

Sborník přednášek

Hutní keramika **HK¹³**



19. - 20.9. 2013, Hotel Relax, Rožnov pod Radhoštěm, Česká republika





SEEIF Ceramic, a.s.



KOMPONENTY VTOKOVÝCH SOUPRAV PRO ODLÉVÁNÍ ODLITKŮ
KOMPONENTY LICÍCH SOUPRAV PRO SPODNÍ LITÍ INGOTŮ
PÁLENÉ ŽÁROVZDORNÉ TVAROVKY
KOMPONENTY UZAVÍRACÍHO ÚSTROJÍ LICÍCH PÁVNÍ
TEPELNĚ IZOLAČNÍ TVAROVKY
KAMNÁŘSKÝ ŠAMOT
ŽÁROVZDORNÉ HMOTY



TECHNICKÁ KERAMIKA TŘETÍHO TISÍCILETÍ

Česká jednička v produkci
žárovzdorných materiálů pro
metalurgický průmysl.
Žárovzdorné výrobky vyrábí
a dodává v nejvyšší kvalitě
ze čtyř výrobních závodů.



SEEIF Ceramic, a.s.

Spešovská 243
679 02 Rájec-Jestřebí
Czech Republic

tel/phone: +420 516 526 111
fax: +420 516 432 241
e-mail: info@seeifceramic.cz

www.seeifceramic.cz



MORAVSKÉ KERAMICKÉ ZÁVODY

KERAVIT

REFRAMO

VŠB - TU Ostrava, FMMI

TANGER spol. s r.o.

Sborník přednášek

HUTNÍ KERAMIKA

19. - 20.9. 2013

Hotel RELAX, Rožnov pod Radhoštěm

Obsah

ČESKÝ A SLOVENSKÝ PRŮMYSL ŽÁROMATERIÁLŮ V POZADÍ CELOSVĚTOVÉHO ODVĚTVÍ ŽÁROVZDORNÝCH MATERIÁLŮ	5
Tadeáš FRANEK	
KORÓZIA MAGNÉZIOVEJ VYMUROVKY V PYROMETALURGII MEDI	13
Pavol VADÁSZ, Karel TOMÁŠEK, Gabriel SUČIK, Eva GRAMBÁLOVÁ, Dávid MEDVEĎ	
CHARACTERISTICS OF THE REFRACTORY CONCRETE USED FOR SEAL OF SOLIDIFICATION CAVITY OF THE ELECTROCAST REFRACTORIES	20
István SZÚCS, Tamás KOÓS, László GYULAI	
PROVOZNÍ ZKUŠENOSTI S NOVÝMI VYZDÍVKAMI LICÍCH PÁNVÍ A KONVERTORU S VYMĚNITELNOU DNOVOU VLOŽKOU V EVRAZ VÍTKOVICE STEEL A.S.	28
Rudolf RECH , Karel SOUKAL, Dan BRODECKÝ, Ján HRICOV	
OHŘÍVAČE VYSOKOPECNÍHO VĚTRU (OV) – DINAS V OV A JEHO VÝVOJOVÝ TREND	35
Miroslav KOTOUČEK, Karel LANG, Leopold VAŠICA, Stanislav DVOŘÁK, Lenka NEVŘÍVOVÁ	
APLIKACE NETVAROVÝCH ŽÁROVZDORNÝCH MATERIÁLŮ NA BÁZI UHLÍKU V PODMÍNKÁCH SLÉVÁRNY TAFONCO – KOPŘIVNICE	42
Ladislav KUČERA	
ŽÁROVZDORNÉ VYZDÍVKY NALÉVACÍCH PÁNVÍ – POUŽITÍ ASC MATERIÁLŮ.....	48
Jan LASOTA, Adam MOLIN, Česlav KANTOR, Roman POWERTZ	
VLÁKNITÉ VYZDÍVKY OHŘEVOVÝCH VÍK PROVOZOVANÝCH V TRINECKÝCH ŽELEZÁRNÁCH, A.S.	52
Petr ŠÍMA, Michal PŘIBYL, Milan CIESLAR	
PŘÍPRAVA ŽÁRUUVZDORNÝCH MATERIÁLŮ	58
Tomáš BAJER; Jiří NOVOTNÝ; Czesław RUDY	
DEGRADATION THE REFRACTORIES OF ROTARY FURNACE LININGS IN THE PRODUCTION OF ZINC OXIDE.....	65
Natália LUPTÁKOVÁ, Františka PEŠLOVÁ, Evgeniy ANISOMOV, Adriana PAVÚČKOVÁ, Michaela FERODOVÁ	
VLIV KOROZNÍHO PŮSOBENÍ OCELÍ S VYSOKÝM OBSAHEM MANGANU A CHROMU NA ŽÁRUUVZDORNOU KERAMIKU.....	71
Libor BRAVANSKÝ, Kateřina KADLÍKOVÁ	
NOVÁ SKLADBA VYZDÍVKY LICÍ PÁNVE URČENÉ PRO VAKUOVÉ ZPRACOVÁNÍ OCELI VE SPOLEČNOSTI ARCELORMITTAL OSTRAVA A.S.	78
Petr TVARDEK, Dalibor JANČAR, Erich LUNKMOSS, Michal PŘIBYL, Petr ŠÍMA	
VLIV VSTUPNÍCH SUROVIN NA KVALITU VYSOKOTEPLOTNÍ KERAMIKY	82
Miroslava KLÁROVÁ, Jozef VLČEK, Michaela TOPINKOVÁ, Jiří BURDA, Dalibor JANČAR, Hana OVČAČÍKOVÁ, Romana ŠVRČINOVÁ, Anežka VOLKOVÁ	

ČESKÝ A SLOVENSKÝ PRŮMYSL ŽÁROMATERIÁLŮ V POZADÍ CELOSVĚTOVÉHO ODVĚTVÍ ŽÁROVZDORNÝCH MATERIÁLŮ

Tadeáš FRANEK

REFRASIL, s.r.o., Třinec, Česká Republika, office@refrasil.cz

Abstrakt

Celosvětová ekonomická krize významným způsobem ovlivnila vývoj výroby a spotřeby žárovzdorných materiálů. Během posledních 4 let došlo v zemích EU k poklesu jejich výroby o 11%, v ČR o 20% a ve SR jejich produkce zůstala na stejné úrovni. Naopak v Číně došlo ve stejném období ke 14% růstu výroby žáromateriálů. Vlivem technologických změn u odběratelů a stoupajícího tlaku na ekonomiku jejich výroby změnila se i struktura produkce jednotlivých žárovzdorných materiálů.

1. ÚVOD

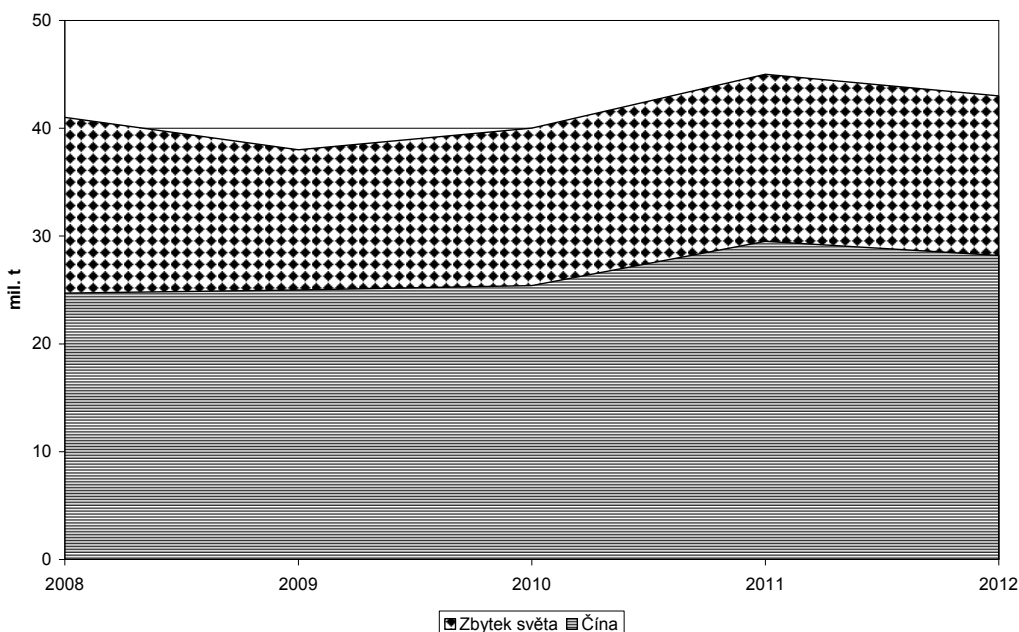
V poslední době stále více používáme slovo krize, poukazujeme na pokles poptávky a snižování výroby v jednotlivých průmyslových odvětvích. Dochází ke zpomalení ekonomického růstu a zvýšení nezaměstnanosti.

Problémy se dotkly samozřejmě i sektoru žárovzdorných materiálů, ve kterém klesá poptávka po žáromateriálech, výrobci omezují výrobu, snižují zásoby a optimalizují stavy svých zaměstnanců.

2. VÝROBA ŽÁROVZDORNÝCH MATERIÁLŮ

2.1 Svět

Vývoj produkce žárovzdorných materiálů byl v poslední době ovlivněn celosvětovou ekonomickou krizí, která odstartovala ve druhé polovině roku 2008 a významným způsobem ovlivnila ekonomický růst v roce 2009, a dále tzv. druhou vlnou krize, která se projevila v minulém roce 2012.



Graf 1 Vývoj výroby žáromateriálů ve světě

Největším výrob-cem žáromateriálů je Čína, která v současné době vyrábí 66% celosvětové produkce žárovzdorných materiálů. V zemích Evropské unie je vyráběno 10 %, v USA 4 %, Indii 3 %, Japonsku 2 %, Latinské Americe 2 % a v ostatních zemích zbývajících 13 %.

Na **grafu 1** je uvedena světová výroba žáromateriálů v období 2008 – 2012 a také vývoj výroby v Číně.

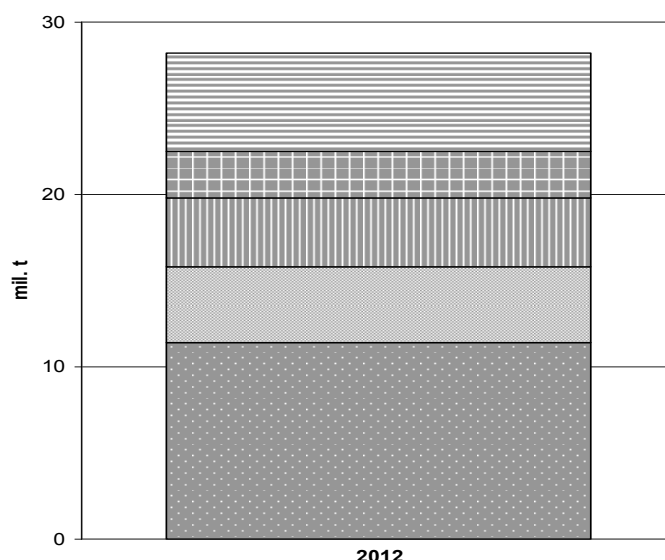
Z **tabulky 1** je zřejmé, že za poslední 4 roky došlo ke zvýšení celosvětové výroby žárovzdorných materiálů o 5 % a výroba v roce 2012 činila 43 mil. t. Tuto situaci ovlivnil především prudký rozvoj ekonomiky v Číně, která zvýšila výrobu žárovzdorných materiálů za období posledních 4 let o 14 % na úroveň 28,2 mil. t.

Tab. 1 Výroba žáromateriálů ve světě a v Číně v období 2008 - 2012

	Výroba (mil. t)					Změna (%)
	2008	2009	2010	2011	2012	2012/2008
Svět	41	38	40	45	43	+ 5
Čína	24,7	25	25,4	29,5	28,2	+ 14

Na základě dostup-ných údajů není možno objektivně stanovit strukturu výroby žárovzdorných materiálů v celosvětovém měřítku. S ohledem na to, že Čína vyrábí v současné době 66 % světové produkce žáromateriálů, uvádím v **grafu 2** sortiment výroby v Číně za rok 2012.

Největší firmy v odvětví žárovzdor-ných materiálů jsou uvedeny v **tabulce 2**.



Graf 2 Struktura výroby žáromateriálů v Číně v roce 2012

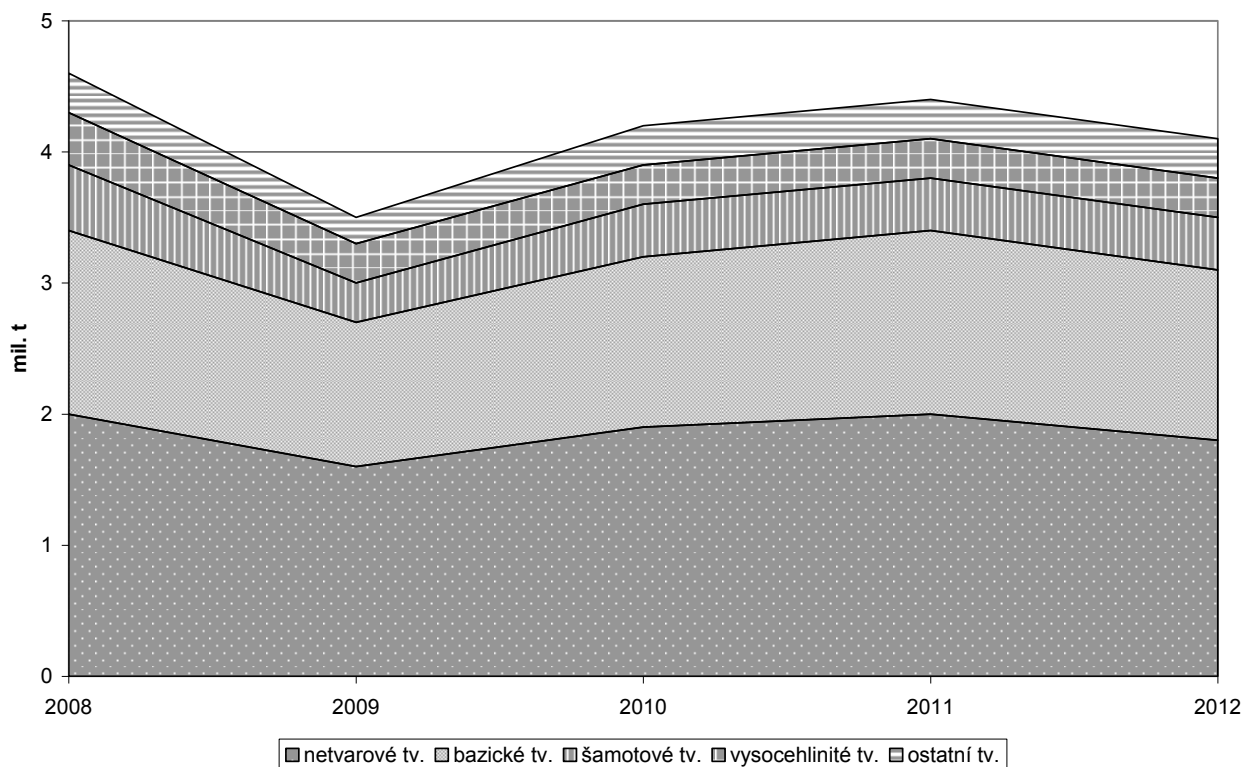
Dominantní postavení zaujímají 2 společnosti- RHI s obratem 1836 mil. EUR v roce 2012 a Vesuvius s obratem 1812 mil. EUR v roce 2012.

Tab. 2 Největší firmy v odvětví žáromateriálů

Firma	Obrat v roce 2012 (mil. EUR)
RHI	1836
Vesuvius	1812
Magnesita	941
Pohang Refractories	890
Shinagava	819
Krosaki Harima Co.	818

2.2 Evropská unie

Vývoj výroby žárovzdorných materiálů v zemích Evropské unie od roku 2008 je uveden na **grafu 3**. Za období 4 let klesla výroba o 11 % a v roce 2012 dosáhla výroba úrovně 4,1 mil. t.



Graf 3 Vývoj výroby žáromateriálů v zemích EU

Struktura výroby je uvedena v **tabulce 3**. Z tabulky je zřejmé, že během posledních 4 let došlo ke snížení výroby u všech podskupin žáromateriálů. K největšímu poklesu došlo u vysocehlinitých a šamotových tvárnic.

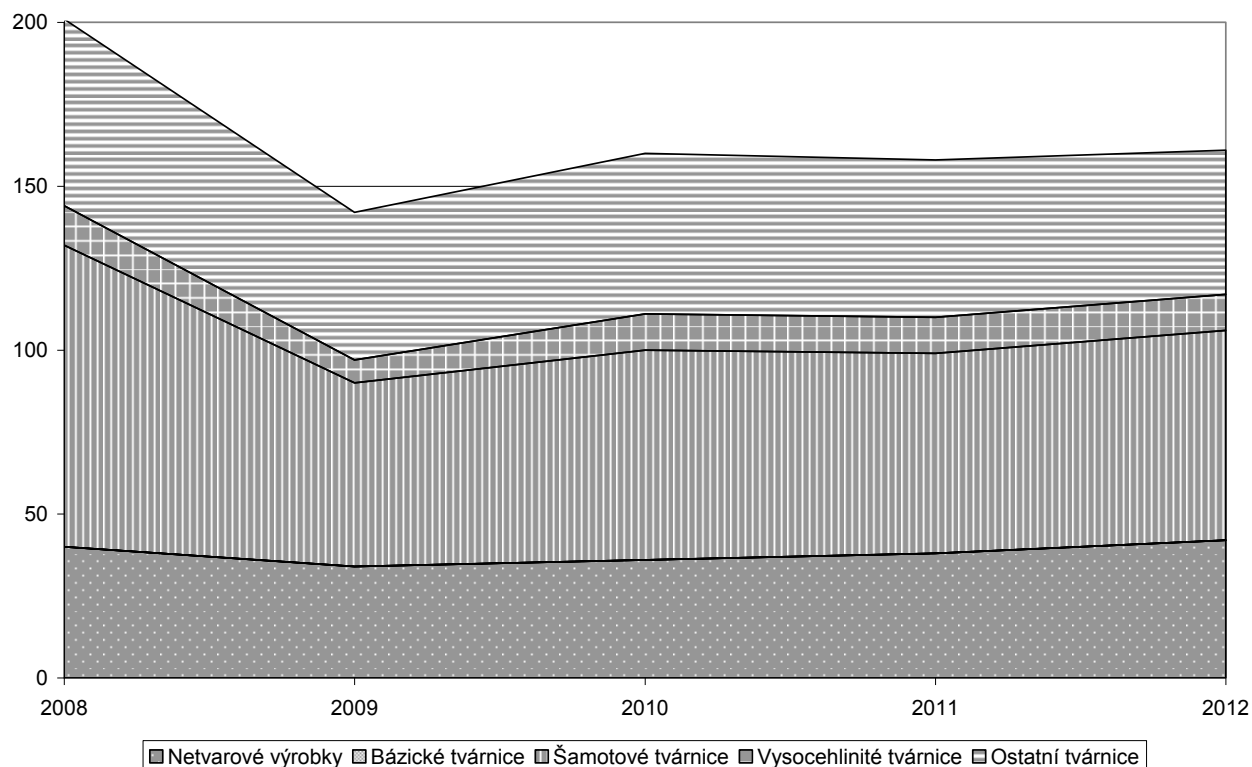
Tab. 3 Struktura výroby žáromateriálů v zemích EU

	Výroba (kt)					Změna (%)
	2008	2009	2010	2011	2012	2012/2008
ostatní tv.	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0
vysocehlinité tv.	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	- 25
šamotové tv.	0,5	0,3	0,4	0,4	0,4	- 20
bázické tv.	1,4	1,1	1,3	1,4	1,3	- 7
netvarové tv.	2	1,6	1,9	2	1,8	- 10
celkem	4,6	3,5	4,2	4,4	4,1	- 11

2.3 Česká republika

Vývoj výroby žárovzdorných materiálů v ČR od roku 2008 je uveden na **grafu 4**. Během posledních 4 let došlo ke snížení výroby o 20% a produkce v roce 2012 činila 161 kt.

Struktura výroby je pak uvedena v **tabulce 4**. Vidíme, že k největšímu poklesu výroby došlo u šamotových tvárnic a skupiny ostatních tvárnic, ke které patří dinasové, magnetitové a lehčené tvárnice.

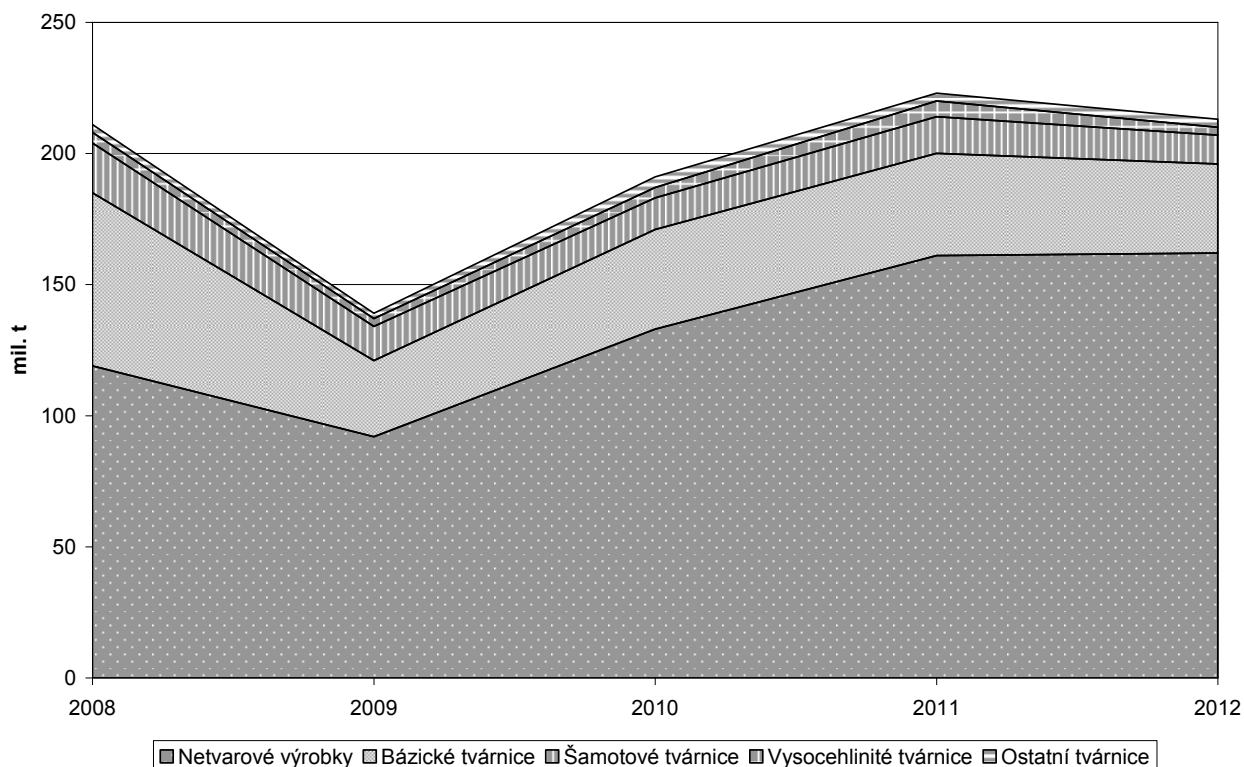

Graf 4 Vývoj výroby žáromateriálů v ČR

Tab. 4 Struktura výroby žáromateriálů v ČR

	Výroba (kt)					Změna (%)
	2008	2009	2010	2011	2012	2012/2008
ostatní tvárnice	57	45	49	48	44	-23
vysocehlinité tvárnice	12	7	11	11	11	-8
šamotové tvárnice	92	56	64	61	64	-30
bazické tvárnice	0	0	0	0	0	0
netvarové výrobky	40	34	36	38	42	+5
celková výroba	201	142	160	158	161	-20

2.4 Slovenská republika

Vývoj výroby žárovzdorných materiálů ve SR je uveden na **grafu 5**. Během posledních 4 let nedošlo k výrazné změně celkové výroby (+1 %) a produkce v roce 2012 činila 213 kt. Dominuje výroba bazických materiálů, které tvoří cca 90 % celkové produkce žáromateriálů. Struktura výroby je uvedena u **tabulky 5**. K největšímu poklesu výroby došlo u šamotových a bazických tvárníc, který byl kompenzován nárůstem výroby netvarových výrobků (hlavně bazických hmot).



Graf 5 Vývoj výroby žáromateriálů ve SR

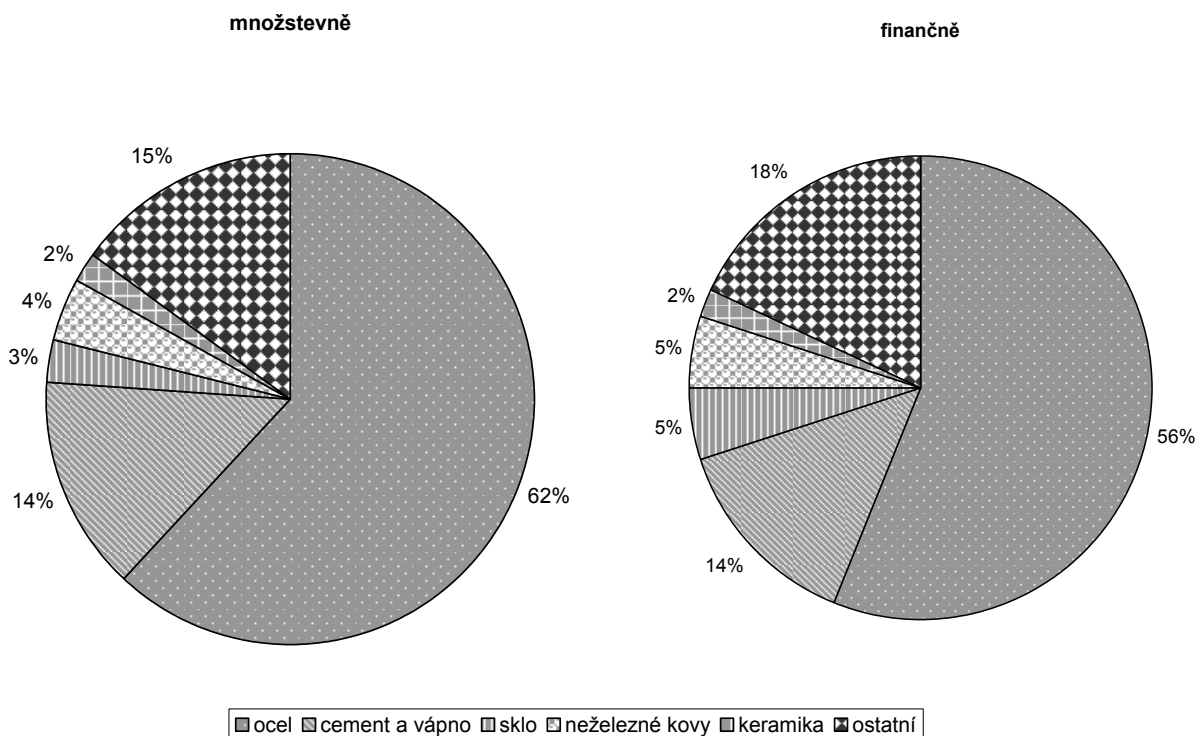
Tab. 5 Struktura výroby žáromateriálů ve SR

	Výroba (kt)					Změna (%)
	2008	2009	2010	2011	2012	2012/2008
ostatní tvárnice	3	2	4	3	3	0
vysocehlinité tvárnice	4	3	4	6	3	-25
šamotové tvárnice	19	13	12	14	11	-42
bazické tvárnice	66	29	38	39	34	-48
netvarové výrobky	119	92	133	161	162	+36
celková výroba	211	139	191	223	213	+1

3. SPOTŘEBA ŽÁROVZDORNÝCH MATERIÁLŮ

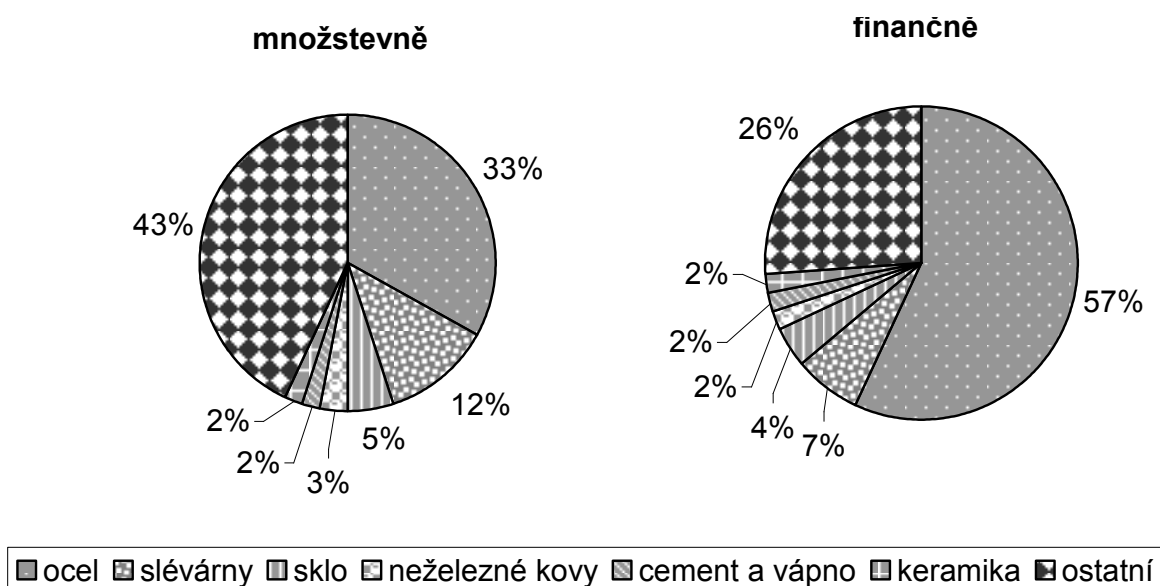
Největším odběratelem žárovzdorných materiálů zůstává nadále ocelářský průmysl. Pro výrobu surového železa a oceli se spotřebuje cca 60 % produkce žáromateriálů.

S ohledem na to, že chybí objektivní údaje o celosvětové spotřebě žáromateriálů v jednotlivých průmyslových odvětvích, na **grafu 6** aktuální strukturu jejich spotřeby v zemích EU.

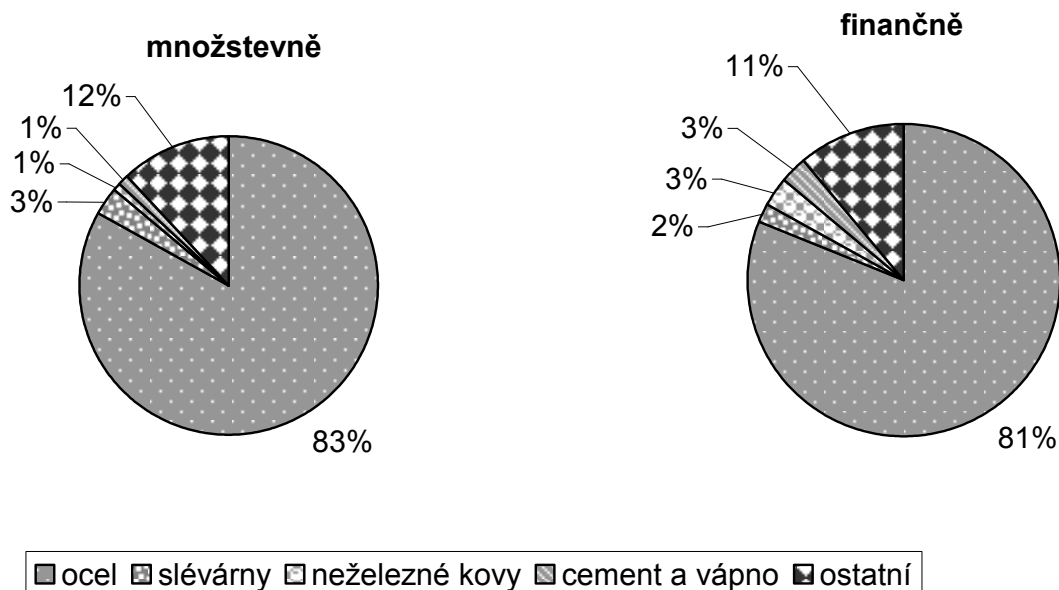


Graf 6 Struktura spotřeby žáromateriálů v EU v roce 2012

Na dalších grafech je uvedena struktura spotřeby žárovzdorných materiálů v ČR a SR vztahena k výrobě žáromateriálů v jednotlivých zemích. S ohledem na to, že český průmysl žáromateriálů je orientován především na výrobu šamotových materiálů, kterých spotřeba v metalurgickém průmyslu každým rokem klesá, spotřebuje se v českém ocelářském průmyslu jen třetina žáromateriálů vyráběných v ČR. Naopak průmysl žáromateriálů ve SR je orientován na výrobu bazických materiálů, a tak pro slovenský ocelářský průmysl je určeno přes 80 % žáromateriálů vyráběných na Slovensku.



Graf 7 Struktura spotřeby žáromateriálů v ČR v roce 2012


Graf 8 Struktura spotřeby žáromateriálů ve SR v roce 2012

V **tabulce 6** jsou uvedeny trendy ve výrobě oceli, která je rozhodujícím odběratelem žárovzdorných materiálů a výrazným způsobem ovlivňuje celé odvětví žáromateriálů.

Tab. 6 Výroba oceli ve světě, Číně, EU, ČR a SR v období 2008-2012

	Výroba (mil. t)					Změna (%)
	2008	2009	2010	2011	2012	2012/2008
Svět	1341	1236	1432	1536	1547	+ 15
Čína	512	577	639	702	717	+ 40
EU	198	139	173	178	169	- 15
ČR	6,4	4,6	5,2	5,6	5,1	- 20
SR	4,5	3,7	4,6	4,2	4,4	- 2

4. ZÁVĚR

V souvislosti s celosvětovým růstem výroby oceli, která je hlavním spotřebitelem žárovzdorných materiálů, roste i celosvětová výroba žárovzdorných materiálů.

Tuto situaci ovlivňuje především Čína, která svým hospodářským růstem každoročně navyšuje výrobu v ocelářském průmyslu a také v dalších průmyslových odvětvích, které odebírají žáromateriály. V zemích EU a také v ČR dochází ke snižování výroby žáromateriálů. V období posledních 4 let nedošlo k poklesu výroby žárovzdorných materiálů na Slovensku, změnila se však výrazným způsobem jejich struktura.

Každoročně dochází k poklesu výroby ménějakostních žárovzdorných materiálů (šamot, dinas, magnezit s vysokým obsahem železitých příměsí) na úkor vysocejakostní keramiky. Klesá výroba hlinitokřemičitých materiálů a stále více se prosazují bazické materiály s vysokými užitnými vlastnostmi. S ohledem na energetickou náročnost výroby pálených žárovzdorných materiálů a zavádění nových technologií zhotovení monolitických vyzdívek roste podíl výroby netvarových materiálů na úkor pálených tvárníc.

LITERATURA

- [1] Dianli Xu: Status and Perspective of China's Refractories Industry, Sborník přednášek China International Refractory Production and Application Conference, Wuxi (China) 2013
- [2] Franek Tadeáš: Zaplaví čínské vody evropský kontinent?, Sborník přednášek Hutní keramika, Rožnov pod Radhoštěm 2007
- [3] Franek Tadeáš: Český a slovenský průmysl žáromateriálů v období celosvětové ekonomické krize, Sborník přednášek Žiromateriály, pece a tepelné izolácie, Nový Smokovec 2010
- [4] Xiangchong Zhong: Uprise of China's Refractories Industry, Časopis China's Refractories 1/2013
- [5] Statistiky výroby a spotřeby žárovzdorných materiálů v ČR a SR, Dokumentace AČSVŽ 2013
- [6] Statistiky výroby a spotřeby žárovzdorných materiálů v EU, Dokumentace PRE 2013

KORÓZIA MAGNÉZIOVEJ VYMUROVKY V PYROMETALURGII MEDI

Pavol VADÁSZ, Karel TOMÁŠEK, Gabriel SUČIK, Eva GRAMBÁLOVÁ, Dávid MEDVEĎ

*Technická univerzita v Košiciach, Košice, Slovensko, pavol.vadasz@tuke.sk***Abstrakt**

Pyrometalurgická rafinácia medi je najstarší a najrozšírenejší spôsob odstraňovania nečistôt z medi. Zakladá sa na prednostnej oxidácii tých prvkov, ktoré majú vyššiu afinitu ku kyslíku ako meď. Oxidy, ktoré sú v medi nerozpustné, prechádzajú do samostatnej troskovej fázy a čiastočne v podobe úletov aj do plynnej fázy.

V predloženej práci sa na komerčných bázičkových žiaruvzdorných materiáloch sledovali interakcie so syntetickou taveninou sústavy $\text{Cu}-\text{Na}_2\text{O}\cdot 2\text{SiO}_2$. Pre štúdium korózie sa použila statická tégliková skúška pri teplote 1350°C s expozíciou 10 hodín vo vzdušnej atmosfére. Detailné sledovanie interakcií sa robilo kvapkovou koróznou skúškou, kde na kryštál periklasu pôsobili taveniny $\text{Na}_2\text{O}\cdot 2\text{SiO}_2$ a CuO , pri 1300°C a dobe výdrže 30, 60 a 120 minút vo vzdušnej atmosfére.

