 3/2010, p. 795-801, ISSN 1733-3490.
- [29] SPASOV, A. a kol. Katalog vad desek krystalizátorů. ArcelorMittal Ostrava a.s., Výzkum, 12/2011, 28 s.
- [30] SPASOV, A. a kol.: Metodika hodnocení vad desek krystalizátorů. ArcelorMittal Ostrava a.s., Výzkum, 12/2011, 32 s.
- [31] DAVID, J. a kol.: Etapa 5 - Zvyšování kvality plynule litých předlitků monitorováním a diagnostikováním vad v závislosti na životnosti desek krystalizátoru (průběžný materiál o řešení etapy projektu v programu TIP). VŠB-TU Ostrava, 12/2011, 25 s.
- [32] DASFOS v.o.s. Ostrava: Technická zpráva č. DA-2/11/10. DASFOS v.o.s., Ostrava, 2010/11.

TECHNOLOGICKÝ ROZBOR PŘÍČIN VZNIKU VNITŘNÍCH PŘÍČNÝCH TRHLIN NA BRAMÁCH

Miloš MASARIK¹⁾, Zdeněk FRANĚK²⁾, Jaromír ŠMÍD³⁾, František KAVIČKA⁴⁾

¹⁾ EVRAZ Vítkovice Steel a.s., Ostrava, ²⁾ Slezská univerzita, Karviná, ³⁾ TaM Dobrá

Abstrakt

V článku jsou diskutovány možné příčiny vzniku vnitřních příčných trhlin na plynule odlitých bramách. Byl proveden rozbor konkrétního případu s využitím analytického softwarového nástroje LITIOS, který byl implementován na bramovém kontilitu v EVRAZ Vítkovice Steel, a.s. K trhlinám, dokumentovaným na makroleptu a Baumannově otisku příčného vzorku, byly přiřazeny parametry odlévání, které jejich vznik mohou ovlivnit. Po stanovení kritických mezí těchto parametrů a jejich konfrontace se skutečnými hodnotami byly vyhodnoceny zjištěné závislosti parametr – vada.

Authors discuss in the paper possible causes of formation of internal transversal cracks on continuously cast blanks. Concrete cases were analysed with use of analytical software tool LITIOS, which was implemented on slab continuous casting machine in EVRAZ Vítkovice Steel, a.s. Casting parameters, which may influence formation of cracks, were attributed to individual cracks documented on macro-etches and sulphur prints of transverse samples. After determination of critical limits of these parameters and after their confrontation with real values the determined dependencies parameter-defect were evaluated.

1. ÚVOD

Příčné vnitřní trhliny na plynule litych bramách mohou být v některých případech příčinou snížení užitných vlastností tlustých plechů z nich válcovaných, případně jejich vyřazení z produkce při ultrazvukové kontrole. Nejlepší prevencí proti těmto nežádoucím jevům při produkci tlustých plechů je vyhnout se vzniku těchto trhlin již při odlévání a chladnutí bramových polotovarů na zařízení pro plynulé odlévání – na ZPO.

Pro náš dnešní příspěvek jsme využili možnosti sledování mnoha desítek parametrů, které jsou přiřazené k libovolnému úseku odlité bramy. V případě, že na Baumannově otisku sirníků, provedeném na příčném vzorku standardně odebraném z odlité bramy, je zjištěn výskyt jakýchkoliv vad, je tak možno k takovému vzorku přiřadit parametry lití a konfrontovat je s dokumentovanou skutečností.

Tento postup je pak mj. také základním předpokladem vytváření systému predikce kvality odlitých bram a následně i plechů, z bram válcovaných. Předpokládáme-li v obecné rovině již znalost kvalitativních vztahů

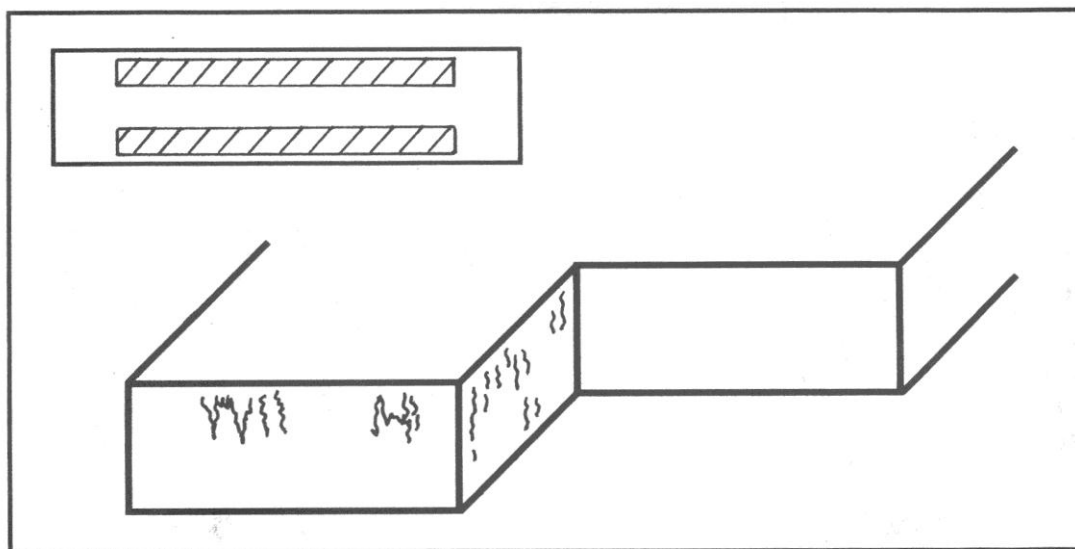
„parametr lití $\Rightarrow$ vada bramy“, pak uvedený postup slouží k potvrzení těchto vztahů. V případě limitních hodnot, odlišných stroj od stroje, slouží postup k jejich přesnému stanovení. To umožní vyjádřit základní výsledek predikce výrokem - přítomnost vady „ANO – NE“.

2. PŘÍČNÉ VNITŘNÍ TRHLINY

Tyto trhliny, nazývané také mezilehlé, trhliny napůl cesty, z rovnání nebo ohýbání, jsou uloženy mezi povrchem a středem bramy, v příčné rovině ke směru odlévání. Vyskytují se převážně v horní polovině příčného průřezu bramy. Schématicky jsou znázorněny na obr. 1. Základní příčinou vzniku těchto trhlin jsou

vysoké tahové deformace ve vysokoteplotní zóně nízké pevnosti a tažnosti. Vznik těchto deformací je vysvětlován třemi rozdílnými skutečnostmi:

- ⇒ intenzivním sekundárním chlazením, které způsobuje vysoký reohřev povrchu kontislitku
- ⇒ vyborcením široké strany bramy
- ⇒ ohýbáním a rovnáním bramy, zvláště v teplotní oblasti snížené pevnosti a tažnosti oceli



Obr. 1 Schématické znázornění příčných vnitřních trhlin a lokalizace jejich výskytu v příčném a podélném řezu bramou

Fig. 1 Schematic illustration of transverse cracks and localisation of their occurrence in transversal and longitudinal section of continuously cast slab

Kromě obvyklé citlivosti některých značek ocelí na vznik těchto trhlin je možno uvést ještě další technologické parametry, které přispívají ke vzniku příčných trhlin:

- ⇒ vysoká teplota odlévání, způsobující širokou zónu kolumnární lící struktury, někdy až po transkrystalizaci
- ⇒ nízká rychlost odlévání, způsobující snížení teploty bramy v místě jejího rovnání
- ⇒ vysoká rychlost odlévání
- ⇒ drastické zvýšení intenzity chlazení po výstupu bramy z krystalizátoru
- ⇒ rovnání bramy v druhé zóně snížené tažnosti oceli, tj. v intervalu teplot 950 – 700 °C
- ⇒ chemické složení oceli; zvláště senzitivní ke tvorbě těchto trhlin jsou oceli mikrolegované, kde mikrolegující prvky, zvláště vanad, titan, niob apod., snižují tažnost oceli právě při kritických teplotách rovnání bramy

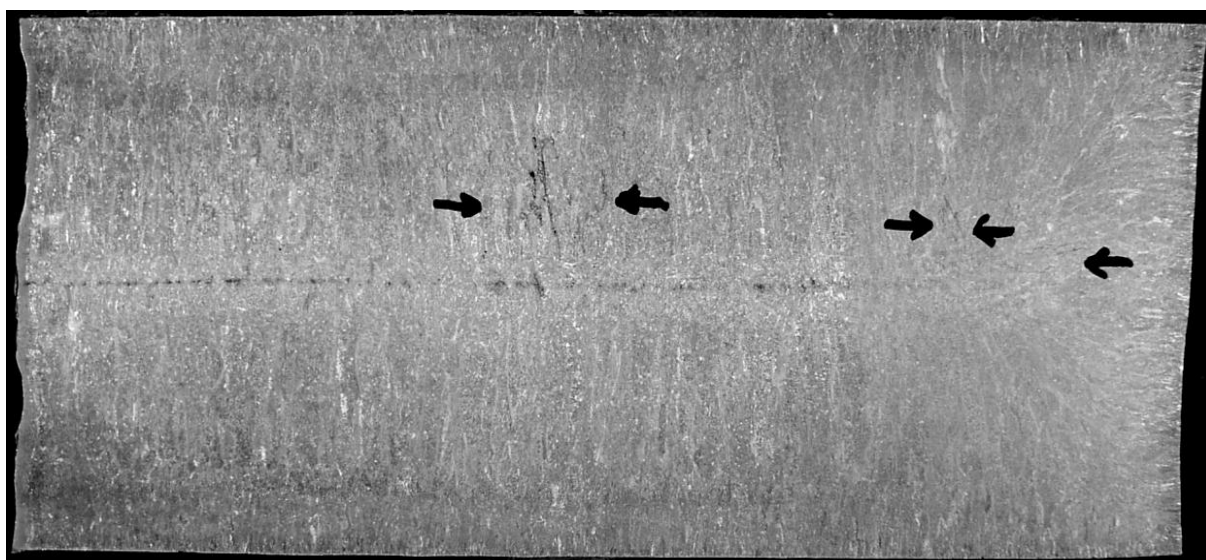
Při pohledu na příčiny vzniku příčných mezilehlých trhlin je zřejmý rozpor ve vlivu sekundárního chlazení na tvorbu těchto vad. Je požadováno měkké chlazení, které má však zároveň za následek teplejší a tenčí lící

kůru, což znamená její menší odolnost proti vyborcení. Kompromisem musí tedy být „optimální“ intenzita chlazení.

V případě vzniku trhlin, způsobených ohýbáním a rovnáním bramy hraje pravděpodobně větší roli rovnání, čemuž nasvědčuje, v případě jejich výskytu, umístění takřka vždy v horní části bramy, tj. v polovině příčného průřezu příslušejícího menšímu poloměru ohybu. Vadu nelze odstranit. V případě uložení v dostatečné hloubce pod povrchem bramy a nenáročných variantách jejího dalšího zpracování nemusí být vada příčinou potíží při tomto zpracování ani příčinou zhoršené kvality plechu.

3. VIZUALIZACE TRHLIN A DATA K MÍSTU JEJICH VZNIKU

Zjišťování přítomnosti a formy projevu příčných trhlin, stejně jako jejich kvantifikace dle v konkrétním případě používané metodiky, se provádí standardně na makroleptech a/nebo Baumannových otiscích. Příklad takovýchto projevů příčných trhlin je na obr. 2 a 3.



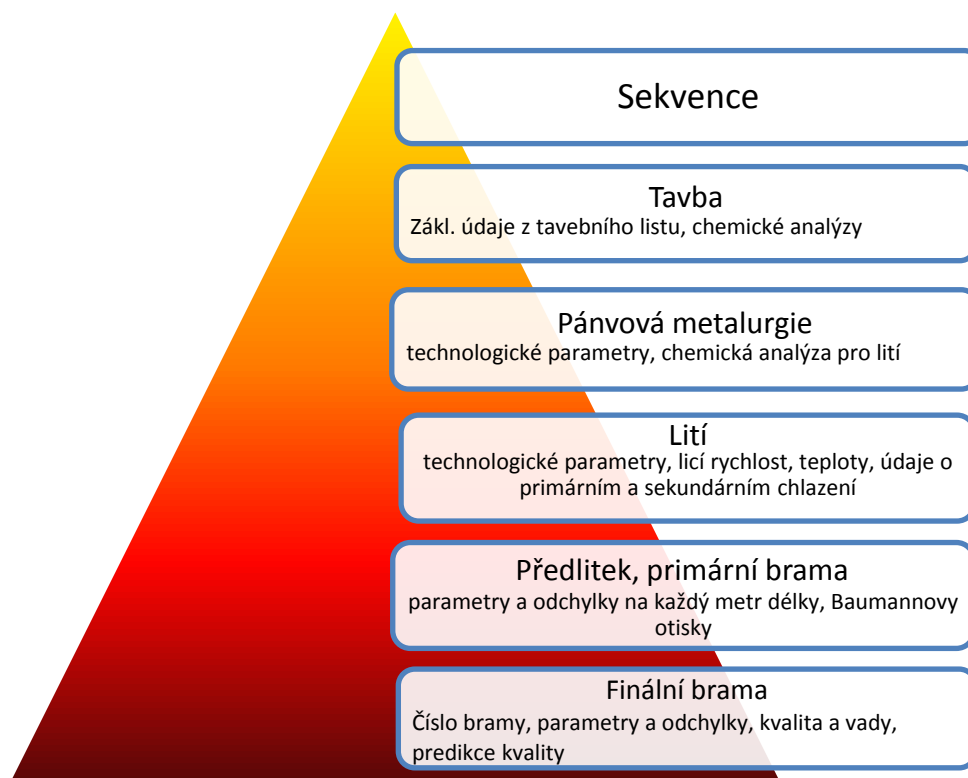
Obr. 2 Příčné vnitřní trhliny v horní polovině vzorku bramy na makroleptu; ukázka z katalogu vad
Fig. 2 Transverse internal cracks on macro-etching; example from the catalogue of defects



Obr. 3 Příčné vnitřní trhliny na Baumannovém otisku; ukázka z katalogu vad
Fig. 3 Transverse internal cracks on sulphur print; example from the catalogue of defects

Nezbytným předpokladem pro analýzu příčin vzniku vad na bramě je výběr a přiřazení parametrů odlévání k místu vzniku těchto vad. V případě Baumannových otisků se jedná o data přiřazena k místu jeho odběru. V EVRAZ VÍTKOVICE STEEL, a.s. byl implementován původní komplexní systému dlouhodobého sledování parametrů lití a jejich vlivu na kvalitu bram, který je pracovně nazván LITIOS. Tento programový systém je organicky spjat s on-line teplotním modelem, stejně jako s on-line modulem snímání dat. Systém pracuje se všemi daty, která jsou dostupná z procesu 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 LITIOS. 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.

Ukládání dat se provádí dle hierarchie jejich vzniku: údaje k sekvenci, tavně, bramě, měřené veličiny (tzv. kanály) z licího stroje, údaje o kvalitě bram a z nich válcovaných produktů, viz obrázek 4. Soubory se člení na položky se svými atributy. V celém systému je tak cca 400 položek, a když k tomu připočteme, že technologické parametry, tzv. kanály, se měří každých 10 sekund, vzniká značné množství dat. Například v roce 2008 bylo v EVRAZ Vítkovice Steel, a.s. odlito cca 700 km bram, což činí cca 2,1 mil záznamů.



Obr. 4 Hierarchie ukládání dat

Fig. 4 Hierarchy of data stacking

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. Uživatelé 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. Data ze systému LITIOS byly využita pro níže provedenou analýzu vzniku trhlin.

4. STANOVENÍ PŘÍČINY VZNIKU TRHLIN

Ke stanovení příčiny nebo příčin vzniku vnitřních příčných trhlin na konkrétní bramě jsme nejprve vybrali parametry, které vadu mohly způsobit. Poté jsme s využitím analytického softwarového nástroje LITIOS přiřadili vyhodnocenému vzorku hodnoty vybraných parametrů odlévání a provedli porovnání těchto hodnot s hodnotami, standardně stanovenými na daném ZPO jako „vyhovující“. Tedy s mezemi stanovenými dodavatelem technologie nebo provozovatelem ZPO na základě dlouhodobých zkušeností.

V následující tabulce 1 jsou uvedeny vady zjišťované na „Baumannech“ v metalografické zkušebně a námi vybrané parametry lití. Křížkem jsou označeny ty závislosti, kde existuje logická vazba.

Tabulka 1 Vady a parametry lití; vzájemný vztah

Table 1 Defects and casting parameters; mutual relationship

vada ↓						
parametr →	Licí rychl (V_g) ($m \cdot min^{-1}$)	Podkroč. V_g ($mm \cdot min^{-1}$)	Δt v MP ($^{\circ}C$)	Tpyr Seg6 ($^{\circ}C$)	TpyrSeg11 ($^{\circ}C$)	Hust. toku ($W \cdot m^{-2}$)
bodové vměstky	x	x	x			
shlukové vměstky	x	x	x			
středové vycezeniny	x	x	x			x
boční trhliny	x		x	x	x	x
rohové trhliny	x		x	x	x	x
příčné vnitřní trhliny	x	x	x	x	x	x
Podélné vnitřní trhliny	x	x	x	x	x	x

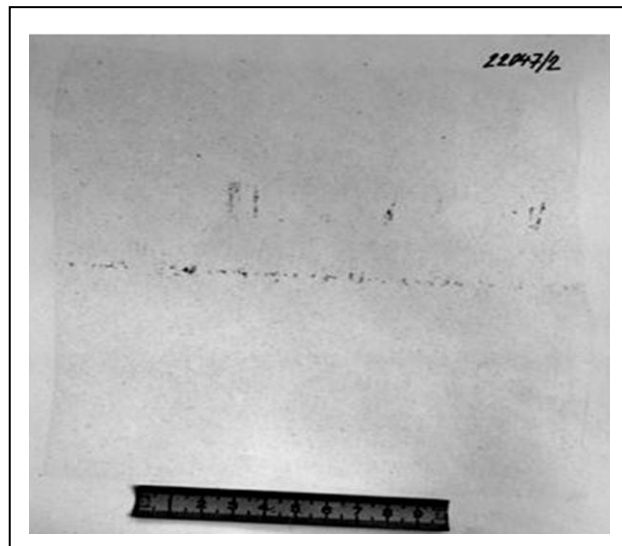
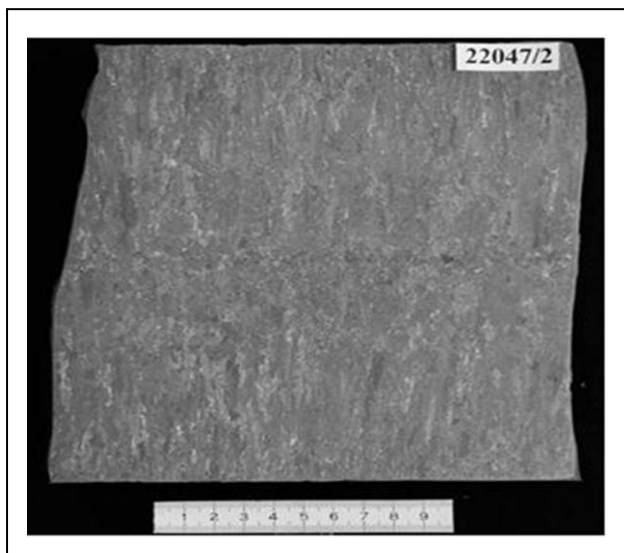
Pro hledání příčin výskytu vnitřních příčných trhlin v konkrétní bramě jsme vybrali tavbu, u které byl odebraný vzorek hodnocen na metalografii, viz hodnocení v tab. 2

Tabulka 2 Hodnocení vad na Baumannově otisku

Table 2 Evaluation of defects on sulphur print

Vada	Bod. vměstky	Shluk. vměstky	Střed. vycez.	Boční trhliny	Rohové trhliny	Příč. vn. trhliny	Podél. vn. trhliny
Označení	A	B	C	D	E	F	G
Stupeň	2	0	2	2	0	3	NA

Na vzorku byly patrné příčné vnitřní trhliny. V šestistupňové škále, od stupně 0 → bez výskytu vady, až po nejhorší hodnocení stupněm 5 → vada v největším rozsahu, byly zjištěné trhliny hodnoceny stupněm 3, což je již za hranici „neškodnosti“ vady, viz Bauman na následujícím obr. 5.



Obr. 5 Příčné vnitřní trhliny na Baumannově otisku hodnoceného vzorku

Fig. 5 Transverse internal cracks on sulphur print of the investigated sample

Sledované tavbě a brambě přísluší tyto „pevné“ technické parametry, neměnicí se během odlévání tavby:

- Jakost oceli - nízkouhlíková, mikorolegovaná vanadem, titanem a niobem
- Chem. složení - 0,06%C, 1,66%Mn, 0,30%Si, 0,016%P, 0,005%S, 0,02%V, 0,03%Nb, 0,005%Ti
- Teplota likvidu - 1516°C
- Rozměr bramy - 180 x 1580 mm

Hodnoty variabilních parametrů odlévání, uvedené v tabulce a příslušející přesně identifikovatelnému úseku bramy, z kterého byl odebrán vzorek k metalografickému šetření, byly následující (Tab.3):

Tabulka 3 Hodnoty parametrů lití pro zkoumaný vzorek a průměrné hodnoty z 250 taveb

Table 3 Values of parameters for the investigated sample and average values from 250 heats

Parametr →	Licí rychl (V_g) ($m \cdot min^{-1}$)	Podkroč. V_g ($mm \cdot min^{-1}$)	Δt oceli MP (°C)	T _{pyr} Seg 6 (°C)	T _{pyr} Seg 11 (°C)	Hust.tep. tok ($W \cdot m^{-2}$)
Hodnoty →	0,74	- 470	35	915	842	989 705
Průměr 250	1,19	3	33	965	876	1 086 773

V „hodnotách“ v této tabulce je k dispozici pouze jeden parametr, který uvádí přímo míru porušení jeho stanovené hodnoty. Je to podkročení minimální rychlosti lití, předepsané technologickým předpisem. U sledované tavby bylo nutné snížit licí rychlosti na základě technologických příčin na předchozích agregátech. Pro možnost porovnání se stavem před snížením licí rychlosti a vyhodnocení možného vlivu odchylek hodnot jednotlivých parametrů, v dalším řádku uvádíme průměrné hodnoty sledovaných parametrů. Ty jsou z cca 250 taveb stejného formátu bramy a stejné jakostní skupiny oceli.

Z uvedených hodnot vybraných parametrů lití a výskytu vnitřních příčných trhlin na bramě lze učinit poměrně jednoznačný závěr:

- › Příčinou vzniku vnitřních příčných trhlin v konkrétní bramě, reprezentované vzorkem Baumannova otisku, je snížení licí rychlosti. Pro danou značku oceli jsou předepsané hodnoty licí rychlosti 1,20 m/min sníženy na hodnotu 0,74 m/min, což představuje celkové snížení licí rychlosti o 38 %.
- › Snížení licí rychlosti je rovněž dokumentováno v systému predikce sledovaným parametrem, který je označen „podkročení minimální rychlosti“ a pro náš vzorek byla zaznamenána hodnota -470 mm (mínus 470 mm).
- › Následným efektem snížené rychlosti lití je snížení povrchové teploty v měřených rovinách sekundárního chlazení a následně i hustoty tepelného toku z bramy do chladicích médií. Zvláště snížení povrchové teploty bramy v místě jejího rovnání může být primární příčinou příčných trhlin.
- › Svou „příznivou“ roli v problému tvorby sledovaných trhlin sehrává i značka oceli. Konkrétně mikrolegující prvky vanad, niob a titan snižují tažnost oceli již od cca 950°C. Tvoří „žlab“ snížené tažnosti, což znamená, že mikrolegované oceli jsou více senzitivní k tvorbě trhlin v plynu odlévaných produktech.

5. ZÁVĚR

Předložený příspěvek chtěl ukázat na jeden z možných kroků tvorby systému predikce kvality kontislitků na bramovém ZPO. A to konkrétně na možnost kvantifikace jednotlivých predikčních vztahů přímo na daném licím stroji. Po dlouhodobém sledování a vyhodnocování závislostí „parametr lití ↔ kvalita (vada) bramy“ je tak možno vytvořit predikční systémy s předpokladem značné úspěšnosti předpovědi vzniku konkrétní vady na odlité bramě.

PODĚKOVÁNÍ

Tento příspěvek vznikl v rámci řešení grantového projektu P107/11/1566 za finanční podpory MŠMT.

LITERATURA

- [1] ŠMÍD J. *KATALOG VAD bramových kontislitků*. Technologie a metalurgie, červen 2011, 125 s.
- [2] FRANĚK, Z. a kol. *Metody predikce vad předlitků při plynulém odlévání oceli*. In Sborník Teorie a praxe výroby a zpracování oceli, Rožnov pod Radhoštěm, ČR, 2010, s. 84-97, ISBN 978-80-87294-14-7.
- [3] FRANĚK, Z., ŠMÍD J., MASARIK M. *Hodnocení bram na Baumannových otiscích*. In Sborník 27. Ročníku ocelářské konference Teorie a praxe výroby a zpracování oceli, Rožnov pod Radhoštěm, ČR, 2010, s. 168-175, ISBN 978-80-87294-21-5.
- [4] Franěk, Z., aj., *Software Analytical Instrument for Assessment of the Process of Casting Slabs*. In Proceedings of The 10th International Conference on Numerical Methods in Industrial Forming Processes NUMIFORM 2010. Pohang, Republic of Korea, p. 586-592, ISBN 978-0-7354-0800-5.
- [5] 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 str.

MOŽNOSTI ZVYŠOVÁNÍ ŽIVOTNOSTI KONVERTOROVÝCH VYZDÍVEK POSSIBILITIES OF INCREASING THE WORKING LIFE OF CONVERTER LININGS

Rudolf RECH¹, Libor ČAMEK²

¹ EVRAZ VÍTKOVICE STEEL a.s., Štramberská 287/47, 706 020 Ostrava - Vítkovice, ČR
rudolf.rech@cz.evraz.com

² VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství,
Katedra metalurgie a slévárenství, 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava, ČR
libor.camek@vsb.cz

Abstrakt

Výrobní technologie spodem dmýchaných konvertorů je do určité míry ojedinělá. Oproti standardním výrobním postupům na agregátech LD vyžadují spodem dmýchané konvertory vyšší nároky na vyzdívku dna a navazujících oblastí stěn nádoby konvertoru.

Předložená práce seznamuje s problematikou konvertorových vyzdívek v EVRAZ VÍTKOVICE STEEL a.s. Životnosti těchto žáruvzdorných materiálů jsou v konvertorové ocelárně ovlivňovány především způsoby používaných výrobních technologií a následně různými postupy údržby vyzdívek.

Příspěvek seznamuje s dosaženými výsledky životnosti žáruvzdorných materiálů a některými metodami údržby vyzdívek u tohoto typu konvertorů.