Vyhodnocovanie vzoriek sa robilo chemickou prvkovou analýzou, makro a mikroskopickým hodnotením vzoriek, lokálnou prvkovou EDX analýzou na SEM. Výsledky téglikovej skúšky potvrdili intenzívnu infiltráciu tavenín sústavy $\text{Cu}_2\text{O}-\text{Na}_2\text{O}\cdot \text{SiO}_2$ do magnézieovej tvarovky. V oxidačných podmienkach skúšky sa kovová meď oxidovala a oxid penetroval stavivo. Na povrchu žrn magnézie sa pozorovali interakcie s koróznym médiom za vzniku zlúčenín, napr. Cu_2MgO_3 . Pri magnéziovo—chromitých stavivách sa potvrdil vznik zlúčenín obsahujúcich ióny Cr^{+6} , napr. Na_2CrO_4 .

Pri vyhodnocovaní vzoriek z korózných skúšok kvapkovou metódou lokálnou EDX analýzou sa sledovali interakcie medzi tavenou magnéziou a taveninou $\text{Na}_2\text{O}\cdot 2\text{SiO}_2$, resp. CuO . Na fázovom rozhraní s-l v sústave $\text{MgO(s)}-(\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2)(\text{l})$ sa pozorovali degradované oblasti kryštálu periklasu, v ktorých boli detegované ióny sodíka. Pri interakciách v sústave $\text{MgO(s)}-(\text{Cu}_2\text{O}-\text{CuO})(\text{l})$ sa pozorovali degradované oblasti kryštálu MgO obsahujúce ióny medi. Znalosť priebehu korózných dejov umožňuje optimalizovať zloženie vymuroviek pre daný pyrometalurgický proces a agregát, prípadne navrhnúť iný typ žiaruvzdornej vymurovky.

Kľúčové slová: korózia, magnézia, vymurovka, meď, troska

1. ÚVOD

V procese pyrrafinácie medi sa využívajú troskové sústavy na báze $\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2$, $\text{SiO}_2-\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}$ alebo $\text{SiO}_2-\text{Na}_2\text{O}-\text{FeO}$, ktorých teplota tavenia je pod 1100°C [1]. Zvyšovanie cien palív a problematika korózie vymuroviek vytvárajú tlak na znižovanie pracovnej teploty procesu. Nové typy trosiek s nižšou teplotou tavenia splňujú nároky na znižovanie energetickej náročnosti ale zvyšujú nároky na vymurovky pecných agregátov.

Žiaruvzdorné vymurovky využívané v pyrometalurgii medi sú v prevažnej miere na báze $\text{MgO}-\text{Cr}_2\text{O}_3$. Pri interakciách žiaruvzdorných materiálov obsahujúcich Cr_2O_3 s metalurgickými taveninami sa vytvárajú zlúčeniny obsahujúce šesťmocný chróm, ktorý je v legislatíve niektorých krajín zaradený medzi karcinogénny [2 a 3], resp. ako zdraviu škodlivý prvok [4].

Aby bolo možné navrhnúť nové typy ekologicky priaznivejších vymuroviek je nutné poznať korózne procesy, ktoré prebiehajú pri kontakte majoritnej zložky bázičkových žiaruvzdorných materiálov t.j. periklasu s novými druhmi rafinačných trosiek. Proces pyrometalurgickej rafinácie medi je pretržitý proces. Z hľadiska korózneho pôsobenia na vymurovku je veľmi extrémny, dochádza k tepelným šokom a zmenám redox

potenciálu pecnej atmosféry pri teplotách až 1200 °C. Celý proces pyrorafinácie medi trvá cca 24 hod; zavážanie a tavenie vsádzky (cca 9 hod.), oxidácia (asi 4 hod.), vypúšťanie trosky (2 hod.), redukcia (cca 3 hod.) a fáza odlievania rafinovanej medi (99.5 % Cu) pod inertnou atmosférou asi 6 hodín.

V predloženom príspevku sme sa zamerali na proces opotrebenia komerčných magnéziových stavív, v kontakte so syntetickou taveninou sústavy Cu—Na₂O·2SiO₂. Statickými koróznymi testami (téglikový a kvapkový) sa sledovala penetrácia a interakcie korodujúcej taveniny so vzorkami (magnéziové a magnéziovo chromité stavivo, resp. tavený periklas). Získané výsledky sa vyhodnocovali makroskopickou, mikroskopickou, chemickou analýzou a lokálnou EDX mikroanalýzou.

2. EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

Vzorky na statickú téglikovú koróznú skúšku boli pripravené z komerčne vyrábaných stavív, ktorých základná charakteristika je uvedená v tabuľke 1. Zo stavív sa vyrezali skúšobné telesá: vzorka A (74×76×76 mm) a vzorka B (88×88×64 mm), následne sa do vzoriek vyvrtal otvor o priemere Ø 30 mm a výške 30 mm, vložili sa do laboratórnej sušičky na 24 hod./110 °C. Do takto pripravených vzoriek „téglikov“ sa nasypalo korózne médium, najprv meď a následne zmes chemikálií SiO₂ a Na₂CO₃. Korózne médiá mali nasledovné zloženie: 80 g medi, 4 g SiO₂ a 3.53 g Na₂CO₃

Vzorky sa vložili do laboratórnej elektrickej odporovej pece, ohriali na teplotu koróznej skúšky 1350 °C s výdržou 10 hodín vo vzdušnej atmosfére. Po uplynutí doby výdrže sa vzorky voľne chladili v peci.

Kvapková korózna skúška sa robila na vzorkách (platnička 10×10×5 mm) z kryštálu tavenej magnézie – periklasu (99.5 % MgO, bývaly Lovinit Lovinobaňa, a.s.), na ktoré sa umiestnilo korózne médium (zmes Na₂CO₃ + SiO₂, resp. CuO). Korózne médium vylisované do formy valčeka Ø 3×3 mm s hmotnosťou cca 0.2 g sa umiestnilo na vzorku taveného periklasu a uložilo do vysokoteplotného mikroskopu. Kvapková korózna skúška sa robila pri 1300 °C s dobou výdrže na teplote 30, 60 a 120 min. vo vzdušnej atmosfére. Extrémne teploty (1350 °C, resp. 1300 °C) sa použili pre urýchlenie korózných procesov.

Vzorky s označením A — magnéziové stavivo B — magnéziovo—chromité stavivo, chemická analýza a vybrané vlastnosti sú uvedené v **tabuľke 1**.

Tab. 1 Chemické zloženie (AAS) a vybrané vlastnosti testovaného staviva (ISO 5017) boli realizované na Katedre keramiky TUKE HF.

Zložky	Chemická zloženie [hm%]	
	Vzorka A	Vzorka B
MgO	95.67	56.294
Fe ₂ O ₃	1.34	10.15
Cr ₂ O ₃	—	25.57
SiO ₂	0.49	1.55
Al ₂ O ₃	0.28	3.91
CaO	2.18	2.48
Fyz. vlastnosti		
π _a [%]	15.3	16.7
ρ _b [kg.m ⁻³]	2890	3152

Zloženie trosky bolo vybrané z rovnovážneho fázového diagramu sústavy Na₂O — SiO₂ a odpovedá zlúčenine Na₂O·2SiO₂ s teplotou tavenia 867 °C [5].

Syntetická trosková sústava sa pripravovala zo zlúčenín SiO_2 a Na_2CO_3 v príslušnom pomere a Cu. Na prípravu boli použité chemikálie: Na_2CO_3 čistoty p.a. — LACHEMA, a.s., Brno, ČR; SiO_2 (96.5 %) — p.a., P.P.H Polske odczynniki chemiczne, Gliwice, Poľsko a elektrolytická meď čistoty 99.95% — KO Krompachy.

3. VYHODNOTENIE EXPERIMENTÁLNYCH VÝSLEDKOV

Statické téglkové korózne skúšky sa vyhodnocovali chemickou analýzou, makroskopickou a mikroskopickou analýzou. Vzorky po koróznej skúške sa priečne rozrezali a na týchto rezoch sa sledovala hĺbka infiltrácie korózneho média do muriva vzorky, mikroštruktúra a vo vybraných vrstvách sa sledovalo chemické zloženie muriva. Hĺbka infiltrácie je štatisticky spracovaná v **tabuľke 2**.

Tab. 2 Priemerná hĺbka infiltrácie korózneho média do vzoriek [mm]

Vzorka	Zóna 1		Zóna 2		Zóna 3	
	dno	stena	dno	stena	dno	stena
A1	1.5	1.2	11.3	16.4	25.6	—
B1	2.5	3.0	20.6	14.1	5.8	3.3

Z prezentovaných makroštruktúr je zrejmé, že v priebehu koróznej skúšky došlo k úplnej penetrácii koróznej taveniny sústavy $\text{Cu—CuO}_x\text{—Na}_2\text{O—SiO}_2$ do muriva vzoriek. Na priečných rezoch vzoriek po koróznych skúškach sa vizuálne pozorovali tri zóny. Prvá zóna, tzv. reakčná, vzniká v povrchovej vrstve žiaruvzdorného muriva pri kontakte s koróznym médiom. Táto vrstvička má hĺbku cca 1 až 3 mm a je impregnovaná koróznou taveninou. V tejto zóne prebiehajú intenzívne reakcie medzi taveninou a murivom vzorky. Druhá zóna predstavuje infiltrované murivo vyznačujúca sa farebnou zmenou. Tretia zóna je najvzdialenejšia od reakčného povrchu a s minimálnymi vizuálnymi zmenami muriva.

Hĺbka infiltrácie zložiek korózneho média sa sledovala chemickou analýzou muriva vo vzdialenosti 5 mm (napr. A1—1), 20 mm (napr. A1—2) a 40 mm (napr. A1—3) od dna téglíka (vzorky). V príslušnej vzdialenosti boli navŕtané vzorky a prvková analýza sa robila metódou AAS na prístroji PerkinElmer 3100. Sledovala sa infiltrácia prvkov Cu, Na a Si; získané výsledky sú v **tabuľke 3**.

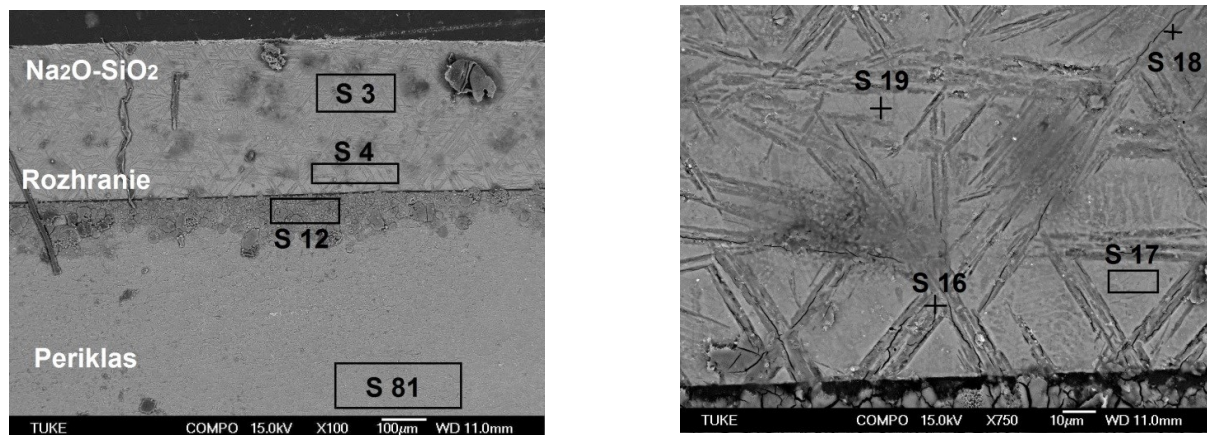
Tab. 3 Prvková analýza muriva vzorky po koróznej skúške v závislosti od vzdialenosti od dna téglíka (5, 20 a 40 mm)

vzorka	Obsah prvkov [hm %]			vzorka	Obsah prvkov [hm %]		
	Cu	Si	Na		Cu	Si	Na
A1—1	5.48	0.50	0.20	B1—1	5.58	0.84	0.60
A1—2	6.70	0.43	0.11	B1—2	4.03	0.78	0.30
A1—3	7,18	0,36	0,05	B1—3	0,79	0,82	0,16

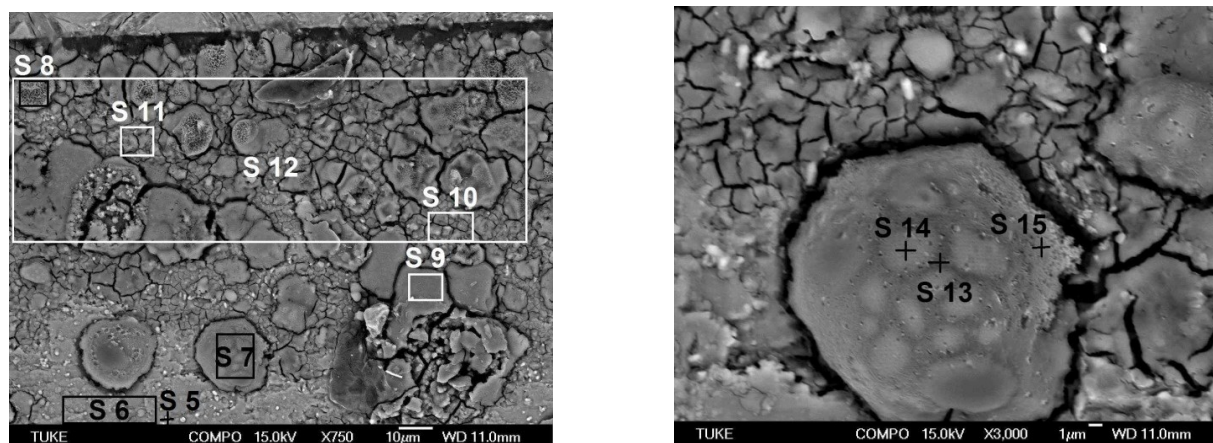
Výsledky chemickej analýzy korodovaných vzoriek, potvrdili poznatky z makro a mikroskopického pozorovania. Najväčšia intenzita (hĺbka) infiltrácie medi sa zistila pri magnéziovom a magnéziovo—chromitom stavive. V prípade infiltrácie iónov kremíka a sodíka sa významné rozdiely nenašli (malé množstvo taveniny $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{SiO}_2$, cca 5 g). Koncentrácia iónov sodíka smerom k vonkajšiemu okraju vzoriek plynule klesá.

Kvapkové korózne skúšky sa vyhodnocovali mikroskopicky a EDX semikvantitatívnou analýzou. Získané výsledky sú prezentované na obrázkoch a v tabuľkách. Na ilustráciu je uvedené vyhodnotenie vzorky P305, resp. P405, ktorá prezentuje mikroštruktúru kryštálu periklasu po kvapkovej koróznej skúške s taveninou $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{SiO}_2$, resp. CuO pri 1300 °C, dobe expozície 30 min. vo vzdušnej atmosfére. Na mikroštruktúrach sú

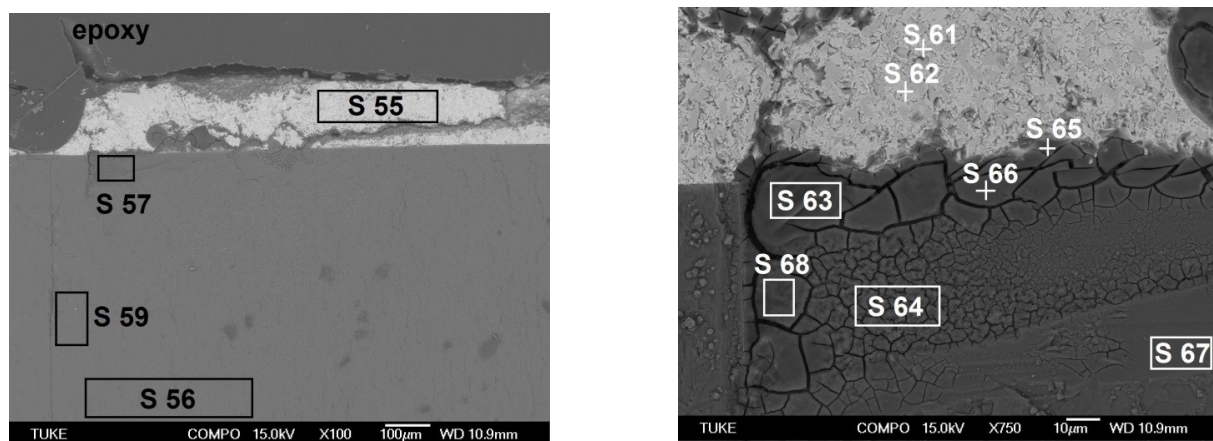
zakreslené plochy a body, ktoré sa analyzovali semikvantitatívnou EDX analýzou na zariadení JEOL JSM 7000F.



Obr. 1 Mikroštruktúra vzorky P305 a taveniny sústavy $\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ (oblasť S 4) po koróznej skúške na teplote $1300\text{ }^\circ\text{C}$ a výdržou 30 min., s označením semikvantitatívnych EDX analýz



Obr. 2 Mikroštruktúra reakčnej zóny (oblasť S 12 a S 7) vzorky P305 po koróznej skúške s taveninou $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{SiO}_2$ na teplote $1300\text{ }^\circ\text{C}$ a výdržou 30 min., s označením semikvantitatívnych EDX analýz



Obr. 3 Mikroštruktúra vzorky P 405 a reakčnej zóny periklasu (oblasť S 57) po koróznej skúške taveninou CuO na teplote $1300\text{ }^\circ\text{C}$ a výdržou 30 min., s označením semikvantitatívnych EDX analýz

Tab. 4 Semikvantitativná prvková EDX analýza vzorky P305

Vzorka /spektrum	Semikvantitativná prvková analýza [at. %]					
P 305	O	Na	Mg	Si	K	Ca
S 3	57.71	13.55	12.45	16.29	0	0
S 4	56.64	13.93	12.62	16.81	0	0
S 5	65.34	0.51	23.11	0	0	11.04
S 6	46.91	0.28	52.44	0.16	0	0.21
S 7	66.99	4.99	28.02	0	0	0
S 8	58.82	9.2	31.39	0	0.35	0.25
S 9	69.68	2.92	27.4	0	0	0
S 10	54.39	1.53	43.8	0	0	0.28
S 11	54.91	2.23	42.45	0	0	0.41
S 12	58.51	2.96	38.12	0	0	0.4
S 13	61.82	3.48	34.46	0	0.24	0
S 14	66.78	3.67	29.4	0	0.14	0
S 15	57.53	5.01	36.97	0	0.50	0
S 16	54.50	12.81	13.59	18.97	0	0.14
S 17	52.99	17.75	11.85	17.41	0	0
S 18	58.26	7.91	14.73	18.54	0.55	0
S 19	51.12	15.69	10.67	22.52	0	0
S 81	46.52	0	52.78	0	0	0

Tab. 5 Semikvantitativná prvková EDX analýza vzorky P405.

Vzorka /spektrum	Semikvantitativná prvková analýza [at. %]					
P 405	O	Mg	Ca	Cu	Al	Si
S 55	36.58	3.79	0	59.63	0	0
S 56	45.95	54.05	0	0	0	0
S 57	55.69	41.54	0.58	0.79	0.36	1.03
S 59	47.46	51.82	0.11	0	0.61	0
S 61	47.55	1.63	0	50.81	0	0
S 62	27.04	1.55	0	71.4	0	0
S 63	60.91	34.72	1.44	2.93	0	0
S 64	56.07	41.26	0.56	0.85	0	1.26
S 65	64.49	32.28	1.08	0.88	0	0
S 66	64.08	32.71	1.54	0.4	0	0
S 67	47.83	51.95	0.22	0	0	0
S 68	65.84	30.86	1.94	1.05	0	0.32

4. ZHRNUTIE VÝSLEDKOV A ZÁVER

V príspevku sú prezentované výsledky korózných skúšok realizovaných statickou téglikovou koróznou skúškou na magnéziovom a magnéziovo—chromitom stavive taveninou sústavy Cu—Na₂O—SiO₂ pri teplote 1350 °C s dobou výdrže na teplote 10 hodín. V priebehu koróznej skúšky v oxidačných podmienkach došlo k oxidácii kovovej medi a vzniknutá korózna tavenina sústavy Cu₂O—CuO—Na₂O—SiO₂ penetrovala do objemu vzoriek za vzniku zónovej štruktúry (tab.2). Chemická analýza vzoriek po koróznej skúške potvrdila penetráciu magnézievej vzorky (vz. A1) iónmi Cu v celom priereze. V prípade magnéziovo—chromitej vzorky (vz. B1) sa obsah iónov Cu znižoval (tab.3). Infiltráciu iónov Na a Si nebolo možné relevantne vyhodnotiť vzhľadom na ich nízky obsah v koróznej tavenine (cca 5 g). Chemická analýza poukázala na rovnomerné rozdelenie iónov Si v murive, ako aj na plynulý pokles koncentrácie iónov sodíka smerom k okraju vzorky (tab.3).

Na mikroštruktúrach vzoriek boli v reakčnej zóne pozorované farebné zmeny okrajov zŕn periklasu (vz. A1), resp. zŕn komplexných spinelov z chrómovej rudy (vz. B1). Predpokladáme, že dochádza k interakciám oxidu meďného s periklasom za vzniku novej fázy Cu₂MgO₃ tzv. guggenit [6—10], podľa chemickej reakcie (1):



Chase a kol. [11] vypočítali Gibsovu energiu tejto reakcie v závislosti od teploty [K]:

$$\Delta G_{\text{Cu}_2\text{MgO}_3} = -81\,619 + 58.47\,T \quad [\text{J} \cdot \text{mol}^{-1}] \quad (2)$$

Pri interakciách magnéziovo—chromitých stavív s troskou sústavy Cu₂O—Na₂O—SiO₂ pri 1350 °C v oxidačnej atmosfére môže dochádzať k vzniku chromanov, napr. Na₂CrO₄ alebo CuCrO₄. Na vzorke magnéziovo—chromitého staviva po koróznej skúške, ktorá bola voľne uložená v laboratóriu sa po cca 30 dňoch zistila žltá zlúčenina. Po vylúhovaní vzorky sa v roztoku potvrdila prítomnosť iónov chrómu, sodíka, vápnika a horčíka. Predpokladáme prítomnosť zlúčeniny Na₂CrO₄, ktorá je vo vode dobre rozpustná.

V priebehu koróznej skúšky v oxidačných podmienkach dochádza k oxidácii kovovej medi a vzniku sústavy SiO₂—Na₂O—CuO—Cu₂O, pričom zastúpenie CuO a Cu₂O závisí od teploty a parciálneho tlaku kyslíka v sústave. Prítomnosť iónov Cu⁺ a Cu²⁺ znižuje teplotu tavenia sústavy SiO₂—Na₂O. Ióny medi pôsobia v tejto tavenine ako modifikátor, ktorý vplýva na zmenu jej fyzikálnych vlastností, napr. znižuje jej viskozitu [12].

Kvapkové korózne skúšky boli zamerané na detailné skúmanie interakcií medzi kryštálom periklasu a taveninami Na₂O·2SiO₂, resp. CuO. Vyhodnocovanie pomocou SEM a semikvantitatívnej EDX analýzy odhalilo interakcie na povrchu periklasu pri pôsobení taveniny Na₂O·2SiO₂. Pozorovala sa degradovaná oblasť kryštálu periklasu s obsahom iónov Na⁺, ale bez prítomnosti iónov Si⁴⁺. Súčasne dochádzalo k rozpúšťaniu MgO v tavenine Na₂O—SiO₂ (obr.1 a 2, tab.4). Interakcie periklasu s taveninou Cu₂O—CuO sú prezentované na mikroštruktúrach (obr. 3) a v tabuľke 5. Získané výsledky podporujú predstavu o vzniku zlúčeniny (Mg_(1-x)Cu_x)O·CuO v periklase.

Prezentované výsledky predstavujú relatívne nový pohľad na koróziu periklasu kremičito—sodnými taveninami a v prípade magnéziovo—chromitých stavív poukázali na možnosť vzniku zlúčenín s obsahom iónov Cr⁺⁶. Reálne žiaruvzdorné stavivá predstavujú heterogénnu sústavu z pohľadu chemického, mineralogického tak aj rozmerového, čo výrazne sťažuje popisovanie mechanizmu ich opotrebenia.

Štúdium uvedených korózných dejov je predmetom ďalšieho štúdia, zamerané na overenia uvádzaných záverov a doplnenie informácií potrebných pre výber žiaruvzdorných vymuroviek pre rafinačné pecné zariadenia v metalurgii medi.

POĎAKOVANIE

Táto práca bola podporená Vedeckou grantovou agentúrou MŠVaŠ SR grant 1/0643/11.

LITERATÚRA

- [1] P. Coursol, B. Davis, A. Roy and M. Lebel: *JOM*, 57 (7) (2005), pp.64—67.
- [2] IARC (The International Agency for Research on Cancer)
- [3] US EPA (US Environmental Protection Agency)
- [4] Regulation of the Government of the Slovak Republic No. **45/2002** a č.**46/2002**
- [5] F.C. Kracek: *J. Phys. Chem.*, 34 (7) (1930), pp.1583—1598.
- [6] Paranthaman, M., K.A. David, and T.B. Lindemer: Phase equilibria of the MgO—Cu₂O—CuO system. *Materials research Bulletin*, Vol. 32, No. 2, pp.165—173, 1997
- [7] Von N.G. Schmahl, J. Barthel and G.F. Eikerling, *Z. Anorg. Allg. Chem.* **332**, 230 (1964)
- [8] A.M.M. Gadalla and J. White, *Trans. Br. Ceram. Soc.* **63**, 119 (1964)
- [9] F.C.M. Driessens, G.D. Fieck and H.N. Coenen, *J. Inorg. Nucl. Chem.* **30**, 747 (1968)
- [10] A.Navrotsky, *J. Solid State Chem.* **11**, 10 (1974)
- [11] M.W. Chase, Jr., C.A. Davies, J.R. Downey, Jr., D.J. Frurip, R.A. McDonald and A.N. Syverud, JANAF Thermochemical Tables, 3rd od., American Chemical Society and the American Institute of Physics (for the National Bureau of Standards), New York (1986)
- [12] Borisova, N.V, Konakov, V.G, Kostyreva, T.G. and Shultz M.M.: On the Possibility of Forming Complexes with the Participation of O²⁻ Ions in Melts and Glasses of the Na₂O—SiO₂—Cu₂O System. *Glass Physics and Chemistry*, Vol. 29, No.1 (2003) pp. 28—34.

CHARACTERISTICS OF THE REFRACTORY CONCRETE USED FOR SEAL OF SOLIDIFICATION CAVITY OF THE ELECTROCAST REFRACTORIES

István SZŰCS, Tamás KOÓS, László GYULAI

3C TELECOM Kft., Budapest, Hungary, EU
University of Miskolc, Faculty of Material Engineering, Hungary, EU
tuzsi@uni-miskolc.hu

Abstract

In solidification process of alumina and zirconia electrocast refractories – used for glass melting furnaces - under the inlet of melt forms shrinkage cavity, in it there are dangerously sharp crystals. For the sake of the safety setting-in of the block we must to seal this solidification cavity by refractory concrete.

The aim of our researches was, to determine the most important characteristics of refractory concrete: mass and heat change processes during the first heating-up, thermal expansion and gas permeability. Special laboratory measurements were carried out in order to determine the temperature and gauge pressure values in the shrinkage cavity, sealed with refractory concrete during the first heating-up the refractory block. The measurement data shows, that above 100 °C in the cavity, - at the boiling temperature of the water - the maximum overpressure was around 1600 Pascal. We can establish, that the gas permeability of the sealing refractory concrete allows the steam to remove from the cavity at safe low gauge pressure level.

A computer model, using finite element analysis, was used for the complex study of the temperature field in the refractory block and in the sealed shrinkage cavity. The differences between temperature values in the sealed shrinking cavity, determined by the computer model and measured with thermocouples, are within the acceptable limits of industrial practice.

Keywords: electrocast refractories, shrinkage cavity, refractory concrete, gas permeability

1. INDUSTRIAL BACK GROUND, AND AIM OF RESEARCHES

In solidification process of alumina and zirconia electrocast refractories, melted in electric arc furnace – used for glass melting furnaces - near of the inlet of melted material into the mould, after casting forms a shrinkage cavity, in it there are dangerously sharp crystals. For the sake of the safety building-in of the block into the glass melting furnace, we must to cover this solidification cavity with refractory concrete.

The main technology steps of making processes of the electrofused refractory blocks and place of sealing its solidification hole with hydraulic bounded refractory concrete before pre-assembly into the glass melting furnace, we can see on **Fig. 1** [1].

The aim of our researches was, to determine the most important characteristics and circumstances for the safe application of refractory concrete, used for covering of the solidification hole:

- mass and heat change processes during the first heating-up
- thermal expansion of original refractory block and the refractory concrete
- gas permeability
- measure the temperature in the shrinkage cavity
- examination of the gas pressure in the solidification hole, covered with refractory concrete during the first heating up of the refractory block.

Type of examined refractoryes:

- electrofused Aluminate-Zirconia-Silicate refractory block (AZS: $\text{Al}_2\text{O}_3=66\%$, $\text{ZrO}_2=21\%$, $\text{SiO}_2=12\%$, $\text{Na}_2\text{O}+\text{Fe}_2\text{O}_3=0,4\%$) [2];
- hydraulic refractory concrete made from cement Almatix CA 25-R, ($\text{Al}_2\text{O}_3=81\%$, $\text{CaO}=18\%$, $\text{SiO}_2=12\%$, $\text{SiO}_2=0,3\%$, $\text{Na}_2\text{O}=0,6\%$, $\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{MgO}=0,6\%$), made with 16 m/m% water [3].

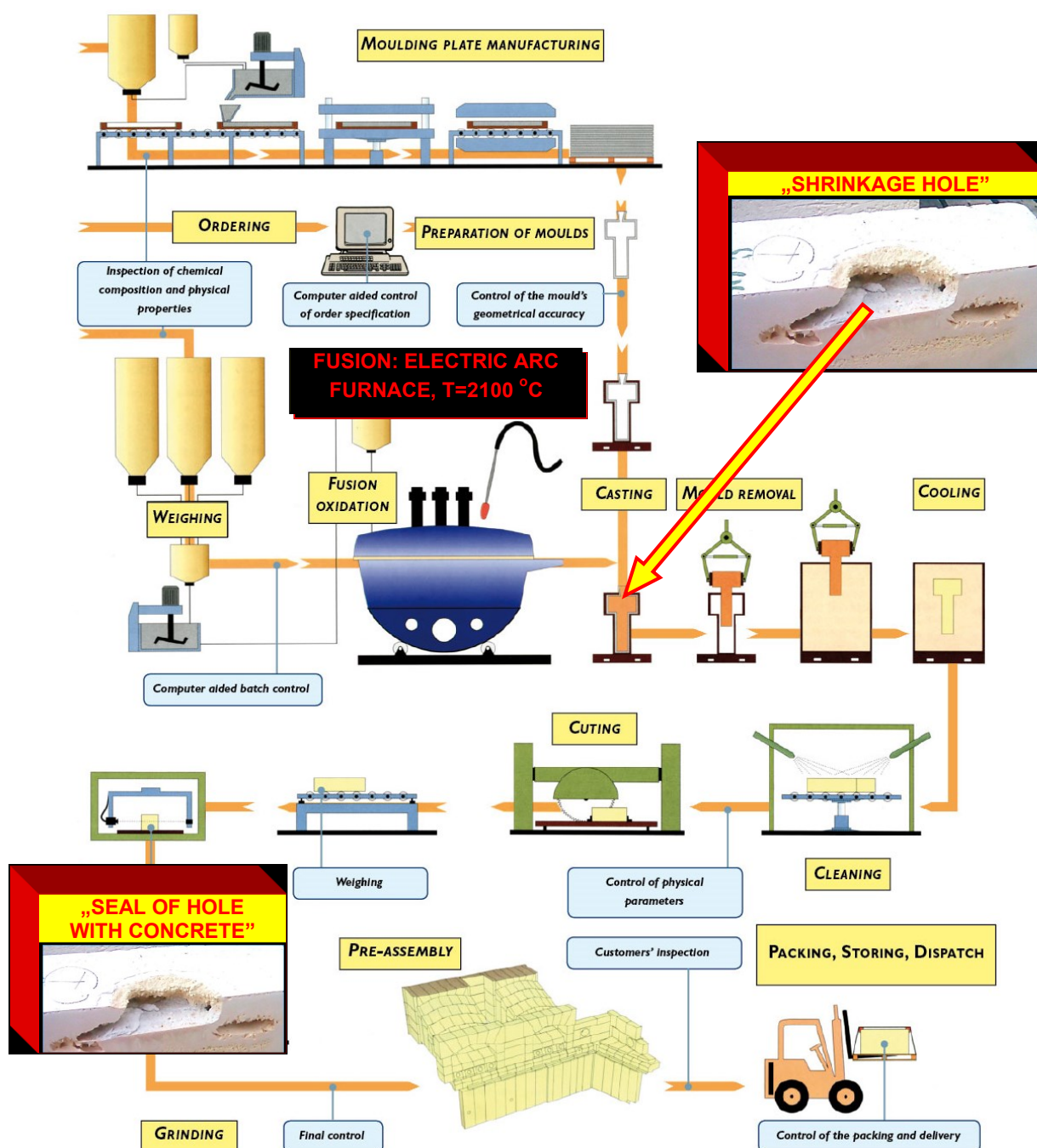


Fig. 1 Technological steps of electrofused refractory block making for glass melting furnace and formation place of solidification „shrinkage” hole in refractory block and its covering with hydraulic bounded refractory concrete before pre-assembly of furnace [4]

2. MASS CHANGE AND THERMAL PROCESSES AT HEATING OF REFRACTORY CONCRETE

2.1 Measuring method for determination of mass change and thermal processes

The mass change and thermal processes at heating of refractory cement Almatís CA 25-R, made with 16 m/m% water, have been determined with instrument for computing thermal analysis type of "DERIVATOGRAPH-C" [5] produces three curves from the test results:

- Thermogravimetry (TG, %), mass change
- Differential-thermogravimetry (DTG, %/°C), derivate of the mass change
- Differential-thermal analysis (DTA, °C), curve of endothermal and exothermal thermal processes.

The derivatogram registered by instrument during the measurement is shown in **Fig. 2.**, the results obtained by evaluating the derivatogram can be seen in **Table 1.**

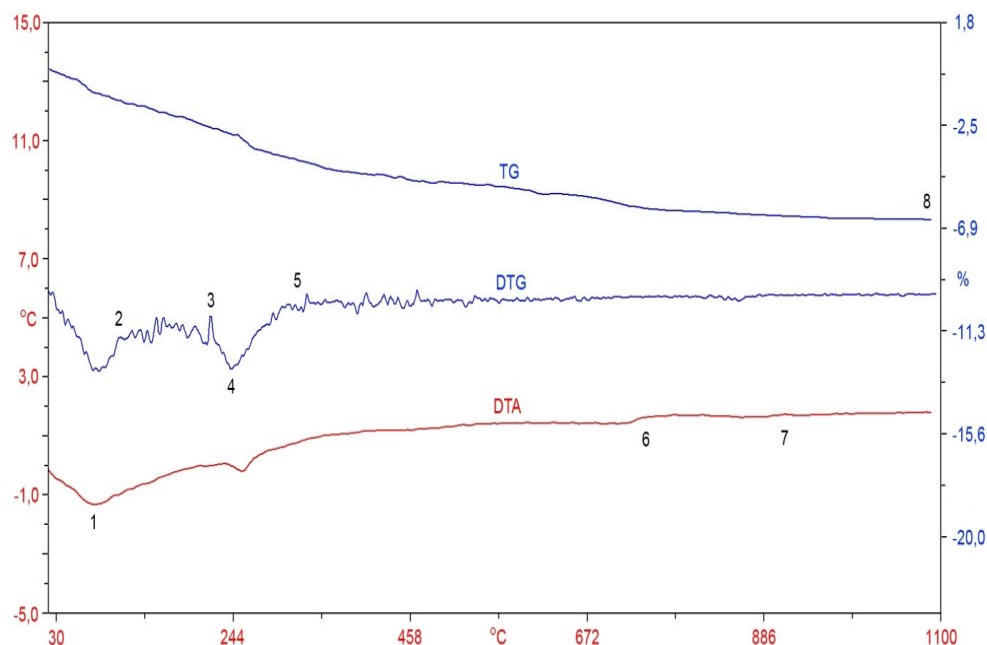


Fig. 2 Derivatogram of the cement Almatís CA 25-R, mass change and heat processes depending on temperature during first heating, after two days hardening and drying

Tab. 1 Relevant values of the derivatogram belonging to sample Almatís CA 25-R cement

Index in Fig.2	T, °C	TG, %	DTA, °C	DTG, %/°C
1	95	-0.61	-1.261	-0.4
2	145	-2.05	-0.631	-0.213
3	215	-2.5	-0.361	-0.29
4	230	-3.22	-0.011	-0.169
5	315	-4.08	-0.053	-0.126
6	735	-6.03	1.601	-0.069
7	910	-6.39	1.732	-0.005
8	1100	-6.41	1.807	-0.028

2.2 Summary of the thermoanalytical study results of the refractory concrete

On data of **Tab. 1** we can establish the following:

- ✓ The mechanical water mixed into the sample to adjust its plasticity continues to evaporate up until 120 – 125 °C.
- ✓ The most intensive water release occurs at the narrow temperature range of 95 – 105 °C. The rate of evaporation gradually decreases above 110 °C.
- ✓ At the temperature range of 215 – 315 °C a second period of water release can be registered.
- ✓ The dehydration process of the AH_3 bond is most intensive around 230 °C.
- ✓ Degradation of the Ca_3AlH_6 bond ends at 315 – 320 °C.
- ✓ Total mass loss of the refractory concrete at 320 °C is 5 % on average.
- ✓ At temperatures above 320 °C, the very slow-rate degradation of more complex $\text{C}_k\text{A}_m\text{H}_n$ bonds occur in multiple steps, accompanied by steady mass loss.
- ✓ At 910 °C mass loss processes end, the total mass loss 6,41 %.

3. THERMAL DILATION OF EXAMINED REFRACTORIES

3.1 Measurement instrument and data of the thermal dilatation

Determine of the linear thermal dilatation of refractories depending on temperature were examined method of thermomechanical analysis (TMA), with instrument type of "Setaram SETSYS 24" [6].

Average thermal expansion test results of AZS electrofused block and concrete test pieces 1, 2, and 3 made of cement Almatís CA-25 R + grained AZS are displayed in **Fig. 3**.

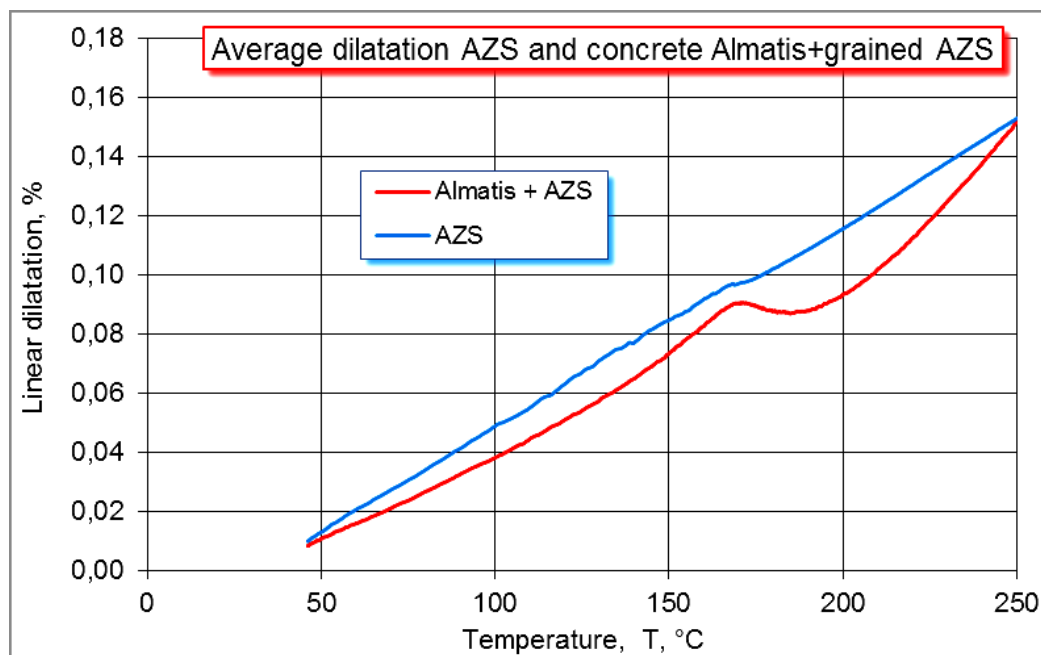


Fig. 3 Average dilatation of the electrofused AZS refractory block and the refractory concrete made from cement Almatís CA-25 R+grained AZS.

3.2 Summary of the thermal dilation measurement results

The following can be determined from the curves characterising thermal dimensional changes in the refractory concrete test objects made from AZS refractory blocks and a mixture of Almatiss CA-25 R cement + AZS grains $0,01 < d < 3,0$ mm:

- ✓ Size of the AZS refractory block in the temperature range of 45 – 250 °C shows close to linear increase of $+0,01 \div 0,15$ %.
- ✓ The refractory concrete made from cement Almatiss CA-25 R+grained AZS shows close to linear expansion of $+0,01 \div 0,09$ % in the temperature range of 45 – 165 °C. In this interval the refractory concrete has a lower linear thermal expansion than the refractory block by approximately 0,01 %.
- ✓ In the range of 165 – 185 °C linear size of the refractory concrete decreases by 0,008 %. In case of an object with realistic geometrical parameters the evaporation of mechanical water ends at this stage, pores are formed and the concrete contracts.
- ✓ In the range of 185 – 200 °C the refractory concrete is 0,02 % smaller than the refractory block. In this temperature range the opening of the AZS refractory block expands, while the concrete contracts. The stress created between the two materials and the pores formed replacing water aid the evaporation of water from the concrete.
- ✓ In the range of 200 – 250 °C the refractory concrete expands at a higher rate than the refractory block.
- ✓ At 250 °C the two materials have the same linear thermal dilation coefficient of 0,15 %. By this point both the mechanical water and the water released from the AH3 bond has evaporated from the concrete (see Fig. 2 and Table 1).

4. EXAMINATION OF GAS PERMEABILITY OF THE REFRACTORY CONCRETE

4.1 Measuring method and data of determination of gas permeability

Water evaporation from the refractory concrete of the shrinkage cavity during first heating is strongly depends on the gas permeability of the concrete. The method and the instrument of examinations were carried out by the Department of Reversoir Engineering at the University of Miskolc.

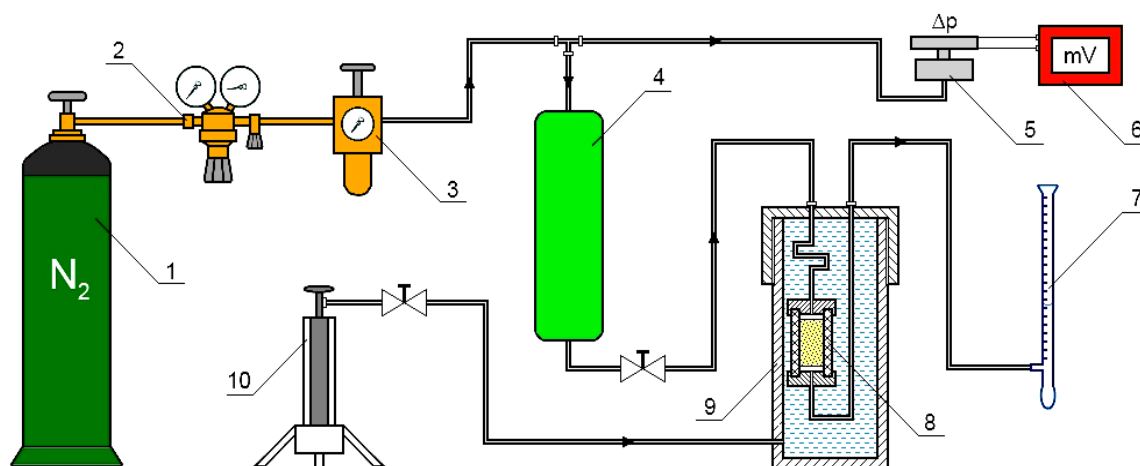


Fig. 4 Measuring circuit of the gas permeability study

- 1 - nitrogen container, 2 - gas reducer, 3 - fine adjustment gas reducer, 4 - puffer container,
5 - Δp pressure transducer, 6 – voltmeter, 7 - soap bubble flowmeter, 8 - test piece in the HASSLER sleeve,
9 - pressure resistant container filled with water, 10 - pump to increase water pressure

The study requires 30 mm high test objects with a diameter of 37 mm. The 30 mm height of the test object closely resembles the thickness of refractory concrete layer generally used for sealing of solidification hole in industrial practice.

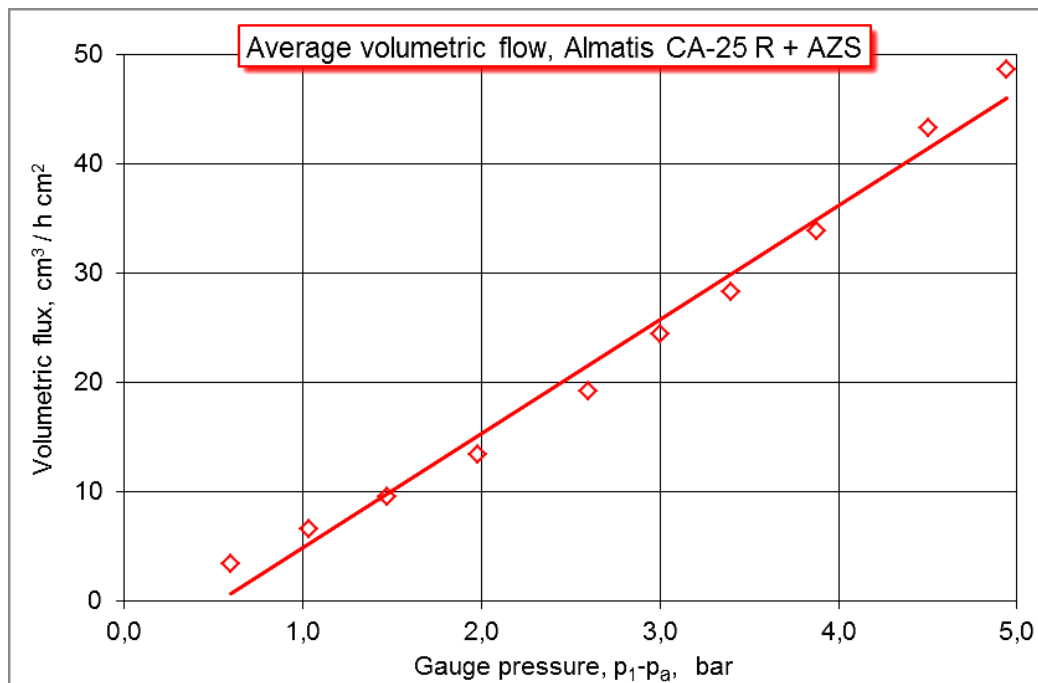


Fig. 5 Average volumetric flow of concrete made from cement Almatiss CA-25 R + grained AZS

4.2 Summary of Gas Permeability test results

Based on the examination of gas permeability carried out on refractory concrete test objects made of Almatiss CA-25 R cement and AZS powder, the following can be determined:

- ✓ The concrete used to seal the cavity of the refractory block is not gas resistant. The increase of gas permeability of the concrete is in linear correlation with the difference in pressure registered between the two ends of the test object.
- ✓ Layers below the outer surface (facing the combustion chamber) of the concrete sealing the shrinkage cavity provide significantly lower flow resistance against the forming steam. This means that the steam forming in the outer layers of the refractory concrete can escape at much lower pressure differences with higher volumetric flux.

5. DETERMINATION OF TEMPERATURE AND OVERPRESSURE IN THE SOLIDIFICATION HOLE

5.1 Laboratory method and data of measuring of temperature and overpressure in the solidification hole

Test pieces were made from refractory AZS blocks dimension of 170 x 250 x 120 mm. In order to simulate the conditions within the hole forming in electrofused refractory blocks, were made 80 mm deep and 60 mm wide cylindrical cavities, which were sealed with a 30 mm thick layer of concrete. Samples were placed in an electric furnace, which was heated to 350 °C at the rate of 5 °C/h. The piezoresistance differential pressure sensor type of „NSCDANN 150 PGUNV” [7] was connected to the outer end of the copper tube with a thick, transparent plastic tube, charged with silicone oil heat-resistant up to 300 °C, it prevents the steam from

condensation and transmits the overpressure. The external level of this thermo-oil served as a visual indicator of the rising steam pressure in the closed hole. The temperature within the hole was measured with NiCr-Ni thermocouples built into the refractory concrete.

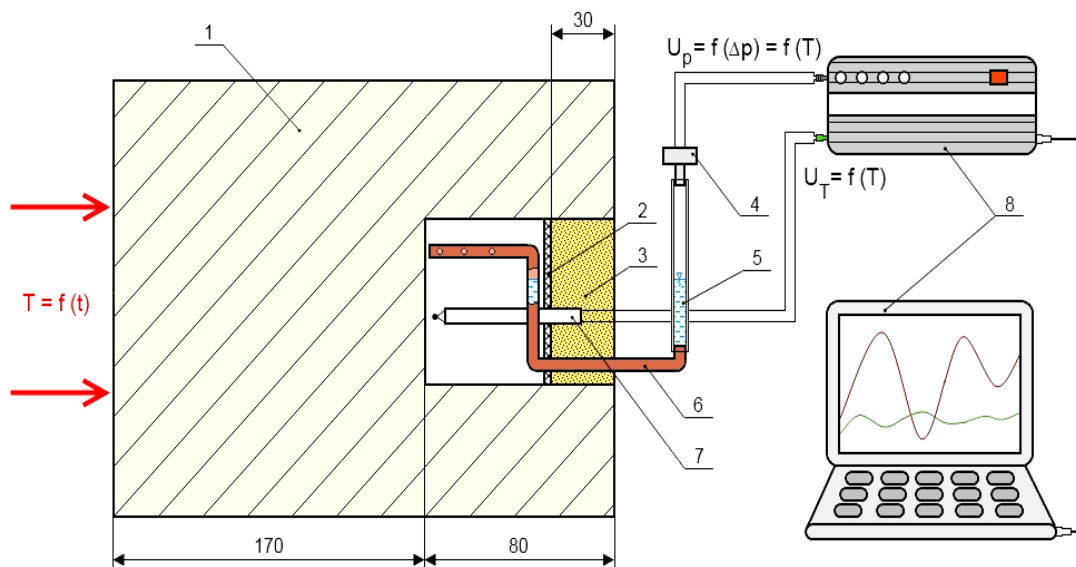


Fig. 6 Schematic sketch of the measuring circuit to monitor overpressure and temperature in the shrinkage cavity during heating of the electricfused AZS sealed its solidification hole with concrete
 1 - refractory block, 2 - positioning copper mesh, 3 - examined refractory concrete, 4 - pressure sensor, 5 - heat-resistant silicone oil, 6 - copper impuls tube, 7 - NiCr-Ni thermocouple, 8 - data collector

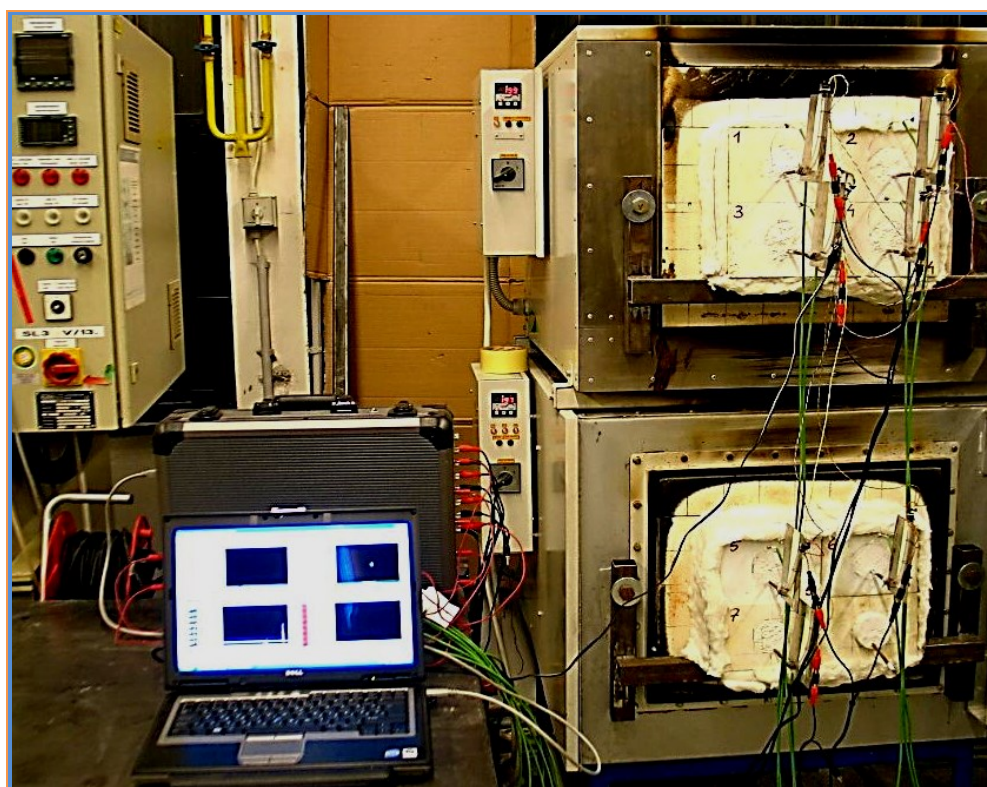


Fig. 7 Specimens placed in the electric furnace and the data collection system

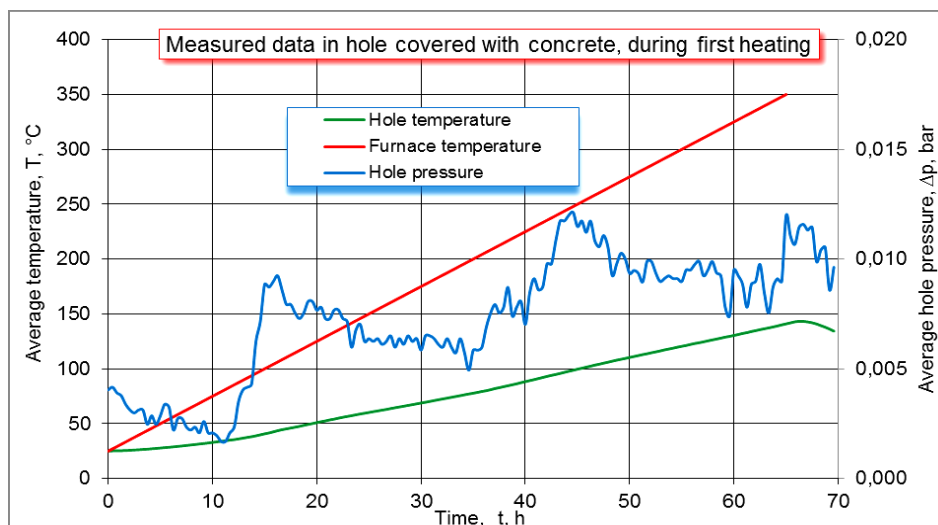


Fig. 8 Average temperature and overpressure in the solidification hole sealed with refractory concrete.

5.2 Conclusions of laboratory experiments

The following can be established from the laboratory measurement data:

- ✓ When the temperature inside the furnace and on the interior surface of the refractory is 250 – 260 °C, the solidification hole has a temperature of approximately 100 °C.
- ✓ Around 100 °C, at the boiling point of water, overpressure of the steam reaches its peak in case of every test object, never exceeding 0,016 bar. This means, that the gas permeability of the concrete allows the steam - formed from mechanical water - to exit from solidification hole at low pressure levels.

6. FINAL CONCLUSIONS OF RESEARCHES

Based on the described complex analysis it can be established without a doubt, that the gas permeability characteristics of the refractory concrete, made from cement Almatix CA-25 R + grained AZS, enable draw off the steam, formed during the first heating up of refractory wall of glass melting furnace.

The 0,02 bar overpressure - arisen in the solidification hole – don't damage the electrofused refractory blocks and the refractory concrete, used for covering of solidification hole.

ACKNOWLEDGMENT

Authors offer one's sincere thanks to 3C Telekommunikation Ltd. for the financial support.

LITERATURA

- [1] <http://www.motim.hu/kadko/docs/felhasznalas.htm>
- [2] MOTIM Fused Cast Refractories Ltd.: Catalog of Fused Cast Refractory Blocks, 2012.
- [3] ALMATIS: GP-RCP/005/R07/0211/MSDS 993; FGP-RCP_005_Calcium-Aluminate-Cement_0211.pdf
- [4] <http://www.motim.hu/hu/fcr/csucstechnologia-es-minoseg>
- [5] Journal of Thermal Analysis, Vol.32., p. 301-309
- [6] Commissioning maintenance SETY 24
- [7] <http://www.farnell.com/datasheets/1499905.pdf> (2012.10.18.)

PROVOZNÍ ZKUŠENOSTI S NOVÝMI VYZDÍVKAMI LICÍCH PÁNVÍ A KONVERTORU S VYMĚNITELNOU DNOVOU VLOŽKOU V EVRAZ VÍTKOVICE STEEL A.S

Rudolf RECH¹, Karel SOUKAL¹, Dan BRODECKÝ¹, Ján HRICOV²

¹EVRAZ VÍTKOVICE STEEL a.s., Ostrava, Česká republika

²MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s. r.o., Ostrava, Česká republika

Abstrakt

Příspěvek je založen na prezentaci zkušeností s vyzdívkami licích pánví a konvertoru s vyměnitelnou dnovou vložkou v období, kdy byly prováděny zkoušky nových žárovzdorných materiálů v přímé souvislosti se zaváděním nové technologie mimopecního zpracování oceli. Toto období (2006 – 2013) ukazuje nově odzkoušené žařomateriály a údržbu vyzdívek v ocelárně EVRAZ VÍTKOVICE STEEL a.s. až po současnost.

Klíčová slova: Licí pánve, konvertor, víko

1. ÚVOD

Problematika využívání žárovzdorných materiálů v technologii výrobního provozu ocelárny EVRAZ VÍTKOVICE STEEL a.s. je velice rozsáhlá a vychází z požadavků metalurgických a technologických pochodů provozu ocelárny. Jsou to způsoby neustálého hledání ekonomicky nejvýhodnějších technologicko – metalurgických postupů přípravy a zpracování jednotlivých druhů žárovzdorných materiálů.

2. LICÍ PÁNVE

V ocelárně Evraz Vítkovice Steel a.s. se provozují licí pánve o objemu 80 t. Během provozování LP od nabetí ISSM v roce 2006 došlo k postupnému vývoji v oblasti zónových vyzdívek a použitých typů materiálů. Vzhledem ke stále se zvyšující náročnosti výroby vedly tyto změny k prodloužení životnosti vyzdívky, ke zvýšení bezpečnosti práce a snížení provozních nákladů.

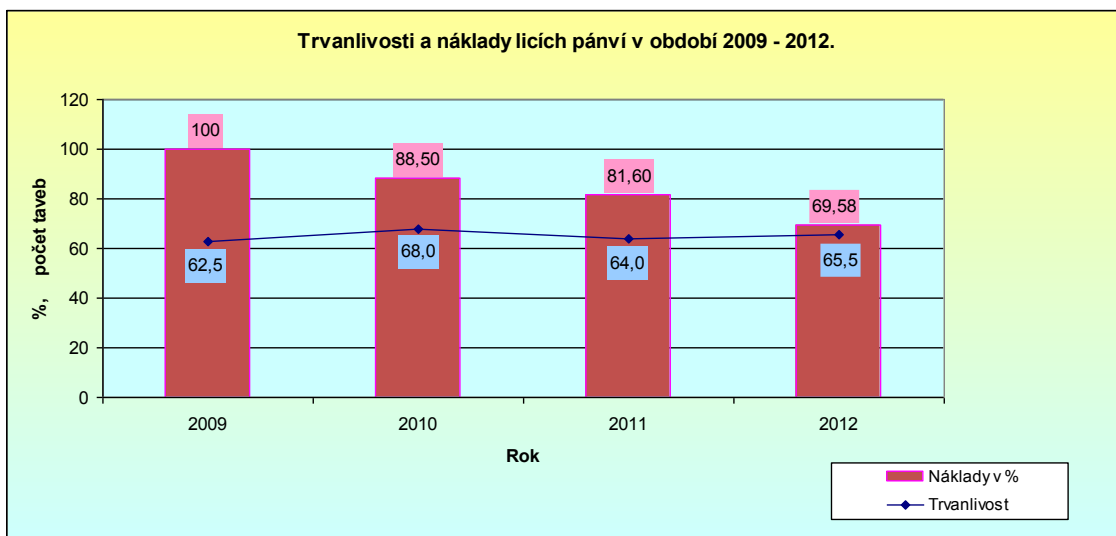
2.1 Pracovní vyzdívka stěn licí pánve

Pracovní vyzdívka stěn licí pánve je tvořena kombinací materiálů AMC a MgO-C – **obr. 1**. V pracovní zóně (PZ) – oblast tekuté oceli – se používá materiál AC 70/5 (klasifikace ČSN EN 12475-4). Strusková a reakční zóna je vyzděná z materiálu MC 95/10 A (klasifikace ČSN EN ISO 10081-3).

Současná skladba pásmové vyzdívky je výsledkem dlouholetého vývoje, který reagoval na postupný vývoj provozních podmínek při adekvátním zabezpečení příznivé ekonomiky provozování – **obr. 2**.

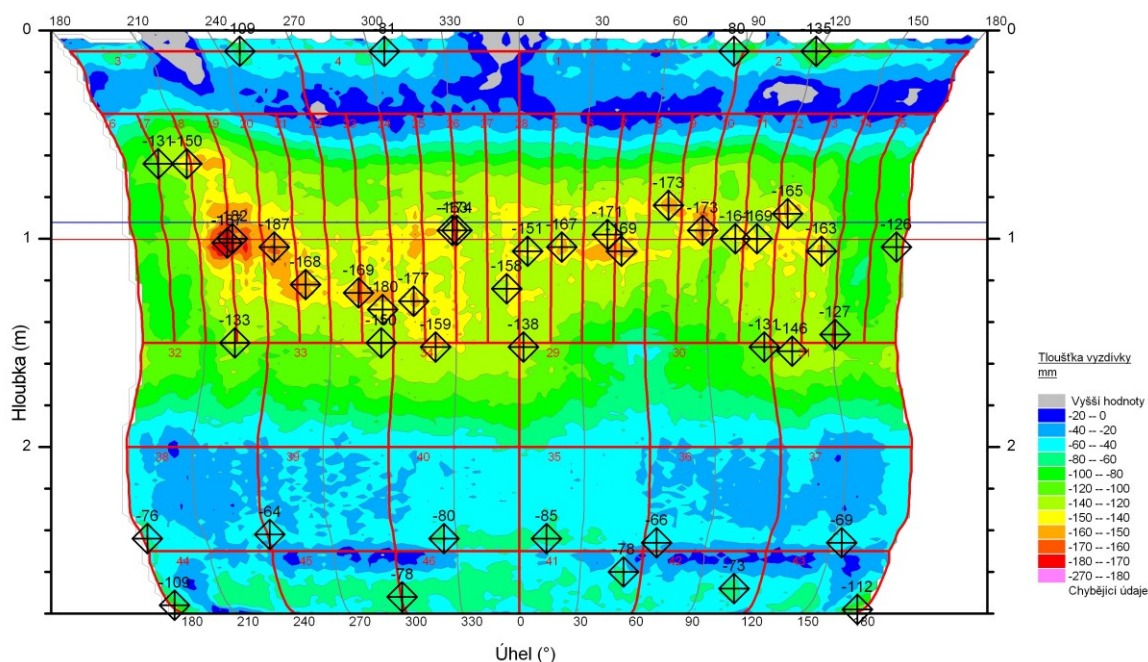


Obr. 1 Skladba vyzdívky licí pánve



Obr. 2 Trvanlivosti a náklady licích pánví

Neopomenutelným prostředkem při postupném zkvalitňování skladby pracovní vyzdívky licí pánve je laserové měření opotřebení vyzdívky – **obr. 3**. Tato měření zjednodušují vyhodnocování úprav vyzdívek a především zaručují plnohodnotnou bezpečnost při zkouškách a běžném provozu v náročných podmínkách ocelárny.



Obr. 3 Měření opotřebení pracovní vyzdívky stěny licí pánve

V průběhu úprav zónových vyzdívek se řešilo několik problémů, které vznikly změnou geometrie nebo typu materiálu vyzdívky. Z technologických důvodů docházelo po odlití tavby k delšímu pobytu zbytku oceli a strusky v LP. Výsledkem byla zvýšená eroze AMC materiálu v prvních dvou řadách vyzdívky. AMC materiál byl v této oblasti nahrazen materiálem MgO-C (tzv. spodní strusková čára). Tímto opatřením se zmíněná oblast stabilizovala a není exponovaným místem, které by bylo důvodem vystavování LP z provozu. Dále během provozování LP docházelo k interakci na hranicích AMC a MgO-C materiálů, jejichž

důsledkem bylo nadměrné opotřebení vyzdívky v této oblasti. Vhodnou úpravou poměru obou materiálů v celém objemu vyzdívky jsme dosáhli snížení interakce a opotřebení vyzdívky.

2.2 Pracovní půda LP

Více než 10 let se na pracovní část pudy LP používal v naší ocelárně žáromonolitický materiál ULCC. V roce 2009 se uskutečnil přechod od betonových púd ke zděným púdám, což vedlo k úspoře keramického materiálu (prodloužení počtu kampaní bez meziopravy), zkrácení času přípravy LP na novou kampaň a snížení spotřeby plynu při ohřevu.

Pracovní půda je zděná ze dvou druhů AMC materiálů – **obr. 1**. Jako základ je vyzdíván standardní materiál AC 70/5 (klasifikace ČSN EN 12475-4). Na dopadovém místě se používá jakostnější materiál AC 70/5 (klasifikace ČSN EN 12475-4, který odolává zvýšené erozi při odpichu oceli. Profil dna licí pánve je upraven do tvaru, který optimalizuje výtok oceli z licí pánve v poslední fázi lití. Kombinací změny DTP při odlévání a tvarové úpravy dna došlo ke zvýšení výtěžku oceli z tavby a snížení ztrát o 20 %.

2.3 Trvalá vyzdívka

Tato část vyzdívky je tvořena tepelně-izolačním vláknitým materiálem, který je instalován na kovovém plášti licí pánve, a tvarovkami, které tvoří druhou vrstvu a chrání izolační desky. Vhodně navržená skladba trvalé vyzdívky snižuje tepelné ztráty licí pánve a také chrání plášť licí pánve před vyšším tepelným zatížením, které by mohlo způsobit trvalé plastické deformace pláště licí pánve. V současnosti se používají tepelně-izolační vláknité materiály s tepelnou vodivostí pod $0,1 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. Na tyto izolace se přizdívají šamotové tvarovky. Tyto tvarovky se vyzdívají ve dvou vrstvách z důvodu vyšší bezpečnosti proti průniku oceli.

Při zpracování tavby na sekundární metalurgii (pánvová pec - LF, ISSM) za vyšších teplot docházelo u šamotových tvarovek v oblasti hladiny kovu k jejich tepelné destrukci. Po kampani LP bylo nutno tyto tvarovky nahradit novými. To se negativně projevilo do ekonomiky provozování vyzdívek LP. Tvarovky z tohoto materiálu byly nahrazeny tvarovkami z hlinitokřemičitých materiálů s vyšším obsahem Al_2O_3 , které mají vyšší žárovzdornost a únosnost v žáru oproti šamotovým stavivům. Tímto opatřením se podařilo prodloužit životnost trvalé vyzdívky LP.

2.4 Víka LP

Pro zamezení úniku tepla z tavby radiací při převozech mezi jednotlivými zařízeními se používají víka LP. Jejich vyzdívka prošla od roku 2006 nemalým vývojem. Po nájedu ISSM se používala vyzdívka, která byla kompletně zhotovená z žárovzdorného vláknitého materiálu.

Po dosednutí víka na LP docházelo vlivem nečistot na límcu LP k vytrhávání vyzdívky a povolení její vazby. Čištění límců LP není z technologického hlediska při způsobu výroby v naší ocelárně možné a proto se vyzdívka z vláknitého materiálu nahradila žárovzdorným monolitickým betonem. Ten odolával otěru, ale v několika případech došlo k jeho odpadnutí do taveniny nebo do pracovního prostoru odlévárny. Tyto stavy byly z bezpečnostního a metalurgického pohledu nepřijatelné. Proto se provedla další úprava konstrukce vyzdívky víka LP. Ta spočívala v kombinaci obou dříve používaných žárovzdorných materiálů. Proti otěru se po vnějším obvodu vyzdívky víka použil žárovzdorný beton. Pro odlehčení celé konstrukce a zamezení odpadávání vyzdívky se do střední části použil žárovzdorný vláknitý materiál. Tato úprava prodloužila životnost vyzdívky vík o 100 %.

2.5 Víka ohřevů LP

Jejich vyzdívka byla původně navržena a realizována z modulů z tepelně-izolačního vláknitého materiálu. Po krátké době provozu došlo vlivem otěru límců LP s okraji vík k uvolnění modulů a postupné destrukci vyzdívky víka. Problém byl umocněn poškozením kovové konstrukce víka vlivem vyšší teploty, která na ní působila přes poškozenou vyzdívku. Úpravou konstrukce vyzdívky se problém vyřešil. Moduly byly nahrazeny rohožemi, které se při zdění překládají a fixují k víku pomocí kovových kotev. Dále bylo pro větší tepelnou ochranu kovové konstrukce jako mezistupeň použito dvou vrstev tenčí rohože.

Jelikož použitý izolační materiál na vyzdívku vík podléhá při teplotách nad 1 000°C smrštění, docházelo k obnažování a utavování horních částí kovových kotev, jejímž důsledkem bylo povolení vazby vyzdívky víka v postižené oblasti. Vhodnou konstrukční úpravou kotev (nahrazení jednoho trnu v kotvě dvěma) a povrchovou úpravou kotev (žárovzdorný nátěr) se tento problém vyřešil a životnost vyzdívky víka se prodloužila.

3. KONVERTORY

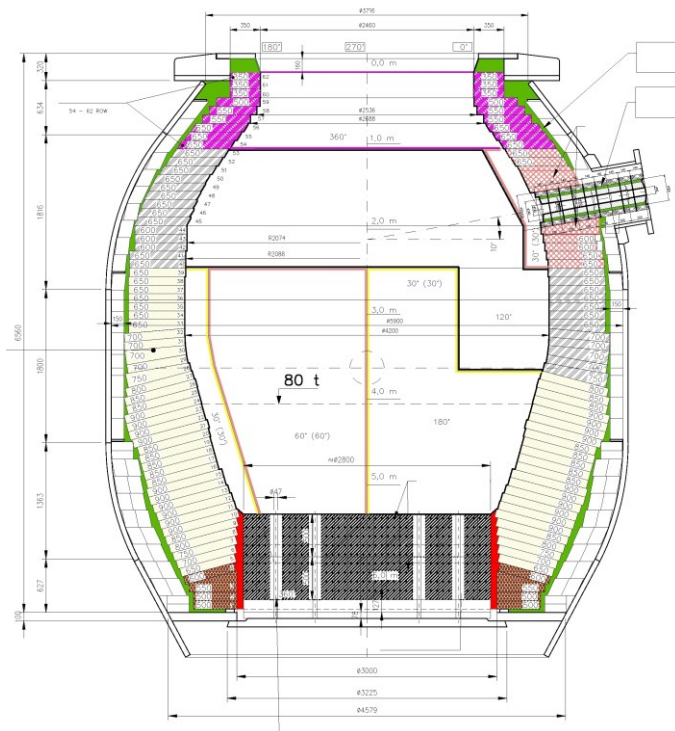
Konvertor K1 představuje spodem dmýchaný konvertor (provoz od roku 1981) s 14 tryskami ve vyměnitelné dnové vložce a dvěma šikmými keramickými tryskami umístěnými v horním kuželi nádoby konvertoru, které slouží k dospalování vzniklého CO syntetickým vzduchem. Spodní dvouplášťové trysky slouží pro přívod plyných médií a prachového vápna dnem konvertoru.

Konvertor K2 má kombinovaný způsob dmýhání (provoz od roku 1991) s 12 tryskami ve vyměnitelné dnové vložce a jednu horní mobilní dospalovací trysku, která slouží k dospalování CO syntetickým vzduchem. Tryska je koncipovaná jako tříťvorová vodou chlazená s odklonem dýz od svislé osy 13°.

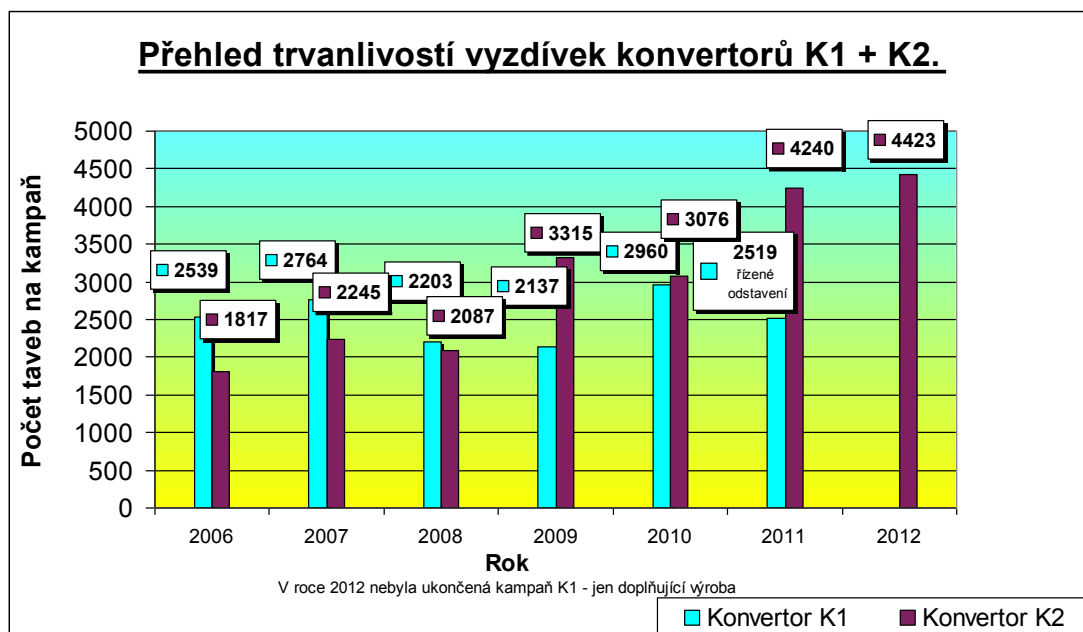
Vzhledem ke konstrukčnímu řešení konvertoru s vyměnitelnou dnovou vložkou (**obr. 4**) je dosti náročné docílit optimální náklady na údržbu vyzdívky během kampaně a její maximální využití v rámci bezpečného provozování.