Production technology by means of blowing through the bottom of converters is to a certain degree scarce. Compared to standard production processes, blowing through the bottom of converters in LD plants requires higher quality of linings of the bottom and other areas of the walls of the converter vessel.

This paper deals with the question of converter linings in EVRAZ VÍTKOVICE STEEL Inc. The working life of these refractory materials in converter steelworks is mainly influenced by the ways of production technologies used and by different technologies of the linings maintenance. The paper presents the results of working life of refractory materials and it discusses some methods of linings maintenance in this type of converters.

1. ÚVOD

Využívání žáruvzdorných materiálů v Ocelárně EVRAZ VÍTKOVICE STEEL a.s. je věnována každodenní mimořádná pozornost. Jejich spotřeba, potřebná pro zajištění průběhů metalurgických a technologických pochodů, znamená finanční zátěž v řádech mnoha desítek miliónů korun za rok. Jednou z největší finanční zátěží jsou náklady na žáruvzdorné materiály nutné k zajištění provozu dvou spodem dmýchaných kyslíkových konvertorů (typu OBM). Základní skladbu používaných materiálů můžeme rozdělit na vyzdívku nádoby konvertoru, vyzdívku dna a na běžnou údržbu vyzdívky včetně průběžně uplatňovaného coatingu nádoby a dna konvertoru.

Celá problematika počátku využívání jednotlivých žáruvzdorných materiálů a hmot, jeho postupný vývoj je mimo základní ekonomický pohled ovlivňována především vlastní specifickou „potřebou“ jednotlivých

výrobních agregátů, která vyplývá z konstrukční a technické odlišnosti včetně využívané provozní technologie.

2. CHARAKTERISTIKA KYSLÍKOVÝCH AGREGÁTŮ

Konvertor K 1 s výrobní kapacitou 75 t je vybaven zařízením pro spodní dmýchání kyslíku, dusíku, zemního plynu včetně prachového vápna (provoz od roku 1981). Ve vyměnitelné dnové vložce je umístěno 14 dvoupášťových trysek, které slouží pro přívod plynných médií a prachového vápna dnem konvertoru.

V horní kuželovité části nádoby jsou stacionárně situovány dvě šikmé 180° v příčném řezu vzdálené ocelové nechlazené usazené trysky s keramickou ochranou. Jejich funkce umožňuje dmýchat až 10 % tavbového kyslíku a pro dospalování konvertorového plynu směs syntetického vzduchu.

Konvertor K 2 s výrobní kapacitou 75 t je také vybaven zařízením pro spodní dmýchání kyslíku, dusíku, zemního plynu včetně prachového vápna (provoz od roku 1991). Ve vyměnitelné dnové vložce je umístěno 12 dvoupášťových trysek, které slouží pro přívod plynných médií a prachového vápna dnem konvertoru.

Na rozdíl od konvertoru K1 je vybaven horní mobilní vodou chlazenou tryskou s třemi otvory a s odklonem dýz od svislé osy 13°. Její funkce umožňuje dmýchat až 40 % tavbového kyslíku, dusík nebo použití pro intenzifikaci ohřevu kovového odpadu a pro dospalování konvertorového plynu směsí syntetického vzduchu.

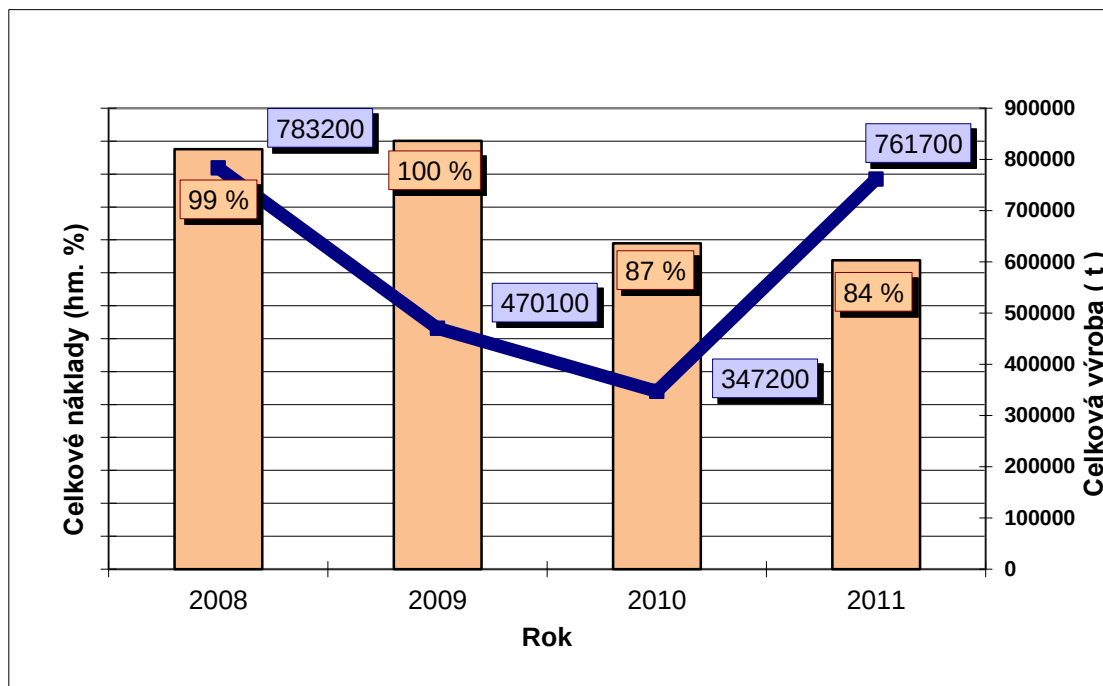
3. VÝVOJ NÁKLADŮ NA ŽÁROVZDORNÉ MATERIÁLY

Vývoj používaných žárovzdorných materiálů byl dán vždy dobou uvádění nového technologického zařízení do provozu a současnými požadavky na technologii výroby oceli.

Zavádění nových výrobních technologií při realizaci investiční výstavby modernizace ocelárny vždy vytvořilo nové požadavky na vyšší kvalitu žárovzdorných materiálů. Bylo tomu tak při zprovoznění bramového kontilítu a také v roce 2007, kdy byly započaty provozní zkoušky na zařízení Integrovaného systému sekundární metalurgie (ISSM). Tento jistě kvalitativní posun v ocelářské výrobě však také přinesl řadu vyšších požadavků na životnosti žárovzdorných materiálů [1,2]. Tyto požadavky se promítly nejen do oblasti mimopecního zpracování oceli, ale také významně do oblasti používaných vyzdívek a hmot uplatňovaných na konvertorech. Potřeba vyšších odpichových teplot, nárůst prostoje a s tím spojené nutné dofuky taveb vytvořily novou výzvu po změně stávající údržby nádob konvertorů. V tomto období přinesla současně startující světová ekonomická krize absolutní tlak na minimalizaci všech výrobních nákladů a především negativně ovlivnila zakázkovou náplň.

Současný trend péče o žárovzdorné a keramické materiály je postaven na maximální životnosti nádoby konvertorů včetně licích pánví. V posledním období se do hospodaření s keramikou stále více promítá faktor nižší a nerovnoměrné výroby.

Na **obr. 1** jsou znázorněny měrné náklady na žárovzdorné materiály v letech 2008 – 2011.



Obr. 1 Celkové náklady na žárovzdorné materiály v letech 2008 – 2011

V nákladech na žárovzdorné materiály jsou zahrnuty spotřeby pro konvertory, nalévací pánve, licí pánve, agregáty mimopecního zpracování včetně ISSM a bramového kontilití.

4. ŽÁROVZDORNÉ MATERIÁLY KONVERTORŮ A JEJICH SOUČÁSTÍ

V závěru roku 2009 byl změněn systém provozu údržby vyzdívek konvertorů. Na základě standardně dosahovaného vývoje výsledků životnosti žárovzdorných materiálů byla zpracována studie predikce jejich životnosti (délky výrobní kampaně na jednu pracovní vyzdívkou) při zavedení nové metody ochrany pracovních vyzdívek.

Většinový podíl dříve používaných torkretačních hmot a zálivkových směsí, byl postupně nahrazen jednak kombinací zpracovaných odpadních žárovzdorných materiálů z vlastního výskytu s vysokým obsahem MgO tj. zbytků vyzdívek konvertorů, dnových vložek a licích pánví. Dále po provedení průzkumu trhu byla zbývající část materiálu s vysokým obsahem oxidu magnezia postupně nakupována.

Původní způsob ošetřování pracovní vyzdívkou tzv. „coating“ se prováděl po ukončení odpichu mezi tavnými. Současná metoda je založena také na sycení pecní strusky směsí s vysokým obsahem MgO již v průběhu tavení oceli.

Od roku 2010 bylo na vyzdívkách konvertorů započato s pravidelným používáním sycení konvertorové strusky. Tato „poměrně velká“ množství jsou přes jednostruskovou technologii konvertorů dostatečně zachycena zařízením bezstruskového odpichu.

Zvyšování životnosti žárovzdorných materiálů, které jsou ve styku s tekutou ocelí, přináší mimo základní ekonomický přínos také nižší zátěž znečišťování oceli vměstky.

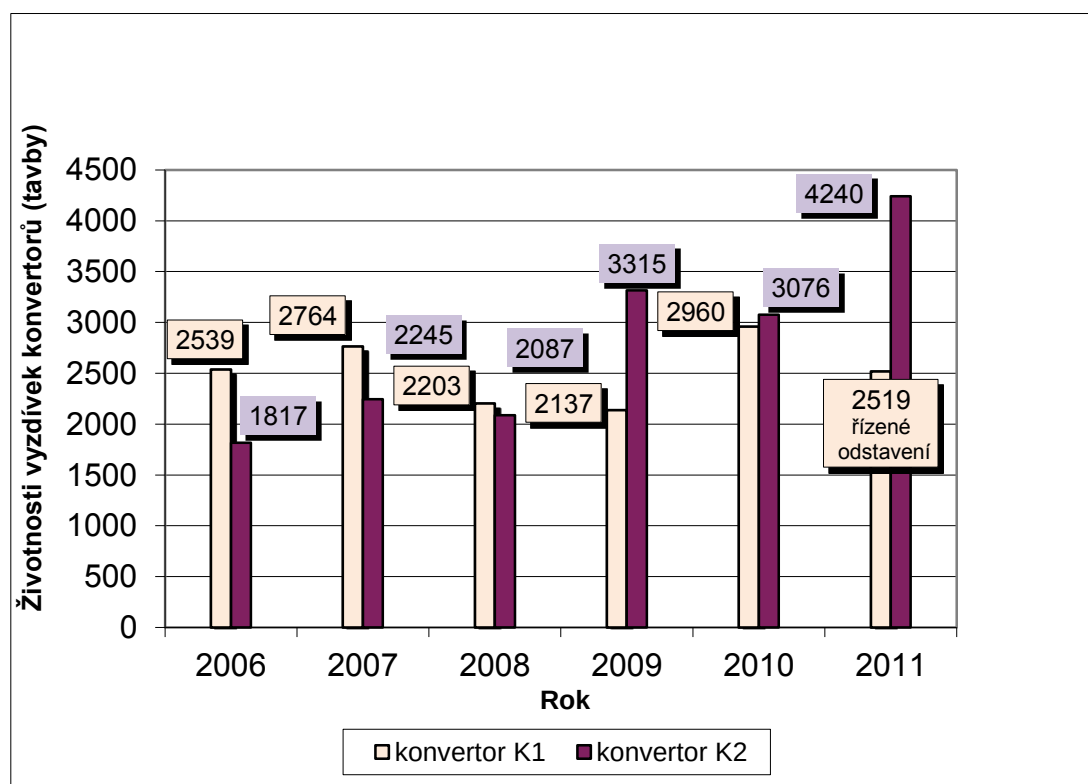
Nekovové vměstky v ocelích ovlivňují jejich vlastnosti, které tak nejsou určovány jen vlastnostmi jednotlivých kovových složek, ale i přítomností těchto fází. Jejich značný význam roste především při výrobě jakostních ocelí s vysokými požadavky na mechanické a technologické vlastnosti.

Vliv nekovových vměstků na jakost oceli je dán nejen jejich celkovým množstvím, ale i jejich konstitucí, tvarem, velikostí a způsobem uspořádání. Podle původu rozeznáváme nekovové vměstky exogenní a endogenní.

Pro pohled na vliv používaných žárovzdorných materiálů na kvalitu vyráběné oceli nás zajímají především exogenní vměstky. Jsou výsledkem korosivního a erozivního působení roztaveného kovu na žárovzdorné materiály. Jejich objem potom přímo souvisí s jejich kvalitou, svým složením odpovídají těmto použitým materiálům (mezi exogenními vměstky mohou být i stržené částice strusky) [3].

Další oblastí „hlídání“ při znečišťování exogenními vměstky a způsoby jejich odstraňování musí zajišťovat zařízení sekundární metalurgie, především vakuové zpracování v ISSM.

Na **obr. 2** je znázorněn přehled životnosti vyzdívek konvertorů K 1 a K 2 v letech 2006 – 2011. Doposud nejlepšího výsledku v počtu taveb na jednu vyzdívkou bylo dosaženo v roce 2011 na konvertoru K 2 v celkovém množství 4240 taveb.



Obr. 2 Přehled životnosti vyzdívek konvertorů K1 a K2 v roce 2006 - 2011

Z postupně dosahovaných výsledků bylo možné vyčíslit snížení specifických nákladů na žárovzdorné materiály a hmoty. Byly sníženy náklady na výkony hutních zedníků a došlo ke snížení časových ztrát (prostoje) mezi tavnami (torkretace a zálivky dna sázecí strany anebo odpichové strany nádoby konvertorů). Postupným zavedením této nové metody údržby vyzdívek nádoby a dna konvertorů v letech 2009 - 2011 byly sníženy celkové náklady na žárovzdorné materiály a hmoty v konečném ekonomickém hodnocení kolem 35, Kč / t oceli.

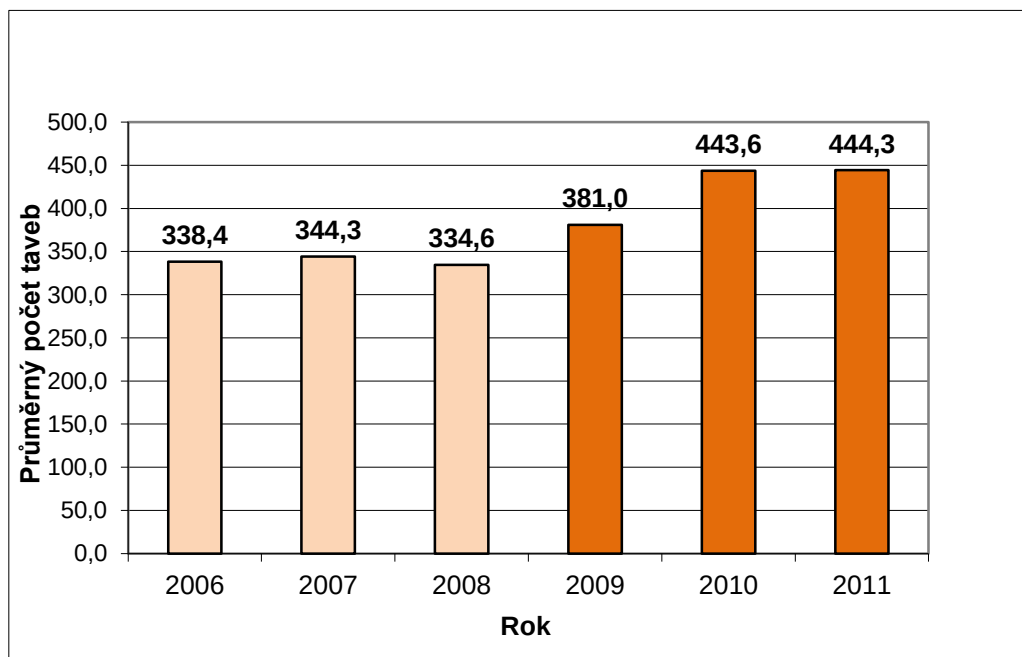
Nedílnou součástí vyzdívky konvertorů je dnová vložka. Konstrukce konvertorů typu OBM je s vyjímatelnou dnovou vložkou. Při současném trendu zvyšování počtu taveb na vyzdívkou nádoby konvertorů bylo potřebné zvýšit životnost tj. počet taveb také na jednu dnovou vložku.

Jednotlivé faktory ovlivňující životnosti vyzdívek dnových vložek jsou podobné vyzdívice nádoby konvertorů. Pro specifičnost spodního dmýchání (60-90 % plyných médií a 100 % prachového vápna) jsou však tyto žárovzdorné materiály ještě více zatěžovány. Například extrémní kolísání teplot kolem ústí trysek v průběhu jednotlivých výrobních fází, mechanické namáhání při sázení kovového odpadu aj. Standardně bylo dosahováno nejnižších měrných nákladů při použití tvárníc dolomitických a tryskových kamenů magnezitových [4].

Průběžný nárůst životnosti pracovní vyzdívky nádoby konvertorů vlivem změny systému její ochrany, včetně sycení konvertorové strusky směsí s vysokým obsahem MgO, se projevily také na vyšší životnosti dnové vložky. Na **obr. 3** jsou znázorněny průměrné životnosti dnových vložek konvertorů K 1 a K 2 v letech 2006 – 2011. Jak vyplývá z předchozího textu, nastartováním nového způsobu systematické údržby vyzdívek konvertorů nastal posun k vyšším životnostem žárovzdorných materiálů dnových vložek a současně k nižším měrným nákladům již v závěru roku 2009.

V současnosti také probíhají zkoušky s novým žárovzdorným materiálem včetně rozvodu ocelových trysek dna nádoby konvertoru K 2. Doposud využívané materiály jsou pravděpodobně na vrcholu svých technických a technologických možností.

Jednotlivé životnosti žárovzdorných materiálů nádoby konvertorů a dnových vložek nebyly vztahovány k prvkům, které je bezprostředně ovlivňují, jako jsou průměrné odpichové teploty, počty a velikosti dofuků taveb aj.



Obr. 3 Přehled průměrných životností vyzdívek dnových vložek konvertorů K1 a K2 v roce 2006 - 2011

Významnou součástí celého systému údržby pracovní vyzdívky nádoby a dna konvertorů je nepostradatelná systematická kontrola využívání zařízení laserového měření. Umožňuje stanovit zbytkové tloušťky zdiva anebo dílčí úbytky. Tím jsou dány také podmínky pro upřesnění případných místních oprav vyzdívky a současně bezpečný provoz výrobních agregátů.

Současný pozitivní vývoj v oblasti snižování nákladů žárovzdorných materiálů má také svoji historii. Ve stávající firmě EVRAZ VÍTKOVICE STEEL a.s. vždy pracovala odborná skupina inženýrů, techniků, keramiků a

výzkumníků tzv. Keramická skupina. Tato vždy vyvíjela při soudobých výrobních technologiích optimalizaci vlastních podmínek využívání žárovzdorných materiálů a hmot s konečným výsledkem vedoucím ke snižování měrných nákladů. Současně nejen výše prezentované výsledky to stále potvrzují.

5. ZÁVĚR

- Zavádění nových výrobních technologií při realizaci investiční výstavby modernizace ocelárny vždy vytvořilo nové požadavky na vyšší kvalitu žárovzdorných materiálů. Také po zprovoznění zařízení ISSM vyplynula nutnost řešení zvyšování kvality vyzdívek nádoby konvertoru a jeho součástí.
- Za současného celosvětového stavu vývoje hutní výroby se násobí nutnost vývoje a výzkumu používaných žárovzdorných materiálů a hmot pro současnou technologii výroby s cílem dosažení potřebné kvality vyrobené oceli, maximální životnosti a tím snižování měrných nákladů.
- Průběžně dosahované výsledky v oblasti výzkumu, vývoje a optimalizace používaných žárovzdorných materiálů a hmot potvrzují pozitivní trend práce celého týmu Keramické skupiny v ocelárně EVRAZ VÍTKOVICE STEEL a. s.

LITERATURA

- [1] RECH, R., ČAMEK, L.: Problematika využívání žárovzdorných materiálů souvisejících s oblastí mimopecního zpracování a jejich vliv na kvalitu vyráběné oceli, In *Teorie a praxe výroby a zpracování oceli*, XXIII. celostátní konference, Rožnov pod Radhoštěm, 2007, s. 170-175, ISBN 978-80-86840-32-1, 244 s.
- [2] RECH, R., ČAMEK, L.: Využívání žárovzdorných keramických materiálů v období průběhu zavádění nové technologie ISSM v Ocelárně VÍTKOVICE STEEL a.s., In *Hutní keramika*, Rožnov pod Radhoštěm, 2007, s. 14 – 19, ISBN 978-80-86840-37-6, 194.
- [3] KALOUSEK, J., DOBROVSKÝ, L.: *Teorie hutnických pochodů*. Učební texty VŠB–TU. Ostrava, 2004, ISBN 80-248-0658-4, 173 s.
- [4] RECH, R., ČAMEK, L.: Některé aplikace keramických materiálů na zařízení sekundární metalurgie v Ocelárně EVRAZ VÍTKOVICE STEEL a.s., In *Teorie a praxe výroby a zpracování oceli*, Rožnov pod Radhoštěm, 2008, s. 138 – 142, ISBN 978-80-86840-39-0, 226 s.

PÁSMOVÁ ŽIARUVZDORNÁ VÝMUROVKA LIACICH PANVY

Rastislav KAMENSKÝ, Stanislav BARICA & Ján KRUPA

Vulkmont a.s.

Abstract

V súčasnosti sme svedkami rozsiahlej ekonomickej krízy v Európe, ktorá ma priamy dopad aj na výrobcov ocele. Klesajúci dopyt po výrobkoch z ocele v európskej únii sa odzrkadľuje predovšetkým v zmenených podmienkach prevádzkovania výrobných agregátov. V súvislosti so spomínanou zmenou prevádzkových podmienok sa dostávame k pásmovej žiaruvzdornej výmurovke liacich panvy, ktorou sa zaoberám v mojej prezentácii.

ZÚŽITKOVANIE METALURGICKÝCH TROSIEK PRI VÝROBE BEZCEMENTOVÝCH BETONÁRSKYCH ZMESÍ

Dana BARICOVÁ, Alena PRIBULOVÁ, Peter DEMETER, Branislav BULKO

*Hutnícka fakulta Technickej univerzity v Košiciach, Slovensko,
dana.baricova@tuke.sk, alena.pribulova@tuke.sk, peter.demeter@tuke.sk, branislav.bulko@tuke.sk*

Abstrakt

V procese výroby surového železa, ocele a liatiny spolu s tvorbou hlavného produktu, vznikajú aj vedľajšie produkty, majúce charakter druhotných surovín a priemyselných odpadov. Medzi najzastúpenejší vedľajší produkt vznikajúci v procese výroby kovov zaradujeme metalurgickú trosku. Celkové množstvo vznikajúcich trosiek, ako aj ich chemické, fyzikálno-chemické, mineralogické vlastnosti a podobnosť s prírodnými kamenivami ich predurčujú k zužitkovaniu v rôznych oblastiach priemyslu.

Cieľom tohto príspevku bolo poukázať na možnosť prípravy bezcementových betónových zmesí, ktoré pozostávajú výlučne z rôznych druhov troskových štrkov. Konkrétne sa jednalo troskové štrky z vysokej pece (VP), kyslíkového konvertora (KK), elektrickej oblúkovej pece (EOP) o frakciách 0 - 4 mm, 4 - 8 mm, 8 - 16 mm. Ako aktivátor tuhnutia bolo použité vodné sklo. V časti experimentov sme sa rozhodli nahradiť troskovú frakciu 8 – 16 mm vysokopecnou granulovanou mletou trosku a kuplovou granulovanou mletou troskou. Podiel mletej granulovanej trosky, v našom prípade predstavoval náhradu cementu a tento prídavok mal zvýšiť výsledné pevnostné vlastnosti vzniknutých betónov. Je dôležité si uvedomiť že náhradou cementu ako najdrahšej zložky cementových betonárskych zmesí pomletým vysokopecným granulátom, výraznou mierou znížime produkciu emisií CO₂, ktoré vznikajú pri jeho výrobe.

Experimentálna časť pozostávala z posudzovania vplyvu druhu troskového štrku, zloženia betonárskej zmesi, času tuhnutia na pevnostné charakteristiky, ktoré boli prezentované pevnosťou v tlaku. Skúšky pevnosti sa prevádzali na vzorkách po 7 dňoch.

In process of pig iron, steel and cast iron production besides main product, also secondary products are formed, that have character of secondary raw materials and industrial wastes. The most abundant secondary product originating in the metallurgical process is furnace slag. Total amount of accrued slag, also its chemical, mineralogical and physical – chemical properties and similarity with natural stones predestined its utilisation in different fields of industry.

The contribution deals with production of cement – less concrete mixtures, where the main parts were formed by different metallurgical slag gravel. Specifically it was slags gravel from: blast furnace (VP), oxygen converter (KK), and also electric arc furnace (EOP) of fraction 0 - 4 mm, 4 - 8 mm, 8 - 16 mm. As activators of solidification was use of water glass. In part of experiments was replacement metallurgical slag gravel fraction 8 – 16 mm by blast furnace grinded granulated slag or cupola furnace grinded granulated slag. Addition of grinded granulated slag presented replacement of cement. This addition increase compression strength being concrete.

It is important that replacement cement how the most expensive ingredients by grinded granulated slag, reduce production emission CO₂, that are come into being near his production.

The experiments consisted of study types of metallurgical slag, concrete mixture composition, time and solidification conditions influence on strength characteristics of concrete, that were presented by compression strength. The strength tests were performed on concrete samples after 7days.

Klíčové slová: vysokopecná troska, kuplová troska, oceliarske trosky, troska z EOP, využitie metalurgických trosiek

Keywords: Blast furnace slag, cupola furnace slag, oxygen converter slag, electric arc furnace slag, utilizing of the metallurgical slag

1. ÚVOD

Produkcia metalurgických trosiek predstavuje z hľadiska ich množstva obrovskú záťaž pre životné prostredie. Vývinom nových technológií v oblasti predúpravy vsádzky pred vsádzaním do pecí síce dochádza k tendencii znižovania celkového podielu vznikajúcej trosky, ktorá pripadá na jednu tonu surového železa, ocele či liatiny, avšak znížiť množstvo trosky nie je možné natoľko, aby nám to dovolilo prestať sa zaoberať otázkou spracovania tohto vedľajšieho produktu.

Vysokopecná troska, vznikajúca pri výrobe surového železa pozostáva primárne z oxidu kremičitého, oxidu hlinitého z pôvodnej železnej rudy, ktoré sa viažu s oxidom vápenatým a oxidom horečnatým z troskotvorných prísad. Tieto štyri majoritné zložky spolu predstavujú približne 95% zastúpenie. Minoritnými zložkami vysokopecnej trosky sú oxidy železa, mangánu a titanu. Bazicita trosky sa pohybuje na úrovni 1,01 až 1,1. Výskyt vysokopecnej trosky predstavuje približne 230 až 350 kg na tonu surového železa v závislosti na množstve nekovových podielov vo vsádzke. Vo voľne ochladených vysokopecných troskách tvorí hlavnú mineralogickú zložku melilit, tuhý roztok gehlenitu a akermanitu ($2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 - 2\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2$), ďalej sa môže vyskytovať monticellit ($\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$), merwinitt $3\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$, rankinit $3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2$, dikalcium silikát $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, pseudowollastonit $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, odhamit CaS , trolit FeS a silikátové sklo [1]. Rýchlo ochladzovaná vysokopecná troska je tvorená z 99 až 100 % zo skla [2]. Najvýznamnejšou vlastnosťou rýchlo ochladenej vysokopecnej trosky je schopnosť hydraulického tuhnutia. Za hydraulické označujeme látky, ktoré sú schopné v práškovom stave po zmiešaní s vodou pevne tuhnúť, či už to na vzduchu, alebo pod vodou.

Primárne oceliarske trosky sú vedľajšie produkty vznikajúce v procese výroby ocele v kyslíkových konvertoroch a elektrických oblúkových peciach. V porovnaní s vysokopecnými troskami sa oceliarske trosky vyznačujú vyšším podielom Fe, CaO, MnO a nižším podielom SiO_2 . Bazicita oceliarskej trosky sa pohybuje na úrovni približne 3,0 až 4,5. Množstvo vzniknutej trosky v tomto prípade predstavuje približne 65 – 150 kg na tonu ocele, v závislosti na použitej technológii. Z mineralogického hľadiska, štruktúra oceliarskej trosky pozostáva zo štyroch hlavných fáz: dikalcium silikátu $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, stabilizovaného trikalcium fosfátu $3\text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5$, roztoku oxidov dvojvalentných kovov napr. Ca, Fe, Mn, Mg a pevných roztokov vápenatých a hlinitých feritov $2\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 - 2\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$. V niektorých troskách s vysokým obsahom vápna sa nachádza aj trikalcium silikát $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$. Oceliarska troska obsahuje aj voľné vápno. Voľné vápno v troske je v skutočnosti tuhým roztokom CaO - FeO alebo CaO - MnO s obsahom až 20% FeO resp. MnO.

Trosky z kuplovej pece sú svojim zložením, vlastnosťami a charakterom najviac podobné vysokopecným troskám. Vznikajú v kuplovej peci pri výrobe liatiny, pričom jej celkové množstvo predstavuje cca 40 – 80 kg trosky na jednu tonu liatiny. Zdrojom jej vzniku je popol z koksu, nečistoty z kovovej vsádzky, odtavená

výmurovka pece, oxidy kovov, a troskotvorné prísady. Základnými zložkami kuplovej trosky sú CaO , SiO_2 a Al_2O_3 . Bazicita kuplovej trosky sa pohybuje na úrovni 0,8 až 1,5 v závislosti od zloženia vsádzky. Z mineralogického hľadiska sú trosky z kuplových pecí tvorené najmä kremičitanmi s výskytom veľkého množstva ďalších typov minerálov, často veľmi zložitých. Najčastejšími minerálmi sú wollastonit ($\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$), fayalit ($2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$) a ďalšie známe štruktúrne zložky, najmä kombinácie $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{CaO}$ [3].

Vstupné chemické zloženie trosiek je premenné a bude závislé od chemického zloženia vstupných surovín, ako aj technológie vedenia tavby [4], [5]. V tabuľke č. 1 sú uvedené chemické zloženia všetkých použitých troskových štrkov jednotlivých frakcií ako aj troskového granulátu z vysokopecnej a kuplovej trosky.

Tabuľka 1 Chemického zloženia jednotlivých druhov trosiek použitých v experimente.

Zložka	EOP			KK			VP				KT granulát
	0-4 mm	4-8 mm	8-16 mm	0-4 mm	4-8 mm	8-16 mm	granul át	0-4 mm	4-8 mm	8-16 mm	
Fe _{celk.}	31,44	31,67	39,6	18,82	21,78	21,78	-	-	-	-	2,68
FeO	27,73	33,62	42,82	15,09	17,53	17,53	0,22	0,86	3,59	0,72	2,44
Fe ₂ O ₃	14,22	8,02	9,16	10,18	11,71	11,71	0	0	0	0	1,12
SiO ₂	12,36	12,41	10,64	9,36	13,49	13,49	38,71	40,02	32,48	38	45,27
CaO	24,44	24,66	22,08	39,42	38,13	38,13	39,15	37,12	39,26	39,94	24,08
MgO	6,93	6,66	4,07	8,61	10,35	10,35	9,8	9,68	10,65	10,57	5,82
Al ₂ O ₃	5,25	5,32	3,11	1,96	2,88	2,88	8,42	8,3	6,69	7,59	9,95
MnO	5,59	5,64	5,37	2,99	3,97	3,97	0,65	0,65	1,3	0,62	0,50
P ₂ O ₅	0,54	0,63	0,64	0,65	0,76	0,76	-	-	-	-	0,20
C	0,46	0,07	0,38	2,19	0,22	0,22	-	-	-	-	2,03
S	0,041	0,092	0,1	0,06	0,041	0,041	-	-	-	-	0,14

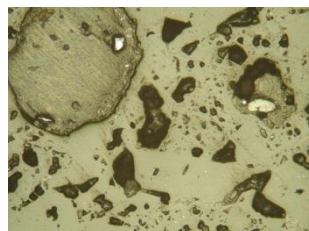
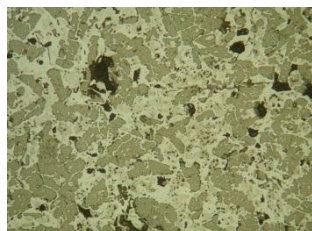
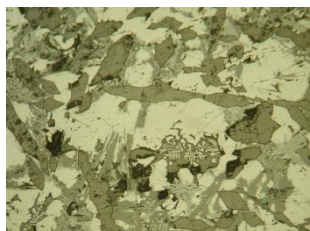
Chemická podobnosť metalurgických trosiek s niektorými prírodnými kamenivami umožňuje jej využitie hlavne v cestnom staviteľstve a pri výrobe ľahčených stavebných materiálov. Cieľom tohto príspevku bolo poukázať na možnosť prípravy bezcementových betónových zmesí, ktoré vykazovali vysoké hodnoty pevnostných vlastností, pričom pozostávali výlučne s troskového štrku, ako náhrada cementu bola v druhom experimente použitá mletá granulovaná vysokopecná troska a v treťom experimente mletá granulovaná kuplová troska. Ako aktivátor tuhnutia bolo použité vodné sklo. Je dôležité si uvedomiť že náhradou cementu ako najdrahšej zložky betonárskych zmesí, výraznou mierou znížime produkciu emisií CO₂, ktoré vznikajú pri jeho výrobe.

2. EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

V predchádzajúcich rokoch bolo v rámci výskumu na Katedre metalurgie železa a zlievarenstva prevedených množstvo rôznych experimentov so snahou nájsť nové spôsoby využitia metalurgických trosiek [6]. Časť experimentov bola venovaná využitiu trosiek v bezcementových betónových zmesiach [7], [8]. Každá práca bola ale venovaná iba určitému druhu trosky a vzhľadom na používanie vodného skla ako aktivátora tuhnutia, ktoré časom mení svoje vlastnosti, sa výsledky dosiahnuté v týchto prácach nedajú priamo porovnávať. Preto bolo rozhodnuté zopakovať experimenty a použiť všetky metalurgické trosky, za

konštantných podmienok. Nakoľko je príprava takýchto betónových bezcementových zmesí len veľmi málo zmapovaná, tak je potrebné experimentovať, či už pri výbere vhodného množstva aktivátora, alebo pri určovaní podielov jednotlivých frakcií a taktiež aj pri samotnej aplikácii navrhutej betónovej bezcementovej zmesi v bežnom živote.

Pri príprave boli použité boli frakcie 0 - 4 mm, 4 - 8 mm, 8 - 16 mm. Od použitia vyšších frakcií sa upustilo kvôli zlej manipulácii zo zmesou pri jej miešaní a formovaní. Dôkladnej analýze bola podrobená frakcia 0 - 4 mm, pretože táto frakcia bude pravdepodobne mať najväčší vplyv na množstvo pridávaného vodného skla. Je predpoklad že so zvyšujúcim sa podielom prachových častíc sa bude zvyšovať aj nasiakavosť zámesí tým aj množstvo potrebného vodného skla. Troskový štrk z elektrickej oblúkovej pece (EOP) mal podiel prachovej časti pod 0,5 mm iba 10 %, zatiaľ čo troskový štrk z kyslíkového konvertora (KK) mal tento podiel až niečo vyše 41 %. Z toho sa dalo usudzovať, že pri miešaní zmesí bude potrebné vyššie množstvo vodného skla. Vysokopecný troskový štrk (VP) mal podiel častíc pod 0,5 mm najvyšší a to až vyše 54 %.



a.) vzorka EOP 4 – 8 mm,

b.) vzorka KK 4 – 8 mm,

c.) vzorka VP 4 – 8 mm,

Obr. 1 Mikoštruktúra troskových štrkov. Zväčšenie 50x.

Jedným z predpokladov vhodnosti trosky pri použití do bezcementových zmesí je jej optimálna pórovitosť. Čím je troska pórovitejšia, tým vyššia je možnosť zatečenia spojiva, v našom prípade vodného skla do pórov a tým vyššia je pravdepodobnosť, že výsledná betónová zmes vytvrdne a bude mať aj dostatočnú pevnosť. Z tohto dôvodu boli pripravené mineralogické výbrusy všetkých troskových štrkov frakcie 4 – 8 mm, za účelom zistenia pórovitosti, obr. 1.

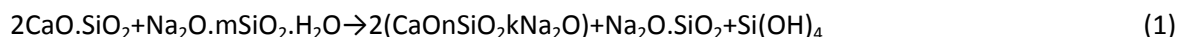
Pórovitosť bola hodnotená na štyroch rôznych miestach zo štyroch rôznych kusov štrku. Z priemerných hodnôt pórovitosti vyplýva, že najnižšiu pórovitosť má troska z elektrickej oblúkovej pece, v priemere 5%. Priemerná hodnota pórovitosti na úrovni 5,3% odpovedala štrku z kyslíkového konvertora. Najpórovitejšia troska bola troska z vysokej pece, kde však boli zaznamenané aj najväčšie rozdiely medzi jednotlivými analyzovanými plochami a to od 0,5% až do 19,3% a priemerná pórovitosť predstavovala 7,25%. Súčasne je možné potvrdiť že metalurgické trosky z pohľadu mikroštruktúrneho zloženia boli výrazne nehomogénne.

3. POPIS EXPERIMENTU

Príprava zámesí spočívala v navážení jednotlivých druhov vsádzky. Tieto boli nasýpané do lopatkového miešača, v ktorom sa premiešavali po dobu jednej minúty. Následne bolo do homogenizovanej zmesi postupne pridávané vodné sklo 44-46°Bé ako aktivátor tuhnutia a celá zmes bola miešaná ďalšie dve minúty.

Po ukončení miešania bola zmes okamžite transportovaná ku kockovým formám. Formy boli naplnené zmesou, ktorá sa potom upechovala pneumatickou pechovačkou. Po uplynutí času sa vzorky odformovali a ponechali sa vytvrdzovať na vzduchu po dobu 7 dní. Vodné sklo, ako aktivátor tuhnutia bolo vybrané na základe prijateľnej ceny, dobrej manipulovateľnosti, ako aj možnosti tuhnutia na vzduchu. V prípade

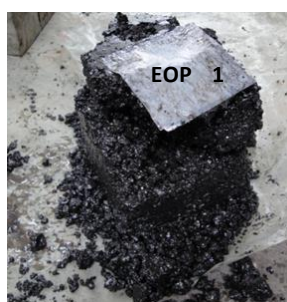
vytvrdzovania zmesí s vodným sklom sa jedná o tzv. samotuhnúce – vytvrdzovanie ktoré prebieha na fyzikálno-chemickom princípe bez výraznej exotermickej reakcie. Chemické vytvrdzovanie prebieha pomocou dikalciumsilikátu z trosiek a čiastočne aj CO_2 so vzduchu. U troskoalkalických betónov sa zmesi vytvrdzujú chemicky pomocou dikalciumsilikátu podľa tejto rovnice (1) [9]:



Vytvrdzovanie čiastočne prebieha aj v dôsledku reakcie vodného skla so vzdušným CO_2 podľa rovnice (2):



Prvá séria pokusov bola venovaná bezcementovým zmesiam z troskového štrku z elektrickej oblúčkovej pece (EOP), kyslíkového konvertora (KK) a vysokej pece (VP). Na základe doterajších skúseností, boli navrhnuté po dve zmesi z každého druhu troskového štrku. Ako prvé boli pripravené zmesi z EOP trosky (EOP1 a EOP2). Tieto zmesi sa miešali veľmi dobre a taktiež sa veľmi dobre formovali čo bolo spôsobené hlavne malým obsahom prachových častíc vo frakcii 0 – 4 mm. Tieto vzorky mali byť ponechané vo forme 24 hodín, počas ktorých by mali dostatočne vytvrdnúť, aby sa dali odformovať. Po 24 hodinách boli vzorky mäkké a preto boli ponechané vo formách ešte ďalšie 4 dni. Ako je z obrázku 1a.) zrejmé, vzorky bezcementových betónových zmesí z trosiek z elektrických oblúčkových pecí sa po odformovaní prakticky rozsypali. Vytvrdená bola iba tenká vrstva na povrchu vzorky. Ako druhé boli pripravené zmesi z konvertorovej trosky (KK1, KK2). Pri miešaní prvej vzorky sme dospeli k záveru, že množstvo vodného skla (16,9 %), aké bolo pridávané aj do zmesí z trosky z elektrickej oblúčkovej pece bolo nedostačujúce, pretože zmes sa miešala veľmi ťažko a tiež sa ťažko pechovala do foriem. Takže v druhej zmesi už bolo pridaných až 22% vodného skla. Tieto vzorky boli podobne vo formách ponechané až 4 dni, pretože po 24 hodinách boli ešte málo vytvrdnuté, obr. 1b). Zmesi z vysokopecnej trosky (VP1, VP2) boli pri formovaní pomerne vlhké a dobre sa pechovali do foriem. Vzorky neboli po 24 hodinách dostatočne vytvrdené, takže boli ponechané vo forme ešte ďalších 24 hodín. Potom boli všetky odformované, obr. 1c).



a.) vzorka EOP 1,



b.) vzorka KK 1,



c.) vzorka VP 1,

Obr. 1 Vzorky jednotlivých zámesí po odformovaní.

V druhom experimente sme sa rozhodli zopakovať zmesi z jednotlivými troskovými štrkami v ktorých bola frakcia 8 – 16 mm nahradená vysokopecnou granulovanou mletou trosku. Podiel mletej granulovanej trosky, v našom prípade predstavoval náhradu cementu a tento prídavok mal zvýšiť výsledné pevnostné vlastnosti vzniknutých betónov. Podiel vodného skla bol špecifický pri každom druhu troskového štrku s ohľadom na jeho nasiakavosť a pórovitosť a pohyboval sa v rozmedzí 20 – 25,5 %. Vzorky, ktoré obsahovali vysokopecnú granulovanú mletú trosku ostali po odformovaní neporušené (obr. 2), takže boli ponechané na vzduchu ďalších 7 dní, po ktorých kockové vzorky podstúpili skúšky na pevnosť v tlaku v

Technickom a skúšobnom ústave stavebnom. Percentuálne zloženie zmesí ako aj výsledné pevnostné vlastnosti sú uvedené v tabuľke č. 3.

Tabuľka 2 Zloženie bezcementových zmesí a ich výsledné pevnosti v tlaku

zmes	Zloženie zmesi				Pevnosť v tlaku na kocke [MPa]
	0 - 4 mm [%]	4 - 8 mm [%]	8 - 16 mm [%]	Vodné sklo 44-46°Bé [%]	
EOP 1	50	26,5	23,5	16,9	neanalyzované
EOP 2	50	36,5	13,5	16,9	neanalyzované
KK 1	50	26,5	23,5	16,9	9
KK 2	50	36,5	13,5	22	7,1
VP 1	50	26,5	23,5	16,9	neanalyzované
VP 2	50	36,5	13,5	16,9	neanalyzované



a.) vzorka EOP G,



b.) vzorka KK G,



c.) vzorka VP G,

Obr. 2 Vzorky jednotlivých zámesi s prídavkom mletej granulovanej trosky po odformovaní.

Tabuľka 3 Zloženie bezcementových zmesí s prídavkom mletej granulovanej vysokopecnej trosky a ich výsledné pevnosti v tlaku

zmes	Zloženie zmesi					Pevnosť v tlaku na kocke [MPa]
	mletý granulát z VP [%]	0 - 4 mm [%]	4 - 8 mm [%]	8 - 16 mm [%]	Vodné sklo 44-46°Bé [%]	
EOP G	50	26,5	23,5	-	20,0	1,6
KK G	50	26,5	23,5	-	25,3	30,0
VP G	50	26,5	23,5	-	23,3	36,5

Tabuľka 4 Zloženie bezcementových zmesí s prídavkom mletej granulovanej kuplovej trosky a ich výsledné pevnosti v tlaku

zmes	Zloženie zmesi					Pevnosť v tlaku na kocke [MPa]
	mletý granulát z KT [%]	0 - 4 mm [%]	4 - 8 mm [%]	8 - 16 mm [%]	Vodné sklo 44-46°Bé [%]	
KT G1	60	10	30	-	24	0,1
KT G2	60	10	30	-	26	0,1
KT G3	60	10	30	-	28	0,0

V tretej sérii experimentov sme sa rozhodli analyzovať možnosti náhrady mletej granulovanej vysokopecnej trosky mletou granulovanou kuplovou troskou. Je známe, že trosky z kuplovej pece sú svojim zložením,

vlastnosťami a charakterom najviac podobné vysokopecným troskám. Napriek tomu vysokopecné trosky si svoju cestu zužitkovania našli už dávno zatiaľ čo kuplove trosky sú v súčasných podmienkach využívané v malej miere. Podiel mletej granulovanej kuplovej trosky, v našom prípade predstavoval 60 % a tento prídavok mal zvýšiť výsledné pevnostné vlastnosti vzniknutých betónov. Podiel vodného skla sa pohyboval v rozmedzí 24 – 28 %. Jednotlivé zloženie zmesí ako aj výsledné pevnosti v tlaku sú uvedené v tabuľke 4.

4. DISKUSIA VÝSLEDKOV

Prvá séria pokusov bola venovaná bezcementovým zmesiam z troskového štrku z elektrickej oblúkovej pece (EOP), kyslíkového konvertora (KK) a vysokej pece (VP). Jednotlivé zloženie zmesí ako aj výsledné pevnosti v tlaku sú uvedené v tabuľke 2. Ako je z tabuľky zrejmé troskový štrk z elektrickej oblúkovej pece ako aj vysokej pece je v takomto zložení zámesí absolútne nepoužiteľný, už po samotnom doformovaní došlo k ich rozpadu. Môžeme to pripisovať chemickému zloženiu, hlavne nízkemu obsahu CaO a SiO_2 , pričom súčasne zrnitosť frakcie 0 – 4 mm obsahovala vyše 60% zŕn nad 2 mm. To znamená že tento druh štrku pri rovnakom objeme mal výrazne nižší reakčný povrch. Pevnosti zámesí z konvertorového štrku sa pohybovali v rozmedzí 7,1 až 9 MPa čo postačuje pevnostným kritériám pre najnižšiu triedu betónu C 8/10 podľa STN EN 206-1:2002. Z nášho pohľadu však ani konvertorové štrky z dôvodu nízkych pevnostných vlastností v takomto zložení zámesí nie sú použiteľné v praxi.

V druhom experimente sme sa rozhodli zopakovať zmesi z jednotlivými troskovými štrkami v ktorých bola frakcia 8 – 16 mm nahradená vysokopecnou granulovanou mletou troskou. Podiel mletej granulovanej trosky, v našom prípade predstavoval náhradu cementu a tento prídavok mal zvýšiť výsledné pevnostné vlastnosti vzniknutých betónov. U zámesí z troskového štrku z elektrickej oblúkovej pece spôsobil prídavok meltej granulovanej vysokopecnej trosky stuhnutie, aj keď výsledná pevnosť bola opäť veľmi malá, na úrovni 1,6 MPa, čo nepostačuje ani pre najnižšiu triedu betónov. U zámesí z konvertorovou troskou spôsobil prídavok vysokopecného granulátu veľký nárast v pevnosti, ktorá bola až na úrovni 30 MPa, čo je minimálna hodnota pre triedu betónov C 25/30. V prípade zámesi z vysokopecného troskového štrku prídavok granulátu spôsobil zvýšenie pevnosti až na 36,5 MPa, trieda betónov C30/37, čo odpovedá vysoko kvalitným betónom. Všetky zmesi s prídavkom mletej granulovanej trosky boli dostatočne pevné, vhodné pre praktické aplikácie.

V tretej sérii experimentov boli analyzované možnosti náhrady mletej granulovanej vysokopecnej trosky mletou granulovanou kuplovou troskou. Z tabuľky č. 4 zrejme nie je možné odporúčať uvedený druh mletej granulovanej kuplovej trosky ako prídavok do bezcementových betónových zámesí. Výsledné hodnoty pevnosti v tlaku na kocke dosiahli maximálne hodnoty na úrovni iba 0,1 MPa. Tento druh trosky nenaplnil naše predpoklady a zámesi nevytvrdil v dostatočnej miere. Je predpoklad že tento fakt mohol byť spôsobený jemnosťou mletia ako aj samotným chemickým zložením granulátu z kuplovej trosky.

Z uvedených experimentov vyplýva že významný vplyv na výsledné pevnosti bezcementových zámesí má prídavok mletej granulovanej vysokopecnej trosky. Chovanie sa jednotlivých troskových štrkov v zámesiach je ovplyvnený v hlavne miere ich pórovitosťou, ako aj členením najjemnejšej frakcie troskového kameniva 0 - 4 mm. So zvyšujúcim sa podielom prachových častíc v tejto frakcii sa výsledná pevnosť betónov zvyšuje. Nie menej významný je aj vplyv chemického zloženia použitých troskových štrkov ktoré sa podieľajú na vytvrdzovaní vodného skla.

5. ZÁVER

Úlohou tohto príspevku práce bolo navrhnutie a príprava bezcementových betonárskych zmesí a ich skúšanie z hľadiska pevnostných charakteristík so zameraním sa na pevnosť v tlaku. Tieto zmesi pozostávali z troskového štrku z elektrickej oblúkovej pece, kyslíkového konvertora a vysokopecného štrku o frakciách 0 – 4 mm, 4 – 8 mm a 8 – 16 mm. Ako aktivátor tuhnutia bolo použité vodné sklo 44 – 46 °Bé.

Experimentálnymi pokusmi sa zistilo, že najlepšie pevnostné vlastnosti boli dosiahnuté pri zámesiach v ktorých frakcia 8 - 16 mm bola nahradená mletou granulovanou vysokopecnou troskou v množstve 50%. Všetky zmesi s prídavkom mletej granulovanej trosky boli dostatočne pevné, vhodné pre praktické aplikácie. U zámesi z konvertorovou troskou spôsobil prídavok vysokopecného mletého granulátu veľký nárast v pevnosti, ktorá bola až na úrovni 30 MPa, čo je minimálna hodnota pre triedu betónov C 25/30. V prípade zámesi z vysokopecného troskového štrku prídavok vysokopecného granulátu spôsobil zvýšenie pevnosti až na 36,5 MPa, čo odpovedá triede betónov C30/37, čo odpovedá vysoko kvalitným betónom. Všetky zmesi s prídavkom mletej granulovanej trosky boli dostatočne pevné, vhodné pre praktické aplikácie.

Je samozrejme, že zo samotnej pevnosti v tlaku nie je možné jednoznačne určiť použitie betónu. Je nutné preveriť vlastnosti daného betónu počas dlhodobej aplikácie priamo v teréne. Výrobou takýchto betónových zmesí by sa zabezpečilo efektívne zužitkovanie troskových štrkov vznikajúcich pri výrobe surového železa, ocele i liatiny.

Všeobecne sú bezcementové betónové zmesi stále v štádiu skúmania a hľadania najvhodnejších pomerov frakcií ako aj aktivátorov tuhnutia. Ďalší nie menej významný faktor ktorý v konečnom dôsledku ovplyvní ďalšiu cestu zužitia troskových štrkov bude ekonomické hľadisko.

POĎAKOVANIE

Táto výskumná práca bola riešená v rámci projektu APVV-0180-07

LITERATÚRA

- [1] KRÉT, J., MOJŽÍŠEK, J. Mikrotextura hutníckych surovin. VŠB – Technická univerzita Ostrava. 2003. s. 96. ISBN 80-248-0531-6
- [2] Properties and Uses of Iron and Steel Slags.[online].[cit. 25.1.2012]. Dostupné na internete: <http://www.nationalslag.org/archive/legacy/nsa_186-6_properties_and_uses_slag.pdf>
- [3] GEDEONOVÁ, Z., JELČ, I. Metalurgia liatin. 1 vyd. 2000. ISBN - 80 - 7099 - 516 – 5
- [4] BAT for iron and steel produkción.[online].[cit. 25.1.2012]. Dostupné na internete: <http://eippcb.jrc.es/reference/BREF/IS_11_17-06-2011.pdf>
- [5] BAT for smitheries and foundries industry.[online].[cit. 25.1.2012]. Dostupné na internete: <http://eippcb.jrc.es/reference/BREF/sf_bref_0505.pdf>
- [6] MIHOK, L., DEMETER, P., BARICOVÁ, D., SEILEROVÁ, K. Utilization of ironmaking and steelmaking slags. 2006. In: Metalurgija. Vol. 45, no. 3 (2006), p. 163-168. - ISSN 0543-5846
- [7] BARICOVÁ, D., PRIBULOVÁ, A., DEMETER, P. Comparison of possibilities the blast furnace and cupola slag utilization by concrete production. 2010. In: Archives of Foundry Engineering. Vol. 10, special, No. 2 (2010), p. 15-18. - ISSN 1897-3310
- [8] BARICOVÁ, D. st al. Zúžitkovanie vysokopecnej trosky pri výrobe bezcementových betonárskych zmesí. 2007. In: Acta Metallurgica Slovaca. Roč. 13, mimoriadne č. 5 (2007), s. 124-127. - ISSN 1335-1532
- [9] JELÍNEK, P. Pojivové soustavy slévárenských formovacích směsí, VŠB – Technická univerzita Ostrava, Ostrava, 2004, ISBN 80-239-2188-6

MOBILNÍ SPEKTROMETRY, JEJICH POUŽITELNOST A OMEZENÍ V PRAXI

Karel MERTA, Jakub ZAORAL

VÍTKOVICE TESTING CENTER s.r.o., Ostrava

Abstrakt

Vývoj elektroniky, zejména miniaturizace součástek a zrychlování procesů se projevuje i v oblasti analytické techniky, která se běžně používá v hutnictví. Pokrok v zejména v elektronice vede k tomu, že analytické přístroje se stávají menšími, mobilními nebo dokonce ručními. Procesy, zejména systém detekce a softwarová nastavba, dovolují i v mobilních zařízeních provádět to, co v nedávné minulosti zvládaly pouze velké laboratorní systémy. Řada součástek nebo celých bloků je dnes úplně stejných v mobilních přístrojích jako v jejich laboratorních protějšcích. Následkem toho je, že i na mobilních přístrojích lze dosahovat velmi dobrých analytických parametrů. Na druhé straně existuje celá řada omezení, daných zejména fyzikální podstatou, která použití této techniky limitují. Práce rovněž upozorňuje na některé důležité podmínky, které je pro získání kvalitních analýz třeba dodržet. Na skutečných výsledcích prezentuje možnosti ručního rentgen fluorescenčního spektrometru a mobilního opticky emisního spektrometru a porovnává je s výsledky dosahovanými na laboratorních systémech. (název 10 b, mezery 24,0)

Klíčová slova: RTG - Rentgen, OES - Optický emisní spektrometr, CRM - Certifikovaný referenční materiál, „NITON XL2 980GOLDD“ - Mobilní rentgen fluorescenční spektrometr - „RTG-mobil“, „SpectroTEST“ - Mobilní optický emisní spektrometr - „OES-mobil“

1. ÚVOD

Na trhu se čím dál častěji lze setkat s moderními analytickými přístroji a ty čím dál častěji pronikají do technické praxe. Chceme se pokusit o přiblížení charakteristik, parametrů a hlavně na praktických příkladech ukázat, co se od těchto přístrojů dá a nedá očekávat. V laboratoři VÍTKOVICE TESTING CENTER s. r. o. jsme testovali mobilní rentgenový spektrometr NITON XL2 980GOLDD a Mobilní optický emisní spektrometr SpectroTEST. Provedli jsme celou řadu měření na nejrůznějších vzorcích různých materiálů. V této přednášce se budeme zabývat pouze výsledky naměřenými na vzorcích ocelí. Dále jsme výsledky získané na těchto přístrojích porovnali s výsledky získanými na laboratorních přístrojích, které se standardně při výrobě oceli používají.