Do roku 2009 jsme dosahovali max. trvanlivosti na vyzdívku cca 3000 taveb. Velký zlom v trvanlivostech nastal v závěru roku 2009, kdy se započal zkoušet jiný způsob údržby vyzdívky pomocí „coatingu“.

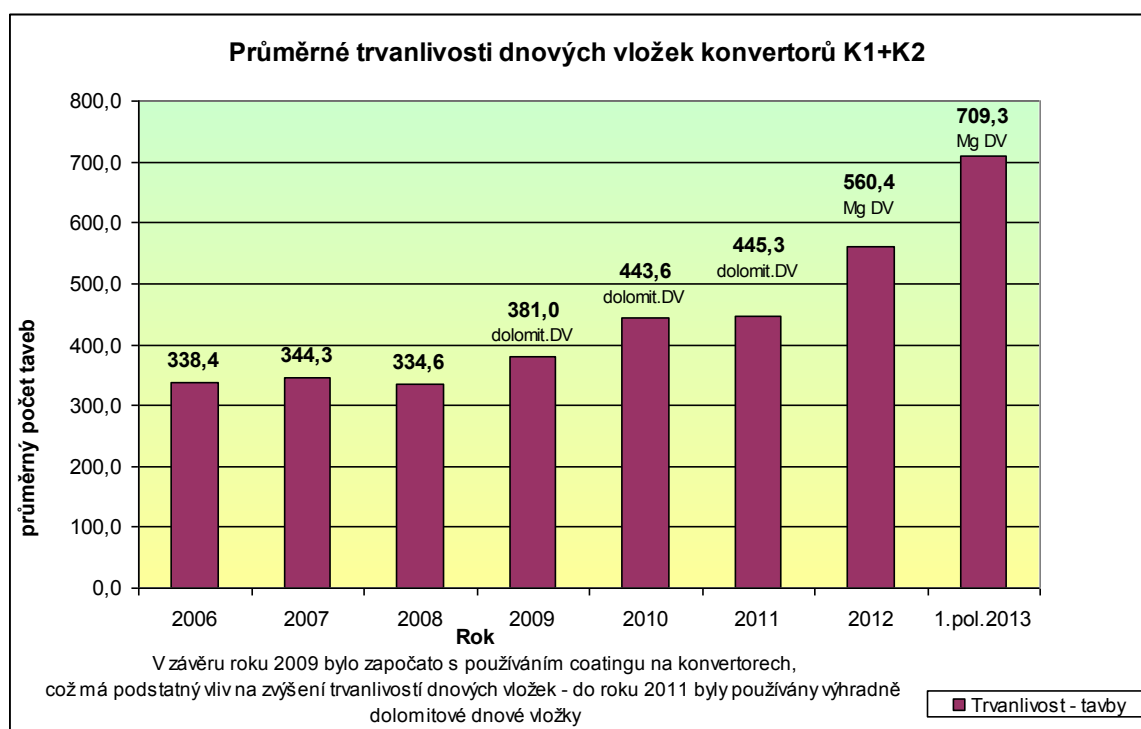
Dostí značná spotřeba torkretačních a zálivkových hmot se nahradila použitím drceného magnezitového materiálu, který se již přidává do vsázky během zpracování. Pro tuto aplikaci se používají vlastní drcené zbytky vyzdívek konvertorů, dnových vložek a licích pánví. Zbývající množství magnezitových hmot se nakupuje. Údržba vyzdívky tímto způsobem neměla jen pozitivní vliv na zvýšení trvanlivosti konvertoru (**obr. 5**), ale i na zvýšení trvanlivosti dnové vložky (**obr. 6**).



Obr. 4 Pásmová vyzdívka konvertoru včetně vyměnitelného dna



Obr. 5 Trvanlivosti vyzdívek konvertorů



Obr. 6 Průměrné trvanlivosti dnových vložek konvertorů

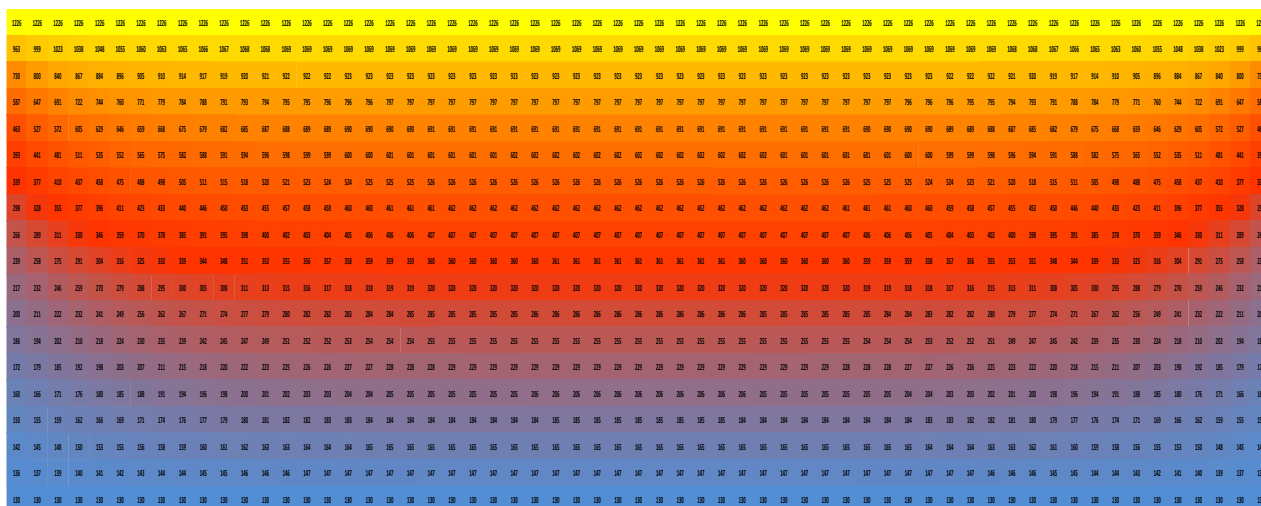
Během roku 2012 jsme vzhledem k nestabilní výrobě začali používat dnové vložky z MgO-C materiálů, které se vyznačují vyšší trvanlivostí, ale cena je podstatně vyšší než dolomit. Proto se přistoupilo i k řešení ocelových rozvodů médií, které ovlivňují konečnou trvanlivost keramického materiálu. Na ocelové rozvody dmyšných trysek jsme použili jiný materiál, který se ve velké míře osvědčil, ale museli jsme rovněž použít vysoce kvalitního materiálu na spodní ocelové rozvody, kde docházelo k opotřebení a následnému propálení pláště trubek, které byly tímto nefunkční. V současnosti probíhají testy s těmito novými ocelovými rozvody,

kde jsme prozatím dosáhli rekordního počtu 869 taveb. Dle úbytku opotřebení zdiva dnové vložky můžeme s jistotou říci, že současný keramický materiál může dosahovat trvanlivosti až k hranici 1200 taveb.

Klademe velký důraz na zvýšení trvanlivosti ocelových rozvodů DV, aby i ekonomické výsledky této části vyzdívky byly co nejnižší, neboť při každé výměně dnové vložky se musí konvertor vytavit, aby se dala dnová vložka vysunout. To přináší zbytečné navýšení nákladů na opětovné pokrytí vyzdívky vrstvou Mg hmoty – proto čím méně výměn tím nižší náklady.

V letošním roce jsme započali používat na coating dolomitické vápno, což se projevuje ve snížených nákladech nejen ve spotřebě hmot, ale i v úspoře na vyrovnání tepelné bilance (rozdílným poměrem surového železa a šrotu).

Ve spolupráci s VŠB Technická univerzita Ostrava jsme testovali průběh ohřevu dnové vložky pomocí instalovaných termočlánků. Rozložení teplot řezem dna konvertoru při jeho maximální entalpii (7,67 h = 7h:40min) – **obr. 7**.

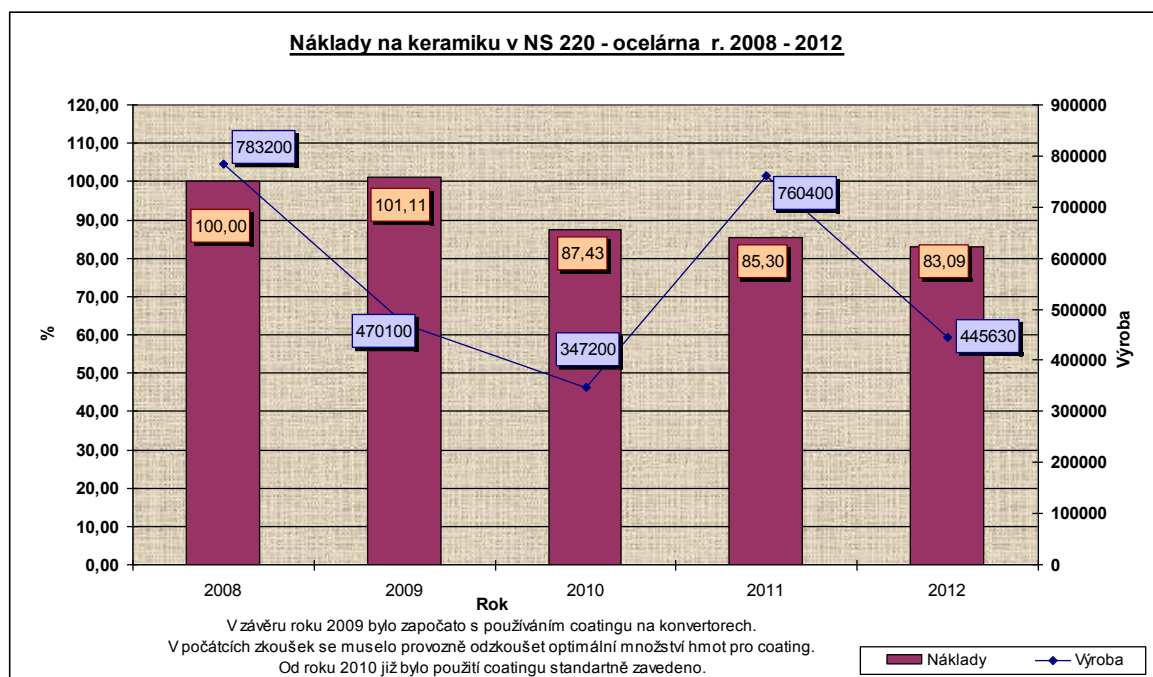


Obr. 7 Rozložení teplot ve dně konvertoru (podélný řez)

4. ZÁVĚR

Jak je patrné z **obr. 8**, postupnými kroky se nám daří snižovat náklady na keramiku v ocelárně i přes nelehké recesní období, které postihlo celosvětově ocelářství a poptávku oceli na trhu.

Naším úkolem do budoucna je zachovat celkové náklady minimálně na stejné úrovni, případně dalšími kroky úprav a opatření docílit další snížení celkových nákladů na keramiku.



Obr. 8 Náklady na keramiku

LITERATURA

- [1] RECH, R., ČÁMEK, L. PROBLEMATIKA VYUŽÍVÁNÍ ŽÁRUVZDORNÝCH MATERIÁLŮ SOUVISEJÍCÍCH S OBLASTÍ MIMOPECNÍHO ZPRACOVÁNÍ A JEJICH VLIV NA KVALITU VYRÁBĚNÉ OCELI.
- [2] Hutní keramika. Rožnov pod Radhoštěm. 2007.
- [3] SOUKAL, K. APLIKACE KERAMICKÝCH MATERIÁLŮ V OCELÁŘSKÝCH PÁNVÍCH. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava. Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství, Bakalářská práce, 2012
- [4] Rech R, International conference: Usage of refractories on EVRAZ Steel Production Plants. Nižnyj Tagil, červen 2012

OHŘÍVAČE VYSOKOPECNÍHO VĚTRU (OV) – DINAS V OV A JEHO VÝVOJOVÝ TREND

Miroslav KOTOUČEK ^a, Karel LANG ^a, Leopold VAŠICA ^a, Stanislav DVOŘÁK ^a,
Lenka NEVRÍVOVÁ ^b,

a - P-D Refractories CZ a.s., Velké Opatovice, Česká republika, kotoucek@mslz.cz

b - VUT FAST, Ústav THD, Brno, Česká republika, nevrvova.l@fce.vutbr.cz

Abstrakt

Jak rostly rozměry vysokých pecí, tak se zvyšovaly požadavky na množství, teplotu i tlak dmýchaného horkého větru. S tím šly ruku v ruce i rostoucí požadavky na provoz a spolehlivost ohřívачů vysokopecního větru. Jelikož původní ohřívачe typu Cowper brzy dosáhly svých limitů teploty i tlaku větru, byly postupně nahrazovány tzv. vysokoteplotními ohřívачi nových konstrukcí.

Možnosti moderních ohřívачů větru se v první řadě odvíjejí od kvality použitých žárovzdorných materiálů a od způsobu a přesnosti sestavení teplojemné výplně. Z toho důvodu byla a je věnována maximální pozornost vývoji materiálů zejména pro ty části vyzdívky ohřívачů, které jsou trvale namáhány velkým mechanickým napětím za současného působení vysokých teplot. Výběr vhodných žáromateriálů je zaměřen především na vysokou rozměrovou přesnost, stabilní vysoké jakostní parametry a příznivou cenu spojenou s dodavatelskou spolehlivostí.

Jedna ze základních charakteristik žárovzdorných materiálů, které jsou používány pro stavbu tepelných agregátů s vysokým tepelným zatížením a s dlouhou životností, je chování při působení vysokých teplot a statického zatížení. Článek se proto také zabývá i plastickou deformací (tečením) těchto materiálů v žáru. Dále jsou v článku diskutovány možné trendy ve vývoji žáromateriálů určených pro vyzdívky ohřívачů větru.

Klíčová slova: ohřívач vysokopecního větru, dinas, žáromateriály, vývoj

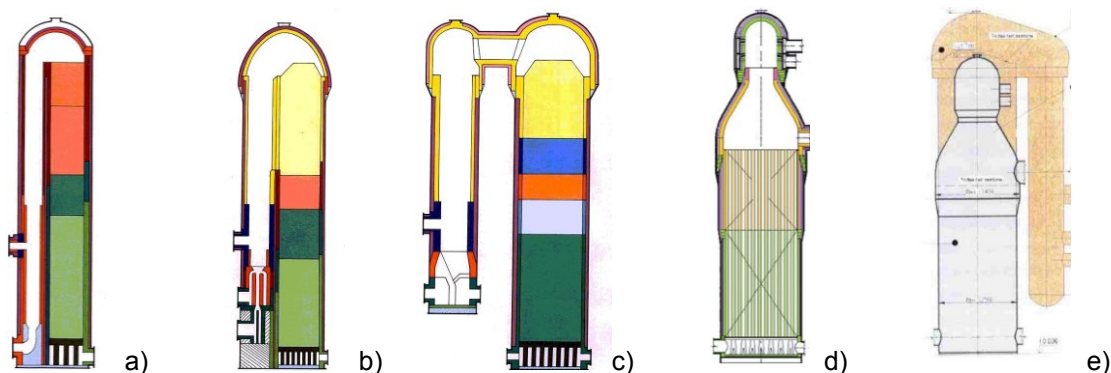
1. ÚVOD

Neoddělitelnou součástí vysokých pecí (VP) jsou ohřívачe větru (OV) pro předehřev vzduchu foukaného do vysoké pece. Jak rostly rozměry vysokých pecí, tak se zvyšovaly požadavky na množství, teplotu i tlak dmýchaného horkého větru. S tím šly samozřejmě ruku v ruce i rostoucí požadavky na provoz a spolehlivost ohřívачů vysokopecního větru. Jelikož původní ohřívачe typu Cowper brzy dosáhly svých limitů teploty i tlaku větru, byly postupně nahrazovány tzv. vysokoteplotními ohřívачi nových konstrukcí.

Konvenční OV Cowperova typu byly s vnitřní spalovací šachtou, tj. spalovací šachta byla umístěna spolu s teplojemnou výplní (mřížovím) v jednom válcovém plášti. Za provozu při příliš vysokých teplotách docházelo u těchto OV v důsledku velkých teplotních rozdílů mezi spalovací šachtou a mřížovím k narušení struktury zdiva a ke vzniku krátkých spojení mezi mřížovím a spalovací šachtou v její dolní části, k deformacím spalovací šachty a k posunům obezdívky horkovětrné odbočky. To vše vždy vedlo k nutnosti snížení provozních teplot v OV a ke zkrácení jejich životnosti.

Prvními opatřeními pro odstranění uvedených problémů bylo vytvoření podmínek pro volnou vertikální dilataci obvodového zdiva a spalovací šachty rekonstrukcí kopule OV na tzv. hřibovitý typ a oddělením dělicí stěny spalovací šachty od obvodového zdiva. Následujícími kroky byly vícevrstvá konstrukce dělicí stěny spalovací šachty minimalizující ohýbání a naklánění šachty směrem k mřížoví, provedení kopule a horních částí spalovací šachty z dinasu a zavedení vertikálně spalujících keramických hořáků. Zcela zásadním krokem byla pak konstrukce OV s vnější spalovací šachtou.

Provedené změny umožnily zvýšit provozní teplotu pod kopulí OV z 1250 °C (Cowperův typ) až na 1500 °C, v případě OV s vnější spalovací šachtou až na 1600 °C. Posledním vývojovým typem ohřívače větru je OV bez spalovací šachty (konstrukce typu "Kalugin"), vyznačující se umístěním hořáku a spalovací komory v horní části (kopuli) ohřívače. Toto uspořádání zajišťuje efektivnější rozdělení spalin v teplojemné výplni, čímž umožňuje dosáhnout provozní teploty vysokopečního větru až 1400 °C, případně ušetřit při výstavbě OV 30 i více procent žárovzdorného materiálu v porovnání s výstavbou OV starších typů.



Obr.1 Různé typy ohřívačů vysokopečního větru

a) typ Cowper, b) OV s přesazenou (hřibovitou) kopulí, c) OV s vnější spalovací šachtou, d) typ Kalugin, e) porovnání velikosti ohřívače s vnější spalovací šachtou a OV typu Kalugin

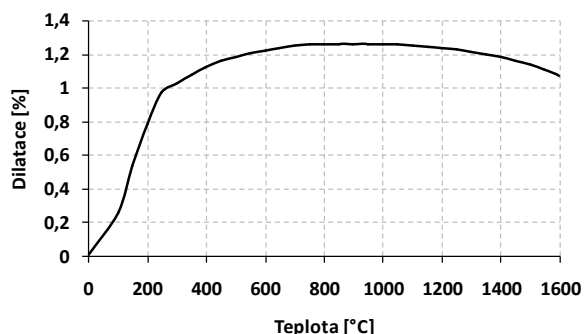
Možnosti moderních OV se v první řadě odvíjejí od kvality použitých žárovzdorných materiálů a od způsobu a přesnosti sestavení teplojemné výplně. Z tohoto důvodu byla a je maximální pozornost věnována vývoji materiálů zejména pro ty části vyzdívky OV, které jsou trvale namáhány velkým mechanickým napětím za současného působení vysokých teplot.

Pokud teploty dmýchaného větru nepřekračovaly 900 °C, bez problémů ve vyzdívkách OV sloužily tradiční šamotové výrobky. Nad touto zdánlivě nízkou teplotní hranicí se podmínky služby některých částí vyzdívek OV zhoršily natolik, že šamotové výrobky v nich musely být nahrazeny nejprve výrobky vysocehlinitými a posléze výrobky dinasovými.

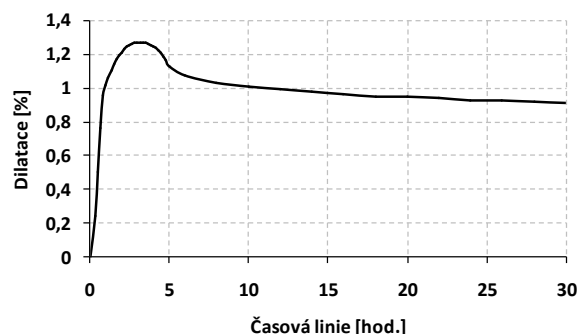
2. DINAS V OV

Zavedení vysokotlakého dmýhání větru s velmi vysokou teplotou uvedlo žárovzdorné materiály ve vyzdívkách OV do podmínek, které např. v případě teplojemné výplně si bylo dříve jen velmi těžko představit. Vznikající poruchy, silně ovlivňující provozuschopnost OV, byly zcela odstraněny až použitím dinasů.

Dnes se dinasové výrobky běžně používají ve všech vysokoteplotních částech vyzdívek OV, konkrétně ve spalovací šachtě, v kopuli a v horních vrstvách mřížoví. Jednou z charakteristických vlastností dinasů je sice jeho extrémně velká teplotní roztažnost v teplotní oblasti do 300 °C, daná modifikačními přeměnami cristobalitu a tridymitu, avšak při teplotách nad uvedenou hranicí, bezpečně pak nad 400 °C, již dinasové výrobky naopak vykazují jen velmi nepatrnou roztažnost (viz **obr. 2**), což je činí prakticky netečnými k početným změnám teploty, ke kterým během provozu OV dochází. Kromě toho je pro dinas příznačná vysoká mechanická pevnost až do velmi vysokých teplot a zejména vysoká odolnost proti tečení v žáru pod zatížením (**obr. 3**).



Obr. 2 Dilatační chování dinasů v předpokládané teplotní oblasti použití v ohřívači větru; ČSN EN ISO 1893, rychlost ohřevu 5 K/min, zatížení vzorku 0,2 MPa



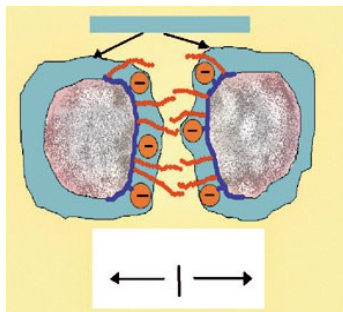
Obr. 3 Charakter deformace dinasů tečením v žáru pod zatížením; ČSN EN 993-9, teplota 1500 °C, zatížení vzorku 0,2 MPa

Určitým nedostatkem dinasů z hlediska účelu OV je jeho nižší tepelná kapacita, daná jeho poměrně nízkou objemovou hmotností. Proto rozsah použití dinasů v teplojemné výplni OV se zpravidla omezuje jen na oblast exponovanou nejvyššími teplotami a pod touto oblastí se již používají výrobky vysocehlinité. Jejich výběr, stejně jako rozsah nad nimi použitého dinasů, se řídí opět odolností výrobků proti tečení pod tlakem při předpokládaných teplotách v mřížoví.

3. VÝVOJOVÝ TREND DINASU PRO OV

Zmíněný handicap nižší objemové hmotnosti dinasů ve srovnání s žárovzdornými výrobky jiných druhů sice není a nikdy nebude možné zcela odstranit, přesto – i když se nejedná o zásadní nedostatek – jsou hledány cesty jak jej zmírnit.

Stávajícím technologickým postupem lze dinas s objemovou hmotností vyšší než 1850 kg/m³ již jen obtížně vyrobit. Jsou proto hledány a testovány nové vhodnější postupy výroby a nové typy surovin, s jejichž pomocí by bylo možné dosáhnout podstatně vyššího stupně zhutnění. Dále je prováděna optimalizace křivky zrnitosti pracovní směsi, neboť jednou z podmínek pro dosažení nízké pórovitosti a tím vyšší objemové hmotnosti vypáleného materiálu je dosažení nízké pórovitosti již v syrovém stavu. Bylo např. zjištěno, že granulometrické složení hmoty v submikronové oblasti je možné účinně ovlivňovat použitím křemičitých úletů, jejichž velikost částic se pohybuje mezi 0,1 až 0,2 μm. Velmi pozitivních výsledků bylo též dosaženo se zavedením průmyslových plastifikátorů na bázi polykarboxylátetherů. Tato přísada obsahuje kromě hlavního řetězce molekul celou řadu řetězců bočních a právě tyto boční řetězce zajišťují ztekucující účinek a prodloužený dispergační efekt s redukcí dávkované záměsové vody (**obr. 4**). Dalších výrazných pokroků bylo dosaženo použitím vápenatých solí, které působí na pracovní hmotu jako velmi razantní plastifikační činidlo.

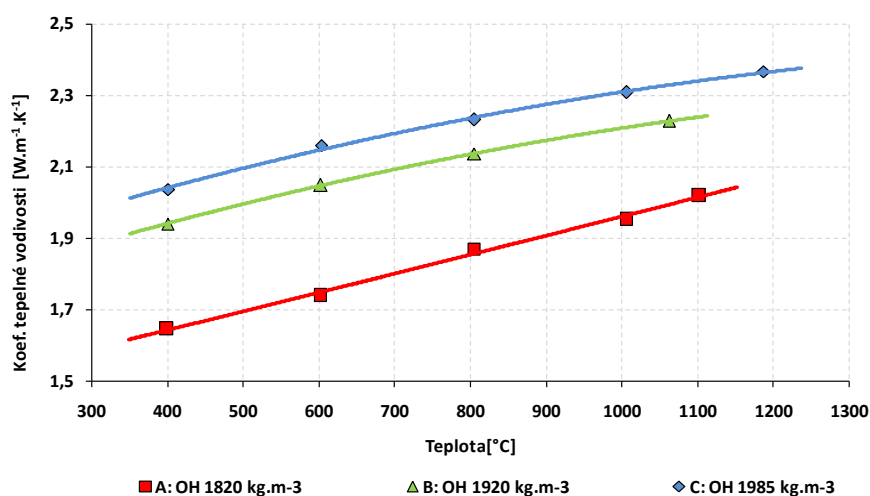


Obr.4 Princip působení superplastifikátorů na bázi modifikovaného polykarboxyletheru

Na základě těchto poznatků jsou již vyráběny nové typy dinasů s hutnou kompaktní strukturou vykazující nejen výrazně vyšší objemové hmotnosti (viz **Tab. 1**), ale v porovnání s dosud běžně vyráběným dinasem také lepší tepelné vlastnosti. Jak známo, na stupni zhutnění, respektive na hodnotě zdánlivé pórovitosti vypáleného materiálu je závislá i tepelná vodivost dinasů. Lze pak mít za to, že při aplikaci nových typů dinasů v OV díky jejich vyšší objemové hmotnosti a vyšší tepelné vodivosti bude docházet k intenzivnější a účinnější výměně tepla přes teplosměnné mřížoví do ohřívaného média, což je jedna z cest ke zvýšení efektivnosti těchto agregátů.

Tab.1 Základní parametry nových typů dinasů B,C v porovnání s běžným typem A

Znak jakosti		A	B	C
Objemová	kg.m ⁻³	1820	1920	1985
Zdánlivá	%	21,0	16,6	13,3
Pevnost v tlaku	MPa	45	85	105
Chemické složení				
SiO ₂	%	96,00	96,00	96,00
Al ₂ O ₃	%	0,46	0,45	0,48
Fe ₂ O ₃	%	0,55	0,55	0,60
CaO	%	2,60	2,70	2,60
TiO ₂	%	0,03	0,03	0,03
K ₂ O	%	0,11	0,11	0,11
Na ₂ O	%	0,06	0,06	0,06
Mineralogické složení				
Zbytkový křemen	%	0,3	0,3	0,4
Cristobalit	%	37	34	34
Tridymit	%	43	46	46



Obr. 5 Porovnání tepelné vodivosti nových typů dinasů (B,C) a běžného typu (A); ČSN EN 993-15

Výsledky prováděných zkoušek, znázorněné graficky na obrázku 5, jednoznačně potvrzují teoretické předpoklady závislosti hodnoty součinitele tepelné vodivosti na dosažené objemové hmotnosti materiálu (a zároveň i na teplotě prostředí).

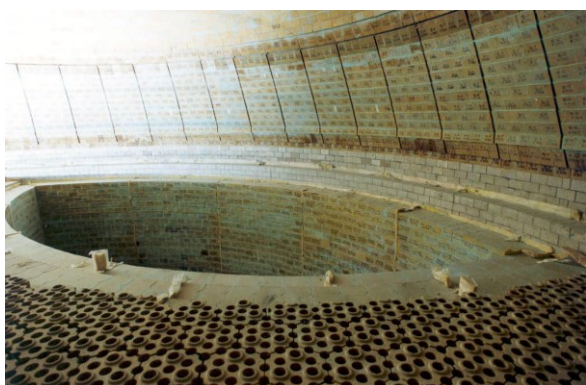
4. TEPLOJEMNÁ VÝPLŇ OV - MŘÍŽOVÍ

Zvýšení efektivity práce OV lze dosáhnout i určitými změnami konstrukce OV v oblasti teplojemné výplně (mřížoví). Tyto změny jsou založeny na změně tvaru teplojemných tvarovek. V současné době se běžně používají šestihránné víceotvorové tvarovky, známé pod ozn. Freyn, s kruhovými otvory o průměru zpravidla nepřevyšujícím 40 mm a s výhřevnou, resp. teplosměnnou plochou min. 30 m²/m³ objemu mřížoví.

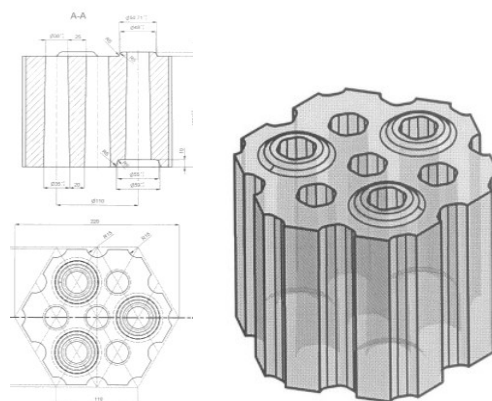
Teplosměnná plocha připadající na jednotku objemu (m³) mřížoví je jednou z hlavních charakteristik mřížoví OV. Přetrvávající snahy o její zvětšování již vedly k výrobě tvarovek uvedeného typu s otvory podstatně menšího průměru, např. 30 mm (s výslednou teplosměnnou plochou kolem 40 až 45 m²/m³), nebo dokonce jen 25 mm pro dosažení výhřevné plochy nad 50 m²/m³. Aplikace tvarovek s tak velkými teplosměnnými plochami umožňuje zvýšit kapacitu již vybudovaných OV, příp. budovat OV menších rozměrů.

Z výsledků řady studií i z praxe je dále známo, že na výměně tepla v mřížoví OV se podílí pouze část materiálu tvarovek, a to do hloubky jen několika milimetrů od povrchu kanálků, kterými proudí střídavě horké spaliny a ohříváný vzduch mřížovím. Tloušťka této tepelně aktivní vrstvy materiálu se přitom se zkracováním časového cyklu vytápění a sfoukávání OV dále zmenšuje, zatímco zbývající hmota tvarovky, která zůstává nečinnou, se zvětšuje. Jsou proto snahy zmenšovat i tloušťku stěny (přepážek) mezi kanálky, nezdědka i na dnes technicky únosné hodnoty blíží se k 10 mm.

Kromě změn průměru otvorů resp. kanálků v teplojemných tvarovkách jsou ke zvýšení tepelně-technické účinnosti mřížoví používána i další opatření. Jsou to především úpravy tvaru kanálků podporující turbulentní proudění plynů mřížovím a tím přispívající k lepší výměně tepla ve výplni OV. K těm např. patří i náhlá změna průměru kanálku (**obr. 7**), vyvolávající sice jen místní turbulenci proudění, přesto však vedoucí k značnému zvýšení koeficientu výměny tepla v mřížoví. Jiným řešením je šestihránný průřez kanálků s optimalizovaným poměrem hydraulického průměru kanálků a ekvivalentní tloušťky stěny mezi nimi, tj. poměrem mezi výhřevnou plochou a hmotou mřížoví.



Obr. 6 Pohled na teplosměnnou výplň OV z vnitřní spalovací šachty



Obr. 7 Příklad tvaru teplosměnné výplně OV s měnícím se průměrem kanálku

Co se týče poruch mřížoví OV, tyto nemusí souviset jen s neadekvátními vlastnostmi použitých tvarovek, ale mohou vyplývat i z nevhodného tvaru a ze způsobu uložení tvarovek ve výplni.

Pokud jde o způsob sezdění výplně, tj. o způsob ukládání jednotlivých tvarovek, může být praktikováno ukládání do samostatných a neprovázaných volně dilatujících sloupců, nebo ukládání provázané

s překládáním tvarovek předchozí vrstvy tvarovkami vrstvy následující. Praxe ukazuje, že druhý z uvedených způsobů vede k daleko větší stabilitě mřížoví, které se pak i v případě selhání materiálu tolik nedeformuje a nekrouťí. Lze říci, že v minulosti převládající první způsob ukládání tvarovek do samostatných sloupců, vynucený především problematickou rozměrovou přesností z plastiky vyráběných tvarovek, se dnes již nepoužívá. V současné době již není problém zajistit i velmi přísné rozměrové tolerance teplosměnných tvarovek. Tvarovky jsou vyráběny lisováním ze suché drolenky a po výpalu tříděny do daných rozměrových tříd s tolerancí obvykle $\pm 0,5$ mm. Výška tvarovky bývá měřena na 3 místech, přičemž rozdíl mezi jednotlivými měřeními běžně nepřevyšuje 0,5 mm. Takto vysoká přesnost výrobků je zárukou bezproblémové instalace i následné dlouhodobé služby teplojemné vyzdívky.

Rozložení tlaku, který je vlastně hnací silou procesu tečení materiálu zdíva, na jednotlivé tvarovky a jejich části je u provázaného uložení daleko rovnoměrnější, což za předpokladu uniformity teploty ve vrstvě znamená také rovnoměrnější deformaci jednotlivých tvarovek, rovnoměrnější pokles celé vrstvy, menší změny lokální průchodnosti vrstvy pro plyny a tím i menší rozdíly teploty ve vrstvě.

V nízkoteplotních oblastech teplojemné výplně deformace mřížoví tečením materiálu již nehrozí. Šamotové mřížáky jsou zde však nerovnoměrně zatěžovány tíhou nadložních částí výplně, zejména v případě posunů v konstrukci litinových nosných roštů, což může mít za následek vznik trhlin na kamenech i jejich úplné rozlomení. Z tohoto důvodu jsou často první vrstvy výplně prováděny z výrobků s extrémně vysokou mechanickou pevností. Přednost se přitom dává výrobkům s vysokým obsahem Al_2O_3 , resp. s nízkým obsahem cristobalitu, který bývá součástí struktury obvyklých výrobků šamotových. Příčinou je rozsáhlé a neustálé kolísání teploty těsně nad hranicí 200 °C, vyvolávající značné a velmi prudké reverzibilní změny objemu materiálů obsahujících cristobalit, které mají za následek křehnutí struktury výrobků a ztrátu jejich mechanické pevnosti.

5. ZÁVĚR

První skutečně novodobé OV, navržené a postavené v druhé polovině minulého století v období již silné orientace na zvyšování teploty dmýchaného vysokopecního větru a na práci vysokých pecí se zvýšeným tlakem pod sazebnou, byly odstavovány po 7 až 10 letech provozu. Pravidlem se stala analýza změn vlastností použitých žárovzdorných výrobků, jejichž výsledky spolu se zkušenostmi s předchozím provozem OV pak sloužily k dalšímu vylepšování konstrukce nových či rekonstruovaných zařízení. I když přínosy nových opatření k prodloužení životnosti OV nemohly být předem nijak zvlášť exaktně prozkoumány, bezporuchový provoz mnoha současných OV po dobu 20 i více let je dokládá dostatečně a ukazuje, že při dostatečně přesném stanovení rozložení a fluktuace teplot po výšce OV a při použití žárovzdorných výrobků s odpovídající odolností proti tečení a proti změnám teploty je možné, aby OV dosáhly životnosti odpovídající i dvojnásobné životnosti samotné VP.

Od aplikace nově vyvinutých typů dinasů pak lze díky jejich vyšším tepelně technickým vlastnostem očekávat zefektivnění provozu OV v důsledku větší akumulace tepla při zachování stejného objemu zdíva a rychlejší výměny tepla mezi proudícími médii a materiálem mřížoví. Vzhledem k vyšším mechanickým parametrům nových dinasových výrobků lze očekávat i vyšší konstrukční stabilitu vyzdívky.

PODĚKOVÁNÍ

Příspěvek vznikl za podpory projektu TAČR TA02010084 - Vývoj dinasů s optimalizovanými vlastnostmi s důrazem na odolnost proti korozi.

LITERATURA

- [1] Staroň J., Tomšů F.: Žiarovzdorné materiály, výroba, vlastnosti a použitie. Alfa, Bratislava 2000.
- [2] Fröhlichová M., Tatič M.: Žiaruvzdorné materiály v čiernej metalurgii, 2012. ISBN:978-80-553-0906-4.
- [3] Lang K.: High - Duty Silica Refractories for Glass Melting Furnaces; Glass 72; Nr. 7; p 254.
- [4] Brunk F.: Silica bricks for modern coke oven batteries. Cokemaking International, 2/2000, str.37-40.
- [5] Kotouček M, Lang K., Vašica L.: Hutný dinas – vlastnosti, výroba a perspektivy, Žiaromateriály, pece a tepelné izolácie 2012, p.71-76.
- [6] Vašica L.: Výzkum vlastností tuzemských alumosilikátových žiarovzdorných materiálů pro ohříváče větru. Závěrečná zpráva výzkumného úkolu, VZÚ NHKG Ostrava, 1978.
- [7] Lang K.: Velmi hutný dinas – problémy a řešení, XVI. Mezinárodní konference o žiarovzdorných materiálech, 2008.