2. TEORETICKÁ ČÁST

Z názvu obou metod je zřejmé, že se jedná o dva rozdílné principy, z nichž plynou zásadní rozdíly.

2.1 Základní princip rentgen fluorescenční spektrometrie

Rentgenová lampa vysílá primární rentgenové záření, které dopadá na měřený vzorek. Tam vyraží z atomů prvků přítomných ve vzorku elektrony a tím se atomy vybudí (z elektricky neutrálních atomů se stávají ionty). Při jejich zpětné rekombinaci se uvolňuje tzv. sekundární záření (fluorescence), které dopadá na detektor v přístroji. Detektor je schopen změřit energii dopadajících elektronů a spočítat jejich množství. Pro každý prvek je typická určitá energie a množství naměřených impulsů o této energii je přímo úměrné

koncentraci daného prvku v měřeném vzorku. Analyzátor je vybaven výkonným výpočetním systémem (3 mikroprocesory), který je schopen velmi rychle zpracovávat data z detektoru. Prostřednictvím předem naměřených kalibračních křivek (s využitím CRM) přepočte naměřené počty impulsů na přesné koncentrace jednotlivých prvků v měřeném vzorku. Pro přepočet naměřených impulsů na koncentrace lze využít i metodu fundamentálních parametrů, která v některých případech poskytuje méně přesné výsledky, ale je schopna poskytnout výsledky pro jakýkoli materiál okamžitě, bez nutnosti použít CRM pro předběžnou kalibraci.

2.2 Základní princip optické emisní spektrometrie

Upravený povrch kovového vzorku se umístí na jiskřiště nad wolframovou elektrodu (u mobilního přístroje se přiloží jiskřiště ke vzorku). Jiskřiště je následně propláchnuto argonem a na elektrodu a vzorek je přivedeno elektrické napětí, čímž se vybudí jiskra mezi vzorkem a elektrodou. Dochází k lokálnímu zahřátí vzorku na teploty dosahující až 10 000 K a dodaným teplem se atomy prvků ve vzorku vybudí. Některé elektrony se dostanou mimo vliv jádra atomu. (excitace). Téměř okamžitě jiné elektrony z elektronového obalu prvku zaplní uvolněné místo na energeticky nižší hladině. Rozdíl energie se nyní přemění v záření o určité vlnové délce. Vlnové délky vznikajícího záření se pohybují v rozsahu viditelného světla (250 až 400 nm) a blízké UV oblasti (150 až 250 nm). Záření o vlnových délkách v UV oblasti je silně absorbováno molekulami kyslíku ze vzduchu a optickými součástkami z běžného skla. Vlnová délka vyzářené energie je pro každý prvek charakteristická a je kvalitativní charakteristikou záření. Intenzita záření je úměrná obsahu prvku ve vzorku.

Záření, vzniklé v jiskřišti (směs všech možných vlnových délek), prochází postupně přes vstupní čočku (u mobilního spektrometru je záření vedeno světlovodným kabelem), vstupní štěrbinu a na difrakční mřížku. Ta má rovnoměrně po celém povrchu vrypů. Čím je vrypů na jednotku plochy mřížky více, tím se dosáhne větší disperze (oddělení sousedících spektrálních čar od sebe). Na difrakční mřížce dochází k rozkladu záření na jednotlivé spektrální čáry. Vlnová délka každé spektrální čáry odpovídá jinému prvku. A intenzita těchto spektrálních čar se přepočítává na koncentraci prvku v daném vzorku. Světlo na jednotlivých spektrálních čarách snímají fotonásobiče (PMT) nebo polovodičové detektory (CCD), které tvoří přechodníky mezi světelným zářením a elektrickým signálem. Fotonásobiče i detektory jsou umístěny na Rowlandově kružnici, čímž je průměr této kružnice větší, tím dochází k lepšímu rozlišení spektrálních čar, ale dochází ke ztrátě záření a tím i citlivosti. Vyhodnocení spektra se provádí pomocí softwarových systémů.

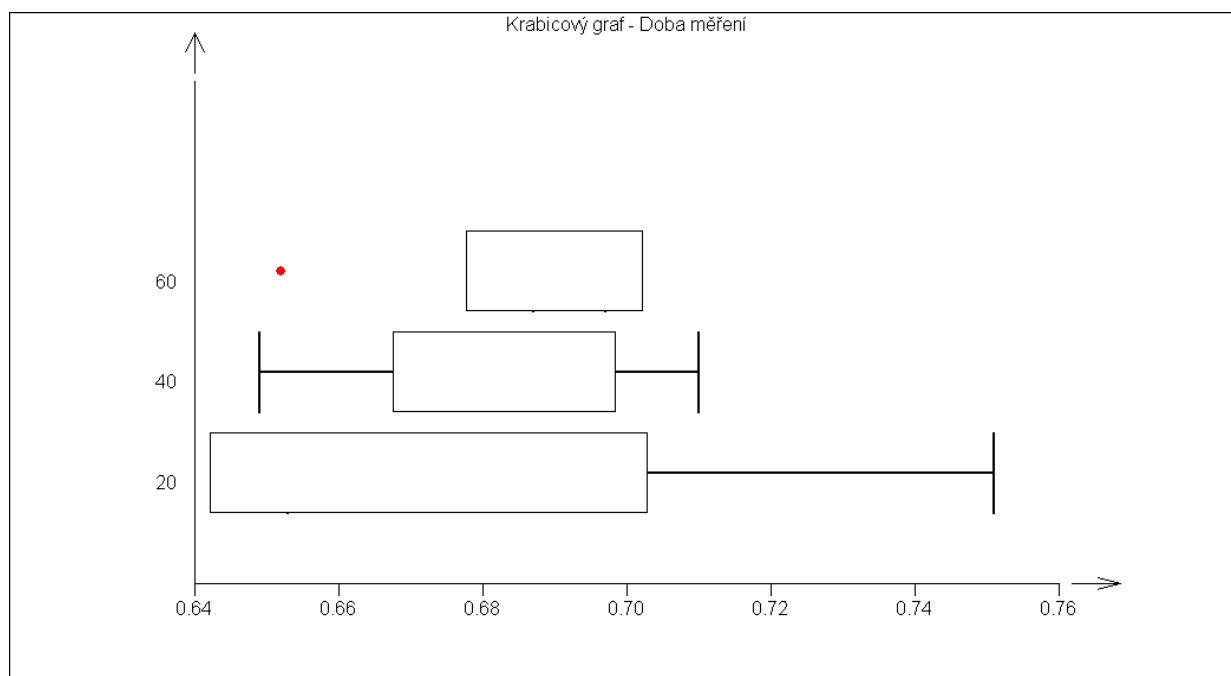
U mobilních OES je rozsah měřitelných prvků a přesnost měření oproti laboratorním přístrojům omezena. Omezení plyne jednak ze způsobu buzení, kdy ani při proplachu místa analýzy argonem nelze zcela odstranit molekuly kyslíku a dusíku ze vzduchu a ty způsobují značné ztráty záření a jednak díky vedení světla světlovodným kabelem. Sklo světlovodu silně omezuje průchod vlnových délek v UV oblasti spektra. Ty prvky, jejichž analytické čáry leží v UV oblasti (např. P a S) nelze měřit vůbec nebo je měření možné jen při vysokých koncentračních obsazích a je málo přesné (např. C).

3. VÝHODY A NEVÝHODY PŘÍSTROJŮ

3.1 Rentgen fluorescenční spektrometr

Mezi výhody RFS patří možnost stanovit složky od obsahu jednotek ppm do desítek procent v nejrůznějších matricích, možnost analýz elektricky nevodivých vzorků, analýza z větší plochy, poměrně malá citlivost na

povrchové vady vzorků (trhliny vměstky apod.), stálost materiálu vzorku během ozařování a tím možnost volby doby analýzy (a tím zvýšení přesnosti měření) a poměrně jednoduchá a rychlá příprava vzorku. U mobilního přístroje jsou také nezanedbatelné jeho malé rozměry a dnes již i poměrně solidní rychlost stanovení (cca minuta na jedno měření).



Obr. 1 Porovnání měření manganu na RTG při různých intervalech měření (20, 40 a 60 s)

Na obrázku 1 lze pozorovat vliv doby měření na přesnost stanovení manganu pomocí RTG mobilního přístroje. Je zřejmé, že s prodlužující dobou měření jsou výsledky přesnější. Existuje však limitní doba měření, kdy dalším prodlužováním již zlepšení přesnosti nedosáhneme.

Mezi nevýhody oproti jiným analytickým technikám patří nemožnost stanovení nebo obtíže při stanovení lehkých prvků (H,..., C,..., Na, „Mg“), větší nutné rozměry vzorku a vyšší pořizovací náklady na RTG spektrometry.

3.2 Optický emisní spektrometr

Všeobecně se dá říci, že největší předností OES je možnost za krátký čas stanovit až 30 prvků najednou. To je důvod, proč je tak hojně využíván v procesu výroby oceli.

Jeho zjevnou nevýhodou je možnost stanovovat pouze elektricky vodivé (kovové) vzorky.

U mobilního přístroje je ještě navíc omezujícím faktorem optický vodič, kterým se přenáší světlo z jiskřiště do optického systému. Tento optický vodič velmi špatně propouští vlnové délky UV záření a v blízkosti UV záření a tím významně znesnadňuje nebo přímo vylučuje stanovení některých prvků (např. S, P) nebo negativně ovlivňuje přesnost stanovení (např. C).

4. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

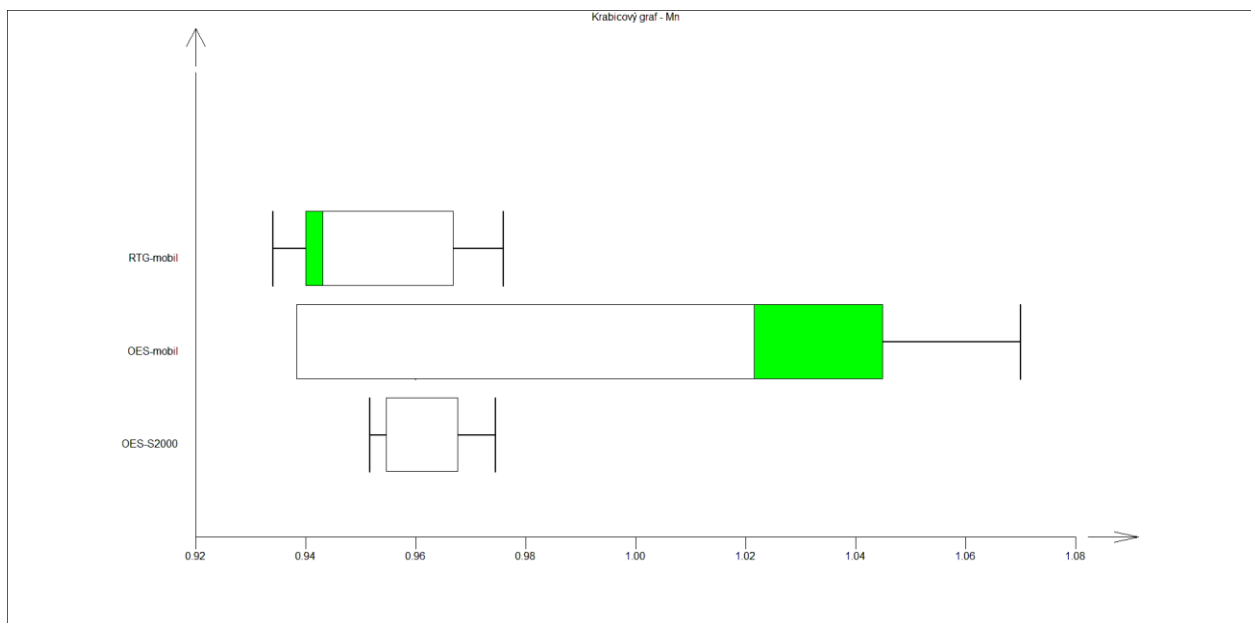
K porovnání dosahovaných výsledků měření mezi přístroji RTG-mobilní, OES-mobilní a OES-stacionární jsme použily kontrolní vzorky a certifikované referenční materiály standardně v laboratoři používané. Pro porovnání pro účely této přednášky jsme se zaměřili na některé vybrané prvky.

Porovnání vybraného certifikovaného referenčního materiálu v tabulce č. 1.

Tabulka 1 Průměrné hodnoty naměřené na CRM 181A (hm. %)

Prvek	C	Mn	Si	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo
Certifikovaná hodnota	0,225	0,971	0,435	0,039	0,007	0,093	0,725	0,66	0,385
OES-S2000	0,221	0,962	0,440	0,039	0,008	0,091	0,718	0,65	0,385
OES-mobil	0,219	1,004	0,449	X	X	0,101	0,755	0,66	0,381
RTG-mobil	X	0,953	0,595	X	X	0,109	0,719	0,66	0,398

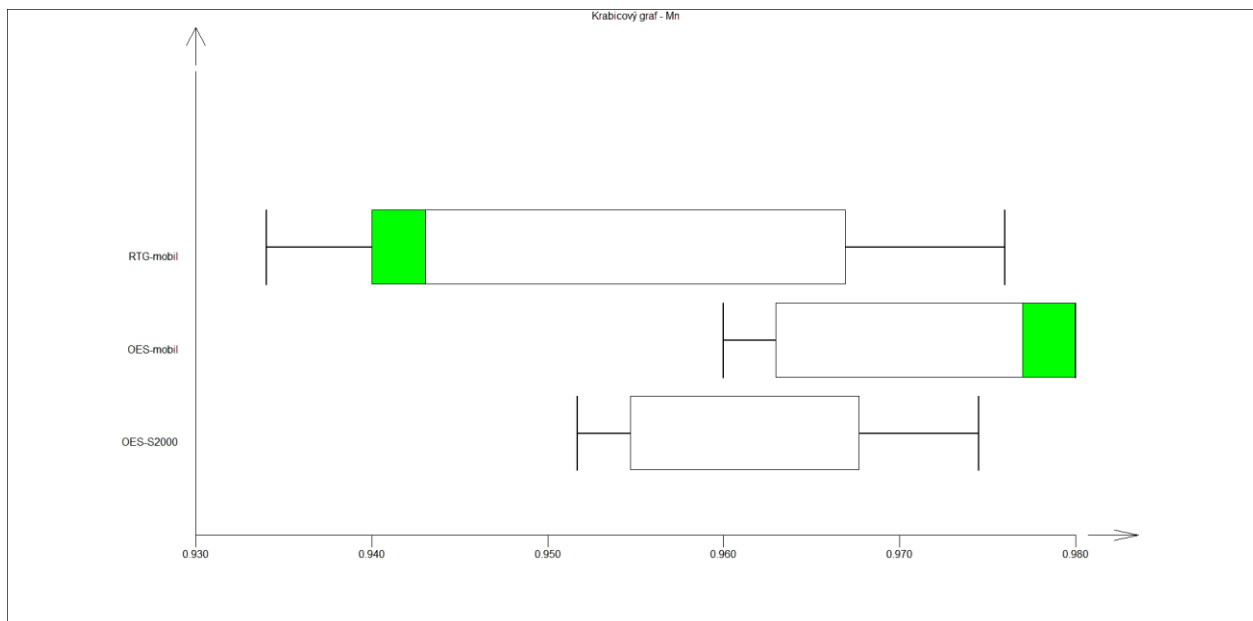
Již z této tabulky jsou zřejmá omezení některých přístrojů viz výše v textu (C a RTG. přístroj, P a S na mobilních přístrojích). Nicméně porovnáním průměrných hodnot se dozvíme něco málo o správnosti nastavení jednotlivých přístrojů (v mnoha případech je vhodnější brát na zřetel medián či jiná robustní kritéria), ale už se nedozvíme tolik o přesnosti přístrojů. A proto porovnáme jejich opakovaná měření pomocí analýzy rozptylu - ANOVA viz Obr. 2.



Obr. 2 Porovnání měření manganu na jednotlivých přístrojích

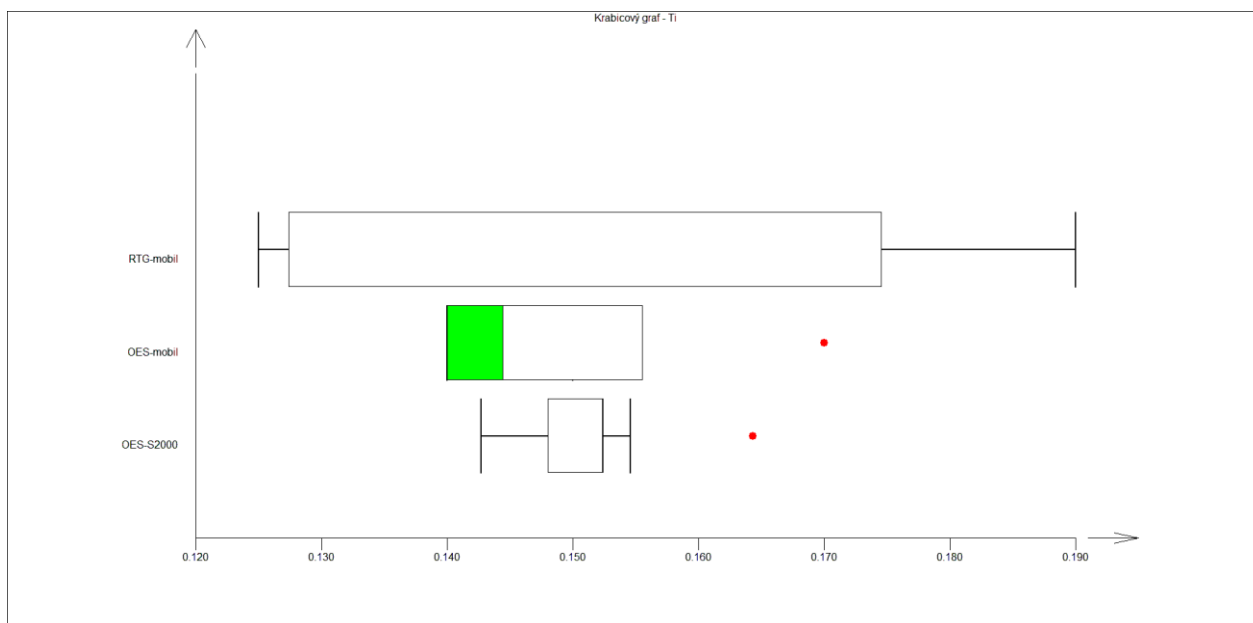
Na obrázku číslo 1 je vidět rozptyly výsledků opakovaných měření Mn. Stanovení Mn mobilním RTG spektrometrem je z hlediska přesnosti srovnatelné se stanovením na stacionárním laboratorním spektrometru OES-S2000. Oproti tomu stanovení pomocí mobilního OES spektrometru má v tomto případě velký rozptyl. Při podrobnějším pohledu na naměřená data zjistíme, že v 8-mi naměřených případech došlo

ke třem případům odlehlých hodnot od ostatních a po vyřazení těchto hodnot by krabicový graf vypadal jako na obrázku č. 3.



Obr. 3 Porovnání měření manganu na jednotlivých přístrojích po vyřazení odlehlých hodnot

Z následujícího příkladu porovnání pro měření obsahu titanu (viz Obr 4) je vidět naprostá shoda co se týče správnosti stanovení (u všech použitých přístrojů hodnota 0,15 %), ale jsou zřejmé rozdíly v přesnosti. V případě titanu lze říci že nejpřesnějším přístrojem je OES stacionární. V případě OES-mobil je tu při nahlédnutí do dat jistý vliv zaokrouhlování výsledků na dvě desetinná místa. RTG-mobil je v porovnání nejméně přesný pro titan a jeho interval spolehlivosti je od 0,125 až do 0,175 hm. % Ti.



Obr. 4 Porovnání měření titanu na jednotlivých přístrojích

Nutno podotknout, že veškerá data (naměřená i na mobilních přístrojích) byla naměřena za ideálních podmínek v laboratoři. Na mobilní přístroje a jejich přesnost stanovení má vliv prostředí a jeho změny, ve

kterém budou používány (výrobní haly, průmyslové technologie atd.) a charakteristické podmínky, které v nich panují (teplota, prašnost, vlhkost). Také úprava povrchu vzorku před měřením, která se jeví v provozu oceláren komplikovaná především pro OES spektrometry.

5. ZÁVĚRY

Závěrem lze říci, že moderní mobilní přístroje, pokud se jim vytvoří vhodné podmínky, jsou schopny vydávat pro některé prvky téměř srovnatelné výsledky s jejich laboratorními protějšky. Nelze od nich ovšem očekávat, že takovýchto výsledků budou dosahovat v podmínkách provozních hal a okamžitě po jejich zapnutí. Rovněž není možné očekávat zastoupení stacionárních laboratorních spektrometrů.

RTG-ruční spektrometr má velkou přednost v mobilitě vzhledem ke svým rozměrům. Při orientačních analýzách nebo analýzách legovaných ocelí je výhodou i bezstandardová kalibrace, relativně dobrá přesnost a malá citlivost na povrchovou úpravu před měřením. Nevýhodou u všech RTG přístrojů je, že není možno stanovovat lehké prvky, zejména uhlík.

OES-mobilní spektrometr stanovuje i uhlík a při vytvoření vhodných podmínek a větším počtu opakovaných měření se dá dosáhnout na dostatečnou přesnost, je ale zapotřebí mít na paměti vliv úpravy měřeného povrchu a prostředí. Nevýhodou oproti ručnímu rtg spektrometru jsou jeho větší rozměry, nutnost kalibrace pomocí kalibračních standardů a omezení pro stanovení prvků patřících do UV oblasti (P, S).

LITERATURA

- [1] Sborník přednášek. *Automatická spektrometrie I*. 1. vyd. Český Těšín: 2THETA, 1995. 336 s.

ANALIZA STATYSTYCZNA WPŁYWU UDZIAŁU ZŁOMU STALOWEGO WE WSADZIE METALICZNYM NA WSKAŹNIK UZYSKU CIEKŁEJ STALI Z WYTOPU KONWERTORA TLENOWEGO

STATISTICAL ANALYSIS OF THE IMPACT OF STEEL SCRAP PARTICIPATION IN THE METALLIC CHARGE FOR THE YIELD OF LIQUID STEEL CASTED IN BOF PROCESS

Zdzisław KUDLIŃSKI, Jacek PIEPRZYCA, Janusz LIPIŃSKI, Jacek KWIECIEN

Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Materiałowej i Metalurgii, Katedra Metalurgii, Katowice, PL

Abstrakt

W pracy przeanalizowano metodę symulacji i analizy statystycznej, wpływ stosowania złomu stalowego we wsadzie metalicznym konwertora tlenowego, na wskaźnik uzysku ciekłej stali z wytopu.

The paper contains the analysis of the simulation and statistic analysis methods, the influence of using ferrous scrap in metallic charge of oxygen converter upon the rate of obtaining liquid steel from the melt.

Klíčová slova: złom stalowy, konwertor tlenowy, ciekła stal

Keywords: ferrous scrap, oxygen converter, liquid steel

1. WPROWADZENIE

Złom stalowy należy do istotnych składników wsadu metalicznego w procesie tlenowo-konwertorowym wytapiania stali. Jego standardowy udział w masie wsadu metalicznego waha się od 20 do 25%. Z technologicznego punktu widzenia pełni rolę „regulatora” bilansu cieplnego każdego wytopu stali. W warunkach przemysłowych, w zależności od czasowej koniunktury i podaży surowki przeróbczej, udział złomu stalowego we wsadzie ulega zmianie zarówno w kierunku zmniejszenia jak i zwiększenia jego udziału we wsadzie metalicznym konwertora tlenowego. Zmiany te, niezależnie od jakości złomu stalowego, nie pozostają bez wpływu na przebieg wytopu i wskaźniki techniczno-ekonomiczne procesu, określające wydajność konwertora. Uwzględniając stosowane w warunkach przemysłowych zmiany proporcji udziału składników wsadu metalicznego, celem jest przeprowadzenie analizy wpływu tych zmian oraz jakości złomu stalowego na wydajność konwertora mierzoną wskaźnikiem uzysku ciekłej stali z wytopu.