APLIKACE NETVAROVÝCH ŽÁROVZDORNÝCH MATERIÁLŮ NA BÁZI UHLÍKU V PODMÍNKÁCH SLÉVÁRNY TAFONCO – KOPŘIVNICE

Ladislav KUČERA

Seeif Ceramic, a.s., Rájec – Jestřebí, Česká republika, ladislav.kucera@ceramic.cz

Abstrakt

V referátu je uvedeno praktické použití uhlíkového netvarového žárovzdorného materiálu pro výdusku elektroobloukové a kupolové pece pro tavení tvárné litiny v podmínkách slévárny TAFONCO KOPŘIVNICE.

Klíčová slova: dusání, EOP, kuplovna, torkretace, výduska

1. ÚVOD

Žlabová dusací hmota UŽH je netvarový žárovzdorný materiál na bázi vysocehlinitého, event. korundového kameniva, různých forem uhlíku, siliciumkarbidu a pojeným pojivovým systémem keramický jíl - reaktoplast. Keramický jíl má široký interval slinutí. Žlabová hmota je vyráběna pro aplikaci strojním nebo ručním dusáním a torkretací, zejména hlavního a pomocných vysokopecních žlabů, ale jak se ukázalo, nachází i uplatnění ve slévárně při výrobě tvárné litiny na elektroobloukových a kupolních pecích. Je v zásadě vyráběna ve třech jakostech, lišících se svou reglementovanou granulometrií, a to UŽH-T (0-8 mm, aplikace torkretem), UŽH-D (0-6 mm, aplikace dusáním) a UŽH-J (0-1 mm, správková a výmazová hmota), používaná zejména pro vymazávání malých licích pánví.

2. VLASTNOSTI ŽÁROVZDORNÉHO MATERIÁLU

Fyzikálně-chemické vlastnosti, kterých materiál dosahuje, jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. 1 Fyzikálně-chemické vlastnosti žárovzdorného materiálu

			UŽH-D	UŽH-T	UŽH-J
Klasifikační teplota	°C		1650	1650	1650
Materiálová báze			Pálený lupek, mullit, korund, uhlík, SiC		
Instalace			dusání	torkret	výmaz
Vlhkost	%		7 - 8	2 - 3	2 - 3
Ztráta žíháním	%	max.	21	22	21
SiO ₂	%	max	32	30	32
Al ₂ O ₃	%	min	45	45	42
TiO ₂	%	max.	1,5	1,6	1,6
Fe ₂ O ₃	%	max	1,5	1,5	1,7
SiC	%	min	9	10	9
C	%	min	12	15	15
Objemová	kg.m ⁻³	400°C/2h	1920		

hmotnost	kg.m ⁻³	800°C/4h	1875		
	kg.m ⁻³	1300°C/4h	1860		
Pevnost v tlaku	MPa	400°C/2h	33		
	MPa	800°C/4h	31		
	MPa	1300°C/4h	24		
Zrnitost	mm		0 - 6	0 - 8	0 - 1

Co se týče granulometrické skladby popisovaných žárovzdorných hmot, v **tab. 2** jsou uvedeny analýzy hmot, které jsou aplikovány v Tafonco Kopřivnice.

Tab. 2 Granulometrická analýza hmot UŽH

		UŽH-T	UŽH-D	UŽH-J
Sítový rozběr-síta				
8,00 mm		1,02	0	
6,00 mm	hm. %	3,06	3,1	
5,00 mm	hm. %	4,08	3,44	
4,00 mm	hm. %	1,52	3,34	
3,00 mm	hm. %	3,34	9,44	
2,00 mm	hm. %	13,68	18,46	
1,00 mm	hm. %	22,32	22,06	1,68
0,50 mm	hm. %	24,84	19,94	48,90
0,30 mm	hm. %	9,6	7,24	21,03
0,20 mm	hm. %	5,84	4,3	10,64
0,09 mm	hm. %	9,58	7,24	
DNO	hm. %	1,1	1,1	17,72
Σ		99,98	99,96	99,97

3. VŠEOBECNÝ POPIS ZPŮSOBU APLIKACE

3.1 Aplikace dusáním

Dusací hmoty se dusají pneumatickými kladivy do bednění (šablon-armatur) v maximálních násypných vrstvách 50 mm. Při dusání je nutno dosáhnout maximálního zhuštění, vyjádřeného objemovou hmotností vzniklého monolitu, na hodnotu min. 2200 kg.m⁻³. Prakticky pak udusaná vrstva musí tvořit tvrdou, pevnou vrstvu, která tlakem prstů nelze promáčknout. Před násypem každé další vrstvy se vždy předchozí udusaná vrstva škrabkou rozruší minimálně do hloubky 15 mm a poté se provede nový násyp hmoty a dusání. Je-li

dusaná vrstva pružná a při dusání dochází k tzv. „houpání“, nemá další dusání vliv na větší zhutnění vrstvy. Bednění (šablonu-armaturu) je možno odstranit až po dokončení díla.

Na životnost, funkci a bezpečný provoz nově vydusaneho monolitu má velký význam způsob vysušení a vedení prvního ohřevu výdusky, neboť při realizaci díla byla ve hmotě z technologických důvodů použita rozdělovací voda, zajišťující optimální zpracovatelnost hmoty a dosažení dostatečné pevnosti. Obecně stanovit rychlost prvního ohřevu je velice obtížné, protože tato je závislá na mnoha okolnostech (tloušťka vyzdívky, velikost otevřené plochy, vlhkost hmoty, granulometrické složení, množství použitého kameniva ve hmotě). Obecně lze uvažovat s tzv. bezpečným gradientem ohřevu vyzdívky cca 20 °C/hod. až po dosažení provozní teploty, nejméně však 900 °C.

Konkrétní doporučená křivka sušení je zahrnuta v rámci projektu na dané dílo.

3.2 Torkretace

Používá se suchá technologie nástřiku, spočívající v pneumatické dopravě suché žárovzdorné hmoty a jejím vlhčení až v okamžiku vlastní torkretáže. Vlivem dosahované vysoké rychlosti zrn hmoty pak dochází k vysokému stupni zhutnění vytvořeného monolitu. Síla postupného nánosu uvedenou technologií se pohybuje od 80 mm do 100 mm.

4. APLIKACE HMOT UŽH V PODMÍNKÁCH TAFONCO - KOPŘIVNICE

Společnost Tafonco je dceřinou společností firmy TATRA, a.s., tradičního výrobce nákladních automobilů, a působí v oblasti slévárenství. V současné době Tafonco dodává odlitky ze šedé a tvárné litiny, oceli a slitin hliníku.

Žárovzdorná hmota UŽH se ve Slévárně používá od ledna 2012, a to na monolitické zdivo:

- a) elektroobloukové 4 tunové pece, s příkonem 6 MW, později přezděné na 6 tun,
- b) kupolové pece, průměru 1100 mm, s hodinovým výkonem 7t / hod a teplotou na žlábků 1520 °C
- c) zdivo malých pánví

Slévárna používá hmotu UŽH pouze pro výrobu tvárné litiny dle ENGJS-500-7, jejíž základní chemické složení uvádí níže uvedená **Tab. 3**.

Tab. 3 Chemické složení tvárné litiny

C	%	3,6 – 3,7
Mn	%	0,3 – 0,5
Si	%	2,4 – 2,7
P	%	max 0,040
S	%	max 0,015
Cu	%	0,025 – 0,035
Mg	%	0,035 – 0,055

4.1 Aplikace na EOP

EOP: jmenovitý obsah 4-6 t. 3 elektrody $\varnothing 254 \times 1800$, odpichová teplota 1460 °C, doba mezi odpichy cca 2,5h, max. výkon 9 taveb za 24h

Základní, bezpečnostní zdivo EOP, tvoří bázecká vyzdívka, magnezitové cihly v tloušťce 15-25 cm, na kterou se aplikuje nástřík JEGUNEM, resp. UŽH do síly 8 – 10 cm a poté se vydusá hmotou UŽH-D do síly 200 – 250 mm, nístěj, což vytváří pracovní vyzdívku. Před zahájením opravy se opraví vypadané magnezitové cihly, odstraní se uvolněná vyzdívka a probíhá dusání dna a stříkání stěn. Při použití UŽH jsou minimální meziopravy, vyzdívka je dobře smáčivá, nepodléhá korozi a velmi dobře drží. Strusková zóna je na pohled od okolní vyzdívky srovnatelná (koroze struskou je prakticky skoro neznatelná).



Obr. 1 Pohled na pneumatické dusadlo



Obr. 2 Pohled na zdivo EOP po torkretaci a vysušení tvořené hmotou UŽH



Obr. 3 Detailní pohled na monolitickou vyzdívku víka EOP

Úspora na 1 kampaň činí při použití UŽH cca 3-4 tis. Kč – ta je dána zrušením mezioprav mezi jednotlivými kampaněmi, které se prováděly při používání Jegunu. Dále je významná úspora času a práce zedníků při opravě. Životnost víka je nepatrně vyšší.



Obr. 4 Pohled na boční stěny a dno EOP z monolitu tvořeného UŽH

Odpich EOP probíhá při teplotě 1460 °C, životnost vyzdívky je v průměru 45 taveb, přičemž denně je realizováno 9 taveb. Měrná spotřeba hmoty UŽH– od základní opravy + 2x meziopravy (3 kampaně) činí 4,6 kg/1 t litiny, při celkové spotřebě 2,5 t UŽH na jednu kampaň. Vzhledem k nízké četnosti provozu EOP se vysoušení zdiva provádí následovně: nově vyzdřená EOP se nechá za atmosférických podmínek volně na vzduchu dosoušet (2 dny) a pak se vyhřeje před zahájením tavení za dobu 2h plynovým hořákem na teplotu nad 450 °C.

4.2 Aplikace na kupolní peci

Slévárna frekventuje dvě horkovětrné kuplovny s jednou řadou dmyšen, s pevným předpecím, přetržitým odpichem litiny i strusky, o průměru 1100mm. Odpichová teplota (na žlábků) je 1520 °C s hodinovým

výkonem 7t. Střídání pecí probíhá kampaňovitě po týdnu. Hmotou UŽH se dusá pouze nístěj až po dmyšny. Specifická spotřeba hmoty na uvedeném tavicím zařízení se pohybuje cca 5 kg/ tunu tvárné litiny.



Obr. 5 Pohled na odpichový žlab kupolové pece



Obr. 6 Pohled do nístěje kupolní pece před opravou hmotou UŽH-D

5. ZÁVĚR

Praxe ukázala, že uhlíková hmota UŽH našla své úspěšné uplatnění v podmínkách slévárny TAFONCO KOPŘIVNICE při vyzdívání tavicích agregátů pro svou vysokou přilnavost k bezpečnostnímu základnímu bazickému zdivu, poměrně vysokou odolnost vůči erozi i korozi tekutou taveninou a v neposlední řadě i jistým ekonomickým efektem, plynoucím ze snížení jak četnosti, tak rozsahu oprav.

ŽÁROVZDORNÉ VYZDÍVKY NALÉVACÍCH PÁNVÍ – POUŽITÍ ASC MATERIÁLŮ

Jan LASOTA, Adam MOLIN, Česlav KANTOR, Roman POWERTZ

*Refrasil s. r. o., Třinec, Česká republika***Abstrakt**

Již od roku 1973 nalévací pánve neslouží pouze k transportu surového železa z vysoké pece na ocelárnu, ale jsou používány i jako zařízení, ve kterém jsou v surovém železe upravovány např. obsahy síry. S tím jsou spojené vyšší nároky na pracovní vyzdívku nalévacích pánví a to z důvodu změn v provozních podmínkách. Tato přednáška pojednává o optimalizaci pracovní vyzdívky nalévací pánve, problémech z životnosti pracovní vyzdívky. V článku je uveden vývoj konstrukcí a materiálů pracovních vyzdívek používaných v tomto zařízení v Třineckých železárnách. Hlavním tématem je použití materiálu ASC v pracovní vyzdívkě a dosažené životnosti. Tato přednáška navazuje na přednášku prvně uveřejněnou v Praze na Mezinárodní konferenci o žárovzdorných materiálech v roce 2011 („*Refractory Linings of Pig Iron Transport Ladels*“).

1. ÚVOD

Surové železo je jednou z hlavních surovin pro výrobu oceli, a proto musí být kladen velký důraz na jeho kvalitu. Surové železo vyrobené ve vysoké peci je na ocelárnu transportováno v nalévacích pánvích. Tyto nalévací pánve v minulosti sloužily pouze pro jeho přepravu. Asi od roku 1973 nalévací pánve neslouží pouze k transportu surového železa, ale slouží taky ke snížení obsahu síry, fosforu [1]. Snížení obsahu síry tzv. odsíření - je proces, při kterém je obsah síry v surovém železe snižován tím, že se do lázně surového železa zavádí práškový CaC_2 nebo CaO v kombinaci s práškovým hořčíkem, dmýchaným pomocí inertního plynu monolitickou tryskou. Zavedením odsíření došlo ke změně provozních podmínek, vlastnosti strusek, chemizmu reakcí mezi struskou, surovým železem a vyzdívkou [2]. Změnám provozních podmínek, musely být přizpůsobeny a změněny konstrukce vyzdívek a kvalita používaných žáromateriálů.

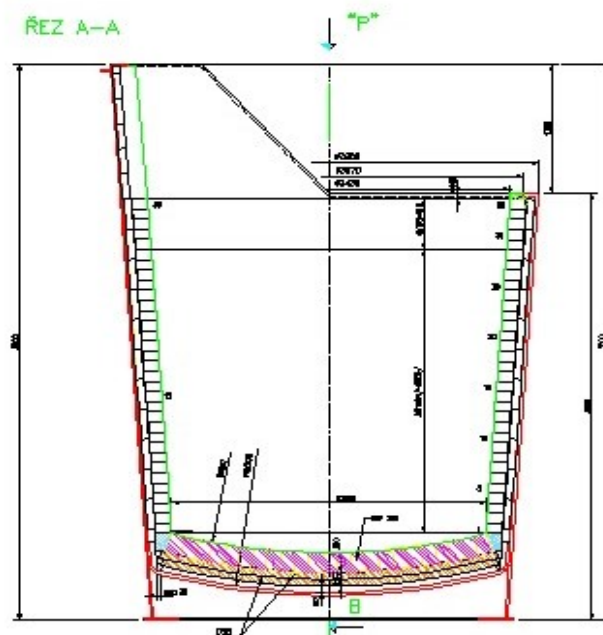
V Třineckých železárnách bylo od r. 2008 zprovozněno zařízení na odsíření surového železa v nalévacích pánvích, které do té doby sloužily pouze pro přepravu surového železa. S náběhem tohoto zařízení započala nová fáze optimalizace konstrukce a složení pracovní vyzdívky nalévací pánve. Dosažení vysokých životností vyzdívky závisí hlavně na použitých jakostech žáromateriálů, konstrukci vyzdívky a technologiích používaných pro opravy v průběhu cyklování nalévací pánve.

2. OPTIMALIZACE VYZDÍVKY NALÉVACÍ PÁNVE

Proces optimalizace pracovní vyzdívky nalévací pánve v Třineckých železárnách byl přednášen prvně na konferenci v Praze v r. 2011 [2].

V přednášce byla popsána konstrukce pracovní vyzdívky a použité žáromateriály od období, kdy nalévací pánve sloužily pouze jako transportní nádoby. V této době byly pracovní vyzdívky tvořeny šamotem. Kritické místo bylo dno pánve. Proto byl vývoj zaměřen na zvýšení životnosti dna. První zkoušky byly provedeny s použitím žarobetonu na dno, což nepřineslo očekávané výsledky. Po této „neúspěšné“ zkoušce byla provedena změna konstrukce dna a to z rovného na sférické, **obrázek 1**. Zároveň byly použity andalusitové tvarovky pro vyzdívku dna. Stěny a strusková zóna byly nadále vyzdívané ze šamotu. Tato změna přinesla očekávané výsledky. Avšak se zavedením odsíření do nalévacích pánví v roce 2008 došlo ke změně fyzikálně-chemických režimů působících na vyzdívku pánve a tím k razantnímu snížení životnosti. Toto souviselo se značnými změnami v chemickém složení strusek a jako kritické místo se projevila vyzdívka

struskové zóny. Z tohoto důvodu byl další vývoj zaměřen na zvýšení životnosti struskové zóny a to zavedením vyzdívek z andalusitových tvarovek ve struskové zóně. Na stěny byl nadále používán šamot, dno bylo sférické z andalusitových tvarovek. Z důvodu požadavků na dosažení lepších životností byly dále prováděny zkoušky s vyzdívkou z bauxitových tvarovek a to na sférické dno, stěny i struskovou zónu. Dosažené životnosti z jednotlivých zkoušek jsou uvedené v **grafu 1**.



Obr. 1 Řez vyzdívkou nalévací pánve

Na základě požadavků na zefektivnění metalurgických procesu, zhoršení provozních podmínek a tím i snížení životnosti vyzdívek byla naše práce v následujících dvou letech koncentrována na optimalizaci pracovní vyzdívky v zóně stěn a zvláště ve struskové zóně. Z důvodu zvyšujících se nároků na životnost, technologickou bezpečnost vyzdívky v uvedeném zařízení se ukázalo, že klasické žáruvzdorné materiály na bázi šamotu, andaluzitu či bauxitu nejsou až tak vhodné. Zvláště pro oblast struskové zóny. Jako nejvhodnější řešení se ukázalo použití nepálených tvarových materiálů na bázi Al_2O_3 (SiO_2)-SiC-C (ve zkratce ASC materiály).

3. ASC MATERIÁLY

ASC materiály v současnosti našly široké uplatnění v oblasti hutnictví, zvláště v oblasti pracovních vyzdívek nalévacích pánví a pojízdných mísičů. ASC materiály v porovnání s klasickými pálenými šamotovými a vysocehlinitými materiály jsou více odolné proti procesu koroze struskou i kovem a mají větší odolnost proti teplotním šokům. Díky těmto vlastnostem (a mnoha dalším) ASC materiály jsou ve stále větší míře využívány v pracovních vyzdívkách nalévacích pánví nebo pojízdných mísičů.

V ASC materiálech jsou řídicími složkami C, SiC a „antioxidanty“, které ovlivňují odolnost materiálu vůči procesům koroze, oxidace a dalším termo-fyzikálním a termo-mechanickým vlivům. Jednou z hlavních vlastností je poměrně vysoká tepelná vodivost ($4-7 \text{ W.m}^{-1}\text{K}^{-1}$ při 1000°C [3]), která je vyšší v porovnání s tvarovkami na bázi šamotu nebo na bázi vysocehlinitých surovin. Tato vlastnost se považuje za pozitivní a to z důvodu posuzuje-li se odolnost proti teplotním šokům [4]. Avšak tato vysoká tepelná vodivost způsobuje i problém se zvýšením teploty na povrchu ocelového pláště pánve, což musí být řešeno vhodnou izolací.

Výše zmiňované suroviny grafit, SiC a vhodný „antioxidant“ ve vzájemné vhodné kombinaci zajišťují vysokou odolnost proti korozi a odlupování, což jsou další z důležitých vlastností ASC materiálů. Grafit jako hlavní nositel uhlíku z důvodu jeho nízké smáčivosti, vysoké tepelné vodivosti a nízké teplotní roztažnosti zajišťuje vysokou odolnost proti korozi struskou a odlupováním. SiC zlepšuje požadované vlastnosti mimo jiné např. plní roli „antioxidantu“, který zpomaluje vyhořívání C ve vnitřních vrstvách tvarovek [4]. Dále také např. okysličení SiC na povrchu tvarovek je žádané a to z důvodu vytvoření ochranné povrchové vrstvy. Naopak okysličení SiC uvnitř materiálů může být v mnoha případech nežádoucí a to z důvodu zhutnění struktury a tím ke zvýšení náchylnosti na praskání [4]. Volba optimálního „antioxidantu“ závisí na provozních podmínkách, kterým bude ASC materiál vystaven. Obecně C a SiC (složky nesmáčivé tekutými fázemi) brání pronikání tekuté strusky do vyzdívky a spolupodílejí se na dlouhé životnosti vyzdívky [4].

V různých sférách vyzdívky jsou využívány ASC materiály v různých modifikacích. Modifikace mají úkol vyzdihnout nebo odvrátit, některé vlastnosti požadované v dané sféře.

Parametry ASC materiálu vyráběné firmou Refrasil s.r.o. jsou uvedeny v **Tab. 3** jedná se o jakost ASC75K.

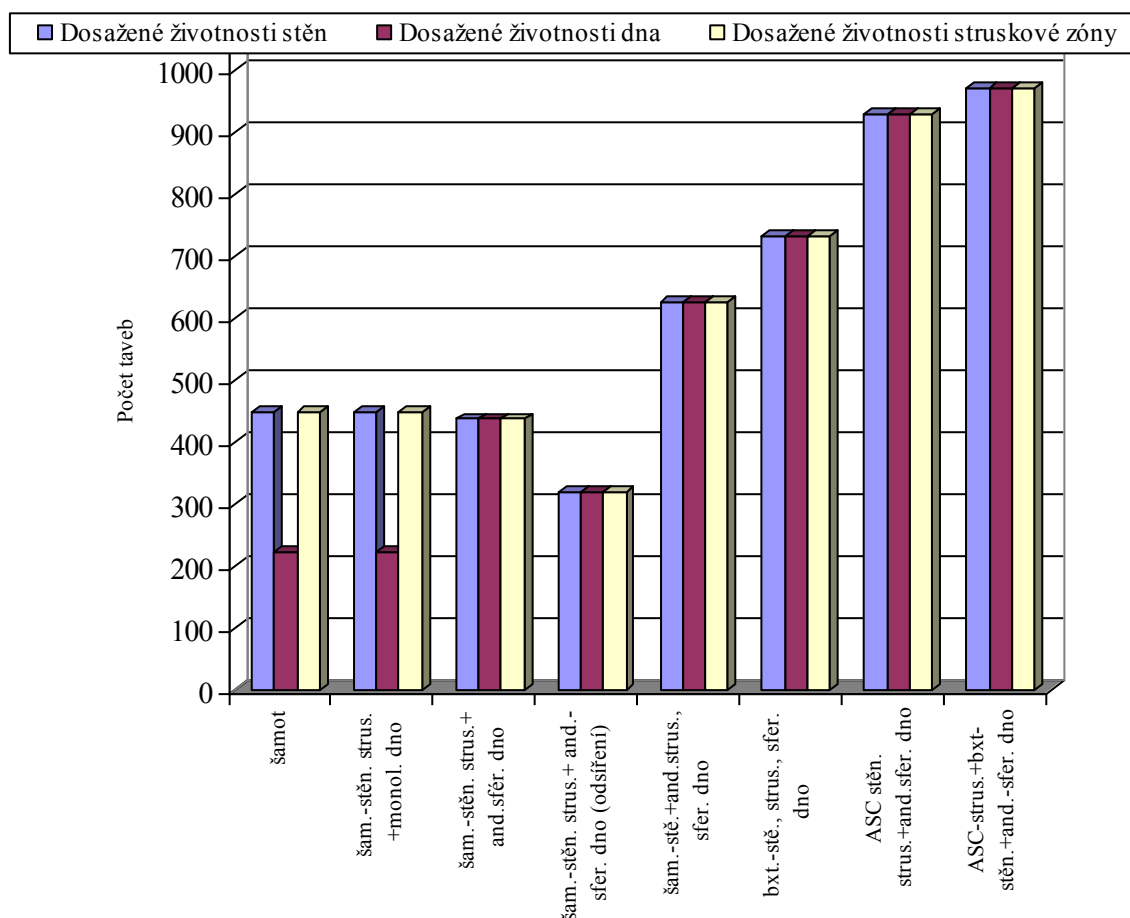
Tab. 2 Fyzikální a chemické parametry ASC75K

Fyzikálně-chemické parametry	ASC75K
Al_2O_3	75
Fe_2O_3	1,2
C	9
SiC	7
SiO_2	6,5
$\text{OH}_{180^\circ\text{C}} (\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$	2,8
$\text{PZ}_{180^\circ\text{C}} (\%)$	13
$\text{PTL}_{180^\circ\text{C}} (\text{MPa})$	30

4. PROVOZNÍ ZKOUŠKY ASC75K

Od roku 2011 byl ve firmě Refrasil započat vývoj ASC materiálů určeného pro vyzdívky nalévacích pánví. Závěrem vývoje ASC materiálů bylo jejich otestování v provozním měřítku. V první etapě byly vyrobené ASC tvarovky použity pro vyzdívku ve struskové zóně nalévací pánve, ze kterých bylo vyzděno okno o ploše cca 1 m². Zbytek stěn a struskové zóny byl vyzděn z ASC tvarovek renomované zahraniční firmy. Tyto materiály jsou běžně používány pro pracovní vyzdívku nalévací pánve a nám posloužily pro porovnání s naším materiálem jako etalon. Dno pánve bylo sférické vyzděné z andalusitových tvarovek. S touto skladbou vyzdívky bylo dosaženo životnosti 930 taveb. Při porovnání zbytkových tloušťek vyzdívky byla nejnížší naměřená tloušťka ve struskové zóně, což se ukázalo jako kritická hodnota pro životnost celé vyzdívky.

Na základě této zkoušky, kdy byly zbytkové tloušťky z našeho materiálu srovnatelné s konkurenčním materiálem, došlo k rozhodnutí o pokračování dalšího vývoje a testování v provozním měřítku. Z důvodu dosažení lepších ekonomických výsledků, byla další zkouška navržena tak, aby bylo využito dřívějších zkušeností. Proto firmou Refrasil byla navržena nová koncepce pracovní vyzdívky nalévací pánve, kdy se využilo zkušeností s bauxitovými vyzdívkami. Koncepce vyzdívky spočívala ve vyzdění sférického dna z andalusitových tvarovek, stěn z bauxitových tvarovek a struskové zóny z ASC tvarovek. S touto koncepcí vyzdívky bylo dosaženo 973 taveb. Jednoznačně bylo dosaženo příhodnějších specifických nákladů i očekávaných životností. Na základě pozitivního výsledku bylo rozhodnuto o zhotovení dalších dvou kompletů vyzdívky. V současnosti je vyzděná další nalévací pánev se shodným rozložením materiálů. Pánev je v době psaní přednášky v provozu a má cca 300 taveb. Dosažené životnosti jednotlivých zkoušek jsou uvedené v **grafu 1**.


Graf 1 Dosažené životnosti jednotlivých zkoušek

ZÁVĚR

Optimalizace pracovních vyzdívek nalévacích pánví je dlouhodobý proces. Po zprovoznění zařízení na odsíření surového železa v Trineckých železárnách, kdy došlo k významnému poklesu životnosti pracovní vyzdívky, nabyl tento proces optimalizace na významu. Na základě dlouhodobých zkušeností byly navrženy změny používaných materiálů i konstrukcí vyzdívek za účelem lepší životnosti vyzdívky a tím i lepší ekonomiky provozu. Pro dosažení těchto požadavků došlo k rozdělení vyzdívky nalévací pánve na jednotlivé zóny a navržení vhodných materiálů v těchto zónách. Po provedených zkouškách se ukázalo, že nejvhodnější je použití andalusitových tvarovek na sférické dno, na stěny bauxitové tvarovky a na struskovou zónu ASC materiálu. Nalévací pánve s touto koncepcí vyzdívky dosáhla 973 taveb. Použití ASC materiálu v zóně strusky se ukázalo jako nejlepší řešení, ale přesto je to kritické místo pracovní vyzdívky v nalévací pánvi. V dalších krocích je důležité pokračovat ve vývoji a zlepšování parametrů ASC materiálů a následně jejich ověření v provozních podmínkách.

LITERATURA

- [1] Yochi Naruse: „Trends of Steelmaking Refractories“, Transactions ISIJ, 24 (1984) 783-798
- [2] J. Lasota: „Refractory Linings of Pig Iron Transport Ladels“ Sborník XVII Mezinárodní konference o žárovzdorných materiálech, 2011, Praha
- [3] G. Routschka: „Refractory materials“, Vulkan-Verlag Essen, 1997
- [4] F. Tomšů, Š. Palčo: „ASC a AMC žárovzdorné materiály“ 2011, Bratislava

**VLÁKNITÉ VYZDÍVKY OHŘEVOVÝCH VÍK PROVOZOVANÝCH V TŘINECKÝCH
ŽELEZÁRNÁCH, A.S.**Petr ŠÍMA^a, Michal PŘIBYL^a, Milan CIESLAR^b*a1) PROMAT s.r.o., Praha; Česká republika, sima@promatpraha.cz, pribyl@promatpraha.cz**b) TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY, a.s., Třinec; Česká republika, milan.cieslar@trz.cz***Abstrakt**

V hutních provozech jsou používána různá ohřevová, případně krycí víka, která slouží k sušení a temperaci vyzdívek licích nebo nalévacích pánví a mezipánví ZPO. Uvedená technologická zařízení jsou provozována při výrobě a zpracování oceli také ve firmě Třinecké železárně, a.s.

Pro zhotovení vyzdívek ohřevových vík jsou používány žárobetony, žárovzdorné cihly nebo vláknité modulové systémy.

Předložený příspěvek je zaměřen zejména na výhody vláknitých modulových systémů v uvedených vyzdívkových konstrukcích.

Klíčová slova: ohřevové víko, licí pánev, mezipánev ZPO, vláknitý modulový systém

1. ÚVOD

V areálu Třineckých železáren, a.s., zejména v provozech kyslíko–konvertorové ocelárny a elektroocelárny jsou provozována různá ohřevová víka, která slouží k sušení a temperaci vyzdívek níže uvedených technologických zařízení.

Těmito technologickými zařízeními jsou myšleny zejména **licí pánve** (ocel), **nalévací pánve** (surové železo) či **mezipánve ZPO** (ocel).

Uvedená zařízení jsou provozována při výrobě a zpracování oceli, kde je pracovní vyzdívka zařízení v přímém kontaktu s tekutým kovem (ocel nebo surové železo) a zařízení samotné často slouží také k transportu tekutého kovu při technologickém procesu.

Pro to, aby byla pracovní a trvalá vyzdívka technologického zařízení schopná dlouhodobě a bez problémů odolávat náročným podmínkám hutního provozu (teplota tekuté oceli cca 1600 °C, teplota tekutého surového železa cca 1450 °C) je třeba, aby byla vyzdívka zařízení zcela vysušená a následně vytemperovaná na požadovanou pracovní teplotu.

Před zahájením procesu sušení nebo temperance je třeba transportovat technologického zařízení pomocí jeřábu k příslušnému ohřevovému víku a následně zabezpečit „dosednutí“ ohřevového víka na zařízení buď ve svislém nebo vodorovném směru (vztaženo na pozici zařízení k základně).

Poté je iniciačně zapáleno plynné medium (zemní plyn), které proudí do vnitřního prostoru technologického zařízení skrz hořákové těleso umístěné v ohřevovém víku.

Plameny, teplo uvolněné hořením a spaliny vysuší či vytemperují technologické zařízení dle zadané sušící či temperační křivky.

2. PROVOZOVANÉ VLÁKNITÉ VYZDÍVKY OHŘEVOVÝCH A SUŠÍCÍCH VÍK

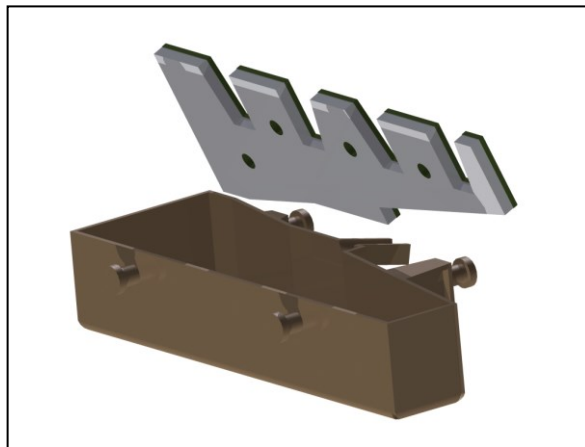
V provozech kyslíko–konvertorové ocelárny a elektroocelárny jsou používány níže uvedené ohřevové a sušící víka, jejichž vyzdívky jsou provedeny z vláknitého modulového systému **PROMACOMB® 1430**.

Kyslíko–konvertorová ocelárna

- A. Svislá ohřevová víka licích pánví, obr. 1
- vláknitý modulový systém je použit celoplošně
 - průměr víka cca 4 m, plocha víka cca 13 m²
 - tloušťka vláknitého modulového systému 250 mm
 - kapacita licí pánve činí 180 t oceli
 - působící teploty cca 1200 °C
- B. Svislá ohřevová víka licích pánví
- vláknitý modulový systém je použit kombinovaně s žárobetonem
 - průměr víka cca 4 m, plocha víka cca 13 m²
 - izolační žárobeton je použit na cca 2/3 plochy víka, tloušťka 200 mm
 - vláknitý modulový systém je použit na cca 1/3 plochy víka, tloušťka 250 mm
 - kapacita licí pánve činí 180 t oceli
 - působící teploty cca 1200 °C
- C. Svislá sušící víka mezipánve ZPO 2
- vláknitý modulový systém je použit celoplošně
 - plocha víka cca 9 m²
 - tloušťka vláknitého modulového systému 120 mm
 - kapacita mezipánve ZPO 2 činí 15 t oceli
 - působící teploty cca 600 °C
- D. Svislá ohřevová víka mezipánve ZPO 2, obr. 2
- vláknitý modulový systém je použit celoplošně
 - plocha víka cca 9 m²
 - tloušťka vláknitého modulového systému 170 mm
 - kapacita mezipánve ZPO 2 činí 15 t oceli
 - působící teploty cca 1200 °C



Obr. 1 – Svislé ohřevové víko licích pánví, varianta A



Obr. 2 – Svislé ohřevové víko mezipánve ZPO 2

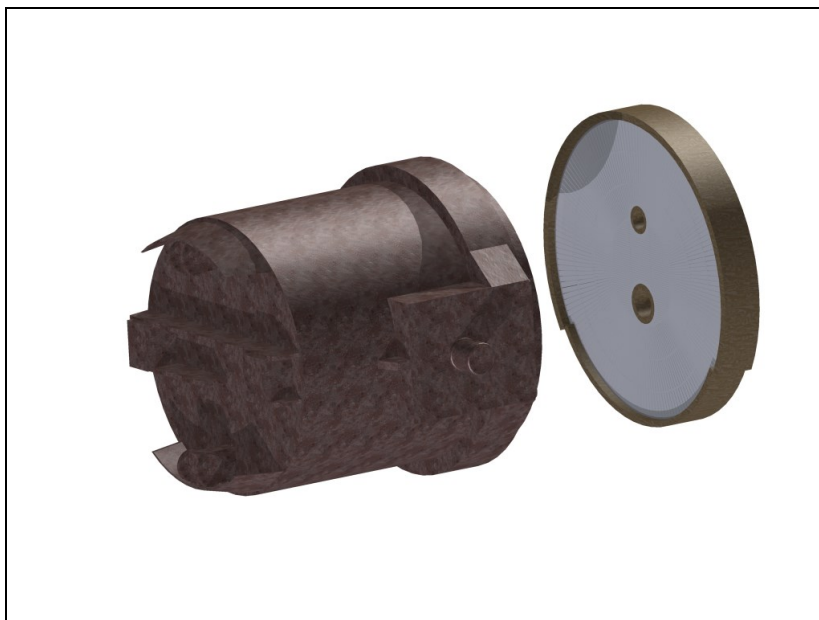
Elektroocelárna

E. Vodorovná ohřevová víka licích pánví, obr. 3

- vláknitý modulový systém je použit celoplošně
- průměr víka cca 2 m, plocha víka cca 3 m²
- tloušťka vláknitého modulového systému 250 mm
- kapacita licí pánve činí 11 t oceli
- působící teploty cca 1200 °C

F. Svislé ohřevové víko licích pánví

- vláknitý modulový systém je použit celoplošně
- průměr víka cca 1,5 m, plocha víka cca 2 m²
- tloušťka vláknitého modulového systému 250 mm
- kapacita licí pánve činí 11 t oceli
- působící teploty cca 1200 °C



Obr. 3 – Vodorovné ohřevové víko licích pánví

3. SROVNÁNÍ PROSTUPU TEPLA SKRZ ŽÁROBETONOVOU A VLÁKNITOU VYZDÍVKU OHŘEVOVÉHO VÍKA LICÍCH PÁNÍ

Ke srovnávacímu výpočtu prostupu tepla procházejícího skrz žárobetonovou a vláknitou vyzdívku ohřevového víka byl použit program **Simu-Therm 7.1**.