2. CHARAKTERYSTYKA ZŁOMU

Jakość złomu stalowego jest ściśle związana z jego pochodzeniem. Ze względu na pochodzenie, zgodnie z PN-85/H-15000, złom stalowy dzieli się na trzy rodzaje:

- złom obiegowy, powstający w różnych fazach produkcji stali i hutniczych wyrobów stalowych. Ilość powstającego złomu obiegowego $Z_{ob}^{(n)}$ w roku n , którą można określić wzorem:

$$Z_{ob}^{(n)} = P_S^{(n)} \cdot k_{ob}, \text{ Mg/rok} \quad (1)$$

gdzie: k_{ob} – współczynnik pozyskania złomu obiegowego

- złom poprodukcyjny, to odpady stalowe które powstają w procesach przetwarzania hutniczych wyrobów stalowych. Jego ilość $Z_{pp}^{(n)}$ powstająca w roku n na obszarze jednostki terytorialnej można określić zależnością:

$$Z_{pp}^{(n)} = P_{ws}^{(n)} \cdot k_{pp}, \text{ Mg/rok} \quad (2)$$

gdzie: k_{pp} – współczynnik pozyskania złomu poprodukcyjnego który zależy nie tylko od wielkości produkcji hutniczych wyrobów stalowych $P_{ws}^{(n)}$ na obszarze analizowanej jednostki lecz także od międzynarodowego handlu wyrobami hutniczymi,

- złom poamortyzacyjny stanowią zużyte i/lub zniszczone wyroby stalowe (urządzenia, konstrukcje, środki transportu itp.), które utraciły swoje pierwotne właściwości użytkowe (w tym również zużyte moralnie). Ilość pozyskiwanego złomu poamortyzacyjnego $Z_{pa}^{(n)}$ jest w ścisłym związku z wielkością produkcji wyrobów stalowych w latach poprzednich i szybkości ich zużywania się:

$$Z_{pa}^{(n)} = P_{ws}^{(n-t)} \cdot \frac{n}{100}, \text{ Mg/rok} \quad (3)$$

gdzie: $P_{ws}^{(n-t)}$ - zużycie stali w postaci hutniczych wyrobów stalowych w roku $(n-t)$, Mg/rok,
 t - czas zużywania się wyrobów stalowych (zwykle przyjmuje się $t = 15 \div 20$ lat),
 n - współczynnik odzyskiwania stali w postaci złomu stalowego poamortyzacyjnego,

który waha się w przedziale od 30 do 70%.

Złom obiegowy, ze względu na miejsce powstawania, charakteryzuje się dużą gęstością i czystością „metalurgiczną”. Znany jest także jego skład chemiczny.

Złom poamortyzacyjny (często w środowisku hutniczym określany nazwą złomu handlowego) traktowany jest jako złom gorszej jakości w porównaniu ze złomem obiegowym. Charakteryzuje się dużą różnorodnością składu chemicznego w określonej jednostce objętości, mniejszą gęstością oraz pewnym zanieczyszczeniem metalami nieżelaznymi oraz materiałami niemetalicznymi. Zmiana struktury rynku złomu stalowego (na skutek zmniejszenia się podaży złomu obiegowego) przy jednoczesnym wprowadzeniu do praktyki przemysłowej nowoczesnych i wydajnych metod przerobu – przygotowania złomu stalowego (np. strzępienie) spowodowało że obecnie dominującym rodzajem złomu stosowanym w procesach wytapiania stali – jako składnik wsadu metalicznego jest złom poamortyzacyjny.

3. OKREŚLENIE WSKAŹNIKA UZYSKU CIEKŁEJ STALI Z WYTOPU W PROCESIE KONWERTOROWYM

Wsad metaliczny w procesie konwertorowo-tlenowym wytapiania stali tworzą: ciekła surówka i złom stalowy w ściśle określonej proporcji. Obowiązkowym zabiegiem technologicznym w końcowej fazie procesu wytapiania stali. W konwertorze tlenowym jest wstępne odtlenienie kąpeli metalowej – realizowane najczęściej podczas spustu za pomocą odpowiednich żelazostopów. Żelazo pochodzące z żelazostopów powiększy masę ciekłej stali w każdym wytopie. Dlatego do wsadu metalicznego należy także naliczyć stosowane żelazostopy a do określenia wskaźnika uzysku ciekłej stali z wytopu „żelazną” część masy żelazostopów. Dla przyjętych założeń wskaźnik uzysku ciekłej stali z wytopu będzie określony wzorem [2]:

$$W_U = \frac{M_{CS}}{M_S + M_Z + \frac{1}{3} M_{FS}} \cdot 100 \% , \quad (4)$$

gdzie: M_{CS} - masa ciekłej stali z wytopu, Mg
 M_S - masa ciekłej surówki użyta do wytopu, Mg
 M_Z - masa złomu stalowego użyta do wytopu, Mg
 M_{FS} - masa żelazostopów, Mg.

Udziały poszczególnych składników wsadu metalicznego (także udziały rodzajów złomu stalowego), na przykładzie udziału złomu poamortyzacyjnego, można wyznaczyć na podstawie zależności:

$$U_{zpa} = \frac{M_{zpa}}{M_S + M_Z + \frac{1}{3} M_{FS}} \cdot 100 \% \quad (5)$$

gdzie: M_{zpa} - masa złomu poamortyzacyjnego we wsadzie metalicznym wytopu (symbol M oznacza masę złomu całkowitego), Mg.

4. SYMULACJA WPŁYWU UDZIAŁU ZŁOMU STALOWEGO NA WSKAŹNIK UZYSKU STALI Z WYTOPU

W badaniach symulacji wpływu złomu stalowego na wskaźnik uzysku ciekłej stali z wytopu przyjęto trzy warianty udziału złomu we wsadzie metalicznym konwertora o pojemności 330 Mg:

- wariant 1 $\rightarrow U_Z = 10\%$; $U_S = 90\%$
- wariant 2 $\rightarrow U_Z = 20\%$; $U_S = 80\%$
- wariant 3 $\rightarrow U_Z = 30\%$; $U_S = 70\%$

We wszystkich wariantach do odtleniania kąpeli metalowej użyto 5 Mg żelazostopów (FeMn i FeSi) z czego $\frac{1}{3}$ tj. 1,666 Mg przeszła do kąpeli metalowej powiększając masę ciekłej stali w wytopie. Przyjęty do obliczeń skład chemiczny metalicznych materiałów wsadowych: ciekłej surówki i złomu stalowego przedstawia tablica 1, lp. 1 i 2.

Tablica 1 Skład chemiczny surówki, złomu stalowego i kąpeli metalowej przed spustem, %.

Table 1 Chemical composition of pig iron, ferrous scrap and metal bath before tapping, %.

Lp.	Składnik wsadu	C	Mn	Si	P	S
1.	Surówka	4,50	0,40	0,50	0,10	0,05
2.	Złom stalowy	0,30	0,50	0,30	0,04	0,04
3.	Kąpiel metalowaprz przed spustem	0,04	0,10	-	0,04	0,04

W wyniku zachodzących reakcji utleniania pierwiastków wsadu metalicznego (węgla, manganu, fosforu i żelaza) oraz reakcji odsiarczania ubywa w konwertorze masy metalicznej – kąpeli metalowej i zmienia się jej skład chemiczny.

Końcowy skład chemiczny kąpeli metalowej przed spustem dla każdego wariantu wytopu przyjęto jednakowy – tablica 1, lp. 3. Usunięte z kąpeli metalowej masy pierwiastków w wyniku zachodzących reakcji utleniania obrazuje tablica 2.

Ubytek żelaza Δm_{Fe} z kąpeli metalowej w ilości 4,620 Mg w każdym wariantcie wytopów odpowiada 18-to procentowej zawartości FeO w żużlu. Odtleniając kąpiel metalową masą odtleniaczy (żelazostopów) M_{FS} ,

masa ciekłej stali M_{CS} zwiększy się o wartość $\frac{1}{3} M_{PS}$. Korzystając z wzoru (1), określa się wskaźnik uzysku ciekłej stali (W_u) dla każdego symulowanego wariantu wytopu stali w konwertorze tlenowym (tablica 3).

Tablica 2 Ubytek pierwiastków z kąpeli metalowej, Mg w symulowanych wariantach wytopów, Mg.

Table 2 Decrement of elements in metal bath, Mg in simulated variants of melts

Rodzaj pierwiastka	Wariant 1	Wariant 2	Wariant 3
Δm_C , Mg	13,332	11,946	10,560
Δm_{Mn}	1,023	1,056	1,089
Δm_{Si}	1,584	1,518	1,452
Δm_P	0,178	0,158	0,138
Δm_S	0,029	0,026	0,023
Δm_{Fe}	4,020	4,620	4,620
Razem	20,766	19,324	17,882

Tablica 3 Wskaźniki uzysku ciekłej stali z wytopu, %

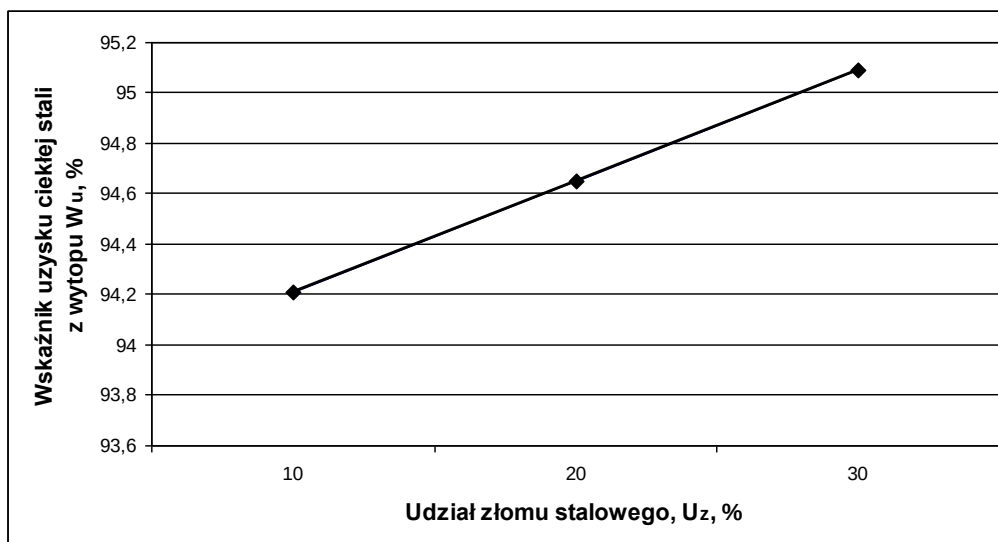
Table 3 Rate of obtaining liquid steel from the melt, %

Nr wariantu	Parametry symulacji	
	M_{CS} , Mg	W_n , %
Wariant 1	310,899	94,21
Wariant 2	312,341	94,65
Wariant 3	313,783	95,09

Graficzna ilustracja przeprowadzonej symulacji wpływu udziału złomu stalowego we wsadzie metalicznym na wskaźnik uzysku ciekłej stali z wytopu przedstawia Rys. 1.

Uwzględniając stratę żelaza w pyłe (szlamie) gazu konwertorowego w ilości (przy założeniu że powstaje z 10 kg pyłu – szlamu/Mg ciekłej stali zawierającego 70% FeO) 2,498 Mg (dla wariantu 2)

uzysk ciekłej stali, w tym wariantie wytapiania, obniży się do wartości $W_u=93,87\%$, tj. o 0,76%



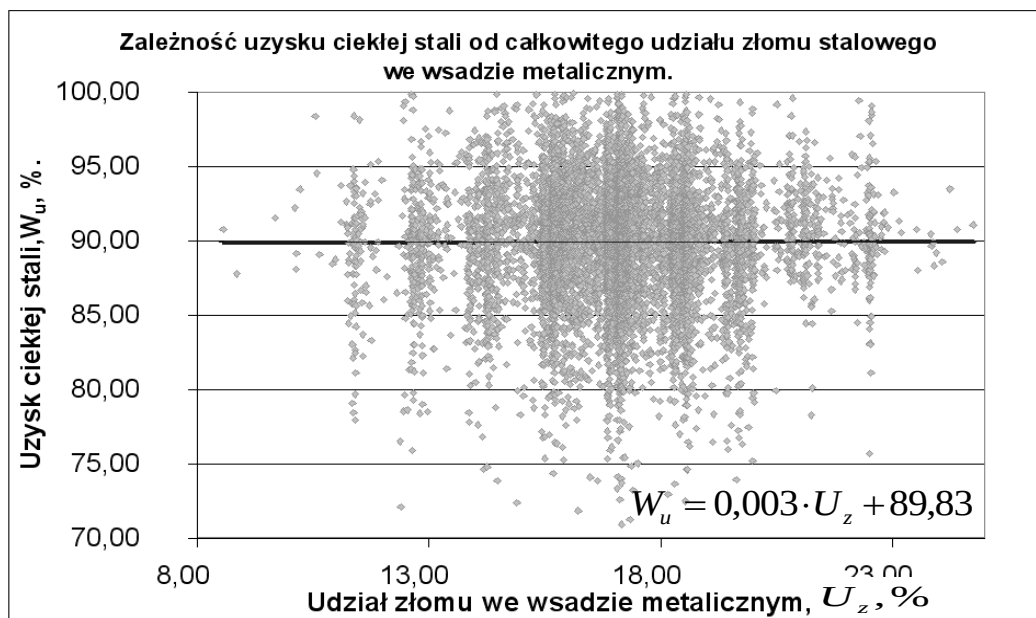
Rys. 1 Zależność wskaźnika W_u od udziału złomu stalowego we wsadzie metalicznym.

Fig. 1 Dependence of W_u indicator on the share of ferrous scrap in metallic charge.

5. WYNIKI ANALIZY STATYSTYCZNEJ

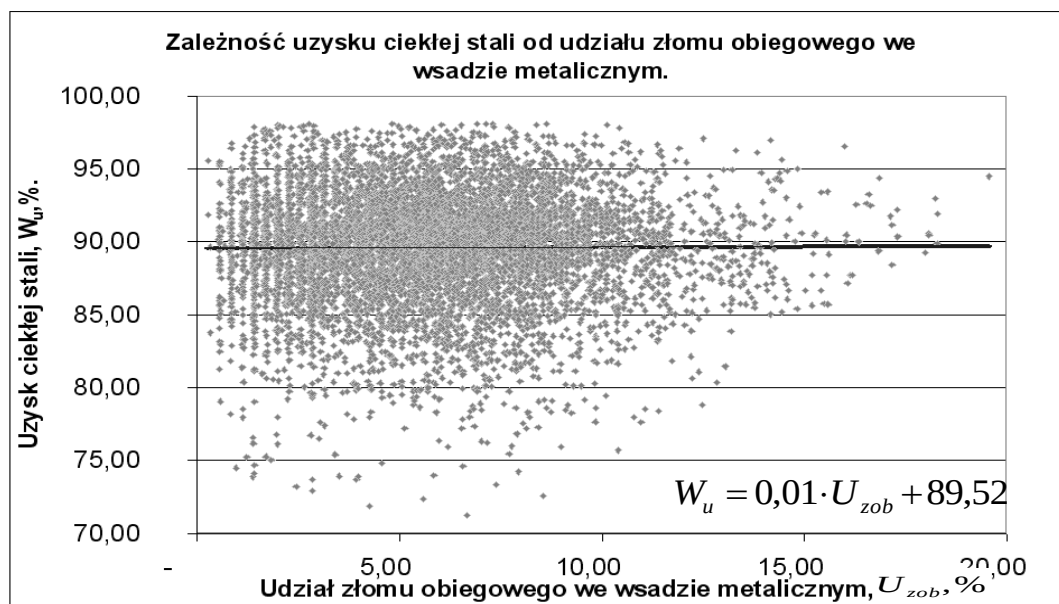
Badania przeprowadzono w populacji 1000 wytopów stali wykonanych w konwertorze tlenowym opojemności minimalnej 330 Mg. Analizę objęło określenie wpływu udziału: złomu całkowitego U_z , złomu

obiegowego U_{zo} , złomu poamortyzacyjnego U_{zpa} , żelazostopów (odtleniaczy) U_{FS} , na kształtowanie się wskaźnika uzysku ciekłej stali z wytopu W_u . W analizie zastosowano metodę regresji liniowej. Wyniki przeprowadzonej analizy, w formie graficznej, przedstawiają Rys. 2 ÷ 5.



Rys. 2 Zależność uzysku ciekłej stali z wytopu od udziału złomu we wsadzie metalicznym.

Fig. 2 Dependence of liquid steel output from the melt on the share of scrap in metallic charge

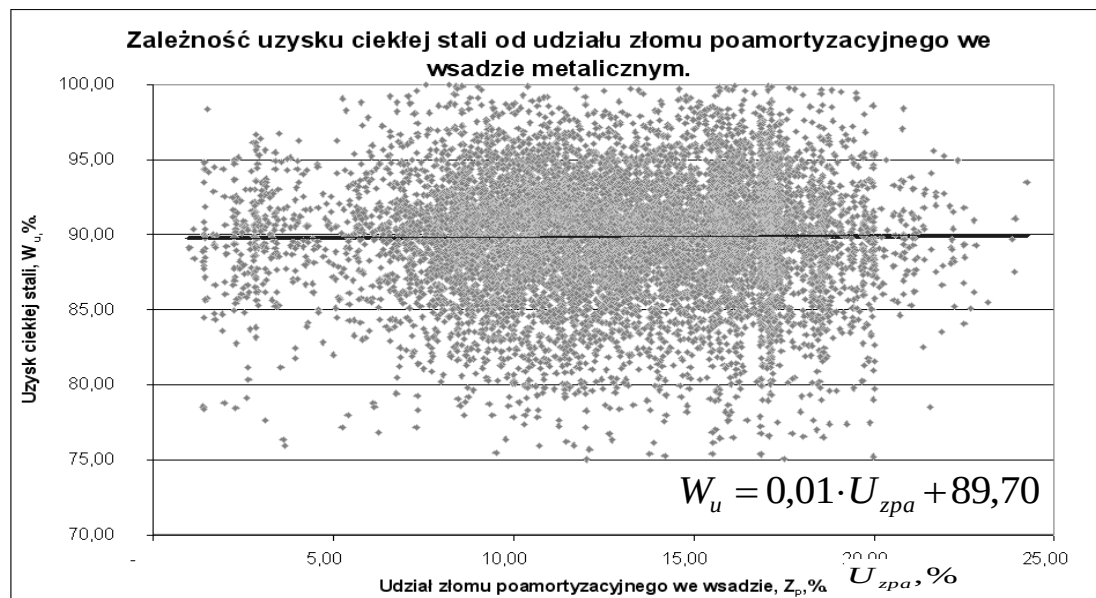


Rys. 3 Zależność uzysku ciekłej stali z wytopu od udziału złomu obiegowego we wsadzie metalicznym.

Fig. 3 Dependence of liquid steel output from the melt on the share of process scrap in metallic charge

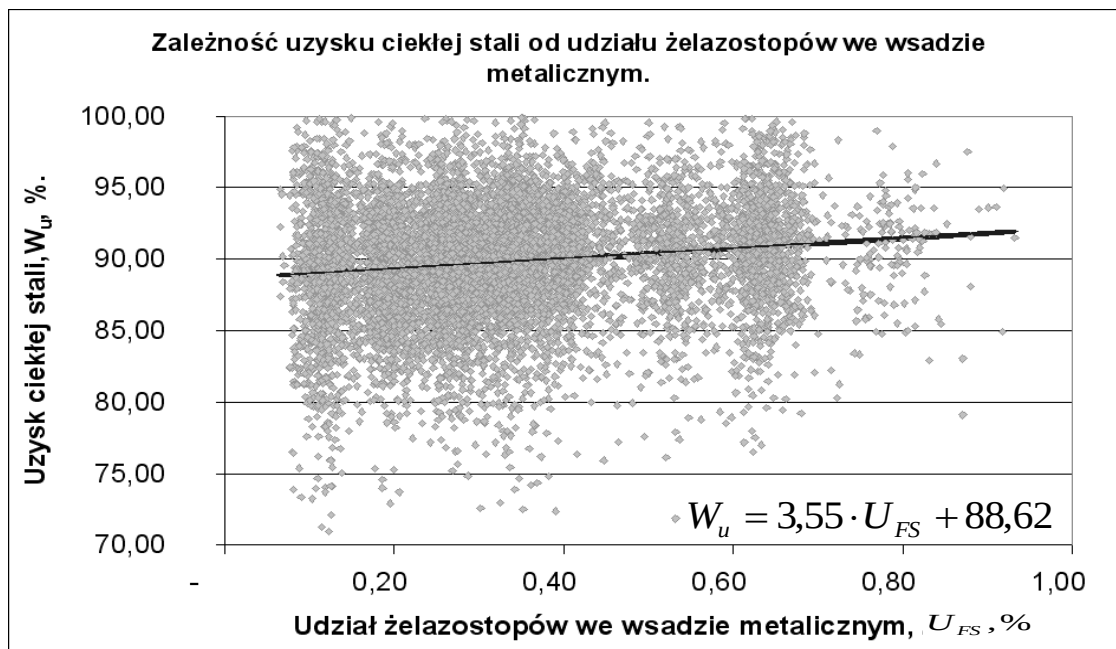
Dokonując oceny wyników badań statystycznych wpływu stosowania złomu stalowego we wsadzie metalicznym procesu konwertorowo-tlenowego, w warunkach technologicznych badanego procesu, należy stwierdzić że stosowany złom (obiegowy i poamortyzacyjny) nie posiada istotnego wpływu na wydajność procesu mierzoną wskaźnikami uzysku ciekłej stali. Innymi słowy, złom charakteryzuje się

wysoką jakością co świadczy o dobrym jego przygotowaniu do procesu stalowniczego. Uogólniając wyniki przeprowadzonych badań (symulacyjnych i statystycznych) należy jednoznacznie stwierdzić że stosowanie złomu stalowego, jako składnika wsadu metalicznego w procesie konwertorowo-tlenowym, nie zmniejsza uzysku ciekłej stali z wytopu.



Rys. 4 Zależność uzysku ciekłej stali z wytopu od udziału złomu poamortyzacyjnego we wsadzie metalicznym.

Fig. 4 Dependence of liquid steel output from the melt on the share of post-absorption scrap in metallic charge



Rys. 5 Zależność uzysku ciekłej stali z wytopu od udziału żelazostopów – odtleniaczy.

Fig. 5 Dependence of liquid steel output from the melt on the share of ferroalloys – deoxidizers.

LITERATURA

- [1] Polska Norma, PN-85/H-15000.
- [2] Kudliński Z.: Hutnictwo pl. kwartalnik, zima 2008, s.20-21.
- [3] Kwiecień J. Magisterska praca dyplomowa. Politechnika Śląska, Katowice, 2009 r.

NÁKLADOVÉ POSUZOVÁNÍ APRETACE VYRÁBĚNÝCH ODLITKŮ

Václav KAFKA^a, Gabriela STANÍČKOVÁ, Olga Poloková^b, Miroslav HERZÁN^c, Blanka VYLETOVÁ^c,
Reinhold LASÁK^d, Veronika PAZDERKOVÁ^e, Marcel NOVOBÍLSKÝ^f, Ivo LÁNA^g, Pavel JELÍNEK^h,
Dušan DOUPOVEC^{ch}

Racio&Racio, Vnitřní 732, 735 14 Orlová, ČR, vaclav.kafka@upcmail.cz

*VŠB-TU Ostrava, FMMI, 17.listopadu 15, 708 33 Ostrava, ČR, stanickova.gabriela@email.cz,
olga.polokova@email.cz,*

*Královopolská slévárna, s.r.o., Křižíkova 68h, 660 90 Brno, ČR,
herzan@kpslevarna.cz, vyletova@kpslevarna.cz*

Brelamos s.r.o., Ostrava, ČR, rlasak@brelamos.cz,

DSB EURO s.r.o., Gellhornova 18, 678 01 Blansko, ČR, veronika.pazderkova@dsbblansko.cz,

Slévárny Třinec, a.s., Průmyslová 1001, 739 65 Třinec – Staré Město, ČR, marcel.novobilsky@trz.cz,

Slévárna a Modelárna Nové Ransko, s.r.o., Nové Ransko 234, 582 63, ČR, lana.i@slevarna.cz,

Techconsult, Praha, ČR, techconsult@rump.cz,

Czech Blades s.r.o., Brněnská 559, 569 43 Jevíčko, ČR, dusan.doupovec@czechblades.cz,

Abstrakt

Příspěvek navazuje na předchozí práce řešitelského kolektivu odborné komise ekonomické při ČSS. Cílem řešitelského kolektivu bylo sestavit nákladový model všech výrobních fází při výrobě odlitku. Práce je zaměřena na závěrečnou výrobní fázi - apretaci odlitku. V PROJEKTU XII se pět sléváren věnovalo vývoji metodiky stanovení nákladů. U 21 odlitků byly následně stanoveny náklady a to jak v kalkulačním členění, tak i podle jednotlivých výrobních fází. Začaly práce na úvodní interpretaci výsledků. Ta by měla vést k návrhům na nákladovou redukci této velice komplikované výrobní fáze. Tato úloha je v podmínkách českého a patrně i evropského slévárenství řešena poprvé.

This paper establishes into antecedent to working solving team professional economic commission at ČSS (Czech foundry society). Aim solve team is compile cost model of all manufacturing phases with productivity of cast. This working is directed to final productivity phase – finish of cast. OF PROJECT XII devoted himself five foundries development of methodology assessment of cost. Out of 21 castings were after it determination cost namely cost data as according to particular productivity phases. Set to works with prefatory of the produce interpretation. This should administer into layout of cost reduction of that dearly complicated productivity phase. This task is into condition of Czech and evidently also European foundry practice first time by solving.

Klíčová slova: apretace odlitků, nákladový model, porovnání nákladů,

Key words: finishing of cast, cost model, cost comparison,

1. ÚVOD

PROJEKT XII pokračuje v cílevědomém postupu odborné komise ekonomické (OK) České slévárenské společnosti (ČSS) nákladově posoudit veškeré pracovní fáze apretace odlitků. Navazuje na PROJEKTY, které byly OK dříve řešeny [1- 11]. Řešitelský tým postupuje v řešení PROJEKTU XII (PXII) [12] podle ověřené metodiky předcházejících PROJEKTŮ. Na řešení PXII se podílí DSB EURO s.r.o. Blansko, KRÁLOVOPOLSKÁ SLÉVÁRNA, s.r.o. Brno, Slévárna a modelárna Nové Ransko, s.r.o., Slévárny Třinec, a.s., fy BRELAMOS, s.r.o., Ostrava, zastoupení TECHCONSULT, a studenti a doktorandi z VŠB-TU Ostrava, fakulty FMMI.

Hlavním cílem PXII bylo vyvinutí metodiky nákladového hodnocení apretace odlitků, ověření tohoto postupu

a stanovení neúplných vlastních nákladů (NVN). Dále jsme chtěli naznačit, jak se bude provádět interpretace získaných výsledků. Předpokládáme, že v následujících pracích bude provedeno hodnocení NVN na apretaci odlitků mezi jednotlivými odlitky, hledání nákladových úspor i vzájemné porovnání mezi slévárnami. Také by se měly následně hledat závislosti nákladů mezi vybranými výrobními činiteli.

2. VYVINUTÍ METODIKY STANOVENÍ NÁKLADŮ NA APRETACI ODLITKŮ

Požadavky na metodiku sledování nákladů na apretaci odlitků vycházely z následujících předpokladů:

1. Členění všech posuzovaných fází má zahrnovat veškeré možné případy úkonů, ke kterým dochází ve slévárnách při apretaci odlitků.
2. V případě, že by se objevila v konkrétní slévárně nová operace (dříve neuváděná), aby ji bylo možné do metodiky zařadit.
3. Zajištění „pružnosti“ metodiky. Tento požadavek vycházel z reálných situací ve slévárnách při apretaci odlitků. Podle konkrétní situace dojde k opakovanému zařazení různých výrobních fází (kupříkladu tryskání, tepelné zpracování, apod.).
4. Možnost zachování porovnatelnosti mezi různými odlitky. Tato porovnatelnost by měla být jak u pracovních úkonů tak následně u nákladů a dalších posuzovaných veličin.
5. Zachování dřívějšího, v minulých PROJEKTECH používaného systému členění a značení výrobních fází.
6. Použití osvědčené metody oceňování výrobních úkonů metodou neúplných vlastních nákladů.