Varianta 1 – vyzdívka ze standardně používaného izolačního žárobetonu

- působící teplota 1200 °C
- tloušťka 250 mm
- povrchová teplota na OK víka činí 184 °C

Steady state heat transfer calculation plane wall - roof

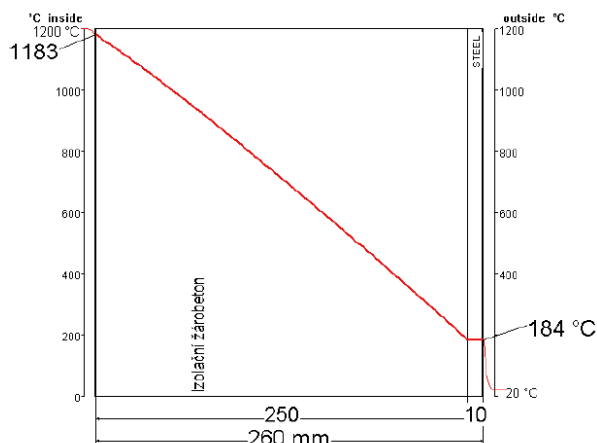
Offer/Order No.		Name	Petr Šíma
Customer	Třinecké železářny	Date	21.7.2013
Project	ohřevové víko	Revis.Name	
Location	Třinec	Revis.Date	

Calculation **01 // izolační žárobeton //**

	inside	outside	unit	lining characteristics
Ambient temperature	1200	20	°C	2548 W/m ² Heat loss
Surface temperature	1183.0	183.7	°C	281.4 MJ/m ² heat storage
Heat transition coefficient	150	15.56 ⁽¹⁾	W/m ² K	453.5 kg/m ² weight
				260 mm total thickness

(1) Calculation method ASTM C680, issue 2004 Emissivity=0.50 - wind =0 m/s

wall layers from inside to outside		temperature				
Material	Thickn.	Density	Classif.	border	mean	K mean
	mm	kg/m ³	°C	°C	°C	W/mK
1 Izolační žárobeton	250	1500	1350	1183	703	0.6303
2 STEEL	10	7850	300	184.2	184	50.23
				183.7		



Varianta 2 – vyzdívka z vláknitého modulového systému PROMACOMB® 1430

- působící teplota 1200 °C
- tloušťka 250 mm
- povrchová teplota na OK víka činí 88 °C

Steady state heat transfer calculation plane wall - roof

Offer/Order No.		Name	Petr Šíma
Customer	Třinecké železářny	Date	21.7.2013
Project	ohřevové víko	Revis.Name	
Location	Třinec	Revis.Date	

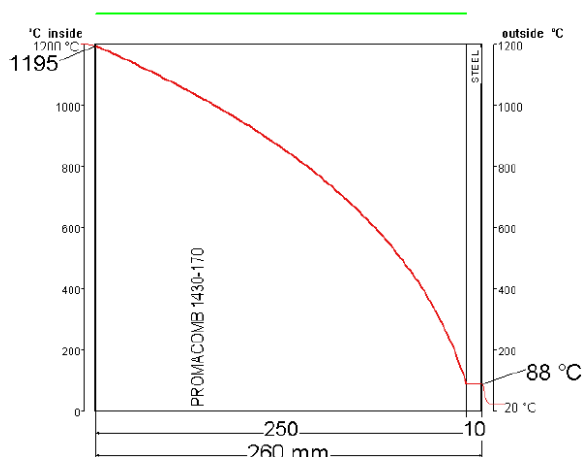
Calculation **02 // vláknitá izolace //**

	inside	outside	unit	lining characteristics
Ambient temperature	1200	20	°C	762.6 W/m ² Heat loss
Surface temperature	1194.9	87.6	°C	40.19 MJ/m ² heat storage
Heat transition coefficient	150	11.29 ⁽¹⁾	W/m ² K	122.3 kg/m ² weight
				260 mm total thickness

(1) Calculation method ASTM C680, issue 2004 Emissivity=0.50 - wind =0 m/s

wall layers from inside to outside

Material	Thickn. mm	Density kg/m ³	Classif. °C	border °C	mean °C	K mean W/mK
1 PROMACOMB 1430-170	250	175	1300	1194.9	803	0.2042
2 STEEL	10	7850	300	87.7	88	53.19
				87.6		



4. CHARAKTERISTIKA PROMACOMB® 1430

- vláknitý modulový systém, vyrobený z keramického vlákna
- orientace většiny keramických vláken je kolmo k povrchu vyzdívky
- moduly jsou připevněny pomocí kotev ze žárupevné oceli
- klasifikační teplota činí 1430 °C

5. ZÁVĚR

V současné době jsou v Třineckých železárnách a.s. používána sušící a ohřevová víka pro různá technologická zařízení (licí pánev, nalévací pánev, mezipánev ZPO), jejichž vyzdívka je zhotovena z vláknitého modulového systému PROMACOMB® 1430.

Výhodou uvedeného modulového systému je zejména nízká tepelná kapacita a malá tepelná vodivost. S touto skutečností souvisí výborná izolační schopnost vláknité vyzdívky, viz srovnávací výpočet prostupu tepla skrz žárobetonovou a vláknitou vyzdívku.

Vyzdívka z modulového systému PROMACOMB® 1430 vykazuje také vysokou odolnost proti náhlým změnám teploty (teplotní šoky), vyzdívku je možné okamžitě po zhotovení uvést do provozu bez nutnosti dlouhodobého sušení a temperance.

Další podstatnou výhodou vláknité vyzdívky je nižší hmotnost v porovnání se standardními žárovzdornými materiály (žárovbeton nebo hutné cihly) a vysoká odolnost proti nárazům, chvění a otřesům, které mohou být způsobeny při provozu technologického zařízení.

Na druhou stranu vykazuje vyzdívka modulového systému PROMACOMB® 1430 nižší mechanickou pevnost a odolnost proti mechanickému poškození než standardní žárovzdorné materiály.

Ovšem v případě poškození části vláknité vyzdívky je možné technologické zařízení odstavit a po cca 2 - 3 hod (vychladnutí vyzdívky) provést rychlou provozní opravu bez nutnosti demontáže kompletního technologického zařízení (např. svislé ohřevové víko licích pánví).

LITERATURA

- [1] Kutzendörfer Jaroslav – Žárovzdorné materiály, díl 5, Silikátová společnost České republiky, Praha 2009
- [2] Frölichová Mária, Tatič Miroslav – Žiaruvdorné materiály v černej metalurgii, Košice 2012
- [3] Vysokoteplotní konstrukční a izolační materiály – katalog Promat, Praha

PŘÍPRAVA ŽÁRUVZDORNÝCH MATERIÁLŮ

Tomáš BAJER; Jiří NOVOTNÝ; Czesław RUDY

SAND TEAM spol. s r. o., Holubice, Česká republika, bajer@sandteam.cz
PPP TECHNICAL Sp. z o. o., Nowa Sól, Polsko, cz.rudy@technical.com.pl

Abstrakt

V různých výrobních procesech, kde jsou používány sypké suché materiály, polosuché nebo granuláty, nastává častokrát nutnost důkladné přípravy vstupních surovin, jejich transport v rámci technologické linky a také důkladné promíchání jednotlivých složek s cílem dosažení homogenní směsi. Často je také nutné tuto směs vysušit nebo navlhčit a ochladit ji na požadovanou teplotu. Jedná se zejména o průmysl keramický, o výrobu žáruvzdorných materiálů, sklářský průmysl, výrobu stavebních materiálů a slévárenství.

Pro realizaci všech těchto procesů nabízí firma PPP TECHNICAL Sp. z o. o. Nowa Sól celou řadu strojů, zařízení a kompletních technologických linek včetně projekční a inženýrské činnosti, ale také montáž a servis zařízení. Pro sušení vstupních surovin jsou k dispozici fluidní sušky, vhodné pro sušení zrnitých nebo granulovaných materiálů s výkonem od 2 do 50 t/h.

Pro získání homogenních směsí nabízíme použití vířivých mísičů s jednotkovou dávkou od 250 do 7 000 kg a s výkonem od 6 do 140 t/h. Ty zajišťují opakovatelnost receptur - míchání komponent směsi v úzkých rozmezech, jednorodost směsi, krátkou dobu přípravy v mísiči a možnost přípravy směsi v jednom mísiči podle různých receptur uložených do paměti mísiče. Všechny tyto požadavky mohou být zrealizovány při využití dynamického procesu míchání složek směsi v moderních vířivých (turbínových) mísičích. Turbíny mohou být pro míchání břeček či vodných směsí vybaveny speciálně tvarovanými lopatkami.

Nutnou součástí procesu výroby homogenních směsí je také přeprava a skladování potřebných surovin za pomoci různých typů dopravníků (korečkové, šnekové, vibrační, pneumatické, apod.). Všechny nabízené stroje a zařízení jsou řízeny elektronicky, s využitím volně programovatelných prvků systémů Siemens, General Electric či jiných podle požadavku zákazníka.

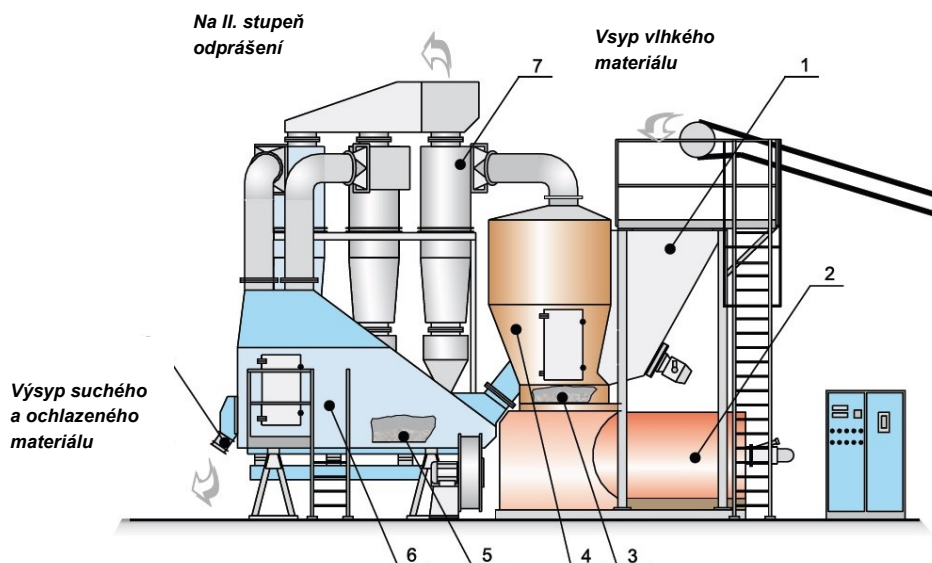
Klíčová slova: Žáruvzdorné materiály, Sušení, Míchání, Doprava, Skladování

1. SUŠENÍ VSTUPNÍCH SUROVIN – FLUIDNÍ SUŠKY

Řada průmyslových technologických procesů vyžaduje používání vhodně připravených vstupních surovin, mj. i vysušených a ochlazených na nízkou teplotu. Kvůli vysoké spotřebě energie při procesu sušení a rostoucím cenám paliv je důležité udržet náklady na energie při sušení materiálů na pokud možno nízké cenové úrovni. Metoda fluidního sušení zaujímá důležitou pozici mezi ekonomickými a moderními metodami sušení. Používá se zejména pro sypké zrnité materiály, které tvoří velkou skupinu materiálů, používaných v řadě průmyslových odvětví. Konkurenceschopnost této metody v porovnání ke dříve používaným (např. komorové, šachtové či bubnové sušky) spočívá zejména v lepším poměru účinnosti sušení vůči nákladům, vynaloženým na sušící činitel. Konkurenceschopnost této technologie vzrůstá s mírou používání dalších moderních metod jakou je např. vibrofluidizace.

1.1 Technologie sušení materiálů ve vibrofluidních suškách SF

Vibrofluidní sušky SF jsou vyvinuty k sušení a chlazení zejména křemenných písků s granulací od 0,08 mm do 2 mm a s obsahem vyplavitelných látek do 3 %. Fluidní sušky mohou být využívány také k sušení jiných materiálů, a to zrnitých nebo granulovaných, které je možné přivést do stavu vzhledu (fluidizace).



Obr. 1 Technologické schéma fluidní sušky SF; 1 – dávkovací zásobník, 2 – topeniště, 3 - fluidní přepážka I, 4 – sušicí komora, 5 - fluidní přepážka II, 6 – chladicí komora, 7 – cyklony, 8 - výsyp suchého a ochlazeného materiálu

Fluidní sušky (**Obr. 1**) jsou dvoustupňovým zařízením s kontinuálním provozem. V sušicí komoře (4) směs horkého vzduchu se spaliny protéká fluidní přepážkou I (3) a vrstvou sušeného materiálu a způsobí fluidizaci vrstvy (jev vznosu) a intenzivní turbulenci sušeného materiálu, což vede k odpařování vody. Sušený materiál se gravitačně přesypává do chladicí komory (6), kam je přiváděn vzduch od ventilátoru skrz fluidní přepážku II (5) a vrstvu materiálu. Přivedený vzduch opět způsobí fluidizaci materiálu a odpaření jeho zbytkové vlhkosti a současně jeho ochlazení na teplotu 10 °C až 15 °C nad teplotu okolí. Sušky jsou vybaveny prvním stupněm gravitačního odprášení – sestava cyklonů (7) a druhým stupněm – filtry s filtračními vložkami.

1.2 Popis konstrukce fluidních sušek SF

Princip činnosti je uveden na technologickém schématu (**Obr. 1**). Vlhký písek je podáván pásovým dopravníkem do dávkovacího zásobníku (1), který je vybaven třemi sondami hladiny sušeného materiálu, které zásobník chrání před jeho celkovým vyprázdněním nebo přeplněním. Zásobník zespodu uzavírá žlab vibračního podavače, jehož pomocí je sušený materiál podáván do sušicí komory (4). Proud vzduchu z ventilátoru I se dělí na dvě části, z nichž jedna je směřována na hořák a druhá do komory topeniště (2) a dále do komory míchání.

Vzduch, vedený do topeniště (2), zabraňuje nadměrnému ohřevu vnějšího pláště topeniště a po smíchání se spaliny je ochlazuje na pracovní teplotu 600 °C až 700 °C.

Horké spaliny protékají skrz fluidizační rošt sušicí komory a vrstvu sušeného materiálu a způsobí jeho intenzivní vysušení. Vysušený materiál se samočinně přesypává do chladicí komory (6). Vzduch od ventilátoru II vchází do chladicí komory skrz fluidní přepážku II (5) a vrstvu materiálu a způsobí jeho intenzivní ochlazení a dopravu směrem k výsypu (8), kde padá na odebírací zařízení. Zaprášené spaliny a vzduch jsou odváděny na sestavu cyklonů (7) a po uvolnění větších částic prachu na suchý filtr, který tvoří II. stupeň odprášení. Cyklony jsou zespodu uzavřeny výsypnou klapkou, která se cyklicky otevírá pro vyprázdnění cyklonů. Prach z cyklonů padá do zásobníků, které jsou periodicky vyprazdňované obsluhou sušky.



Obr. 2 Fluidní suška SF-12 ve firmě Hüttenes Albertus Lublin (Polsko)



Obr. 3 Zařízení na sušení křemenného písku GSP-12 ve firmě Hüttenes Albertus Lublin (Polsko)

1.3 Fluidní sušky SF, vyráběné firmou TECHNICAL Nowa Sól

Firma TECHNICAL Nowa Sól vyrábí fluidní sušky SF s různým výkonem. Výběr vyráběných sušek a jejich hlavní technické parametry jsou uvedeny v příložené tabulce.

Tab. 1 Fluidní sušky, vyráběné firmou TECHNICAL Nowa Sól

TYP		SF-6	SF-12	SF-18	SF-24	SF-36	SF-48
Výkon sušky [t/h]		2 až 6	8 až 12	11 až 17	16 až 24	30 až 40	40 až 50
Konečná teplota		10 °C až 15 °C nad teplotou okolí					
Konečná vlhkost		Max. 0,1 až 0,3 %					
Sušící činitel		Směs spalín se vzduchem s teplotou 600 °C až 700 °C					
Využití tepla		3 400 až 4 100 kJ/kg odpařené vody					
Energetický činitel		Topný olej nebo zemní plyn					
Maximální spotřeba paliva	Plyn [m ³ /h]	20	55	85	150	200	260
	Olej [kg/h]	16	44	68	120	160	210
Maximální hluk		85 dB					
Instalovaný příkon [kW]		16	30	45	58	73	90

1.4 Řízení a vizualizace fluidních sušek SF

Řízení fluidních sušek písku je založeno na použití volně programovaného řídicího prvku. Řídicí program dohlíží na průběh cyklu automatické práce sušky a také na činnost jednotlivých mechanismů při ručním řízení. Řídicí prvek vykonává povely operátora prostřednictvím řídicí aparatury, umístěné na řídicím operátorském panelu. Operátorský panel, instalovaný v řídicím panelu, slouží k vizualizaci práce sušky,

zprovoznění jednotlivých pohonů a mechanismů při ručním řízení, nastavení pracovních parametrů a obsluze havarijních stavů. Panel je vybavený dotykovou obrazovkou.

1.5 Shrnutí

Fluidní sušky SF jsou díky využití jevu fluidizace nejmodernější a ekonomická zařízení na sušení materiálů a vyznačují se:

- Vysokou účinností, tedy maximálním využitím množství tepla, proudícího skrz vrstvu sušeného materiálu,
- Oddělením drobných frakcí (prachu) od technologického materiálu,
- Jednoduchostí obsluhy a údržby díky ztekucené vrstvě materiálu (stav vznosu) a vyloučení pohyblivých částí v sušce,
- Nízkými náklady na instalaci,
- Automatizací procesu sušení,
- Možností použití různých energetických činitelů (topný olej, zemní plyn, propan butan),
- Libovolnou konfigurací sestav sušky, tedy: topeniště, sušicí komora, chladicí komora, cyklony.

Fluidní sušky, vyráběné firmou TECHNICAL Nowa Sól patří do nové generace strojů, určených k sušení a ochlazování různých materiálů. Osvědčily se v průmyslu, charakterizují se spolehlivostí práce a tvoří základní vybavení moderních linek sušení v různých odvětvích průmyslu.

2. VÍŘIVÉ MÍŠIČE

V různých výrobních procesech, kde jsou používány sypké materiály suché, polosuché nebo granuláty, nastává častokrát nutnost důkladného promíchání složek s cílem dosažení homogenní směsi a často je nutné tuto směs vysušit nebo navlhčit a ochladit ji na požadovanou teplotu. Pro realizaci procesu míchání jsou používány nejrůznější typy míšičů a v současné době jsou nejrozšířenější míšiče vířivé, které našly široké použití v průmyslových odvětvích: keramickém, výroby žáruvzdorných materiálů, sklářském, výroby stavebních materiálů a ve slévárenství.

2.1 Technologie míchání složek směsi ve vířivých míšičích

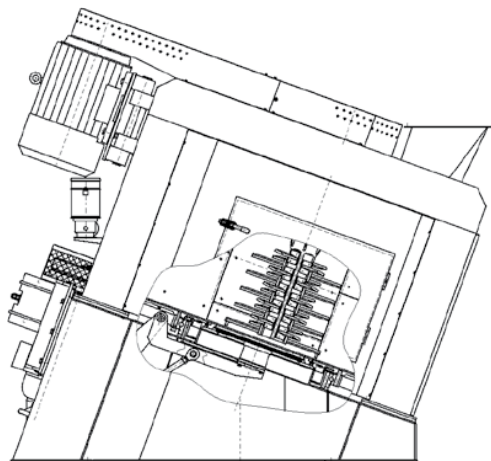
Ve většině výrobních procesů, kde jsou používané směsi různých složek, jsou na technologii jejich přípravy kladeny jisté požadavky, mimo jiné na:

- Vysokou homogenitu připravené směsi a reprodukovatelnost procesu míchání složek směsi,
- Krátký čas míchání a možnost přípravy různých receptur směsí.

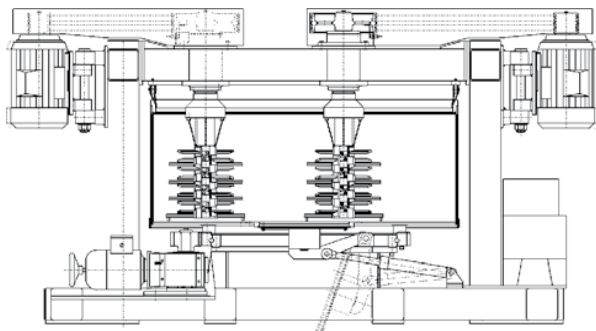
Všechny tyto požadavky mohou být zrealizovány při využití dynamického procesu míchání složek v moderních vířivých (turbínových) míšičích. Firma TECHNICAL Nowa Sól vyrábí vířivé míšiče s různými výkony podle velikosti mísy (velikost dávky směsi v míšiči) a času míchání:

- S otočnou mísou se skloněnou osou otáčení, stabilní radlicí a jednou rychloběžnou turbínou – to jsou míšiče MTP-250, MTP-500, MTP-1000, MTP-1500, MTP-2000 a míšiče ve speciálním provedení MTS-250, MTS-300, MTS-500 (**Obr. 4**),
- S otočnou mísou se svislou osou otáčení, stabilní radlicí a dvěma rychloběžnými turbínami – to jsou míšiče MTI-2500, MTI-3000, MTI-4000, MTI-5000 (**Obr. 5**).

Vířivé mísiče typu MTP, MTS a MTI patří do nové generace strojů, určených k přípravě různých směsí ze **suchých** nebo **vlhkých** složek.



Obr. 4 Vířivý mísič s otočnou mísou a se skloněnou osou otáčení MTP a MTS.



Přemísťování částic materiálu ve vířivých mísičích je realizováno zejména jednou nebo dvěma rychloběžnými turbínami s regulovanou rychlostí otáčení. Vířivé mísiče typu MTP a MTS se skloněnou osou otáčení jsou vybaveny jednou rychloběžnou turbínou, která se otáčí proti směru otáčení mísy. Takové uspořádání vykazuje při sklonu mísy dobrou dynamiku procesu míchání. Materiál, přemísťovaný do dosahu práce turbíny, přiváděný otočnou mísou a padající gravitačně z nejvyššího bodu dna mísy, je odhazován protiběžnou turbínou velkou rychlostí směrem obráceným proti směru otáčení mísy. Materiál je podáván otočnou mísou nepřetržitě, hromadí se před turbínou a kolem turbíny, takže se vzájemně mísí částice jednotlivých složek. Vířivé mísiče typu MTI s mísou se svislou osou otáčení jsou vybaveny dvěma rychloběžnými turbínami, jedna se otáčí proti směru otáčení mísy, druhá naopak. Takové uspořádání vykazuje také dobrou dynamiku míchání. Materiál, vnesený do dosahu práce první turbíny, přiváděný otočnou mísou a odhazovaný druhou turbínou, je odhazován protiběžnou turbínou velkou rychlostí směrem obráceným směru otáčení mísy.

Obr. 5 Vířivý mísič s otočnou mísou a se svislou osou otáčení MTI

Materiál je podáván otočnou mísou nepřetržitě, hromadí se před první turbínou a kolem ní, takže se vzájemně mísí částice jednotlivých složek. Všechny operace procesu míchání ve vířivých mísičích probíhají podobně v mísičích se skloněnou osou otáčení mísy typu MTP a MTS i se svislou osou otáčení mísy typu MTI. Vířivé mísiče typů MTP, MTS i MTI mohou být vybaveny turbínami různé konstrukce. Na obrázcích 6 a 7 jsou představeny dvě různé konstrukce turbín, používané pro různé výrobní procesy.



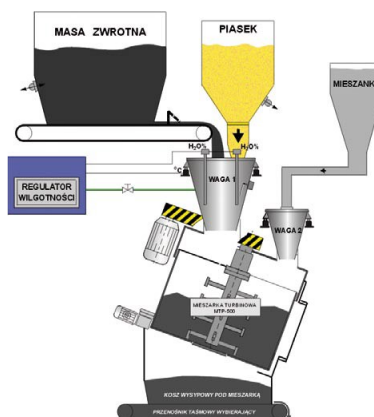
Obr. 6 Rychloběžná turbína v mísiči **MTP-1500**



Obr. 7 Rychloběžná turbína v mísiči **MTS-500**

2.2 Systém přípravy směsí

TECHNICAL Nowa Sól projektuje a realizuje systémy připraven směsí ve vlastní technologii – „na klíč“. Technologické schéma příkladového systému, zrealizovaného pro firmu VENTURE INDUSTRIES Grudziądz uvádíme na obrázku 8. Systém přípravy směsí nezáleží na typu mísiče – MTP, MTS nebo MTI – je vytvořen hlavně s ohledem na instalaci mísiče a na způsob dávkování složek. Systémy přípravy směsí (obrázek 8) jsou projektovány a vykonány jako modulové systémy, tvořené následujícími zařízeními a sestavami:



Obr. 8 Systém přípravy formovací směsi ve vířivém mísiči

- Vířivý mísič MTP, MTS nebo MTI,
- Elektronická váha WTM pro dávkování základního materiálu,
- Elektronická váha WTD pro dávkování přísad,
- Šnekové dávkovače DS a pásové dávkovače složek DT,
- Dávkovače tekutých složek,
- Zásobníky, vybavené sondami hladiny
- Kontrolní a měřicí aparatura k automatickému měření a regulaci vlhkosti materiálu, umožňující získání požadované vlhkosti připravené směsi,

- Systém elektronického řízení s vizualizací, nezbytný pro práci systému, naprogramování parametrů připravené směsi a receptur připravovaných směsí.

2.3 Měření a regulace vlhkosti materiálů, připravovaných ve vířivém mísiči

V řadě technologických procesů je požadována předepsaná vlhkost připravené směsi. Tomuto požadavku vyhovuje automatický systém řízení regulace vlhkosti míchaného materiálu s přesností $\pm 0,1\%$ H_2O od zadané hodnoty. Ve vířivých mísičích firmy TECHNICAL Nowa Sól se používá systém automatického měření a regulace vlhkosti MICOMP UNI Typ G-CH firmy MICHENFELDER ELEKTROTECHNIK GmbH (D):

- Systém zaručuje získání přesnosti vlhkosti připravené směsi $0,1\%$ H_2O ($\pm 0,05\%$ H_2O),
- Systém umožní plynulé monitorování procesu míchání a práce mísiče.

2.4 Shrnutí

Použití vířivých (dynamických) mísičů v různých technologických procesech je všeobecně uznáváno. Míchání složek probíhá ve vířivých mísičích velmi intenzivně. Zařazení vířivých mísičů do výrobního programu fy TECHNICAL Nowa Sól nastalo vlivem konsekventního rozvoje konstrukce mísičů s cílem zvýšení intenzity míchání a zkrácení technologického cyklu díky intenzifikaci působení na míchaný materiál. Vířivé mísiče se především vyznačují spolehlivostí práce a jsou dnes základním vybavením moderních systémů přípravy směsí.

3. ZÁVĚR

Velice důležitou roli u technologických linek výroby nejrůznějších směsí, ať už ze suchých sypkých materiálů, mokřých materiálů nebo granulátů (výroba žáruvzdorných materiálů, slévárenství, sklářský průmysl apod.) hraje také úroveň organizace a mechanizace výrobních procesů. Velký význam dostávají modernost a systémová spolehlivost dopravních zařízení, která musí zajistit plynulý oběh surovin a polotovarů používaných při výrobě. Moderní systémy dopravy musí být pevně logisticky svázané se stávající organizací výroby v závodě a přizpůsobeny stávajícím technologickým procesům. Náklady vnitrozávodní dopravy tvoří značnou část veškerých výrobních nákladů. Vzdávající podíl těchto zařízení ve všech výrobních procesech nutí k intenzivnímu konstrukčnímu i technologickému rozvoji. Používaná dopravní zařízení se dělí na různé skupiny a druhy v závislosti na jejich účel, způsob práce a konstrukci. Jako příklad lze uvést dopravníky korečkové, šnekové, vibrační, pneumatické apod. V tomto krátkém příspěvku se však již nelze této problematice dále věnovat.

Pro všechna odvětví průmyslové výroby, kde je zapotřebí příprava nejrůznějších směsí, firma PPP TECHNICAL nabízí řešení. Projektuje a vyrábí jednotková strojní zařízení a komplexní technologické linky od přípravy vstupních surovin (sušení), přes jejich transport a skladování (zásobníky a dopravní systémy), až po automatické přípravny obsahující moderní vířivé mísiče a řídicí systémy. Samozřejmostí je montáž a servis všech vyráběných strojů.

LITERATURA

- [1] Cz. Rudy, W. Nizioł, Suszarki fluidyzacyjne, Świat szkła, 1/08, str. 1 - 4.
- [2] Cz. Rudy, Mieszarki turbinowe, Świat szkła, 9/07, str. 1 - 4.
- [3] Cz. Rudy, W. Nizioł, NOWOCZESNE TECHNOLOGIE - Transport, dozowanie oraz magazynowanie materiałów sypkich, Świat szkła, 2/08.

DEGRADATION THE REFRACTORIES OF ROTARY FURNACE LININGS IN THE PRODUCTION OF ZINC OXIDE

Natália LUPTÁKOVÁ^a, Františka PEŠLOVÁ^a, Evgeniy ANISOMOV^b, Adriana PAVÚČKOVÁ^a,
Michaela FERODOVÁ^a

^aUniversity of Alexander Dubcek in Trencin, Faculty of Industrial Technologies in Puchov, Puchov, Slovakia,
natalia.luptakova@fpt.tnuni.sk, jarmila.kebiskova@fpt.tnuni.sk, frantiska.peslova@fpt.tnuni.sk

^bCzech Technical University in Prague, Department of Materials Engineering, Faculty of Mechanical Engineering, Prague, Czech Republic, evgeniy.anisimov@fs.cvut.cz

Abstract

This paper is closely connected with the complex problem of degradation relating to the refractories of rotary furnace linings in the production of zinc oxide. The important factor which has the impact on whole technological process includes choice of the refractory materials. The slag that remains stuck on the walls of furnace linings causes the critical states in the process of production of zinc oxide. The mechanism of degradation of the lining leads to slag rests and it is closely connected with the mutual interaction of the aggressive agents with the components of the lining. Zinc melt with different chemical composition has tendency to be adhered on the surface of the lining. This process creates a new undesired surface layer which increased the overall thickness of slag. Authors recommended a suitable refractory ceramic material for furnace aggregates and they acquired another important knowledge that can be used for modernization and effectiveness relating to the process of industrial production of zinc oxide in practical application.

Keywords: zinc oxide, production of zinc oxide, zinc slag, refractories, degradation of rotary furnace linings

1. INTRODUCTION

Zinc oxide is used as a semi-product for production in many fields of production. The most important industries are the rubber, pharmaceutical and glass industries, manufacture of paints etc. Nowadays, production of ZnO by French process includes the biggest share of production in industrial society. Indirect production of ZnO starts by melting of zinc and following oxidation with oxygen from the air [1]. The raw material of this production method is the production of metallic zinc and its alloys. Zinc and its alloys are combusted in the muffle or rotary furnaces.

The quality of ZnO depends on the starting (raw) materials. During processing of the waste zinc (approx. purity of Zn is 90 wt. %) from galvanic process containing other elements, such as Pb, Fe and Al, there is the occurrence of slag (waste material) which negatively affects the total production process of ZnO and final product.

The production of ZnO is based on high speed of zinc vapor at speeds 0.1 Mach (30 m.s⁻¹) or higher [9] and temperature is in the range from 1,300 °C to 1,400 °C. Sublimation temperature of ZnO is 1,725 °C.

The production process is performed according to chemical reactions [1]:



The work is also focused on the enormous amount of slag material. It is closely connected with the previous work [2, 3], in which the primary material has been studied. Detailed investigation of waste material was studied in previous paper [4-materials engineering].

2. CORROSION OF THE REFRACTORIES BY ZINC SLAG

Static corrosion tests have been used for analysis and evaluation of corrosion measurement. Refractories have been chosen on the base of chemical composition (**Tab. 1**), physical and mechanical properties as well as technological process for the given materials.

Tab. 1 Chemical composition of tested refractories

Refractories	Content of substances (wt. %)					
	CaO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	SiC	MgO
Chamotte	-	1.6	41.0	53.5	-	-
MgO	1.6	0.5	0.2	0.6	-	97.0
Silicon Carbide	-	-	18.0	1.7	75.0	-

A hole was bored into the sample of refractories and then the metallic zinc with the strictly specified amount and the given chemical composition was inserted and left to act. The test was performed under static conditions without the influence of convection. The slag was gradually fed by products from reactions with refractory materials. During the test (at a temperature of 909 °C), the sudden reaction was observed – the sublimation of zinc was followed by oxidation with oxygen from the air (**1**). There was the conical arrangement of the Zinc oxide on the surface of material based on MgO and chamotte fireclay (**Fig. 1**). This process is also called „the volcanic effect”. It is important to point out that there was the zinc burning in the middle of the **formed** ZnO cone at temperature 1000 °C. Material based on SiC absorbed the ZnO powder.

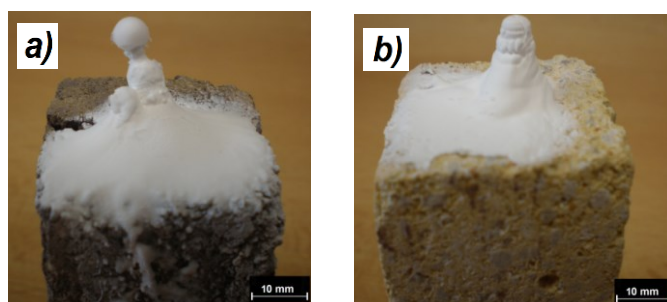


Fig. 1 Formed zinc oxide on the surface of refractories: a) MgO, b) chamotte

Using X-ray diffraction (XRD) for ZnO which was formed in a volcanic way, it has been found that the resulting compound contains only crystalline substances, such as zinkit - ZnO (94 wt. %) and gahnit - ZnAl₂O₄ (6 wt. %). Thousandth of the percent relating to elements including Cu, Cd and Pb was detected by flame atomic absorption spectroscopy (FAAS). In the case of the samples of SiC and MgO, there was not the penetration by molten zinc but the given investigated area contained the zinc which was burned out (XRD analysis determined) and it had the dendritic form (**Fig. 2**). In relation to chamotte sample, irreversible damage (infiltration) of material was occurred and it was caused by chemical reactions of chamotte with molten zinc.

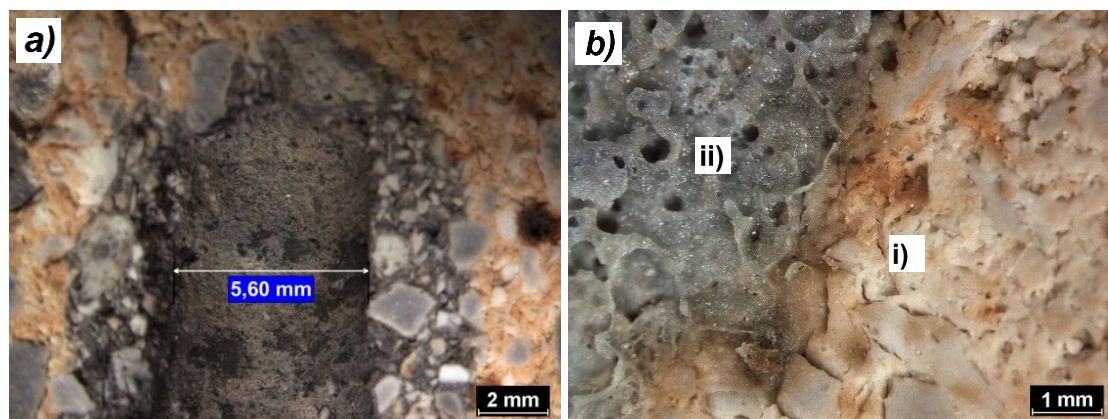


Fig. 2 Sample of chamotte (LOM) - interface between chamotte/molten zinc: a) cross-section of the hole for zinc, b) the interface between, i) the original material, and ii) the infiltrated area

Present zinc, zinc oxide and iron were infiltrated into mullite when there was the contact of the chamotte surface with the molten zinc. The liquid slag penetrated into the investigated material (chamotte) into depth from 2.0 to 3.1 mm and subsequently, the new relief of the porous surface was formed. The infiltrated part of investigated samples contained majority of such elements as silicon, aluminum and oxygen. The group of the detected elements created a glassy phase (based on SiO_2), which is different from the original material in terms of the physical and structural properties. The high wt. % content of carbon is based on burning of the samples under the slight chemical reducing conditions but it is also connected with pore content in the analyzed samples (**Tab. 2**).

In this case, although the penetration of zinc into refractories have colored investigated area, it has not been proven that there was the generation of the new kinds of phases based on Zn and the diffusion has been observed only on the surface and in the grains. Zinc is regularly decomposed throughout the whole infiltrated area. This fact was shown by help of EDX analysis for randomly selected areas (**Fig. 3**).