2.1 Stanovení výrobních fází a dílčích výrobních fází apretace odlitků

Metodicky se proces výroby odlitků rozděluje na hlavní výrobní fáze: výroba tekutého kovu, příprava formovacích hmot, výroba forem a apretace odlitků.

Nejprve bylo provedeno ohraničení sledované hlavní výrobní fáze. Sledovaná hlavní výrobní fáze apretace začíná dopravou odlitků z „prostoru“ vytloukání po jeho ukončení do místa, kde bude následovat úvodní výrobní fáze apretace, která je nazvaná „transport a odstranění zbytků formovacích směsí“. Hlavní výrobní fáze apretace končí odvezením odlitku na sklad.

Hlavní výrobní fázi apretace odlitků jsme rozdělili na deset výrobních fází:

- A. Transport a odstranění zbytků formovacích směsí.
- B. Mechanické čištění (tryskání) I., II., III., IV., atd.

- C. Tepelné zpracování I., II., III., IV., atd.
- D. Odstranění nálitků a vtokové soustavy (odřezávání, upalování, urážení, apod.).
- E. Úprava plochy po odstranění nálitků a vtokové soustavy (hrubé broušení, zažehlování).
- F. Odstraňování vad I. II.
- G. Zavařování vad I. II.
- H. Jemné broušení.
- I. Zažehlování svárů vad.
- J. Broušení svárů vad.

Vlastní vývoj metodiky stanovení nákladů na apretaci odlitků vycházel – podobně jako u dříve řešených PROJEKTŮ - z detailního popisu všech prováděných operací. Pro vytvoření popisu všech prováděných operací apretace odlitků ve výrobním cyklu bylo nutné nejdříve výrobní fázi apretace rozdělit do dílčích výrobních fází. Kupříkladu výrobní fáze A. Transport a odstranění zbytků formovacích směsí se dělila na A.1 Přeprava odlitku do čistírny a A.2 Odstranění zbytků formovacích směsí na odlitku.

2.2 Metoda stanovení neúplných vlastních nákladů

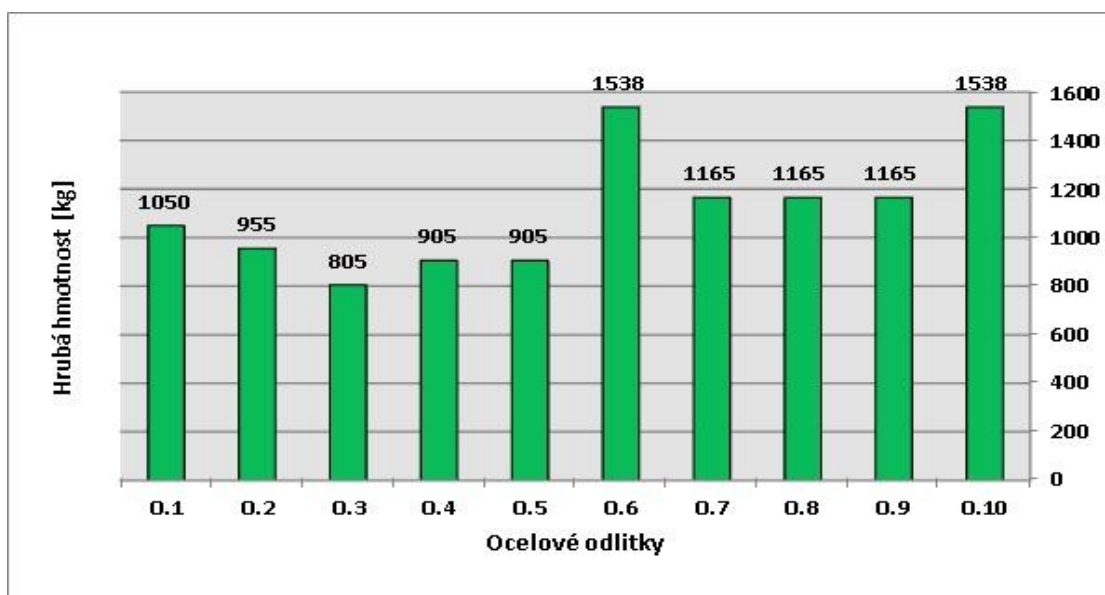
Nákladový model byl sestaven na základě známé metody kalkulace neúplných vlastních nákladů. Tzn. bere v úvahu jen ty náklady, které přímo souvisejí s apretací odlitků a jsou výrobním střediskem přímo ovlivnitelné. Nezahrnujeme např. náklady na osvětlení hal, odpisy, správní režii, apod. Náklady jsou vždy stanovovány na určitou kalkulační jednotku (např. na odlitek, na kg odlitku, atd.). Prostřednictvím kalkulačního vzorce jsou jednotlivé odlitky nákladově ohodnoceny.

NVN jsou tvořeny součtem skupin nákladových položek, tedy nákladů materiálových a zpracovacích. Uvedený kalkulační vzorec může podle konkrétních podmínek dané slévárny zahrnout i další nákladové komponenty. Stejně tak je možné některé položky do sledování nezahrnout.

Tímto způsobem se například zjistí, kolik činí NVN na apretaci konkrétního odlitku, jaký podíl z těchto nákladů tvoří použitý materiál, energie, osobní náklady, atd. Na základě těchto informací je získán detailní přehled o nákladové náročnosti apretace odlitků.

3. KLASIFIKACE SLEDOVANÝCH ODLITKŮ

Skutečná omezení sléváren následně vytvořila soubor odlitků, na nichž se vyvíjela metodika tvorby nákladového modelu. Pro odlitky z oceli jsme pracovali se souborem desíti případů ze tří sléváren. Jsou to odlitky označené O.1 – O.10 s hrubou hmotností od 805 kg do 1 538 kg. Názorně je to uvedeno na obr. 1.



Obr. 1 Přehled ocelových odlitků dle hrubé hmotnosti

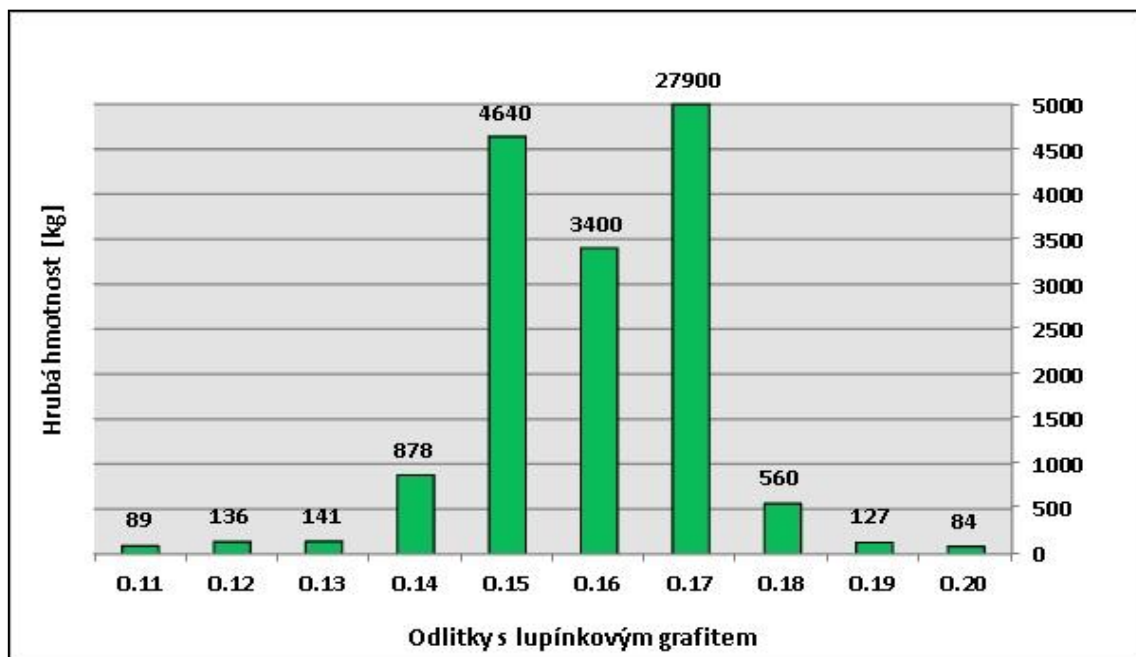
Odlitky z LLG. Tam jsme do sledovaného souboru zařadili 10 odlitků ze tří sléváren. Posuzované odlitky jsou označené O.11 – O.20 s hrubou hmotností od 84 do 27 900 kg viz obr. 2.

U odlitků z LKG je situace odlišná. Tam máme pouze jeden sledovaný případ o hmotnosti 118 kg.

4. DOSAŽENÉ VÝSLEDKY

Hlavním výsledkem PXII je skutečnost, že se podařilo:

- u velice komplikované hlavní výrobní fáze apretace odlitků vytvořit členění výrobních a dílčích fází, které je spolehlivým východiskem pro nákladová šetření,
- sestavit metodiku vytvoření nákladového modelu pro apretaci odlitků, včetně zjednodušení sledování a použití specifických metod tak, aby náklady bylo možné vůbec stanovit,
- na základě vytvořeného členění výrobních fází, zjednodušení sledování a využití specifických metod stanovit náklady na apretaci 21 odlitků.



Obr. 2 Přehled odlitků z LLG dle hrubé hmotnosti

Stanovení nákladů na apretaci odlitků bylo tedy provedeno pro všechny odlitky zařazené do sledování. Skutečností je, že stanovení nákladů se opírá o vlastní (původní) nákladový model vytvořený v aplikaci Excel pro tento odlitek. Teprve v dalších pracích počítáme s tím, že bude vytvořen model univerzální, který by zahrnoval celý soubor všech 21 apretovaných odlitků. Ten by již v jeho prakticky obecné podobě měl být všeobecně použitelný pro slévárny. Výsledky hlavních skupin nákladů jsou shrnuty v tab. 1.

4.1 Přehled dosažených výsledků na apretaci u ocelových odlitků

Pro vlastní hodnocení je důležité posuzovat odlitky, které prošly srovnatelnými výrobními fázemi. Odlitky O.1 – O.5 v rámci posuzování komplexně „prošly“ všemi dílčími výrobními fázemi apretace. Tedy od výrobní fáze A (Transport a odstranění zbytků formovacích směsí) až po výrobní fázi J. (Broušení svárů po odstranění vad). Pro ně z tab.1 následně vyplývá, že NVN na apretaci odlitků se pohybují (bez ohledu na hmotnost odlitku a složitost jeho výroby) od 3 222 Kč/odlitek do 8 825 Kč/odlitek. Vykázané NVN na 1 kg hrubé hmotnosti odlitku u O.1 - O.5 se pohybují od 3,56 Kč/kg do 9,75 Kč/kg.

Při této příležitosti je třeba připomenout prakticky identické odlitky O.4 a O.5. Z porovnávání NVN je zřejmé, že náklady na odstranění vad zvýšily náklady na apretaci o 5 603 Kč/odlitek. To činí více než 50 % NVN na odlitek. U měrných nákladů tento rozdíl činí 6,19 Kč/kg hrubé hmotnosti odlitku. I toto je zajímavý podnět pro další práce.

Tabulka 1 Stanovené náklady na sledované odlitky

	Materiál	Označení	Materiálové náklady	Zpracovací náklady	NVN	NVN
	Jednotky		[Kč/odlitek]	[Kč/odlitek]	[Kč/odlitek]	[Kč/kg]
ř./sl.	1	2	3	4	5	6
1	Ocel	O.1	1 453	5 808	7 261	6,92
2		O.2	2 265	6 305	8 570	8,97
3		O.3	313	3 759	4 073	5,06
4		O.4	1 681	7 144	8 825	9,75
5		O.5	153	3 069	3 222	3,56
6		O.6	967	12 061	13 028	8,47
7		O.7	416	1 851	2 267	1,95
8		O.8	792	5 820	6 613	5,68
9		O.9	541	3090	3 631	2,36
10		O.10	353	2 516	2 868	1,87
11	LLG	O.11	55	378	433	4,87
12		O.12	95	390	485	3,57
13		O.13	97	450	548	3,88
14		O.14	294	948	1 241	1,41
15		O.15	466	5 135	5 602	0,96
16		O.16	456	4 882	5 338	1,29
17		O.17	3 966	38 994	42 960	1,28
18		O.18	159	2 631	2 790	3,28
19		O.19	353	435	788	6,21
20		O.20	158	253	411	4,89
21	LKG	O.21	72	538	610	5,19

Další odlitky označené O.6 – O.10 „prošly“ výrobní fází A (Transport a odstranění zbytků formovacích směsí). Nebyla u nich sledována výrobní fáze B.,C.,a D. Dále se u nich sledovaly výrobní fáze E. Úprava plochy po upalování nálitků a všechny následující fáze. Pro odlitky O.6 – O.10 následně vyplývá, že NVN na apretaci odlitků se pohybují od 2 267 Kč/odlitek do 13 028 Kč/odlitek. Vykázané měrné NVN u O.6 až O.10 se pohybují od 1,87 Kč/kg do 8,47 Kč/kg (tab. 1).

4.2 Přehled dosažených výsledků na apretaci u litinových odlitků

Z tab. 1 vyplývá, že NVN na apretaci odlitků u LLG se pohybují od 411 Kč/odlitek do 42 960 Kč/odlitek. Je třeba připomenout, že u odlitků z litin je ve všech slévárnách zapojených do sledování prováděna jejich komplexní apretace. Měrná nákladovost u LLG se pohybovala od 0,96 Kč/kg do 6,21 Kč/kg (tab. 1).

5. ZÁVĚR

Práce uskutečněné v rámci PROJEKTU XII - tedy vyvinutí příslušné metodiky, její ověření a následně výpočet NVN pro 21 odlitků - jsou úvodem nebo spíše východiskem pro řešení velice komplikované problematiky apretace odlitků. Oponentní rada schválila přednesenou zprávu a doporučuje v práci pokračovat projektem XIII. Práce se dále zaměří na interpretaci dosud získaných výsledků. Počítá se s tím, že budou posuzovat odlitky podle materiálu, ze kterého byly vyrobeny. Dalším kritériem bude porovnávání nákladů podle výrobních nebo dílčích fází jejich zpracování. Dále budeme posuzovat vynaložené náklady, jak u výrobních fází tak i dílčích fází v rámci chronologického postupu apretace jednoho odlitku. Tedy kupříkladu u ocelových odlitků úvodní náklady na tryskání (po vytlučení) by za normálních podmínek měly být vyšší než tryskání po tepelném zpracování (třeba po normalizačním žíhání) apod. Budeme také hledat vazby mezi náklady na provedení jednotlivých fází apretace.

LITERATURA

- [1] Kafka V., Šenberger J., Palán P., Szmek V., Pacola D., Kupka F., Hynar V., Stonawski J., Knirsch 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, březen 2001.
- [2] Kafka V., Šenberger J., Ledvoňová A., Lanča M., Viznarová J., Černý J., Koutníková L., Nejedlý J., Vepřek V., Povolný M., Reška R.. Porovnání nákladů na výrobu odlitků ze železných kovů. Závěrečná zpráva, prosinec 2011.
- [3] Kafka V., Šenberger J., Coufal J., Andres J., Reška R., Štýbnarová E., Ledvoňová A., Ing. Blahutová L., Vévodová J. Problematika průběžného sledování nákladů odlitků v Českých slévárnách. Závěrečná zpráva, listopad 2002.
- [4] Kafka V., Králíček P., Ondráček Z., Paseka R., Šenberger J., Blahutová L., Kurka V. Ověření modelu průběžného sledování nákladů odlitků v Českých slévárnách. Závěrečná zpráva, březen 2004.
- [5] Kafka V., Urban R., Matuška M., Šenberger J., Szmek V., Chudáček S., Kostelka A., Neterder K., Lána I., Blahutová L., Štěpán L. Možnosti nákladové redukce při výrobě tekuté fáze litin v Českých slévárnách. Závěrečná zpráva, prosinec 2004.
- [6] Kafka V., Šenberger J., Matuška M., Urban R., Szmek V., Chudáček S., Kostelka a., Karel Neterder K., Lána I., Mach L., Kurka V. Možnosti nákladových úspor při výrobě tekuté fáze oceli a litin v Českých slévárnách. Závěrečná zpráva, prosinec 2005.
- [7] Kafka V., Nykodýmová V., Fošum J., Chudáček S., Szmek V., Knirsch V., Doupovec D., Lána I., Fryč P., Novobilský M., Jochim R., Šenberger J., Martiňák R. Vytvoření nákladového modelu formovacích směsí. Závěrečná zpráva, prosinec 2006.
- [8] Kafka V., Nykodýmová V., Lána I., Szmek V., Doupovec D., Novobilský M., Fošum J., Knirsch V., Jochim R., Martinák R. Problematika posuzování nákladovosti formovacích směsí. Závěrečná zpráva 18. 3. 2008, Nové Ransko.
- [9] Kafka V., Nykodýmová V., Doupovec D., Martinák R., Knirsch V., Neudert A., Szmek V., Novobilský M., Veselý P., Řeháčková K., Řehůřková K., Pazderka J., Lána I., Fošum J., Jochim R., Volek J. Rozšířený nákladový model přípravy formovacích směsí. Závěrečná zpráva 17. 3. 2009, Zlín.
- [10] Kafka V., Nykodýmová V., Lána I., Novobilský M., Marko E., D., Řeháčková K., Martinák R., Knirsch V., Herzán M., Vyletová B., Pazderka J., Jiříkovský J., Veselý P., Řehůřková K., Hřebíček L. Metodika nákladového hodnocení výrobní fáze přípravy forem. Závěrečná zpráva 23. 3. 2010, Blansko.
- [11] Kafka V., Poloková O., Nykodýmová V., Vyletová B., Herzán M., Lána I., Novobilský M., Hřebíček L., Doupovec D., Veselý P. Rozpracování nákladového hodnocení výroby forem. Závěrečná zpráva, 23. 3. 2011 Brno.
- [12] Kafka V., Herzán M., Jelínek P., Lána I., Lasák R., Novobilský M., Pazderková V., Poloková O., Staničková 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.

SLEDOVÁNÍ NÁKLADŮ NA TEKUTÝ KOV - DŮLEŽITÝ NÁSTROJ K EFEKTIVNÍ VÝROBĚ

Václav KAFKA^a, Lenka FIRKOVÁ^b, Václav FIGALA^c

^a) RACIO & RACIO, Vnitřní 732, 732 14 Orlová, ČR, vaclav.kafka@upcmail.cz

^b) VÍTKOVICE POWER ENGINEERING a. s., Ruská 2887/101, 706 02 Ostrava, ČR, lenka.firkovaitkovice.cz

^c) VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY a. s., Ruská 2887/101, 706 02 Ostrava, ČR, vaclav.figala@vitkovice.cz

Abstrakt

Příspěvek se zaměřuje na problémy posuzování nákladů na výrobu tekutého kovu. Podíl nákladů na tekutý kov je zcela rozhodující jak pro výrobu hutních výrobků (tedy kupříkladu válcovaných tak i kovaných výrobků) stejně tak i odlitků ze železa i neželezných materiálů. V příspěvku se diskutuje otázka nezbytnosti sledování nákladů na jeho výrobu a možné přínosy z této aktivity.

The article focuses on cost evaluation problems of liquid metal production. Proportion of liquid metal production cost is fully decisive as for metallurgy components production (e.g. rolled products, forgings), as well as for castings of iron and non-ferrous materials. Question of cost monitoring necessity and its possible benefits is discussing in the article.

Klíčová slova: řízení nákladů, tekutý kov, úspory nákladů, elektrické obloukové a indukční pece.

Keywords : cost management, liquid metal, cost savings, electric arc furnace and electric inductive furnaces

1. ÚVOD

Současná doba - probíhající dluhové krize - si vynucuje hledání všech prostředků, s pomocí kterých se dosáhne reálného a trvalého snižování nákladů. A cesta průběžného sledování nákladů u výroby tekutého kovu je ověřeným prostředkem ke splnění tohoto cíle.

2. PROČ SE ZAMĚŘUJEME V PRVÉ ŘADĚ NA TEKUTÝ KOV

Posudme některé důvody, které vytvářejí u tekutého kovu předpoklady, jako relativně vhodného subjektu k řízení nákladové náročnosti.

2.1 Představuje nákladově dominantní podíl z výsledného výrobku

Obvykle, když se řeší jakýkoli problém, tak se snažíme hledat jeho řešení od „hlavního článku“. V našem případě je na řadě prací prokázáno, že náklady na tekutý kov činí pro běžnou nelegovanou jakost cca 40 až 60 % z úplných vlastních nákladů (UVN) expedovaného odlitku. Samozřejmě u odlitků z náročných a vysoce legovaných jakostí bude nákladový podíl tekutého kovu vyšší.

Podobná situace je u výrobků z tvářené oceli. Tam se kupříkladu náklady na tekutý kov pro nelegované oceli při výrobě tlustých plechů pohybují okolo 70 %. V zásadě obdobné relace budou také u výkovků. I u těchto výrobků se při použití legovaných jakostí bude zcela zákonitě nákladový podíl tekutého kovu z UVN tvářeného hotového výrobku zvyšovat.

Je tedy jednoznačné, že tekutý kov je nákladově dominantním nákladem.

2.2 Má postavení relativně samostatné výrobní fáze

Je zřejmé, že v situacích, kdy máme vážný zájem o redukci nákladů, se musíme zaměřit na relativně **samostatný** výrobní nebo pracovní úkon (spíše výrobní fázi). Zaměřit se na výrobní fázi, kde nákladově příznivé zásahy nevyvolají negativní (někdy i významný) dopad, který může i převýšit původní pozitivní přínos.

Uvedme si běžné příklady kupříkladu ve slévárně při přípravě formovacích směsí. Tam se samozřejmě může docílit nezajímavých nákladových přínosů. Nicméně tyto zásahy mohou významně nepříznivě zasáhnout do následujících fází výroby odlitku. A výsledkem může být neshodná výroba neboli zmetek hotového odlitku.

Do jisté míry obdobná situace může nastat kupříkladu při tavení tekutého kovu v elektrických obloukových pecích (EOP), když se zaměříme výhradně na snížení spotřeby elektrické energie. Známe situace, kdy se za použití plynného kyslíku, palivových hořáků a dalších intensifikačních prvků docílí radikálního snížení spotřeby el. energie. Nikdo již však nevyhodnocuje nákladový dopad zvýšené spotřeby kyslíku, opotřebení zdíva, vyšší předváhu atd. Na příkladech je opět doloženo, že komplexní nákladový dopad může být negativní. Je možné konstatovat, že výroba tekutého kovu při dodržení požadovaných parametrů (chemického složení, předepsané teploty apod.) je relativně samostatná fáze, u které je možné na nákladové optimalizaci samostatně pracovat.

2.3 Výroba tekutého kovu má významnou nákladovou variabilitu, která dává předpoklady k úsporám

Nákladovost výroby tekutého kovu byla poměrně rozsáhle sledována. Připomeňme si dřívější šetření jak tehdy ve Staré ocelárně Vítkovic, a. s., na elektrických pecích a zařízeních sekundární metalurgie ve ŽĐAS, a. s. nebo na kyslíkové konvertorové ocelárně EVRAZ, a. s. Ostrava.

V poslední době byly zveřejněny dvě zajímavé práce, které upozorňují na významnou nákladovou variabilitu.

První [1] shrnuje závěry šesti předběžných a dvou komplexních technicko-ekonomických analýz prováděných v letech 2007-2011 v pěti českých a jedné slovenské slévárně. Hlavním cílem bylo ve zmíněných provozech detailní statistické posouzení nákladů a vybraných technologických charakteristik při výrově oceli a litiny v elektrických obloukových (EOP) a indukčních pecích (IP). Výsledky provedených šetření upozornily na významné nákladové rezervy způsobené především vysokou mírou variability. Ta byla dána zejména nízkou mírou pracovní a technologické kázně, a to prakticky ve všech výrobních fázích při vedení tavby. Míra variability byla v rámci zmíněné metodiky měřena variačním koeficientem. Komplexní rozbor příčin vysoké variability ve slévárnách mimo jiné potvrdil nerespektování (a někde i absenci) jednotného standardu v oblasti metalurgických, energetických či pracovních režimů.

Konkrétním příkladem nedostatečné standardizace a jejími dopady může být srovnání, kdy proti sobě byly za přísně srovnatelných podmínek postaveny výběrové soubory taveb dvou tavičů. V obou případech byly posuzovány tavby z 5t EOP, v nichž byl vyráběn stejný materiál (např. GS20Mn5). Veškeré tavby byly navíc sázeny jedním sázecím košem a měly stejný prostoj před tavbou (0-50 min). Nákladová variabilita byla za přísně srovnatelných podmínek patrná nejčastěji v těchto oblastech [1]:

- **skladba vsázky** (nejednotnost při druhotování vsázky – variační koeficient až 17 %);
- **metalurgické režimy** (používání různých kovových přísad při legování – variační koeficient až 39 %, odlišná práce s nekovovými přísadami – variační koeficient až 26 %, nejednotná práce vedoucí k odlišné tavicí předváze – variační koeficient až 62 %);

- **energetické režimy** (odlišné spotřeby elektrické energie – variační koeficient až 7 %, různé doby tavení – variační koeficient až 21 %);
- **pracovní postupy** (různé doby tavby – variační koeficient až 16 %);
- **hydraulická regulace elektrod** (signalizovaný různý stav seřízení).

Je třeba doplnit, že je na řadě prací prokázáno, že vyšší variabilita (měřena kupříkladu variačním koeficientem) je jednoznačně spojena s vyšší nákladovou náročností.

Druhá práce [2] se zaměřila na příkladu slévárny A (v zásadě pro problémy ČR typickou) na konkrétní zjištěné nákladové rozdíly u hlavních skupin nákladů. A dále posuzovala, kdo - přesněji, které skupiny pracovníků - tyto náklady ovlivňují. Pro porovnání skutečně zjištěných nákladových hodnot z reálného provozu byly využity údaje u dvou prakticky totožných EOP o tonáži 5 t za jinak srovnatelných podmínek u jakosti GS20Mn5N. Tedy kupříkladu stejný maximální mezitavbový prostoj. Skutečné údaje jsou z let 2008-2009. Hodnoceno je osm souborů charakterizovaných vždy průměrnou hodnotou (dělení dle tavičů, pecí a sázením jedním nebo dvěma koši). V té době byly ceny a nákladové sazby do jisté míry odlišné (vesměs nižší) prakticky u všech sledovaných položek oproti dnešnímu stavu.

a) Náklady vsázky

Průměrné náklady na vsázku různých tavičů, obou pecí u souboru taveb sázenými jedním a dvěma koši a námi sledované jakosti se pohybovaly od 5712 Kč/t do 6091 Kč/t (*rozdíl 379 Kč/t*). Pro zopakování uvedené mezní hodnoty jsou údaji průměrnými (aritmetický průměr) nejsou to minimum a maximum za všech osm posuzovaných souborů. Ty vykazovaly zásadně vyšší odlišnosti.

Ovlivnění nákladů na vsázku před tavbou: *pořízení vsázkového materiálu* - zásobovací oddělení, slévárna; *využití vlastního vratného kov. odpadu* (adresné označování a přehledné skladování) - slévárna, pracovníci šrotiště; *optimalizace vsázky pro jednotlivé jakosti* - metalurg a *uložení vsázky do sázecího koše dle předpisu* - vsázkař, eventuálně pecní osádka.

Ovlivnění nákladů na vsázku během tavby: *tavící předváha* (odpovídající kusovost vsázky) - zásobovací oddělení, slévárna; *čistota vsázky, nestandardní skladba vsázky* - zásobovací oddělení, vsázkaři a *metalurgické režimy a jejich dodržování* - metalurg, pecní osádka.

b) Variabilita tavící předváhy

Průměrné hodnoty předvah (snížených o 1000 kg/t) se pohybovaly od 76 kg/t do 104 kg/t (*rozdíl 28 kg/t*).

c) Variabilita nákladů na kovové přísady

Průměrné hodnoty nákladů na kovové přísady se pohybovaly od 806 Kč/t do 922 Kč/t (*rozdíl 116 Kč/t*).

Ovlivnění nákladů na kovové přísady: *pořízení kovových přísad* - zásobovací oddělení, slévárna; *optimální metalurgické předpisy* - metalurg, slévárna a *technologická a organizační kázeň* - pecní osádka.

d) Variabilita zpracovacích nákladů

Průměrné hodnoty zpracovacích nákladů se pohybovaly od 3550 Kč/t do 3794 Kč/t (*rozdíl 244 Kč/t*).

Do zpracovacích nákladů zařazujeme mimo jiné náklady na spotřebu elektrické energie a náklady úměrné době tavby.

e) Variabilita spotřeby el. energie

Průměrné spotřeby elektrické energie se pohybovaly od 687 kWh/t do 727 kWh/t (*rozdíl 40 kWh/t*).

Ovlivnění nákladů na elektrickou energii: pořízení (nákup) el. energie - oddělení nákupu; optimální energetický režim a jeho dodržování - slévárna, pecní osádka; seřízení regulace elektrod, stav mechanických zařízení EOP - slévárna, pecní osádka a nízká organizační kázeň (nestandardní prodlužování jednotlivých tavících údobí, prostoje z důvodu špatné organizace, poruch apod.) - slévárna, pecní osádka.

f) Variabilita doby tavby

Průměrná doba tavby se pohybovala od 136 min do 174 min (rozdíl 38 min).

Ovlivnění doby tavby: sestavení a dodržování optimálních pracovních postupů vedení tavby - slévárna, pecní osádka; sestavení a dodržování optimálních metalurgických a energetických režimů - slévárna, pecní osádka; hmotnost vsázky - vsázkaři; doba mezitavbového prostoje - pecní osádka a kvalitní provedení mezitavbové opravy - pecní osádka.

Jsou také známy skutečnosti z EOP s tonáží relativně vyšších (cca 60 t) a jejich výsledků. Tam v některých případech právě dochází při maximální snaze o zkrácené doby tavby a snížení spotřeby el. energie cestou intenzifikace ke stavům z hlediska nákladů minimálně problémovým.

Uvědomíme-li si kupříkladu, že vysokou spotřebou kyslíku v tavbě (až v desítkách Nm^3/t) a použitím kyslíko-palivových hořáků se docílí spotřeby el. energie až okolo 400 kWh/t tekutého kovu. Skutečností však je, že docílená předváha se „šplhá“ až na 1150 kg/t i 1200 a více kg/t tekutého kovu! U těchto úvah je třeba mít na paměti, že každý zvýšený kilogram v předváze podle konkrétních podmínek zvyšuje UVN tekutého kovu o min 3 až 15 Kč/t. Navíc samozřejmě dochází i ke zvýšenému opotřebení vyzdívek, spotřeby grafitových elektrod apod. Tyto stavy jsou nám známy a doslovně si vynucují kritické nákladové posouzení.

Uvedená zjištění přesvědčivě dokládají, že potenciální nákladový prostor při výrobě tekutého kovu, který je možné z nemalé části snížit je velice zajímavý.

3. FÁZE VÝROBY TEKUTÉHO KOVU MÁ NĚKTERÉ PŘÍZNIVÉ PŘEDPOKLADY K NÁKLADOVÉMU ŘÍZENÍ

V oblasti řízení nákladů výroby tekutého kovu jsou prováděny systematické práce v podmínkách oceláren a sléváren prakticky od roku 1971 [3]. Tyto práce vedly k detailnímu rozpracování problematiky nákladového řízení tekutého kovu. Můžeme říci, že žádná výrobní fáze jak u odlitků, tak u tvářené oceli, není takto detailně rozpracována.

3.1 Princip řízení nákladů tekutého kovu

Řízení nákladů tekutého kovu vychází z obecných zásad řízení jakéhokoli jiného procesu. Postup si budeme demonstrovat na příkladu tavby oceli vyráběné v EOP. Při jistém zjednodušení lze definovat řízení nákladové spotřeby v těchto krocích:

- stanovení skutečných nákladů vyrobené tavby bezprostředně po jejím ukončení (kupříkladu 15 000 Kč/t),
- porovnání skutečných nákladů tavby se standardní hodnotou – tedy náklady, které by byly dosaženy, kdyby tavba probíhala přísně za standardních podmínek (14500 Kč/t),
- stanovení nákladové odchylky (+500 Kč/t – tedy došlo k nákladovému překročení),
- provedení rozboru vzniklé nákladové odchylky. Tento krok je zcela zásadní. Velice často dochází k tomu, že se prostě konstatuje pouze skutečnost překročení nákladů nebo úspora. A následně se

z tohoto zjištění dělá jednoduchý („zkratový“) závěr. Prosté překročení nákladů je záporná skutečnost, úspora je pozitivní fakt.

Provedený rozbor odchylky nás vede k bližšímu zjištění, proč ke zjištěnému stavu vedlo. Kupříkladu konstatuje, že jiná skladba vsázky měla za následek nákladové zvýšení o 200 Kč/t. Je zde první otázka – nebyly příslušné vsázkové komponenty k dispozici na šrotišti nebo to byla prostá technologická a organizační nekázeň? Dále - odlišná skladba kovových přísad měla za následek úsporu nákladů ve výši 50 Kč/t. A opět - bylo to způsobeno jinou skladbou vsázky, nebo pouze „vhodnějšími“ kovovými přísadami. A mohl k tomu také přispět „příznivější“ metalurgický režim! Dále náklady zvýšila tavící předváha o 100 Kč/t. Byla totiž vyšší o 10 kg/t. Opět proč se tak stalo. Použité odlišné energetické režimy znamenaly nákladové zvýšení o 70 Kč/t. Odlišné složení natavené lázně si vyžádalo vyšší náklady o 50 Kč/t. Atd.

Tedy jak je zřejmé, dosažený nákladový výsledek se nám rozdělil do více oblastí, které je třeba posuzovat. Jak tyto získané informace využíváme? Obecně lze říci, že v prvním kroku k provedení rozboru výsledků s osádkou a dalšími zainteresovanými středisky. A navržení opatření, která u pozitivních výsledků pokud možno zajistí jejich opakování. A u negativních opět pokud možno jejich odstranění.

U malých pecí ve slévárnách je obvykle potřebný časový prostor na rozbor výsledku s osádkou. Odlišná situace je u velkých agregátů (kyslíkové konvertory – KK, pánvové pece - LF nebo EOP), kde doba tavby je kratší než hodinu. Tam lze na základě závěrů z provedeného rozboru provést zásahy až u následné nebo následných taveb.

Tento popsany princip byl na řadě taveb úspěšně ověřen a provozně zaveden.

3.2 Ověřování nákladových modelů a jejich provozní zavedení

Je třeba říci, že pro vývoj naznačeného způsobu řízení nákladů tekutého kovu udělala v historii hodně „stará ocelárna“ nyní elektroocelárna ve Vítkovicích, a. s. a vzpomínaný prof. Zdeněk Bůžek. Provozně byla metoda úspěšně ověřena a poté zavedena v ocelárně ŽĐAS, a. s. na EOP a pánvové peci LF - kupříkladu [4, 5]. Poté byla zkoušena v podmínkách kyslíkové konvertorové ocelárny. Tam byla následně provozně zavedena na KK, LF, vakuové stanice, a dále na zařízení plynulého odlévání (ZPO) - kupříkladu [6]. V této ocelárně bylo také vyvinuto řízení nákladů v reálném čase u přehřevu a příchřevu šrotu u KK. Následně byla metoda zavedena v podmínkách elektroocelárny Vítkovice, a. s. [7].

Je třeba dodat, že systém byl také vyvíjen a ověřován i v podmínkách malých pecí ve slévárnách. A to jak pro IP, tak i pro EOP.

3.3 Vhodnost uplatnění nákladových modelů na různých tavících agregátech

V současné době jsou nákladové modely pro výrobu tekutého kovu skutečně důkladně rozpracovány a prověřeny. K uplatnění řízení nákladové spotřeby je třeba, aby vstupní data měla potřebnou přesnost a byla uzpůsobena k využití. Je třeba s povděkem říci, že prakticky všechny tavící agregáty vyšší tonáže mají v podstatě veškerá data charakterizující technologický proces vážena a měřena. Nemalá část z nich je současně automaticky evidována a elektronicky minimálně pro evidenční využití archivována. Shodná situace je i u nově budovaných tavících agregátů, byť by měly i relativně malou tonáž. Opět bývají příslušné údaje patřičně evidovány. Následně je tedy možné pro konkrétní podmínky příslušné pece přizpůsobit již ověřené nákladové modely. Do „nich“ je třeba vložit konkrétní cenové údaje a nutné nákladové sazby

příslušné ocelárny nebo slévárny. V řadě případů lze využít pro nákladový propočet již instalované výpočetní jednotky (kupříkladu PC), kterými jsou tavící agregáty již vybaveny.

Také i u starších tavících agregátů, které nemají automaticky evidovaná data je situace pro aplikaci řízení nákladů řešitelná. V první řadě jsou v současné době u všech tavících pecí vedeny tavební listy. Agregáty jsou vybaveny (snad až na výjimku) příslušným zařízením na zjišťování hmotností vsázky a přísad. Z tohoto konstatování vyjímáme zjišťování hmotností nekovových přísad. Ty se váží spíše výjimečně. A pecní osádka dokáže vkládat příslušná data přímo do počítače. To bylo již dříve úspěšně ověřeno a zvládnuto. A dále - nákladový model lze provozovat i ve známém programovatelném kalkulátoru EXCEL. To umožňuje, sice s menším komfortem, příslušné propočty úspěšně provádět.

U tohoto přístupu je třeba počítat s tím, že objektivitu vstupních dat je třeba kontrolovat příslušnými testy. Nicméně kvalita vstupních dat, která nejsou automaticky snímána a dále využívána, je ve všech výrobních jednotkách nízká. A nemůžeme se ani divit. Pracovníci vědí, že se data dále nevyužívají a proto k jejich evidenci takto přistupují.

Nicméně dnes máme vyvinut systém jednoduchých výpočetních kontrol od stanovení předváhy, přes materiálové bilance prvků v návaznosti na výsledky analýz tekutého kovu atd., které dokáží objektivitu snad každého vstupního údaje kvalifikovaně posoudit. A opět na to může stačit uvedený EXCEL. Naše zkušenosti dokládají, že při tomto postupu se kvalita vstupních dat ve velice krátké době zásadně zlepšuje.

4. ZÁVĚR

Jak je zřejmé, tak řízení nákladové náročnosti u tekutého kovu je dostatečně rozpracované, provozně odzkoušené a na tavících agregátech, zařízeních pánvové metalurgie a zařízení plynulého odlévání provozně zavedené. Pro starší klasické pece jsme s využitím programovatelného kalkulátoru Excel v PC na jeho zavedení do značné míry připraveni.

Základem je průběžné sledování skutečných nákladů všech taveb a jejich následný rozbor. Skutečností pak je, že výroba příslušné kvality v požadovaném čase a objemu je pak spíše „samozřejmostí“. Úkolem je výroba tekutého kovu s minimálními náklady. A to je skutečným imperativem současné doby.

LITERATURA

- [1] FIGALA, V. Vývoj a aplikace metody technicko-ekonomické analýzy při výrobě tekutého kovu v elektrických pecích ve slévárnách. Disertační práce. Ostrava: VŠB-TU, FMMI, srpen 2011. 141 s.
- [2] KAFKA V., FIRKOVÁ L., MARTÍNEK L., HERZÁN M., NYKODÝMOVÁ V.: Jak ovlivňují taviči náklady tekutého kovu, In sborník Sborník přednášek k XX. celostátnímu školení tavičů a mistrů oboru elektrooceli a tvárné litiny s kuličkovým grafitem, s. 113-125, vydal ČSS Brno, s. 1-156, září 2011, ISBN: 978-80-02-02336-4.
- [3] KAFKA V., BŮŽEK Z.: Nová metoda zjišťování vlastních nákladů elektrooceli. Hutnické listy č. 3, 1971, s. 171.
- [4] MARTÍNEK L., FILA P., KAFKA V., BŮŽEK Z. a kol.: Provozní zkušenosti elektroocelárny v ŽĎAS a. s. při řízení výroby. S. 142-149, „Výroba a vlastnosti oceli na odlitky a litiny s kuličkovým grafitem“, s. 122-126, listopad 2001, Svratka, ISBN 80-02-01464-2.
- [5] KAFKA V., BŮŽEK Z., MARTÍNEK L., FILA P., KOPECKÝ L., MALÁ J.: Průběžná zpráva VIII. etapy řešení úkolu „Systém řízení nákladů v reálném čase“. Říjen 2001, Žďár nad Sázavou.
- [6] TOMIS P., PETER M., KAFKA V., SLOVÁČEK J., KUBĚNA J., MASARIK M., UHER T., BRODECKÝ D., DOSTÁL L., FUKA S., DAŇKO I., JURČA J., JURSA P.: Technická pomoc při řešení aktuálnosti modelů ve vztahu k novým zařízením sekundární metalurgie. Závěrečná zpráva, Vítkovice – Výzkum a vývoj, září 2008.
- [7] ŠEDĚNKA D., KAFKA V., VEJMĚLKOVÁ L., KRAYZEL M., VOLNÝ R., BAUKO D.: Výzkum a vývoj komplexního řídicího systému ocelárny ve VÍTKOVICĚ HEAVY MACHINERY a. s. In sborník přednášek „Teorie a praxe výroby a zpracování oceli“, Rožnov, duben 2006.

VYTVÁŘENÍ EKONOMICKÉHO POVĚDOMÍ PŘÍSPÍVÁ K PŘEKONÁNÍ NEPŘÍZNIVÝCH DOPADŮ SVĚTOVÉ EKONOMIKY

Václav KAFKA^a, Marcel NOVOBILSKÝ^b, Zdeněk VLADAR^b, Vladislav SZMEK^b, Monika BABULICOVÁ^c

^{a)} Racio&Racio, Vnitřní 732, 735 14 Orlová, ČR, vaclav.kafka@upcmil.cz,

^{b)} Slévárny Třinec, a.s., Průmyslová 1001, 739 65 Třinec-Staré město, ČR,
marcel.novobilsky@trz.cz, zdenek.vladar@trz.cz, vladislav.szmek@trz.cz,

^{c)} VŠB-TU Ostrava, FMMI, 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava, ČR, monika.babulicova.st@vsb.cz,

Abstrakt

Slévárny Třinec, a.s. po úspěšném ověření v pilotním projektu přistoupily systematicky k vytváření ekonomického povědomí v celém provozu. Ve třech samostatných blocích bylo školeno celkem 139 pracovníků. Do vzdělávání byli zařazeni slévači, taviči, pracovníci cídírny, modeláři, mistři, technologové a obchodníci. Příspěvek seznamuje s průběhem přednášek a cvičení, reakcích účastníků a jejich hodnocení. Prokázalo se, že vytváření ekonomického povědomí u pracovníků má přímou souvislost s jejich úsporným přístupem k zajišťování pracovních operací.

Slévárny Třinec, a.s. admitted to create economical awareness in whole plant after successfully verification in pilot programme. In three separated parts were trained 139 workers. Into the programme were classed foundrymen, furnacemen, rubbers, pattern-makers, foremen, technologists and tradesmen. The report acquaints with process of lectures and lessons, participant's response and they ratings. It was proved that the creation of economical awareness on workers has direct connection with their economical approach for the assurance of operating step.

Klíčová slova: ekonomické povědomí, úspory nákladů, metody ocenění své práce, školení pracovníků

Economical awareness, cost saving, methods for evaluation own work, staff training

1. ÚVOD

Současná etapa vývoje světové ekonomiky, která je obecně nazývána jako **dluhová krize** patrně nezavede světové hospodářství do další hluboké recese. Jednoznačně však víme, že vývoj ekonomiky v žádném případě nebude vytvářet podmínky, které by vedly k hospodářskému rozkvětu. Ve vyspělých ekonomikách se spíše očekává stagnace a v některých přímo pokles. Obdobná situace je i v České republice (ČR).

Je tedy jednoznačné, že každá výrobní jednotka bude muset hledat nové netradiční a někdy i nevyzkoušené přístupy k dosažení efektivního hospodaření.

Jednou z těchto nových cest je **přímé zapojení do efektivního hospodaření pokud možno veškerého osazenstva výrobní jednotky**.

2. ZAPOJENÍ DO HOSPODAŘENÍ VŠECH PRACOVNÍKŮ VÝROBNÍ JEDNOTKY

Jistě si vzpomeneme, že tento cíl byl mnohokrát proklamován zejména v období do sametové revoluce. A i v současné době existuje řada retardačních vlivů a podmínek, které zapojení všech pracovníků do efektivního hospodaření brzdí nebo v některých případech i brání. Uvedme si snad mezní hrozbu, které je prakticky vystaven každý zaměstnanec. Tou je ztráta pracovního místa. Nicméně v tržním hospodářství je tato skutečnost jeho neodmyslitelnou součástí. Nepolemizujeme se situacemi, kdy pracovník je propuštěn vlastním zaviněním. Nebo z důvodů, kdy výrobní jednotka má nekvalifikované vedení a z těch důvodů dojde k jejímu zániku apod. Ke ztrátě pracovního místa může samozřejmě dojít i pro společnost z relativně objektivních důvodů. Prostě výrobek, který je nabízen, již není trhem žádaný a jeho výroba prostě pro jeho neprodejnost končí. A v daném případě to nemusí být přímé zavinění managementem výrobní jednotky.

To jsou rizika, se kterými musíme dnes snad v každém zaměstnání reálně počítat. Při jisté paralele můžeme i obdobné „nehody“ očekávat v osobním nebo sousedském životě. Podobně nás může potkat i problém kupříkladu při dopravní nehodě apod.

Vraťme se však k realitě současného života v tržním hospodářství. Víme, že problémové nebo těžké situace v životě firem a následně jejich zaměstnanců dokáže usnadnit nebo relativně ulehčit jejich (osvícený) vedoucí. V první řadě svým vlastním příkladem. Připomeňme si známý příklad Lee Iacocca, když přišel zachraňovat „na smrt nemocný“ CHRYSLER. Tento manager – guru, si vyplácel roční plat ve výši 1 US \$. Mohli bychom citovat dále příklady Tomáše Bati. Ale i prostý lidský přístup, kdy se pracovníkům říká otevřeně pravda o vzniklé situaci a zaměstnanci jasně vidí, že jejich šéfové nesou tento nelehký úděl s nimi, významně situaci ulehčuje.

Tedy jaké by měly být předpoklady ve firmě pro zapojení do hospodaření všech pracovníků výrobní jednotky? Uvedme si alespoň některé rysy.

V první řadě asi ztěžší bude vedení pracovníky úspěšně přesvědčovat, aby se iniciativně zapojili, když se firma dlouhodobě hospodářsky „potácí“. A vedení si se situací naprosto neví rady. Řídí jednotku chaoticky, podléhá nadměrné operativě. Také ztěžší budou tyto výzvy vyslyšeny od managementu, který není kompetentní a není u něj zapálenost pro firmu, ve které pracuje. Asi sotva bude přesvědčovat pracovníky vedení v organizaci, kde se zaměstnanci bojí říci svůj názor. Také tam, kde není pracovník za dobrou práci vedením patřičně oceněn a příslušným způsobem „pochválen“.

Pozor, musíme si však uvědomit, že jako neexistuje ideální člověk tak nebude existovat ideální firma. Vždy existují jisté problémy a je také na straně zaměstnanců každé firmy, aby si byli této situace vědomi.

Jednoznačně platí, že v této oblasti má v rukou „všechny trumfy“ management. Tedy platí Napoleonovo „nejsou špatní vojáci, jsou špatní důstojníci“!

3. PRINCIPY ZAPOJENÍ PRACOVNÍKŮ CESTOU VYTVÁŘENÍ EKONOMICKÉHO POVĚDOMÍ

Zapojení všech pracovníků výrobní jednotky na jejím hospodaření se děje **uplatněním těchto principů**:

- a) Veškerá činnost kteréhokoli pracovníka na jakémkoli pracovním postu je aktivita, která má vždy dopad ekonomický. Jejím důsledkem je čerpání nákladů. Nezávisle na tom zda pracuje s kilogramy kovového odpadu, formovací směsí, spotřebou elektrické energie či dobou tavby.
- b) Každý zaměstnanec čerpání těchto nákladů vědomě nebo nevědomě ovlivňuje.

Aby pracovník čerpání nákladů **mohl aktivně ovlivňovat**:

- a) Vybavujeme ho potřebnými informacemi o cenách a nákladových sazbách komponent se kterými pracuje. Dále ho učíme, aby si dokázal sám hodnotu operace, pracovního úkonu u své pracovní náplně stanovit nebo odhadnout,
- b) Poskytujeme mu „nadstandardní“ informace, které bezprostředně nepotřebuje k vykonávání své pracovní profese. Tyto „nadstandardní“ informace jsou zaměřeny:
 - na ekonomické a další dopady jeho činnosti a práce dalších pracovníků na vlastní výrobní jednotku,
 - na ekonomické a další dopady na „okolí“ jeho výrobní jednotky. Tím se myslí skutečnosti ovlivňující hospodaření jeho podniku kupříkladu ze státního rozpočtu, rozvoj nebo stagnace okolních jednotek, odvětví nebo států apod.

Vycházíme z předpokladu, že nadstandardními informacemi patřičně vybavený pracovník se jednoznačně kvalifikovaněji rozhoduje při řešení svých relativně běžných pracovních problémů.

4. ETAPY VYTVÁŘENÍ EKONOMICKÉHO POVĚDOMÍ

Z výše popsaných principů vytváření ekonomického povědomí následně vyplývají pracovní etapy, které vedou k jeho zavedení.

První a zásadní etapou je přesvědčit každého pracovníka, kterékoli výrobní jednotky, na jakémkoli pracovním postu, že jeho doslovně jakákoli **činnost má dopady ekonomické**. Tedy doslovně má za následek čerpání nákladů. Má-li tavič na lopatě 10 kg FeMn, které hází do elektrické obloukové pece (EOP) tak má „v ruce“ kupříkladu 400 Kč. Náklady právě probíhající tavby nevratně „zvyšuje“ o tuto částku. Ve stejné situaci je formíř, který připravuje formovací směs. Tato formovací směs má svoje náklady kupříkladu 5 000 Kč/t. Opět pracuje s hodnotou. Stejně tak kterýkoli další pracovní úkon - pokud to vyhraníme i jednoznačně pasivní – pouze stojí-li pracovník (nebo sedí) v pracovní hale. Tím, že je vyhřívána, nebo pouze osvětlená, větraná atd. tak jsou na jeho pouze pasivní pobyt čerpány náklady. Tato realita je „vlastností“, nebo chcete-li jinými slovy „přívěskem“ každého zaměstnance. To samozřejmě neznamená, že když pracovník se v této pracovní hale nenachází (nepracuje se) tak náklady nenabíhají. Těmi jsou kupříkladu odpisy, nájem atd.

Toto je stěžejní úkol, který je nezbytné, aby každý pracovník pochopil. Teprve po jeho zvládnutí je možné přistoupit k druhé etapě vytváření ekonomického povědomí.

Druhou etapou je u každého pracovníka je uvědomění si, že **čerpané náklady aktivně nebo pasivně ovlivňuje**.

5. OVLIVŇOVÁNÍ ČERPÁNÍ NÁKLADŮ KAŽDÝM PRACOVNÍKEM

Prvním krokem je vysvětlování na jednoduchých příkladech jeho pracovní činnosti jak může náklady snížit nebo zvýšit. U tavičů se to může dokládat kupříkladu na přesnosti hmotnosti v dosazení vzpomínaného FeMn. Nebo u formíře situace, když se používá při výrobě konkrétní formy podíl modelové a výplňové formovací směsi atd. **Pracovníkům se trpělivě vysvětluje, že byt pracují podle detailních technologických předpisů a mají být vedení a kontrolování mistry jsou to v zásadě oni a zejména oni, kteří čerpání nákladů výrazně ovlivňují.**

Při řešení tohoto problému je si třeba uvědomit, že pracovníci v řadě případů nemohou aktivně náklady ve výrobě ovlivňovat s cílem dosáhnout jejich minimalizace, poněvadž nejsou vybaveni potřebnými informacemi. A dále neznají metody ohodnocení pracovních úkonů, které provádějí.

Tedy musíme každého pracovníka vybavit takovými informacemi a metodami nákladového stanovení tak, aby:

- znali hodnotu, se kterou pracují,
- věděli jaké (nákladové) dopady na jeho práci má kvalitní (chybné) provedení přecházející výrobní operace,
- jaké dopady bude mít jeho kvalitní (chybná) práce na následující výrobní operace.

Uvedme si názorné příklady u taviče EOP. Tedy jak bylo uvedeno dříve, **aby tavič věděl**, že má „na lopatě“ kupříkladu 400 Kč (při práci s FeMn nebo FeSi). Jeden tisíc nebo i 5000 Kč pracuje - li s niklem nebo molybdenem. Dále, aby znal, co nákladově znamená, když tavbu nezdůvodněně prodlouží o 10 min. Bereme srovnání se stavem, kdy je tavba včas dokončena, následně pec nasazena a těch 10 min poté čeká. Tady by měl kupříkladu mít znalost, že každá minuta prodloužení tavby může znamenat podle konkrétní situace nárůst nákladů od 5 -20 Kč/t. Atd.