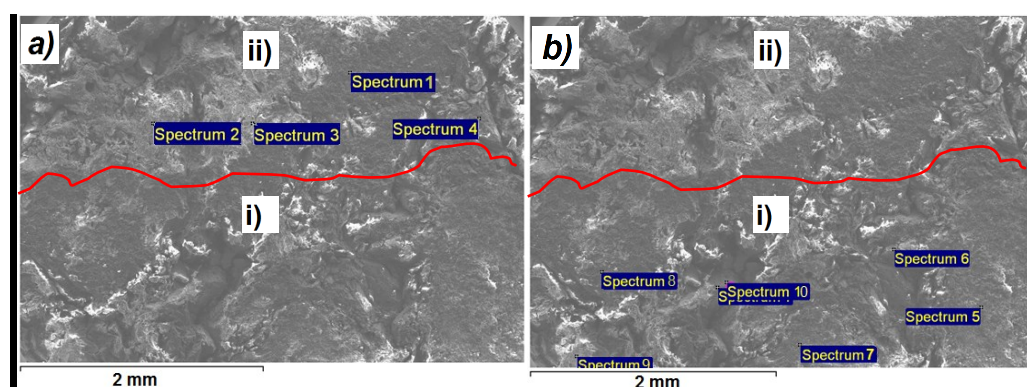


Fig. 3 Sample of chamotte: a) and b) SEM, EDX analysis for randomly selected spectra (without etching); i) infiltrated area, ii) original area. The red boundary line divides the two investigated sites

Tab. 2 EDX analysis of chamotte sample is shown on the Fig. 3

Selected spectrum	Contains of elements (wt. %)					
	C	O	Al	Si	Fe	Zn
<i>Spektrum 1</i>	35.42	44.27	9.80	9.58	0.15	0.78
<i>Spektrum 2</i>	40.36	43.72	7.15	7.23	0.20	1.35
<i>Spektrum 3</i>	39.00	42.62	8.10	9.10	0.10	1.17
<i>Spektrum 4</i>	35.49	47.40	7.93	8.19	0.06	0.94
<i>Spektrum 5</i>	30.48	45.71	11.50	11.38	0.09	0.83
<i>Spektrum 6</i>	18.42	33.45	24.94	18.70	2.13	2.36
<i>Spektrum 7</i>	23.61	52.45	11.33	12.16	0.07	0.38
<i>Spektrum 8</i>	24.22	51.53	12.34	11.39	0.24	0.28
<i>Spektrum 9</i>	17.29	37.09	9.46	5.56	0.25	30.34
<i>Spektrum 10</i>	13.21	25.73	3.20	2.24	1.19	53.43
<i>Spektrum 11</i>	12.90	52.91	14.12	18.29	0.38	2.21
<i>Sum. spektrum</i>	22.73	48.84	12.32	13.30	0.52	2.29

On the reaction surface of sample of MgO and SiC, there was the occurrence of minority physico-chemical reactions. Zinc in the form of dendrites was detected at the interface zinc/refractory (**Fig. 4**). There was not the penetration of the slag into matrix of refractory materials as well as adhesive action on the microscopic level was not observed.

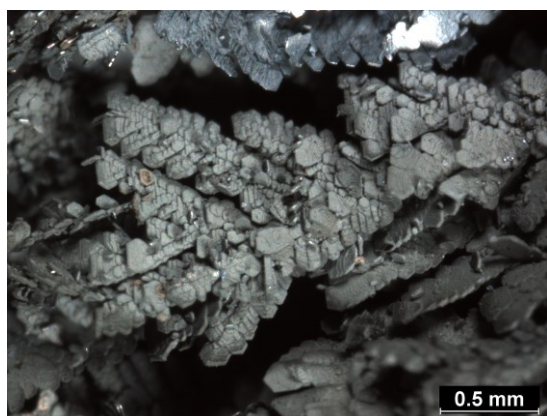


Fig. 4 Zinc in the form of dendrites, a residues after the primary corrosion test (sample - MgO)

The secondary corrosion test as well as the primary test were performed by help of the high-temperature elevator furnace. The difference between primary and secondary corrosion test is connected with the different construction of samples of refractories (samples representing the substrate were covered by a layer of the same material as the substrate). The purpose of the structural changes of the previous measurements was to prevent the creation of zinc oxide by the volcanic effect. Prepared materials were heated gradually (10 °C/min) up to temperature 1,400 °C and the whole process of heating took 420 minutes (**Fig. 5**).

There was a change of refractory material based on silicon carbide. Sintered cristobalite occurred on the surface of refractories (SiC-based) (**Fig. 6**). The interaction of zinc with the refractory led to occurrence of Zn_2SiO_4 (willemitu) which was identified by XRD analysis.

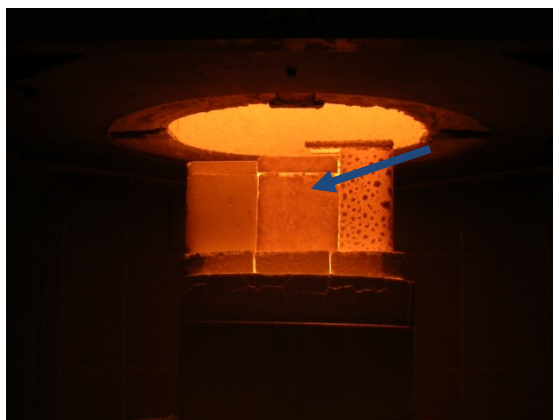


Fig. 5 Selected refractory materials in the elevator furnace with temperature 1400 °C, there was a local creation of sintered cristobalite (blue arrowed); (i) chamotte, ii) MgO, iii) SiC)

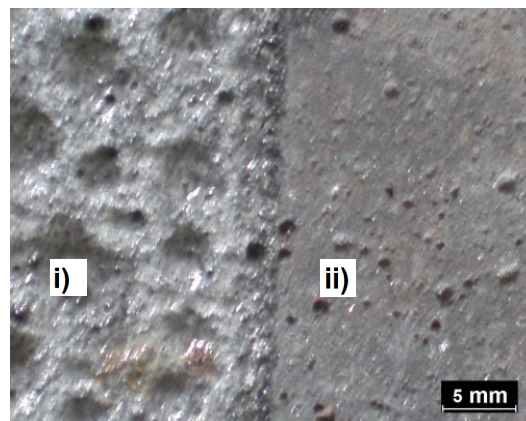


Fig. 6 The surface of refractory material (SiC-based) after the secondary corrosion test, LOM: a) the surface, b) the interface between original material ii) before test a and i) after test

During the corrosion tests, the influence of zinc on refractory material (based on MgO) was not recognized. The mentioned fact was also proven by help of LOM, SEM investigations of the structures (**Fig. 7**). EXD analysis was also used for the investigation of surfaces (**Tab. 3**) and it also showed that there is not any influence by zinc.

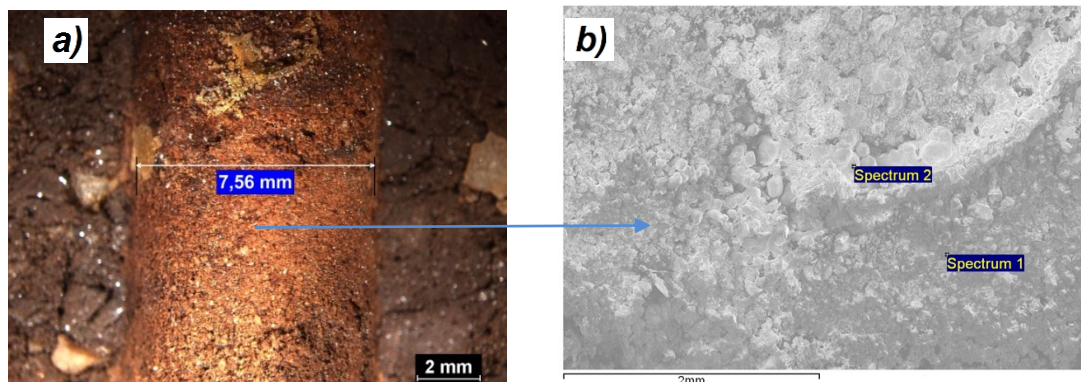


Fig. 7 MgO Sample, LOM, SEM: a) cross-section detail view of the hole for zinc, b) the character of the residual particles for refractory materials

Tab. 3 EDX analysis of MgO sample is shown in the Fig. 7

Selected spectrum	Content of elements (wt. %)		
	O	Al	Mg
Spektrum 1	67.45	6.91	25.65
Spektrum 2	35.95	12.43	51.62
Sum. spektrum	51.70	9.67	38.60

During the corrosion tests of chamotte, there was the occurrence of penetration into the sample of refractory material and moreover, the diffusion of zinc into the matrix of refractory material was observed and both these processes led to the change of the crystal structure to the amorphous structure (**Fig. 8**).

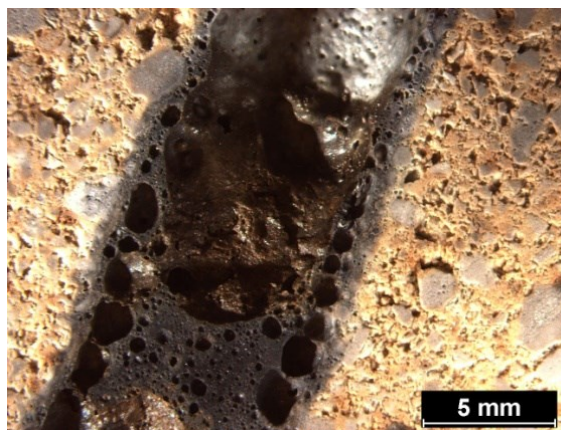


Fig. 8 Sample of chamotte with the infiltrated area and the stuck slag, LOM

CONCLUSIONS

According to the investigations and the study, the following conclusions can be drawn:

- Present Zn, ZnO and Fe penetrate into the mullite when they are in the contact with the surface of refractory material. The liquid slag is penetrated into the material with the depth from 2.0 to 3.1 mm during the examination procedures. The amorphous phase (based on SiO₂) was formed in the infiltrated area of chamotte material. This phase is different in comparison to the primary materials in terms of material and structural properties;
- It can be pointed out that the used magnesite (> 80 or 85% of MgO and the rest representing the 20 or 15 % can be oxides, such as Fe₂O₃, CaO, SiO₂ or Al₂O₃) does not have any undesired impact on the mutual interaction between the alkaline constituents.
- Depending on the chemical composition, we can conclude that there is not influence of MgO materials on the quality of the produced ZnO. Zinc oxide was produced in the range of chemical concentrations which are suitable for its usage.
- In case of application of MgO refractories, we recommend to keep conditions relating to the gradual temperature increase (200 °C/1 h) in the furnace and the finishing of the production cycle should be completed by gradual cooling;

We recommend reducing the overall open porosity of the selected materials based on alkaline magnesium oxide while the maximum total value should be 12%. This is a sufficient level of porosity which is required to maintain resistance to thermal shocks as well as suitable insulation properties.

REFERENCES

- [1] MOEZZI, A., McDONAGH, A. M., CORTIE, M. B. Zinc oxide particles: Synthesis, properties and applications. In: Chemical Engineering Journal. 2012, vol. 185, pp. 1-22.
- [2] LUPTÁKOVÁ, N. et al. Analysis of waste material in the production of zinc oxide. In: Machine Modeling and Simulations. 17th International Slovak-Polish Conference, 2012. pp. 165 -172. ISBN: 978-83-923315-2-0.
- [3] LUPTÁKOVÁ, N. et al. Impact raw material for production zinc oxide in retort furnaces. In: 21st International Conference on Metallurgy and Materials, Metal 2012, CD-ROM Article no. 234, Tanger Ostrava, 2012.
- [4] LUPTÁKOVÁ, N. et al. The study of molten zinc interaction on the surface of refractories in the production of zinc oxide. In: Materials Engineering, 2013. vol. 20. p. 91-97. ISSN: 1335-0803.

VLIV KOROZNÍHO PŮSOBNÍ OCELÍ S VYSOKÝM OBSAHEM MANGANU A CHROMU NA ŽÁRUVZDORNOU KERAMIKU

Libor BRAVANSKÝ, Kateřina KADLÍKOVÁ

SEEIF Ceramic, a.s., Rájec-Jestřebí, Česká Republika

libor.bravansky@ceramic.cz katerina.kadlikova@ceramic.cz

Abstrakt

Referát se zabývá rozdílným korozním působením ocelí s nízkým a vysokým obsahem manganu na žáruvzdornou keramiku. Pro zkoušky byly použity tři typy ocelí. Běžná konstrukční ocel třídy 11523 s obsahem 1,6% Mn, ocel legovaná 2,45%Mn a 21,4%Cr a ocel manganová s 14,01%Mn. Korozní působení bylo sledováno na žáruvzdorné keramice na bázi alumosilikátů a zirkonsilikátů. Zkoušky prokázaly agresivní korozní působení ocelí s vysokým obsahem manganu na žáruvzdornou keramiku.

Klíčová slova: alumosilikáty, zirkonsilikáty, manganová ocel

1. ÚVOD

V současné době jsou pro odlévání ocelí používány téměř výhradně žáruvzdorné materiály založené na kombinaci hlavních žáruvzdorných oxidů $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ s obsahem Al_2O_3 35 - 80%. Žáruvzdornost a odolnost proti vlivům roztavené oceli alumosilikátových žáruvzdorných materiálů je dána jednak obsahem Al_2O_3 , neboť s jeho zvyšujícím se obsahem roste žáruvzdornost materiálu a zejména nad rovnovážným složením mullitu (71,8%hm) se významně snižuje tvorba taveniny. Dalším velmi významným vlivem působícím na opotřebení keramiky licích cest jsou ovšem provozní podmínky při odlévání, například teplota lití, doba lití a složení odlévané oceli. Posledním zmíněným vlivem jsme se experimentálně zabývali v našem podniku. Vzhledem k tomu, že někteří naši významní zákazníci odlévají speciální, vysokolegované oceli, porovnávali jsme působení různých typů ocelí na žáruvzdornou keramiku pro licí cesty.

2. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Zkoušky byly prováděny na sklopné indukční peci, ITEP001 od firmy THERMEL. Zkoušky probíhaly v keramických kelímcích zhotovených z materiálů pro licí cesty vyráběných technologií lisování z plastických směsí. Doba tavení byla vždy 30 minut od okamžiku roztavení oceli. V průběhu tavení byla stahována tvořící se struska. V průběhu tavení byla rovněž ponorným termočlánkem měřena teplota taveniny. Po skončení tavení byla ocel z kelímku vylita a po zchladnutí byly měřeny a vyhodnoceny korozní úbytky keramiky vlivem působení daného typu oceli. Pro zkoušky byly vybrány tři typy ocelí, běžná konstrukční ocel třídy 11523, ocel P553 s vysokým obsahem chromu a ocel P556 s vysokým obsahem manganu. Chemické složení použitých ocelí je uvedeno v **tabulce 1**. Chemické složení bylo stanoveno na vzorcích odebraných po tavení. Dále bylo stanoveno chemické složení strusek vznikajících při tavení a toto složení je uvedeno v **tabulce 2**.

Z chemických analýz je patrný přechod značné části legur do vzniklé strusky.

Tab. 1 Chemické složení ocelí

Ocel	C (%)	Mn (%)	Si (%)	P (%)	S (%)	N (%)	-
11523	0,2	1,6	0,55	0,04	0,04	0,009	-
Ocel	C (%)	Mn (%)	Si (%)	Ni (%)	Cr (%)	Mo (%)	V (%)
P556	1,91	2,45	0,16	1,7	21,4	0,401	0,096
P553	0,055	14,01	0,79	1,31	13,8	0,480	0,100

Tab. 2 Chemické složení strusek

Struska oceli	Mo (%)	Zr (%)	Ni (%)	Fe (%)	Mn (%)	Cr (%)	Ti (%)	Al (%)	P (%)	Si (%)
P556	0,4	<0,01	0,7	42,9	35,6	18,6	<0,01	0,7	0,01	0,9
P553	0,02	7,3	<0,01	0,8	73,5	0,9	0,3	9,2	0,02	6,9

Tavení ocelí probíhalo v kelímcích zhotovených ze žáruvzdorných materiálů ML65, M70p a ZR50p. Chemické složení uvedených materiálů a některé fyzikálně-keramické vlastnosti jsou uvedeny v **tabulce 3**.

Tab. 3 Chemické složení a vlastnosti materiálu keramických kelímků

Materiál kelímku	Al ₂ O ₃ %	ZrO ₂ %	SiO ₂ %	CaO+ MgO %	Fe ₂ O ₃ %	TiO ₂ %	K ₂ O+ Na ₂ O %	OH g/cm ³	PZ %	PTL MPa
ML65	63,0		30,7	0,9	1,8	1,9	0,9	2,26	19,9	44,0
M70p	72,5		24,5	0,4	0,8	0,6	0,9	2,45	22,2	73,5
ZR50p	20,1	44,3	33,0	0,5	0,5	0,6	0,9	2,96	19,0	125,0

Výsledky korozních zkoušek jsou uvedeny v následující **tabulce 4**. Nejmenší korozní působení na žáruvzdorné kelímky vykazovala ocel s vyšším obsahem chromu, která byla ovšem tavena při nižší teplotě ca 1445°C. Nejsilnější korozní působení vykazovala ocel s vysokým obsahem manganu při teplotě tavy ca 1560°C. Střední opotřebení kelímků bylo zaznamenáno při tavení běžnou konstrukční ocelí při teplotě ca 1610°C.

Tab. 4 Výsledky korozních zkoušek

Materiál kelímku	Zdánlivá pórovitost (%)	Doba působení taveniny (min)	Průměrná teplota taveniny °C	Hloubka koroze kelímku (mm) /oceli		
				11523	P556	P553
ML65	19,9	60	-	12,0	-	-
ML65	19,9	30	1623,6	2,4	-	-
M70P	22,2	30	1579,3	1,9	-	-
M70P	22,2	30	1449,3	-	1,1	-
M70P	22,2	30	1558,1	-	-	4,0

ZR50P	19,0	30	1626,2	1,4	-	-
ZR50P	19,0	30	1442,0	-	0,6	-
ZR50P	19,0	30	1561,5	-	-	2,9
Průměrná hloubka koroze ocelí, mm/30minut				1,9	0,8	3,4

Výsledky rovněž prokázaly, že korozní chemické působení manganu v oceli je velmi významné a je dokonce významnější než vliv tavicí teploty, neboť opotřebení keramiky běžnou konstrukční ocelí s nízkým obsahem manganu bylo nižší i přes vyšší teplotu tavení oceli. Vzhled keramických kelímků po zkušebních tavných je na připojených obrázcích.



Obr. 1 Zkouška s ocelí 11523, keramika ML65



Obr. 2 Zkouška s ocelí 11523, keramika M70p



Obr. 3 Zkouška s ocelí 11523, keramika ZR50p



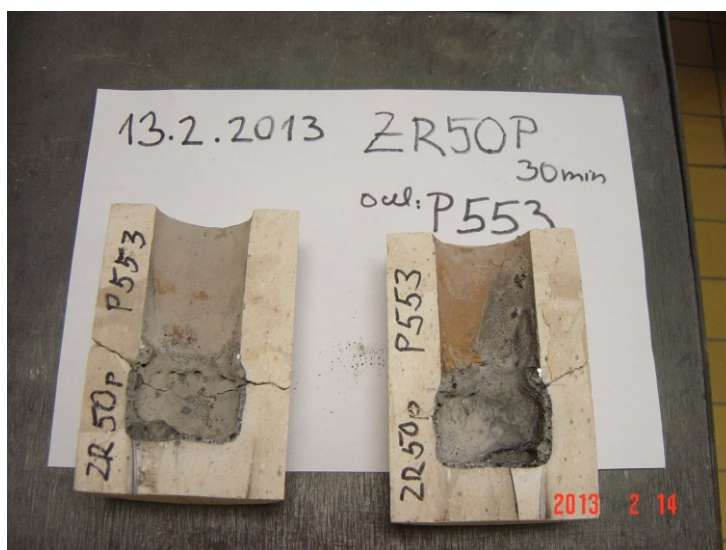
Obr. 4 Zkouška s ocelí P556, keramika M70p



Obr. 5 Zkouška s ocelí P556, keramika ZR50p



Obr. 6 Zkouška s ocelí P553, keramika M70p

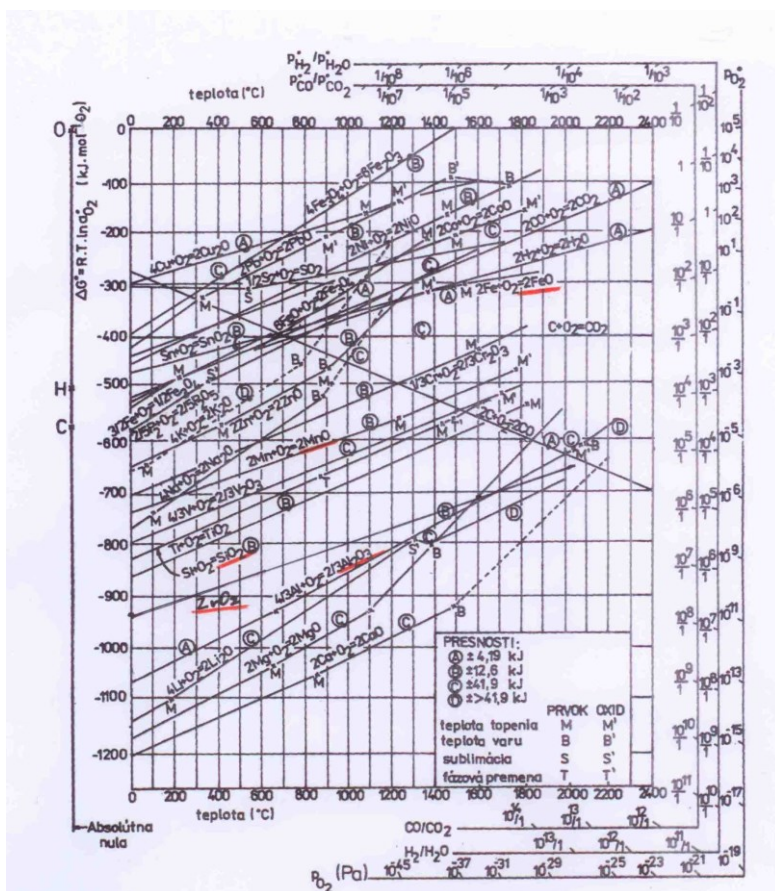


Obr. 7 Zkouška s ocelí P553, keramika ZR50p

3. TEORETICKÉ VYSVĚTLENÍ VÝSLEDKŮ

V následující části bych se chtěl zabývat teoretickým vysvětlením korozního působení manganu na žáruvzdorné materiály. Silnou reaktivnost manganu lze vysvětlit pomocí Ellinghamova diagramu termodynamických vztahů vzniku jednotlivých oxidů -viz **Obr. 8** [1]. Prvky s nižší změnou Gibsovy volné energie jsou reaktivnější, mají vyšší afinitu ke kyslíku a mohou při dané teplotě redukovat oxidy, které mají při dané teplotě změnu Gibsovy energie vyšší. Z uvedeného srovnání vyplývá, že kovový mangan má mnohem vyšší afinitu ke kyslíku než železo a existuje zde možnost, že by mohl za některých podmínek redukovat žáruvzdorné oxidy obsažené v keramice. Velkou afinitu ke kyslíku má rovněž chrom, což při experimentech potvrdilo vysoké procento těchto legur ve vznikající strusce.

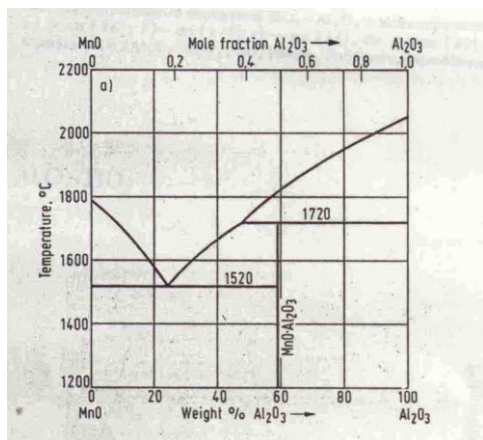
Co se týče odolnosti žáruvzdorných oxidů proti redukcí, je zřejmé, že z trojice oxidů (Al_2O_3 - SiO_2 - ZrO_2) používaných pro materiály licích cest je nejnáze redukovatelné SiO_2 .



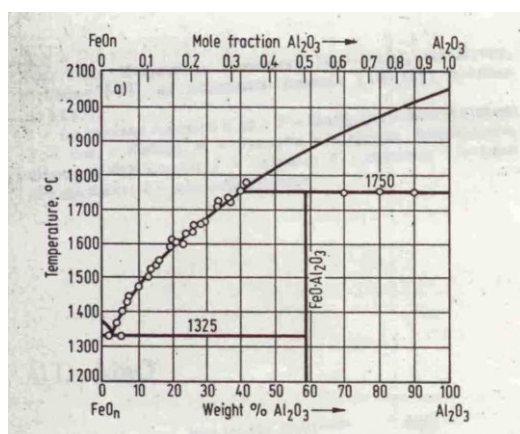
Obr. 8 Ellinghamův diagram oxidů [1]

Dalším možným důvodem korozního působení manganu na žáruvzdornou vyzdívkou je tvorba eutektických tavenin s MnO ve strusce. Na Obr. 9 a Obr. 10 [2] jsou binární diagramy $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--MnO}$ a $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--FeO}$.

Na první pohled je zřejmá podobnost obou diagramů, přičemž do obsahu 40% MnO, resp. FeO v systému s Al_2O_3 vzniká tavenina až při 1720 °C, resp. 1750 °C. V systému vzniká jediná hlinito-železitá sloučenina Hercynit.

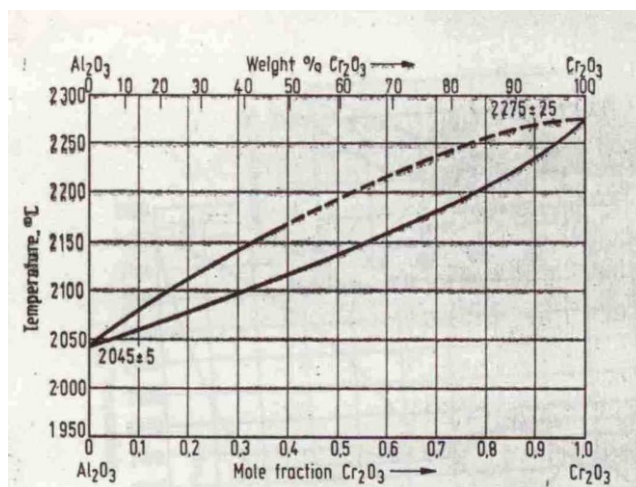


Obr. 9 Binární diagram $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--MnO}$ [2]



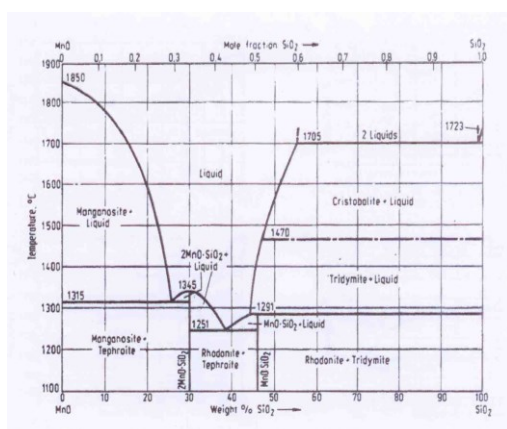
Obr. 10 Binární diagram $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--FeO}$ [2]

Na dalším Obr. 11 [2] je binární diagram soustavy $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--Cr}_2\text{O}_3$. Tyto dva oxidy tvoří spolu tuhý roztok s teplotou tavení minimálně 2045°C, přičemž přidavek Cr_2O_3 teplotu tavení systému zvyšuje.

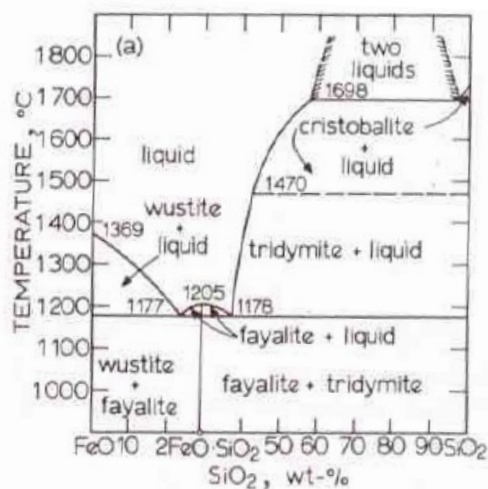


Obr. 11 Binární diagram Al₂O₃-Cr₂O₃ [2]

Z uvedených diagramů je zřejmé, že oxidy sledovaných kovů netvoří s Al₂O₃ nízkotající eutektika a v systémech s vysokým obsahem Al₂O₃ nejsou příčinou snižování žáruvzdornosti keramiky. V následujících fázových diagramech **Obr. 12** a **Obr. 13** [2] lze porovnat teploty vzniku taveniny v systémech oxidů kovů s SiO₂.



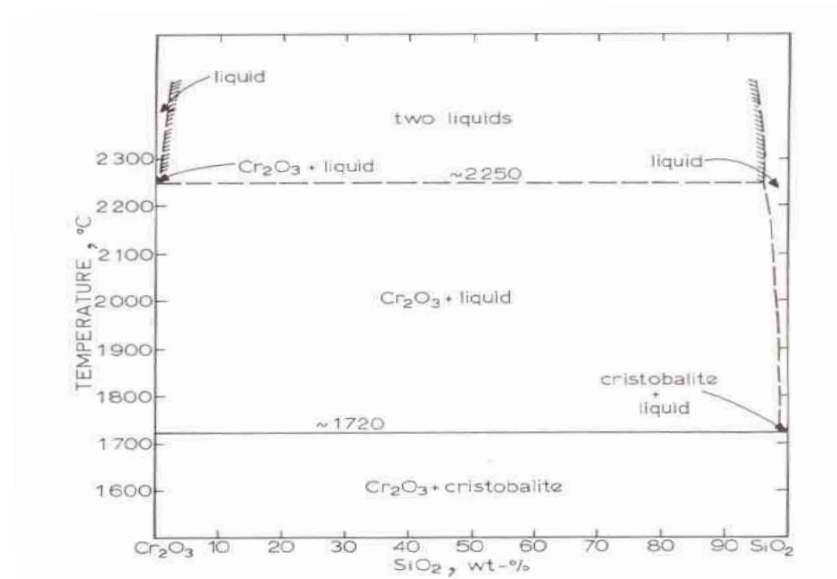
Obr. 12 Binární diagram SiO₂-MnO [2]



Obr. 13 Binární diagram SiO₂-FeO [3]

Zde je opět zřejmá podobnost obou binárních diagramů, přičemž tavenina v systému SiO₂-MnO se začíná tvořit při teplotě 1291 °C a v systému SiO₂-FeO při teplotě 1178 °C. Teploty vzniku taveniny jsou dány teplotami tání minerálních sloučenin Rhodanitu, resp. Fayalitu. Tyto poměrně nízké teploty tavení jsou pro žáruvzdornou keramiku samozřejmě škodlivé a je žádoucí omezit jejich vznik na minimum.

V binárním systému SiO₂-Cr₂O₃ [3] se tavenina začíná tvořit nad 1720 °C a lze tedy předpokládat, že obsah Cr₂O₃ ve strusce opotřebených aluminosilikátových materiálů zvyšovat nebude, což se projevilo rovněž při prováděných korozních zkouškách.



Obr. 14 Binární diagram SiO₂-Cr₂O₃ [3]

Pro dokreslení pohledu na vlastnosti zkoušených žáromateriálů bych se chtěl alespoň zmínit o chování žáruvzdorného oxidu ZrO₂. Tento oxid vykazuje fázové diagramy podobné SiO₂ s teplotami vzniku taveniny přibližně 1300°C [4]. Zároveň však tento oxid vyniká svou nesmáčivostí k roztaveným kovům [5], což posiluje jeho předpoklady k vysoké odolnosti proti korozi.

ZÁVĚR

Prováděné porovnání korozního působení různých typů ocelí prokázalo významný vliv legur na opotřebení žáruvzdorných materiálů. Nejvýraznější korozní působení na vysocehlinité a zirkonové materiály bylo pozorováno u ocelí s vysokým obsahem manganu, zatímco obsah chromu korozní působení oceli snižuje. Příčiny zvýšené koroze a možnosti zlepšení odolnosti žáruvzdorných materiálů proti koroznímu působení manganových ocelí je podle našeho názoru potřeba hledat v afinitě kovů ke kyslíku a v tvorbě nízkotavitelných eutektik při penetraci strusky do žáruvzdorné keramiky.

PODĚKOVÁNÍ

Závěrem chci poděkovat ing. Vojtěchu Havlíkovi, našemu přednímu odborníkovi v oboru průmyslových aplikací žáruvzdorných materiálů za poskytnuté literární podklady a odborné konzultace.

LITERATURA

- [1] KOMOROVÁ, L, IMRIŠ, I., Termodynamika v hutnictvě, vyd. technickej a ekonomickej literatúry, Bratislava, 1990. s.199
- [2] Schlackenatlas, Verlag Stahleisen, Düsseldorf, 1981, s.25, 26, 41, 47,
- [3] CHESTERS, J,H, Refractories production and properties, The Iron and Steel Institute, London, 1973, s.224.
- [4] Journal of Nuclear Materials 400, 2010, s.119.
- [5] STAROŇ, J., TOMŠŮ, F., Žiaruvzdorné materiály, výroba, vlastnosti a použitie, vyd. Alfa, Bratislava, 1992, s.287

NOVÁ SKLADBA VYZDÍVKY LICÍ PÁNVE URČENÉ PRO VAKUOVÉ ZPRACOVÁNÍ OCELI VE SPOLEČNOSTI ARCELORMITTAL OSTRAVA A.S.

Petr TVARDEK², Dalibor JANČAR¹, Erich LUNKMOSS², Michal PŘIBYL³, Petr ŠÍMA³

¹⁾ VŠB-TU Ostrava, Ostrava, Česká republika, dalibor.jancar@vsb.cz

²⁾ ArcelorMittal Ostrava a.s., Ostrava, Česká republika, petr.tvardek@arcelormittal.com

³⁾ Promat s.r.o., Praha, Česká republika, pribyl@promatpraha.cz

Abstrakt

Pro docílení vyšší čistoty oceli, hlavně ve smyslu co nejmenšího obsahu plynů v kovu, je do procesu sekundární výroby oceli zařazeno tzv. vakuové tavení oceli. V současné době probíhá v ocelárně ArcelorMittal Ostrava a.s. výstavba vakuové stanice, jejíž spuštění je plánováno na konec roku 2013. Vzhledem k podstatně náročnějším podmínkám, které nastanou při zpracování oceli ve vakuu, ale i mimo něj, bylo nutné urychleně vyřešit nově vzniklé problémy. Jedná se především o udržení stávající životnosti vyzdívky licí pánve.

Klíčová slova: licí pánve, vyzdívka, vakuování, teplota, životnost

1. ÚVOD

V současnosti je viditelný vývoj konečných vlastností finálních výrobků a zaměření především na jejich kvalitu. Podniky tímto především investují do nových technologií, které však kladou zvýšené požadavky i na jednotlivá dílčí pracoviště, která jsou pro danou technologii nepostradatelná.

Jednou z takových změn je připravované zavedení technologie vakuování oceli v ocelárně ArcelorMittal Ostrava a.s. Vakuování je rafinace, kdy se do oceli vhání inertní plyn, nejčastěji argon, za účelem odstranění jak kovových, tak nekovových vměstků z oceli. Dalším cílem je odstranit hlavně vodík, kyslík a dusík z oceli. Tyto plyny se dostávají do oceli pecní atmosférou, vsázkou a legujícími přísadami. V oceli se nacházejí vměstky, které jsou výsledkem působení oceli na žárovzdorný materiál. Aby byly minimalizovány tyto vedlejší negativní účinky vakuování, jsou navrhována taková složení žárovzdorných materiálů, která jsou maximálně odolná vůči působení vysokých teplot, agresivním účinkům strusky a kovu a prudkým změnám teploty [1].

2. VYZDÍVKA LICÍ PÁNVE

Spotřeba žárovzdorných materiálů pro vyzdění pánví tvoří v hutních závodech asi 40 % celkové spotřeby žárovzdorných materiálů [2]. Zavedením plynulého lité a rozšíření výroby o sekundární část přestala být licí pánve jen prostředkem pro dopravu oceli od pecního agregátu po licí plošinu nebo licí stroj [3]. Při plynulém odlévání oceli se zvýšila teplota kovu a prodloužila se doba oceli v pánvi před odlitím. Homogenizace teploty oceli, jejího chemického složení a zmenšení obsahu kovových a nekovových vměstků je prováděno dmýcháním argonu porézní tvárnici přes dno pánve.

Prodloužením pobytu oceli v licí pánvi spojeným s turbulentním prouděním kovu a strusky došlo ke zvýšení stupně koroze a eroze vyzdívky [1]. V důsledku vývoje oceli pokračuje vývoj vyzdívek pánví přechodem na bazické žárovzdorné materiály s obsahem uhlíku nebo chromu, případně na kombinace Al_2O_3 , MgO a uhlíku (tzv. AMC materiály).

V době řešení projektu byla většina licích pánví v ocelárně ArcelorMittal Ostrava a.s. vyzdívana magnezio-dolomiovými tvarovkami v oblasti pracovního zdiva a MgO-C tvarovkami s přídavkem pryskyřic v oblasti struskového pásma.

3. ZAŘÍZENÍ VD

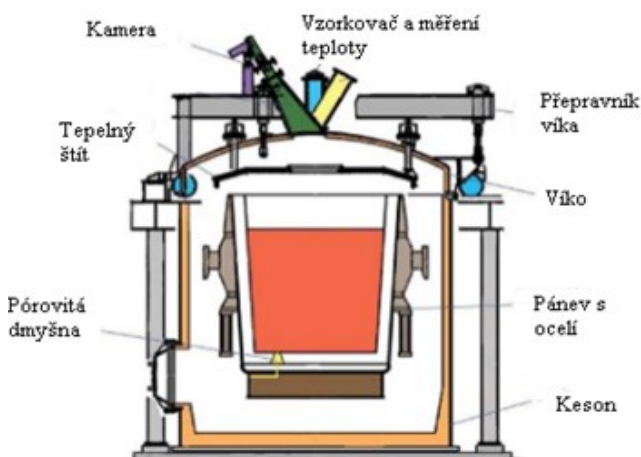
V roce 2011 bylo rozhodnuto o modernizaci výroby ve společnosti ArcelorMittal Ostrava a.s., a to rozšířením stávající technologie mimopecního zpracování oceli o vakuové zařízení. V současnosti je výroba prováděna na tandemových pecích a odlévána na zařízení pro plynulé lití. Vlastnímu odlévání oceli předchází ještě zpracování na pánvové peci.