Dále by měl tavič vědět, že když vsázkaři špatně uloží kovový odpad do sázecího koše, pak může z tohoto důvodu dojít k lomu grafitové elektrody. Lom neznamená pouze ztrátu zlomené části – uvedme pro jednoduchost pouze 50 kg elektrody v ceně třeba 50 Kč/kg – tedy 2500 Kč. Je nebytnost onen ulomený kus z EOP „dostat“. Dále zlomený válec grafitové elektrody se musí obvykle „nastavit“ dalším. Následně uvolnit válec elektrody v držáku a posunout jej. To vše znamená zdržení (prodloužení) tavby obvykle ne v minutách, ale někdy i desítkách minut, což má svůj dopad ve zvýšených nákladech tavby.

Dále, když tavič nedostatečně dezoxiduje tavbu tak může způsobit vady, jejichž následkem může být výroba neshodného výrobku (zmetku). Tím ocelárna nebo slévárna může utrpět přímou ztrátu kupříkladu i 100 000 Kč. Tady je dopad chybné práce taviče již velice citelný. Podobný nákladový důsledek může být, když formíř nedostatečně vysuší formu, špatně provede formování atd. Těchto a dalších dopadů své nekvalitní práce si musí být každý pracovník plně vědom.

Aby toto vše každý pracovník zvládal, bylo třeba v prvním kroku znát ceny a nákladové sazby materiálů, energií, atd.

5.1 Znalost cen a nákladových sazeb materiálů, energií, atd.

Pro každou pracovní funkci je třeba udělat velice pečlivou úvahu a vytipovat jejich přesný soupis. Pro formíře bylo těchto cen a sazeb 62. Pro taviče jich bylo relativně méně.

Pro usnadnění zvládání znalosti cen a nákladových sazeb jsme přistoupili k jejich zaokrouhlování. Kupříkladu u ručních formířů na desetikoruny či stokoruny. Při seznamování s cenami a sazbami jsme se vždy snažili co nejvíce přizpůsobit konkrétním podmínkám na pracovišti a vytvořenému sloganu pracovníku. Kupříkladu u formířů ve slévárně jsme používali jako jednici „jeden kbelík“ (nádoba o objemu asi 10 litrů, kde je kupříkladu nátěr na formy), „jedna koliba“ (nádoba o objemu 0,6 m³ na formovací směs). Dále pro spotřebu energií kupříkladu stlačeného vzduchu byla sazba vyjádřena „150 Kč/hod a hadicí“. Tedy množství stlačeného vzduchu spotřebovaného za 1 hod z jedné hadice stojí 150 Korun českých.

Stejně tak u tavičů jsme pracovali s takovými jednotkami, které taviči přímo používali. Tam kde to byly kg zůstávali jsme u ceny za 1 kg. To byly prakticky veškeré dezoxidační a legující přísady. U kovového odpadu a surového železa jsme používali ceny za 1 tunu. A opět příslušná zaokrouhlení.

Zásadní byl přístup vedoucí ke zvládnutí uvedených cen a sazeb. V první řadě bylo třeba uvedené ceny a sazby vyvěsit na nástěnky v provozu a dále tam, kde dochází k čerpání příslušného nákladu. Kupříkladu u hadice se stlačeným vzduchem je příslušná informace. Dále všichni školení pracovníci uvedené informace obdrželi vytištěny. Mistři a vedoucí provozu s příslušnými zaměstnanci tyto cenové a nákladové relace opakovaně procházeli. Pracovníci byli informováni, že znalosti každého z nich budou ověřeny testem.

Zaměstnanci na druhé straně věděli předem, že při testu nebudeme vyžadovat uvést jejich jméno na testovém formuláři. Opakovaně jsme zdůrazňovali, že jde zejména o znalost cen a sazeb u „jejich“ materiálů, energií, apod. „v řádech“. Tedy vyhraněně řečeno, aby věděli, že materiál A je v desetikorunách a ne ve stokorunách atd. Tento přístup do jisté míry významně „uvolňoval“ možné napětí mezi „zkoušenými a zkoušejícími“. Byli jsme si naopak vědomi možného rizika ze strany školených pracovníků. Nic takového se ale nestalo. Lze říci, že snad bez výjimek prakticky všichni pracovníci přistupovali ke zvládnutí cen a sazeb naprosto zodpovědně. A testy jednoznačně prokázaly, že „řádovému“ zvládnutí cen a sazeb snad až na několik výjimek vyhověli všichni. A řadu cen a sazeb si zapamatovali „doslovně“. Kupříkladu definované průměrné náklady hodiny pracovníka ve slévárně ve výši 200 Kč znali prakticky všichni.

Tento „volnější“ režim při zvládání vytipovaných cen a sazeb vybraných komponent se nám obrazně řečeno „vyplatil“ v aktivním přístupu v dalších seminářích.

Velice důležité bylo naučit pracovníky ocenit (vypočítat, odhadnout) náklady na operace, které se skládají z více pracovních úkonů.

5.2 Stanovení nákladů výrobních operací, které se skládají z více pracovních úkonů

V ocelářství a slévárenství je nákladově kombinovaných pracovních operací (výrobních fází) nemalá část. Navíc u těchto operací v řadě případů nebývají k dispozici objektivně zjišťované, tedy vážené a měřené údaje. Dále nebývají potřebné údaje často evidovány.

Při zvládání tohoto tématu jsme si vybírali pro školené profese pracovníků jejich typické pracovní operace (výrobní fáze) a na nich jsme společně „vyvíjeli“ postupy jak je nákladově „ocenit“. Podle školených pracovníků jsme oceňovali náklady na přípravu formovacích směsí, výrobu formy, tavení tekutého kovu, tryskání odlitků, zavařování vad, tepelného zpracování materiálů a broušení odlitků. Pro tento postup jsme s velkou výhodou využívali výsledků dvanácti řešených PROJEKTŮ, které Odborná komise (OK) ekonomická ČSS v minulých letech v českých slévárnách a ocelárnách řešila. A je třeba říci, že kolegové ze Sléváren Třinec, a.s. se prakticky všech těchto prací účastnili.

Při ohodnocování vybrané výrobní fáze jsme nejprve vytipovali druhy nákladů, které se na ni podílely. Relativně menším problémem u tohoto ocenění byla výroba tekutého kovu. Tam taviči znali, kde jsou evidovány údaje o spotřebě vsázky, přísad, tavicí energie atd. A jak s pomocí známých cen a sazeb náklady stanovit. Dokázali si vyvodit kupříkladu i podíl nákladů výdusky kelímku u indukční pece na tunu vytaveného kovu atd.

V začátcích byl problémem s oceněním fází, kde v prvním přiblížení, evidované údaje nejsou běžně k dispozici. Názorným příkladem může být ocenění operace brokového tryskání odlitků.

Zde jsme začínali s vysvětlením, že pracovníci, kteří příslušnou operaci dlouhodobě provádějí, mohou zvládnout relativně přesné kvalifikované odhady. Tedy v první řadě jsme vycházeli z odhadu doby tryskání. Kupříkladu pro konkrétní odlitky byla stanovena v délce 35 min. Odtud jsme přecházeli na výpočet nákladů na spotřebované broky (abrazivo). Zde se tryskači opírali o relativně známá množství broků, která jsou vydávána ze skladu. A sami si vyvodili závislost spotřeby množství broků na době tryskání. Dále se účastníci „učili“ stanovit náklady na spotřebu elektrické energie. Tam jsme vycházeli ze štítkového ukazatele každého motoru, kde je uveden instalovaný příkon v kW. Od něj jsme se přes známé koeficienty z PROJEKTŮ dostávali ke skutečnému výkonu. Tyto koeficienty vycházely buď z měření elektrikářů a jejich následných kvalifikovaných odhadů. Tak jsme se dopracovali ke skutečně vynaloženému výkonu. A následně opět přes dříve stanovenou dobu tryskání jsme se dostávali ke spotřebované práci v kWh. A samozřejmě pro účastníky nebyl problém se znalostí výše uvedených průměrných nákladů na hodinu pracovníka doplnit tuto operaci o tento výdaj. Tím dospěli kursisté k závěru, že kupříkladu daná operace tryskání odlitků má za následek náklady ve výši 3000 Kč.

Obdobným způsobem byly stanoveny náklady na sedm výrobních fází, které účastníci kurzu prováděli. Důležité bylo jednak to, že si účastníci kurzu sami uvědomili výši nákladů u výrobních fází. Dále skutečnost, že si osvojili s pomocí znalostí cen a sazeb výchozích komponent a kvalifikovaných odhadů příslušné výrobní fáze ji nákladově ocenit.

Při zvládnutí metody nákladového oceňování výrobních fází jsme dbali na to, abychom posoudili, kdo které čerpané náklady může ovlivnit. Tedy kupříkladu u popsaného brokového tryskání, který pracovník ovlivňuje dobu tryskání, hmotnost tryskaných odlitků, množství spotřebovaných broků, spotřebované energie atd. Toto jsme považovali v daném případě pro kursisty také za velice důležité. Jednak si uvědomovali sami svojí zodpovědnost za svůj díl čerpaných nákladů. Dále to bylo zajímavé i pro školené mistry a technology, kteří již organizují práci příslušného týmu. A mají tedy komplexní odpovědnost za náklady čerpané za celou výrobní fázi.

Po zvládnutí ohodnocení nákladů vybrané výrobní fáze jsme mohli přistoupit k relativně obtížnému tématu – osvojení si zásad řízení nákladové spotřeby.

5.3 Zvládnutí zásad řízení nákladové spotřeby

Zde jsme si s kursisty nejdříve vyvodili, na základě vyhraněného mezního přirovnání, že zaměstnanec (spíše jeho manželka) nemá-li patřičná omezení dokáže „spotřebovat“ svoji výplatu ve výši kupříkladu 15 000 Kč za měsíc. Stejně tak i její příslušná navýšení o X Kč. Při jistém zjednodušení je zcela obdobná situace na provozu u nákladů výrobních fází.

Zcela záměrně odhlížíme od skutečností, že každý provoz by měl mít svůj finanční plán, který by měl spotřebu nákladů „regulovat“.

Tedy pokud není zavedeno přímé řízení nákladů všech výrobních fází ve výrobním středisku, což téměř obvykle není, pak tyto náklady mají snahu obdobným způsobem narůstat. Názorně se náklady přirovnávají k fyzikální veličině ENTROPIE. Ta se zjednodušeně definuje jako míra neuspořádanosti.

S účastníky kurzů jsme si zopakovali, že mají často pro svoji práci „předepsány“ na příslušné výrobní operace spotřeby v tak zvaných „normominutách“. Nicméně nákladovou hodnotu „předepsanou“ obvykle nemají.

Řízení nákladové spotřeby jsme s výhodou přirovnávali k jednotlivým úkonům měření rychlosti jízdy motorových vozidel prováděných policií.

- a) **První fáze měření rychlosti je rozhodnutí policie co bude měřit** (všechna vozidla, autobusy, tramvaje, pouze osobní automobily). Stejně tak postupujeme i my. Stanovíme si kde (u které výrobní fáze) chceme náklady řídit. Kupříkladu u výroby tekutého kovu.
- b) **Druhá fáze je rozhodnutí, kde se bude rychlost měřit.** Kupříkladu na silnici z Třince do Českého Těšína. Policie vždy stanoví zcela přesně měřený úsek. Může to být od autobusové zastávky Konska v délce 100 m. Stejně tak i my rozhodneme, že měření bude prováděno na IP č.1, kelímku B. A dále si přesně ohraničíme posuzovanou výrobní operaci (tavbu). Začátek stanovíme časovým bodem daným začátkem sázení a závěr ukončením odpichu kovu do licí pánve.
- c) **Třetí fází je rozhodnutí policie o způsobu měření rychlosti.** Může to být kupříkladu radar instalovaný ve vozidle, přenosné měřicí zařízení, radar stabilní (pevně zabudovaný u silnice) atd. Stejně tak postupujeme i my. Rozhodneme se zda využíváme údaje evidované v tavebním listě nebo objektivně evidovaná data výpočetní technikou. Dále zda využijeme kvalifikovaných odhadů apod. – viz výše.
- d) **Čtvrtou fází je vlastní změření rychlosti.** Policie stanoví rychlost u konkrétního motorového vozidla (modrá Lada příslušné poznávací značky) ve výši 67 km/hod. Obdobně i my si vypočteme metodami popsány výše (u tavby jakosti dle ČSN 422660 a číslem....) náklady ve výši 13 500 Kč/t.
- e) **Pátou fází je porovnání změřené rychlosti s rychlostí předepsanou příslušnou vyhláškou** pro daný úsek. A dále **stanovení odchylky.** V měřeném úseku, poněvadž se jedná o uzavřenou obec, je stanovena maximální rychlost do 50 km/hod. Řidič Lady tedy překročil limit o 17 km/hod. Stejně je to i u naší tavby. Předepsané náklady pro danou jakost (standardní, plánované, stanovené dle technickohospodářských norem apod.) uvádějí kupříkladu jejich výši 13 000 Kč/t. Došlo tedy k překročení nákladů o 500 Kč/t.
- e) **Šestou fází je vyhodnocení vzniklé situace.** Zde kursisté ve všech případech uváděli, že policie prostě udělí řidiči Lady odpovídající pokutu. V diskusi jsme si vyjasňovali, že uvedený řidič mohl jet zvýšenou rychlostí pod tlakem vzniklých objektivních událostí. Kupříkladu mohl vést vážně nemocného do zdravotního zařízení. Apod. Stejná situace je u hodnocení konstatovaného překročení nákladů na posuzovanou tavbu o 500 Kč/t. S účastníky jsme si vysvětlovali, že v reálné provozní situaci mohla vzniknout řada situací, která jsou tavičem přímo neovlivnitelná. Od poruch dodávky el. energie, přes nákladově „dražší“ vsázku připravenou pracovníky šrotiště, nepříznivou analýzou po natavení vynucující si nákladné dolegování atd. A může tak nastat i situace, že uvedený tavič by měl být přes vzniklé „vykázané“ nákladové překročení i odměněn za optimální řešení nestandardních provozních okolností.
- f) **Sedmou fází je doporučení pro další jízdu.** Policie na základě provedeného rozboru situace doporučí jak má řidič Lady příště postupovat. Stejně tak si počínáme i u naší posuzované tavby. Zde se řídíme pravidlem - nákladově nepříznivým aspektům bychom se příště měli pokud možno vyvarovat. A udělat taková opatření, aby se nákladově úsporné aspekty pokud možno opakovaly. Ze zjištěných výsledků analýzy tavby vzniká doporučení pro taviče a jeho osádku. Zásadní doporučení bude v daném případě asi pro vedení šrotiště. Zajistit odpovídající vsázku. Atd.

- g) **Zajištění akceptování daných doporučení řidičem u další jízdy.** Samozřejmě záleží vždy na přístupu a svědomitosti příslušného řidiče. Nicméně je zcela nezbytná následná kontrola. Obdobné je to i u všech pracovníků, kteří jsou odpovědní za nákladový výsledek tavby. I zde musí být kombinace „osvěty“ (školení a jeho opakování) a příslušné kontroly.
- h) **Devátou etapou je nutnost opakování (neopakování) měření rychlosti** policií. Policie podle výsledků měření a jejich rozboru (kolik bylo překročení, v jaké výši, jak k rozboru situace přistupovali řidiči) se rozhoduje zda bude měření opakovat. Velice důležitá je perioda opakování kontrolního měření. Každý týden, měsíčně apod. A také se může v daném úseku zabudovat průběžné měření rychlosti s evidencí vozidel, u nichž byla rychlost překročena. Naprosto shodná je situace v metalurgii. Účastníci kurzů u přípravy formovacích směsí, výroby formy, operace tryskání odlitků, zavařování vad, tepelného zpracování materiálu a broušení odlitků uváděli, že následná nákladová kontrola by měla být v různých intervalech. Kupříkladu co týden, pouze při změně sortimentu, měsíčně apod. Je to dáno také výši nákladové náročností posuzovaných operací, kvalitou zdrojových dat (jak jsou evidována) a vlivy faktorů, které způsobují nákladové změny. Dále se shodli i v tom, že u některých výrobních fází jeden nebo dva naturální ukazatele dominantním způsobem určují sledované náklady. Může to být kupříkladu délka operace. A pak je dostačující sledovat pouze tento naturální ukazatel.

Naproti tomu u posuzování nákladů tekutého kovu se shodovali, že zejména pro velkou výši nákladů, způsob evidence dat a nemalou variabilitu výrobního procesu je třeba provádět jejich hodnocení u všech taveb.

6. POSTUP VYTVÁŘENÍ EKONOMICKÉHO POVĚDOMÍ VE SLÉVÁRNÁCH TŘINEC, A.S.

Vlastní téma školení bylo rozděleno do sedmi relativně samostatných seminářů. Ty byly probrány ve třech sezeních po čtyřech hodinách. Byly nazvány:

1. Pracovník nepracuje s hmotou, časem atd., ale s hodnotou.
2. Osvojení si vybraných ekonomických (nákladových) pojmů.
3. Zvládnutí metod stanovení nákladové náročnosti v provozu.
4. Seznámení s vybranými opatřeními vedoucími k nákladové redukci.
5. Osvojení si metod řízení nákladové spotřeby v metalurgii.
6. Seznámení s problémy ve svém oboru.
7. Znalost základních informací o stavu a záměrech společnosti.

Na základě rozsáhlé teoretické přípravy [1-4] slévárna přistoupila v r. 2010-2011 k ověření záměru vytváření ekonomického povědomí v pilotním projektu. Do něj bylo zařazeno 10 formířů [5]. Pilotní projekt prokázal správnost teoretických východisek a v praxi ověřil jejich realizovatelnost. Proto slévárna přikročila k II. cyklu vytváření ekonomického povědomí. Do něj bylo v r. 2011-2012 zařazeno celkem 139 pracovníků. Mezi školené pracovníky byli začleněni jak formíři a modeláři tak i taviči a pracovníci cídírny. V týmu byli také obchodníci, technologové a mistři.

Jde říci, že přístup pracovníků a zvládnutí školené látky byly opět úspěšné. Obecně lze konstatovat, že výsledky zvládnutí cen a sazeb (prověřené vzpomenutými testy), zájem a přístup kursistů můžeme porovnat

s výsledky pilotního projektu. Tato tvrzení přesvědčivě dokládají výsledky anonymních hodnocení účastníků kurzů. Téměř všichni ve svém hodnocení vyzdvihují skutečnost, že měli možnost nahlédnout na nákladovou stránku jejich každodenní práce. Dokládají také, že informace a osvojené dovednosti získané v II. cyklu zavádění ekonomického povědomí se promítnou v jejich pracovní činnost.

7. ZÁVĚR

Příspěvek v úvodu pojednává o zapojení všech pracovníků výrobní jednotky do jejího hospodaření. Posuzuje i retardační aspekty, které mohou brzdit uvedené přístupy. Následně popisuje hlavní principy zapojení pracovníků cestou vytváření ekonomického povědomí. Poté se zaměřuje na ovlivnění čerpání nákladů každým pracovníkem. Probírá znalosti cen a nákladových sazeb materiálů, energií, se kterými pracovník přichází do styku. Podrobněji se věnuje otázkám stanovení nákladů výrobních operací, které se skládají z více pracovních úkonů. V devíti fázích se na přirovnání měření rychlosti automobilů policisty zaměřuje na zvládnutí zásad řízení nákladové spotřeby.

Následně uvádí konkrétní zkušenosti Sléváren Třinec, a.s. jak z úvodního pilotního projektu realizovaného v letech 2010-2011 tak i z II. cyklu školení provedeném v roce 2011-2012. V něm 139 pracovníků slévárny úspěšně zvládalo potřebné znalosti cen a nákladových sazeb a metod nákladového ocenění své práce. Dále obdrželi nadstandardní informace, které následně využívají ke kvalitnějšímu rozhodování při řešení běžných pracovních problémů.

Na základě uvedených výsledků můžeme vytváření ekonomického povědomí u pracovníků doporučit všem metalurgickým výrobním jednotkám.

LITERATURA

- [1] V.Kafka, Vytváření ekonomického povědomí ve slévárnách, In sborník XIX. celostátní školení tavičů a mistrů oboru elektrooceli a litiny kuličkovým grafitem, (16.-18.9.2009), ISBN 978-80-02-02179-7, 18 - 23.
- [2] V.Kafka, Vytváření ekonomického podvědomí v metalurgii, *Hutnické listy*, 2009, č. 6, ISSN 0018-8069, 142 - 145.
- [3] V.Kafka, Vytváření ekonomického podvědomí v české metalurgii - nezbytný předpoklad ke zvyšování efektivnosti výroby, 2010, monografie, *rukopis*.
- [4] V.Kafka, Creation of economic awareness in Czech metallurgy - indispensable pre-requisite for reduction of its costliness, Vytváření ekonomického povědomí v české metalurgii - nezbytný předpoklad ke snížení její nákladové náročnosti, METAL 2010 Conference proceedings, 2010, ISBN 978-80-87294-17-8, 20 - 27.
- [5] Kafka V., Novobilský M., Glos J., Pospíšil V., Vladar Z., Szmek V., K. Horutová K., Slojík M. Zkušenosti s vytvářením ekonomického povědomí v metalurgii, Oceláři - 27. ročník ocelářské konference. Teorie a praxe výroby a zpracování oceli. Rožnov pod Radhoštěm, ISBN 978-80-87-294-21-5. 235-239.

Regionální materiálově technologické výzkumné centrum

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Projekt RMTVC řeší VŠB-TUO ve spolupráci se společností MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o. Laboratoře centra jsou umístěny v areálu VŠB-TU Ostrava a sídle partnera ve Vítkovicích.



V centru je budována unikátní výzkumná infrastruktura, ve které se výzkumní pracovníci zabývají především vývojem, přípravou a optimalizací vlastností pokročilých materiálů a technologií jejich přípravy.

Praktické vědecké poznatky jsou směřovány primárně do aplikační sféry, jelikož je činnost centra orientována převážně na posílení spolupráce a transferu technologií do soukromého sektoru.

Nabídka spolupráce v oblastech:

- Přípravy materiálů
- Práškových technologií
- Procesů tváření
- Hodnocení materiálů
- Experimentálních ověřování technologií a aplikací



Budova Centra pokročilých inovačních technologií, ve které jsou umístěny vznikající laboratoře RMTVC.

Adresa: 17. listopadu 15/2172
708 33 Ostrava-Poruba

web: <http://rmtvc.fmmi.vsb.cz>
email: rmtvc.info@vsb.cz



EVROPSKÁ UNIE
EVROPSKÝ FOND PRO REGIONÁLNÍ ROZVOJ
INVESTICE DO VAŠÍ BUDOUCNOSTI



OP Výzkum
a vývoj pro inovace
2007-13



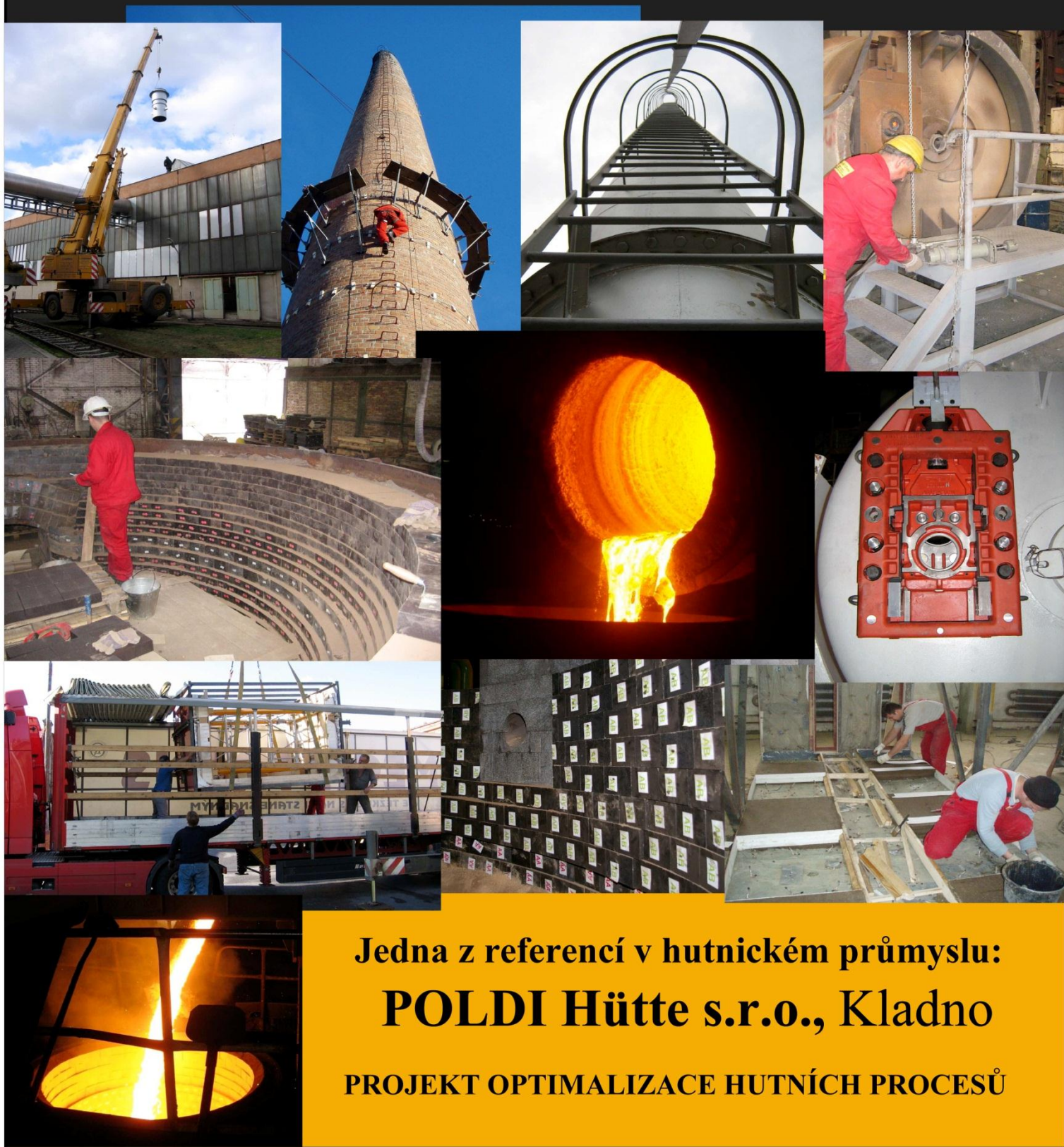
S + F - BAU CZ s.r.o.

PRŮMYSLOVÉ KOMÍNY · ŽÁRUVZDORNÉ VYZDÍVKY
STAVBY PRO TELEKOMUNIKAČNÍ SÍTĚ

Člen skupiny Schüller Holding

www.sh-g.com

www.sf-bau.cz



Jedna z referencí v hutnickém průmyslu:
POLDI Hütte s.r.o., Kladno

PROJEKT OPTIMALIZACE HUTNÍCH PROCESŮ

ŽĎAS a.s. • Žďár nad Sázavou • www.zdas.cz



ZDAS

Tvářecí stroje
Zařízení pro zpracování válcových výrobků
Metalurgie
Lisovací nástroje