V ocelárně ArcelorMittal Ostrava a.s. se nachází tři různá zařízení, jak pro zpracování a úpravu oceli, tak i pro její plynulé odlévání, umožňující zpracování tří rozdílných skupin oceli. Modernizace se týká především zařízení ZPO č. 1, které je dosud určeno především pro zpracování ocelí s nízkým obsahem síry a s obsahy takových prvků, jako je molybden, chrom a jiné.

Modernizace nese sebou celkovou změnu organizace práce i na takových místech, jako je pánvové hospodářství. Nároky na přípravu licích pánví a zejména na kvalitu a životnost žárovzdorného materiálu, budou nesrovnatelné s těmi dosavadními. V současnosti je v provozu cca 18-20 licích pánví, které cyklují na všech pánvových zařízeních.

Nová technologie sebou přináší zcela jiné požadavky na licí pánve. Jedním z hlavních kritérií ovlivňujících provoz a kapacitu zařízení je požadavek na reakční prostor, tzv. freeboard v licí pánvi, který je u zařízení VD-OB 800 mm (pro chemický ohřev) a minimálně 1200 mm pro zpracování pochodem (hluboké oduhličení). Po uvedení zařízení do provozu se počítá s výrobou nízkouhlíkatých ocelí s velmi nízkým obsahem uhlíku $< 0,005\%$.

Doba setrvání oceli v pánvi se pro jakosti určené pro vakuování prodlouží cca o 60 minut. Tavby z tandemových pecí budou přijíždět na vakuovou stanici kesonového typu "viz obr. 1".



Obr. 1 Vakuovací stanice kesonového typu

4. NÁVRH NOVÉ VYZDÍVKY LICÍ PÁNVE

Postupný vývoj vyzdívek v ocelárně ArcelorMittal Ostrava a.s. směřoval od vyzdívek dolomiových, přes vyzdívky magneziové až k - v době řešení projektu stávajícím - magnezio-dolomiovým. Největší změnu prodělala izolační vrstva, která byla zpočátku tvořena pouze šamotovými tvarovkami, postupně přibyla vrstva vláknité izolace, čímž se začala tato část vyzdívky rozlišovat na trvalou (šamotové tvarovky) a izolační (vláknité desky). Během výzkumů se šamotové tvarovky zaměřovaly za jakostnější šamot nebo andalusit a byla rozšiřována tloušťka vláknité izolace, případně tvořena dvěma odlišnými vrstvami.

Zavedením vakuové metalurgie dojde ke zvýšení teploty oceli a k prodloužení pobytu oceli v licí pánvi. Za tímto účelem bylo nutné připravit vyzdívkou, která nejenom snese vysoké teploty a velké teplotní šoky, ale taktéž uchová teplo naakumulované z oceli, čímž zabrání poklesu teploty oceli během vakuování a lití. Během provozních testů se v pracovní vrstvě vyzdívky nejlépe osvědčily AMC materiály. Tyto materiály tvořené spinelovou vazbou se vyznačují především:

- vyššími žárovými vlastnosti (bod tání hlinitohořečnatého spinelu je 2150 °C)
- nižší teplotní roztažností
- vyšší odolností proti náhlé změně teploty

Uhlík přítomný v AMC materiálech zabezpečuje nesmáčivost těchto materiálů a taktéž zvyšuje odolnost proti náhlým změnám teplot.

Izolační vrstvu vyzdívky bude tvořit materiál PROMALIGHT 1000, který svým velmi nízkým součinitelem tepelné vodivosti ($0,048 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ při 800 °C) zajistí vysokou izolační schopnost vyzdívky. Jako ochrana před tepelným poškozením izolace PROMALIGHT 1000 bude sloužit vláknitá izolace PROMAFORM 1260 nebo cihličky PROMATON.

Vzhledem ke zvýšeným teplotám uvnitř vyzdívky, způsobeným vyšší odpichovou teplotou, delší dobou pobytu oceli v lici pánvi a kvalitnější izolační vrstvou, budou šamotové tvarovky tvořící trvalou vyzdívku nahrazeny tvarovkami z andalusitu.

5. PROVOZNÍ TEST NOVĚ NAVRŽENÉ VYZDÍVKY

Pro získání podkladů o změnách teplotního pole vyzdívky v pracovním cyklu byl proveden rozsáhlý experiment v provozu ocelárny a tří zařízení pro plynulé odlévání oceli.

Pracovní vrstva vyzdívky byla provedena jako pásmová. Dno a stěna pánve byly vyzděny AMC tvarovkami, dopadová oblast byla zesílená za použití tvarovek s vyšší odolností proti erozi. Strusková oblast byla vyzděna magnezio-uhlíkatým stavivem, zesílena byla rovněž oblast nad argonovací dmyšnou. Vyzdívka celé pánve včetně dna byla izolována izolacemi Promalight a Promaform.

V průběhu vyzdívání pánve byla ve stěně pánve instalována termočláňková čidla. K záznamu naměřených údajů byly využity měřicí ústředny GRANT Squirrel, které byly ukládány do chlazeného termoizolačního boxu připraveného na plášti pánve. Toto uspořádání umožňovalo nepřetržité měření teplot v průběhu všech technologických operací s pánví.

Při provozním experimentu bylo teplotní pole vyzdívky sledováno při ohřevu nové vyzdívky, dále v průběhu zpracování 10 taveb v pánvové peci a odlévání na ZPO, včetně ohřevu vyzdívky mezi tavbami.

Provozním měřením byla potvrzena vyšší teplota uvnitř vyzdívky vlivem zaizolování a nižší teplota pláště lici pánve, která bude následně důležitá pro setrvání pánve v kesonu. Životnost vyzdívky se zvýšila ze 40 taveb na 80 a při odstraňování opotřebeného zdiva pánve bylo zjištěno, že ještě několik taveb by pracovní vyzdívka snesla. V dnešní době už je na ocelárně ve zkušebním provozu laserový měřič tloušťky vyzdívky, který zajistí maximální využití materiálu pracovní vrstvy s ohledem na bezpečnost a riziko protavení.

Je třeba upozornit, že provozní test proběhl bez použití vakuovací stanice.

6. ZÁVĚR

Vzhledem k brzkému zařazení nového zařízení (vakuovací stanice) do procesu pánvové metalurgie bylo nutno urychleně vyřešit nově vzniklé problémy. Především se jednalo o udržení stávající životnosti vyzdívky lici pánve a zajištění bezpečnosti vzhledem k možnému protavení vyzdívky. Za tímto účelem bylo navrženo několik typů skladeb vyzdívky lici pánve, proběhl teoretický výpočet teplot uvnitř vyzdívky, ekonomické zhodnocení navržených skladeb a na základě těchto kritérií byl vybrán finální typ vyzdívky, který byl následně ověřen v provozu. Životnost této nové skladby vyzdívky (AMC + Andalusit + mikroporézní izolace) se zdvojnásobila oproti stávajícímu stavu, což potvrdilo správnost navržené varianty pro následné provozování při výrobě ocelí vakuovým zpracováním.

Tento článek vzniknul díky řešení grantového projektu programu TIP, ev. č. FR TI3/053, za finanční podpory Ministerstva průmyslu a obchodu České republiky.

LITERATURA

- [1] LUNKMOSS, E. Návrh nové vyzdívky licí pánve pro vakuové zpracování oceli. Diplomová práce, 2013. 67 s.
- [2] STAROŇ, J., TOMŠŮ, F. Žiaruvzdorné materiály – výroba, vlastnosti a použitie. vyd. Košice: Alfa Bratislava, 2000.
- [3] TVARDEK, P., HAŠEK, P., JANČAR, D. Optimalizace tepelné práce licí pánve (Optimization of the thermomechanical process of the ladle). Hutnické listy, 61 (2008), No. 5, p. 14-19. ISSN 0018-8069.

VLIV VSTUPNÍCH SUROVIN NA KVALITU VYSOKOTEPLOTNÍ KERAMIKY

Miroslava KLÁROVÁ, Jozef VLČEK, Michaela TOPINKOVÁ, Jiří BURDA, Dalibor JANČAR, Hana OVČAČÍKOVÁ, Romana ŠVRČINOVÁ, Anežka VOLKOVÁ

VŠB-TU Ostrava, Ostrava, Česká republika, miroslava.klarova@vsb.cz

Abstrakt

Příspěvek je věnován problematice přípravy lehčených žárobetonů na bázi alternativních ostřiv. Pro výzkum bylo použito několik druhů jednak komerčně dostupných a jednak alternativních nově připravovaných ostřiv. Postupně byla jednotlivá ostřiva hodnocena jako vstupní suroviny, dále na základě vlastností laboratorně připravených vzorků žárobetonů s jejich obsahem. Byla vytipována ostřiva vhodná pro další komplexní zkoušky. V současnosti je ověřována možnost použití vybraných ostřiv v poloprovozních podmínkách a jsou hodnoceny základní parametry (kritéria hutnosti, pevnost, tepelná vodivost) takto připravených vzorků. Cílem výzkumu je dosažení uplatnitelnosti alternativních ostřiv, resp. žárobetonů na jejich bázi v průmyslové praxi.

Klíčová slova: lehčený žárobeton, ostřivo, alternativní suroviny, poloprovoz, tepelná vodivost

1. ÚVOD

V souladu s trendem snižování nákladů a ochrany ubývajících přírodních zdrojů surovin je v současnosti při přípravě nových nebo stávajících materiálů věnována stále větší pozornost snaze o získání produktů s vysokou přidanou hodnotou. Ne jinak je tomu i v oblasti přípravy žáruvzdorných materiálů. Konkrétní snahou probíhajícího výzkumu je nalézt alternativní surovinu místní provenience pro výrobu lehčených žárobetonů. Hlavní složkou žárobetonové směsi je ostřivo (kamenivo), které tvoří majoritní podíl v celkovém objemu směsi. Pozornost je proto věnována právě ostřivům.

Experimentální práce byly postaveny na hodnocení a vzájemném srovnávání série alternativních ostřiv a ostřiv komerčně běžně dostupných. Hodnocení spočívalo v ověření resp. ve stanovení důležitých chemických a technologických parametrů vstupních surovin. V další etapě byly z prověřených surovin připraveny laboratorní vzorky a na nich stanoveny vlastnosti obvykle prezentované v materiálových listech, jako jsou kritéria hutnosti, pevnost, chemické a fázové složení apod. Na základě výsledků laboratorních zkoušek byla vybrána ostřiva pro poloprovozní zkoušky. Pro poloprovozní zkoušky byl navržen specifický technologický postup přípravy vzorků. Na těchto vzorcích se v současnosti ověřují stejné parametry jako na vzorcích laboratorních. Konečnou fází výzkumu bude snaha o uplatnění vybraných alternativních surovin v průmyslové praxi.

2. METODIKA EXPERIMENTU, POUŽITÉ MATERIÁLY

Použité vstupní suroviny byly srovnávány z následujících hledisek:

- chemické a fázové složení
- granulometrie
- původ

Celkem bylo zkoumáno a pro experimentální práce použito 9 druhů ostřiv (označené jako 1 – 9). Chemické složení těchto ostřiv bylo stanoveno pomocí XRFS analýzy, kterou provedlo Centrum nanotechnologií VŠB-TUO, podobně jako fázové složení ostřiv pomocí RTG difrakční fázové analýzy. Výsledky chemické analýzy jsou reprodukovány v **Tab. 1**.

Tab. 1 Chemické složení použitých ostřiv

Ostřivo	Chemické složení (hm. %)						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O
1	58,6	37,1	0,74	1,03	0,33	0,43	1,22
2	57,4	35,2	0,54	0,75	0,36	0,88	2,24
3	60,1	36,3	0,60	0,81	0,31	0,43	0,99
4	56,1	35,4	1,96	2,98	0,97	0,59	0,97
5	57,9	35,3	0,55	0,74	0,37	0,74	2,12
6	60,1	36,4	0,57	0,76	0,32	0,39	0,96
7	56,9	35,3	1,72	2,64	0,83	0,54	0,95
8	67	18	-	2,8	5	-	7
9	59	35	0,7	1,3	0,4	0,9	1,9

Rentgenová difrakční analýza určila, že mineralogické složení použitých ostřiv je velmi podobné. Všechna ostřiva obsahovala jako majoritní složky mullit a cristobalit, v ostřivu 8 byl ještě v malém množství nalezen křemen a gismondine.

Granulometrie ostřiv byla hodnocena pomocí síťového rozboru, pro jednotlivé materiály byly sestaveny součtové křivky a určen modus a medián pro jednotlivé frakce používané pro přípravu vzorků. Frakce ostřiv používané pro experiment byly v rozmezí 0-1 mm, 1-3 mm a zrno nad 3 mm. Byla u nich stanovena také sypná hmotnost. Číselné výsledky granulometrického stanovení jsou shrnuty v **Tab. 2**. Hodnoty v **Tab. 2** jsou uvedeny jako rozpětí minimální a maximální hodnoty dané veličiny týkající se všech zkoumaných ostřiv.

Třetím hlediskem hodnocení byl původ surovin. Byl brán ohled na to, zda se jedná o ostřivo komerčně dostupné nebo připravené z alternativních surovin. Ostřiva 8 a 9 byla vyrobena jako klasická šamotová ostřiva na bázi lupků a jsou běžně dostupná. Ostatní ostřiva byla připravena z alternativních surovin (1-7). Alternativní ostřiva se ještě vzájemně lišila způsobem, resp. podmínkami, za kterých vznikla. Ostřiva 1, 5, 6 a 7 byla připravena v laboratorních podmínkách, zatímco ostřiva 2, 3 a 4 byla připravena v poloprovozních podmínkách.

Tab. 2 Granulometrie použitých ostřiv

Frakce (mm)	Medián (mm)	Modus (mm)	Sypná hmotnost (Mg.m ⁻³)
0-1	0,11-0,33	0,11-0,33	0,428-0,705
1-3	1,78-2,75	1,70-2,98	0,387-0,595
>3	3,40-3,80	3,58	0,361-0,463

Laboratorní vzorky lehčeného žárobetonu, které byly posléze připraveny z výše uvedených ostřiv, byly charakterizovány následujícími parametry:

- objemová hmotnost
- geometrická objemová hmotnost
- hustota
- nasákavost
- skutečná pórovitost
- zdánlivá pórovitost
- pevnost v tlaku
- pevnost v ohybu

Stanovení uvedených vlastností nebude v tomto příspěvku řešeno a jejich hodnoty byly použity pouze pro hodnocení vhodnosti ostřiv pro použití při výrobě žárobetonů. Známe byly také tyto skutečnosti:

- poměr složek žárobetonových vzorků
- teplota výpalu
- množství záměsové vody
- druh použitého ostřiva

Výše zmíněné faktory byly u všech vzorků stejné. Co se týká poměru složek, všechny sledované (hodnocené) vzorky obsahovaly 25 hm. % cementu, 20 hm. % matrixu, 55 hm. % ostřiva. Množství záměsové vody bylo v rozmezí 21-54 hm. %, v závislosti na nasákavosti ostřiva. Teplota výpalu všech vzorků byla 1300 °C, výpal probíhal v oxidační atmosféře. Ostřivo bylo použito ve třech frakcích s výjimkou ostřiva 9, které bylo použito pouze ve dvou frakcích.

Vzhledem k množství získaných dat a s ohledem na záměr vybrat nejvhodnější ostřivo (ostřiva) pro poloprovozní zkoušky byl pro hodnocení použitých ostřiv proveden zjednodušující výběr parametrů připravených žárobetonových vzorků tak, aby bylo možné jejich vzájemné porovnání. Pozornost byla proto věnována vlastnostem žárobetonu, které nejvíce ovlivňuje právě druh použitého ostřiva, které nejčastěji uvádí materiálové listy, a které shrnuje následující přehled:

- objemová hmotnost
- skutečná pórovitost
- pevnost v tlaku

Pro úplnost jsou zmíněny také hodnoty některých dalších parametrů, které byly u žárobetonových vzorků známy. Dále však nejsou z výše uvedených důvodů v příspěvku hodnoceny. Hustota se u zkoumaných vzorků pohybovala v rozsahu 2,48 – 2,62 g.cm⁻³. Objemová hmotnost byla u zkušebních vzorků stanovena postupem pro hutné i izolační materiály, protože při přípravě vzorků nebylo dopředu přesně zřejmé, do které skupiny materiálů budou vzorky spadat. Po provedení zkoušek se ukázalo, že pro hodnocení materiálů je průkaznější postup stanovení pro izolační materiály (tedy geometrická objemová hmotnost), protože skutečná pórovitost vzorků se pohybovala nad touto hranicí nebo těsně kolem ní. Nasákavost byla přímo úměrná pórovitosti, tedy s rostoucí pórovitostí rostla a nabývala hodnot 20,30 – 55,78 %. Zdánlivá pórovitost není pro lehčené materiály relevantním parametrem, protože se stanovuje z hmotností vzorku syčeného v kapalině. Z pevnostních charakteristik byla vybrána pevnost v tlaku. Hodnoty pevnosti v ohybu byly u připravených vzorků 1,9 – 3,7 krát nižší.

Přehled vybraných parametrů zkoumaných vzorků žárobetonu uvádí **Tab. 4**.

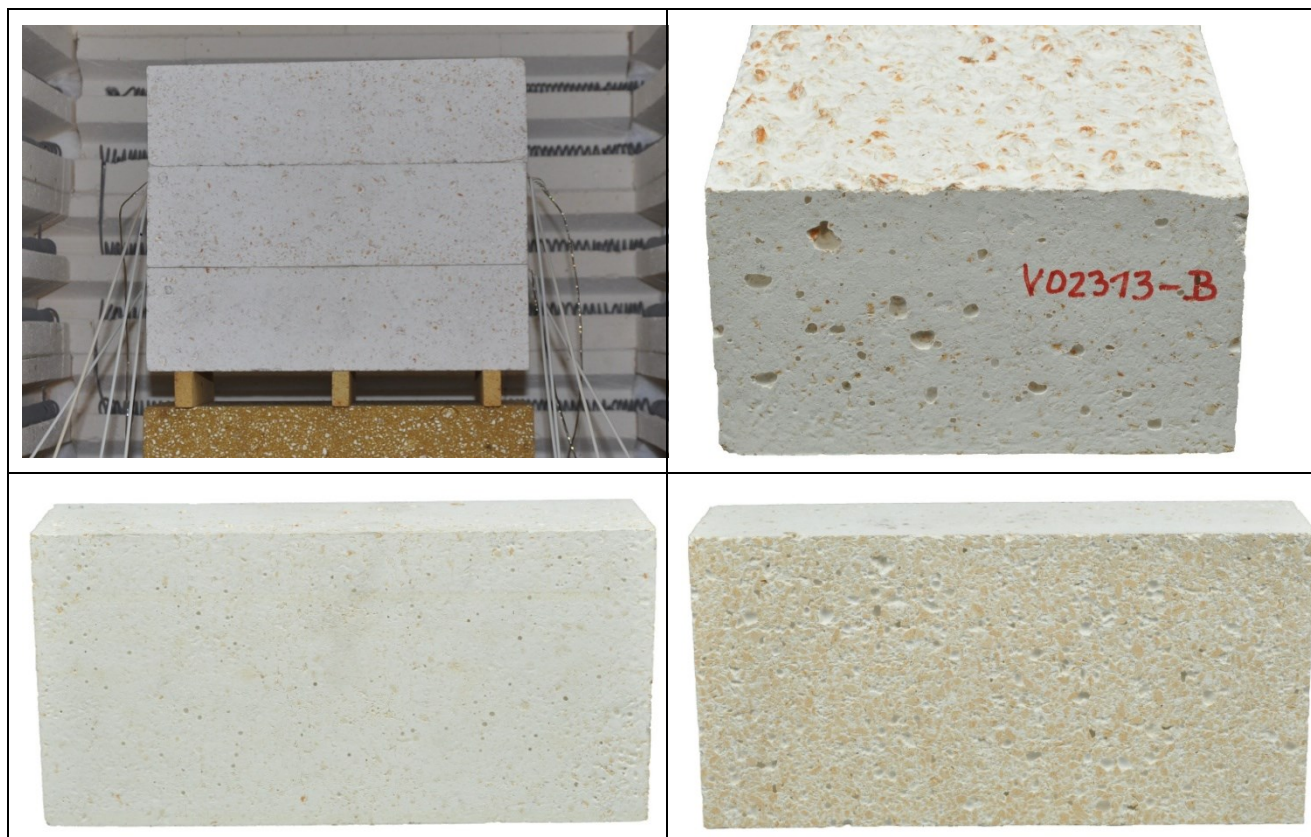
Tab. 4 Parametry zkoumaných žárobetonových vzorků

Druh ostřiva	Objemová hmotnost	Skutečná pórovitost	Pevnost v tlaku	Vzorek
(-)	(g.cm ⁻³)	(%)	(MPa)	
1	1,16	55,6	3,58	C
2	1,32	47,5	8,9	D
3	1,41	45,5	9,6	E
4	1,19	53,0	7,9	F
5	1,21	51,2	7,1	G
6	1,22	51,4	5,9	H
7	1,11	57,7	4,9	I
8	1,48	43,0	22,6	B
9	1,60	39,0	19,0	A

Na základě výsledků laboratorních zkoušek byl zúžen výběr ostřiv, která se v současnosti testují v poloprovozních podmínkách. K této redukci množství bylo přistoupeno především z důvodu technické a časové náročnosti přípravy vzorků pro poloprovozní zkoušky a také vzhledem k náročnosti přípravy a stanovení tepelné vodivosti těchto vzorků.

Tepelná vodivost vzorku byla stanovena metodou topného drátu. Metoda topného drátu je dynamická měřicí metoda založená na stanovení teplotního nárůstu vyvolaného lineárním zdrojem tepla uloženým mezi dvě zkušební tělesa. Zkušební celek se ohřeje v laboratorní peci na zvolenou teplotu a udržuje se při této teplotě. Další místní ohřev probíhá pomocí lineárního elektrického vodiče (topného drátu), který je symetricky uložen do zkušební sestavy a kterým prochází elektrický proud o známém výkonu, konstantním v čase a podélném směru zkoušeného tělesa. U paralelního uspořádání je vyhodnocení stanoveno z teplotního nárůstu v čase v určité pevně dané vzdálenosti od lineárního zdroje tepla. U této metody se měří nárůst teploty termočlánkem, který je umístěn ve vzdálenosti 15 mm rovnoběžně s topným drátem. Nárůst teploty, v závislosti na čase měřeném od okamžiku zapojení topného proudu, je mírou tepelné vodivosti materiálu, z něhož jsou zkušební tělesa vyrobena. Obrázek měřicí aparatury a detail vzorků použitých pro toto stanovení uvádí **Obr. 1**.

Použitá metoda topného drátu vyžaduje přiléhající povrchy sestavy cihel. Jak je patrné z fotek na **Obr. 1**, byla tedy nutná povrchová úprava vzorků. Na fotce vlevo dole na tomto obrázku je možné vidět „hladký povrch“ vzorku vzniklý technologií jeho přípravy (viz níže). Na fotce vpravo dole téhož obrázku je znázorněn „pórovitý povrch“ vzorku, který vznikl seříznutím horní strany „do rovna“ tak, aby bylo možné cihly poskládat s maximální přiléhavostí na sebe. Tepelná vodivost byla měřena jak na „hladkém“ povrchu (povrch vzniklý po odlití vzorků, vyznačuje se menší pórovitostí), tak na „pórovitém“ povrchu (povrch vzniklý řezem, vyznačuje se lépe rozvinutou pórovitou strukturou v porovnání s povrchem hladkým) a rozdíl v naměřených hodnotách je patrný z **Tab. 5** a **Obr. 5**.

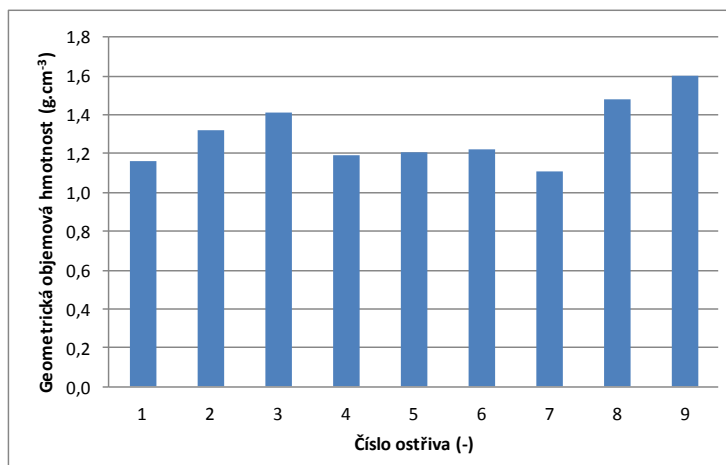


Obr. 1 Fotodokumentace k měření tepelné vodivosti

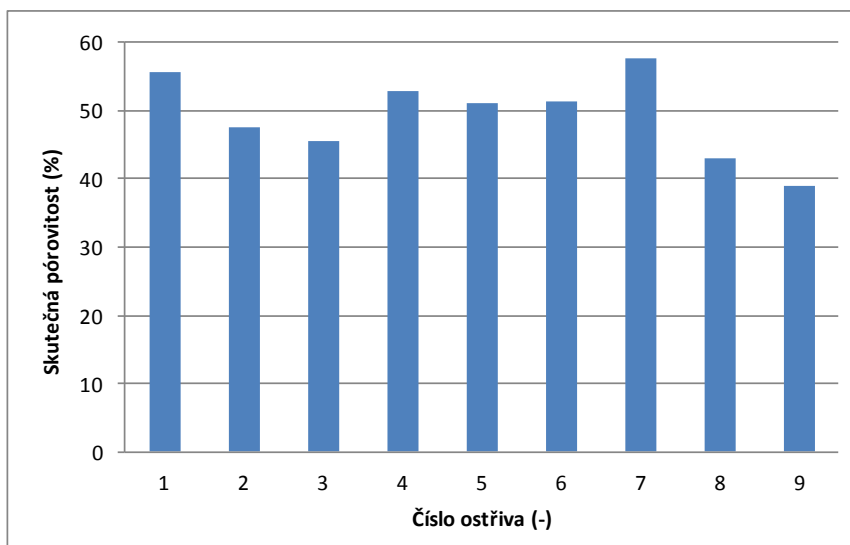
3. DISKUSE VÝSLEDKŮ

Nejdůležitější výsledky dosažené při laboratorních zkouškách jsou graficky zpracovány na následujících Obr. 2-4.

Z **Obr. 2** je možné vidět, že minimální objemové hmotnosti bylo dosaženo u ostřiva 7, 1, 4, těsně za nimi byly hodnoty vzorků s ostřivou 5, 6 (ostřiva jsou řazena od nejnižší dosažené hodnoty). Všechna tato ostřiva byla připravena z alternativních surovin. Naopak maximální objemové hmotnosti dosahovaly vzorky připravené z klasických šamotových ostřiv (8 a 9).



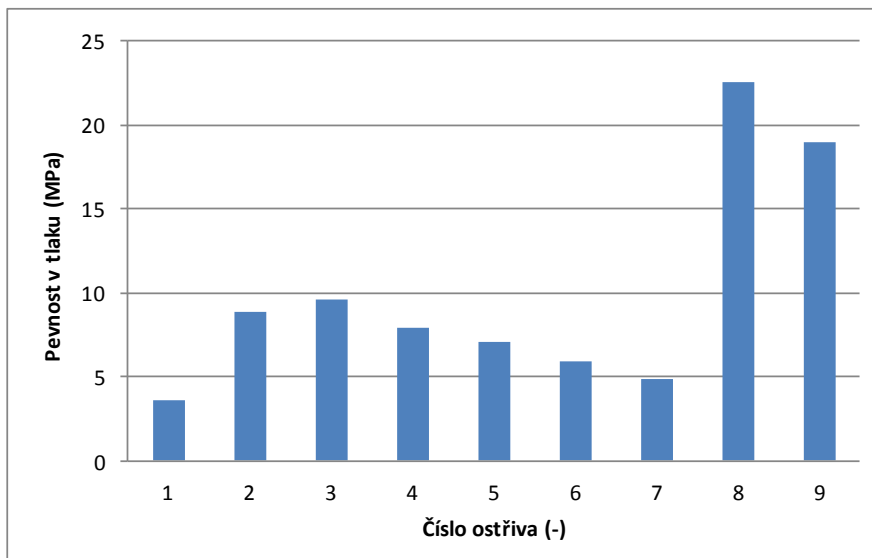
Obr. 2 Porovnání hodnot geometrické objemové hmotnosti žárobetonových vzorků podle použitého ostřiva



Obr. 3 Porovnání hodnot skutečné pórovitosti žárobetonových vzorků podle použitého ostřiva

Obr. 3 ukazuje, že nejvyšší skutečné pórovitosti bylo dosaženo u vzorků s ostřivem 7, 1 a 4 (ostřiva jsou řazena od nejvyšší dosažené hodnoty). Nejnížší pórovitosti vykazovaly vzorky se šamotovými ostřivy 8 a 9.

Na obrázku 4 je jasně patrné, že klasická šamotová ostřiva (8, 9) způsobila nejvyšší pevnost v tlaku. Naopak nejnížší hodnoty pevnosti v tlaku vykazovaly vzorky s ostřivy 1, 7 a 6 (ostřiva jsou řazena od nejnížší dosažené hodnoty).



Obr. 4 Porovnání pevnostních charakteristik žárobetonových vzorků podle použitého ostřiva

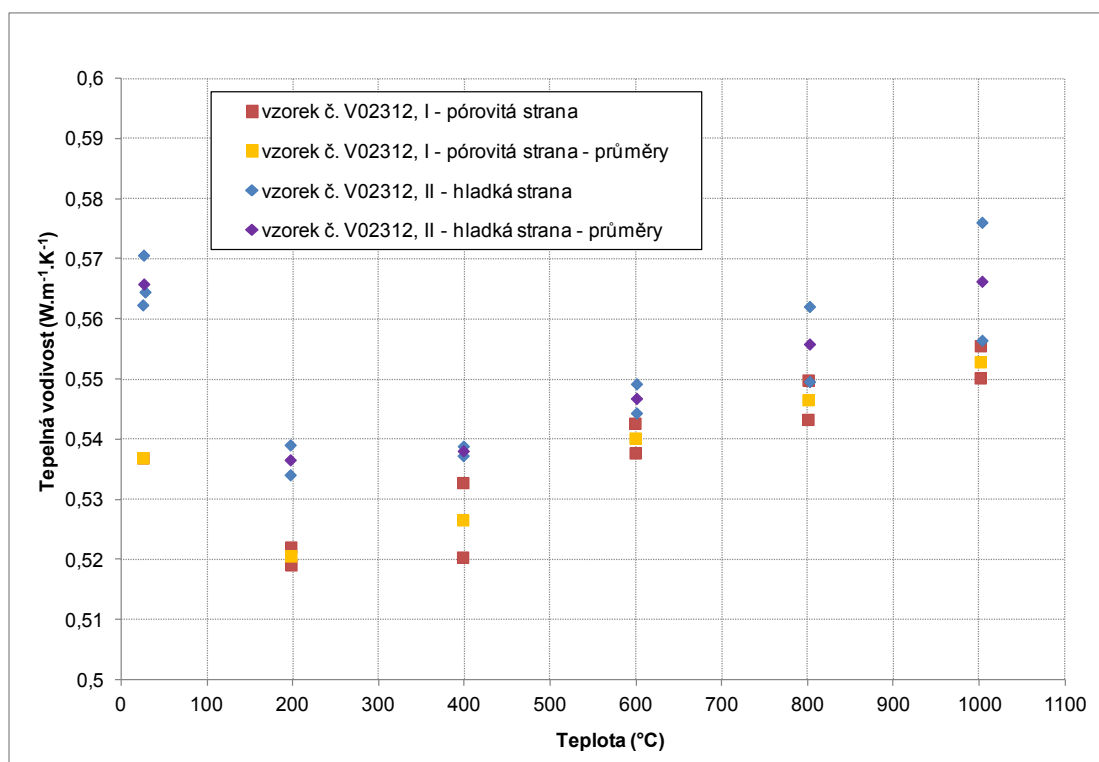
Na základě výsledků dosažených při laboratorních zkouškách a s ohledem na výzkumný záměr byla pro poloprovozní zkoušky a pro technicky i časově náročné stanovení tepelné vodivosti žárobetonových vzorků vybrána ostřiva 1, 5 a 7. Přestože vzorky s těmito ostřivy dosahovaly nejnížších hodnot pevnosti v tlaku, byla upřednostněna dosažená objemová hmotnost a pórovitost jako stěžejní parametry.

Grafické vyjádření stanovení tepelné vodivosti znázorňuje **Obr. 5**. Označení vzorku V02312 odpovídá vzorku připravenému v poloprovozních podmínkách s ostřivem 7, které bylo zvoleno pro poloprovozní zkoušky jako

první. Z grafu na tomto obrázku i z **Tab. 5** je zřejmé, že rozdíl tepelné vodivosti připraveného vzorku, stanovený na „hladké“ straně je minimální od vodivosti vzorku měřeného na povrchu „pórovitém“. Zjištěná difference nemá praktický význam. Zároveň je splněno očekávání plynoucí z fyzikální podstaty problému, a to, že hodnoty pórovitého povrchu vykazují součinitel tepelné vodivosti nižší než je tomu v případě povrchu „hladkého“.

Tab. 5 Tepelná vodivost žárobetonového vzorku

Hladká strana		Pórovitá strana	
Teplota	Tepelná vodivost	Teplota	Tepelná vodivost
(°C)	(W.m ⁻¹ K ⁻¹)	(°C)	(W.m ⁻¹ K ⁻¹)
26,30	0,566	25,35	0,537
196,99	0,537	197,76	0,521
398,71	0,538	398,05	0,527
600,58	0,547	598,94	0,540
802,26	0,556	800,53	0,547
1003,25	0,566	1001,35	0,553



Obr. 5 Tepelná vodivost žárobetonového vzorku

4. ZÁVĚR

Doposud získané informace probíhajícího výzkumu lze shrnout v následujících bodech:

- rozsáhlé laboratorní zkoušky 9 druhů ostřiv umožnily výběr 3 ostřiv pro poloprovozní zkoušky a provedení měření tepelné vodivosti
- vybraná ostřiva jsou připravena z alternativních surovin a žárobetony na jejich bázi dosahují výborných parametrů pro zařazení do kategorie izolačních materiálů
- v rámci probíhajícího výzkumu bylo sestaveno a je stále zdokonalováno zařízení pro měření významného parametru tepelné vodivosti metodou topného drátu
- vzhledem k průběhu poloprovozních zkoušek bude moci být po jejich dokončení přistoupeno k poslední etapě provozních zkoušek nově vyvinutého lehčeného žárobetonu z alternativních surovin

PODĚKOVÁNÍ

Příspěvek vznikl v rámci grantového projektu TA01020534 Technologie výroby lehčených ostřiv podporovaného Technologickou agenturou ČR a projektu SP2013/53 Systémová opatření pro snížení energetické náročnosti průmyslových technologií.

LITERATURA

- [1] VLČEK, J., aj. Průběžná zpráva o řešení projektu TA01020534 Technologie výroby lehčených ostřiv, 2011, 30 s.
[2] VLČEK, J., aj. Průběžná zpráva o řešení projektu TA01020534 Technologie výroby lehčených ostřiv, 2012, 21 s.

© TANGER, s.r.o., Ostrava

ISBN 978-80-87294-43-7

Hutní keramika 2013

Sborník přednášek, 19. - 20.9.2013, Rožnov pod Radhoštěm

Vydal: Tanger, s.r.o., Ostrava, Keltičkova 62, 71010 Ostrava 10

Vydání: první 2013

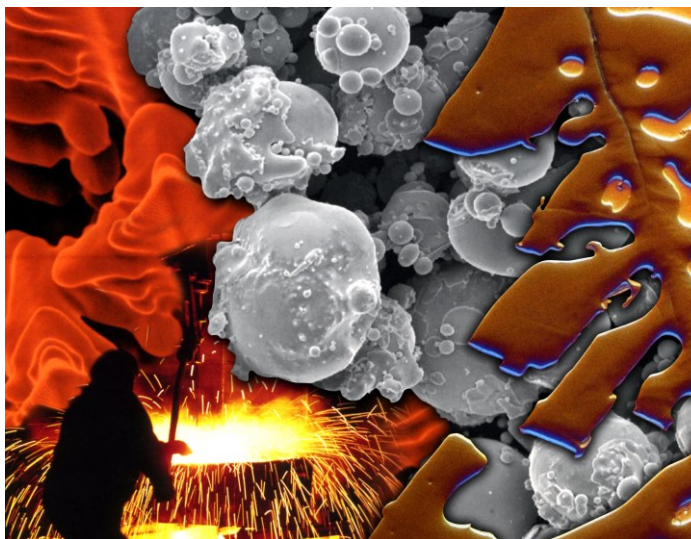
Tisk: AMOS repro, s.r.o., Ostrava

23rd International Conference on Metallurgy and Materials

METAL[®] 2014

21. -23. 05 2014

Hotel Voroněž I,
Brno,
Czech Republic, EU



23rd International Metallurgical and Materials Conference METAL 2014 is traditional meeting of metallurgists, material engineers, managers and other participants. The conference is organized in 6 symposia, where you can access the latest technological information and exchange experience and opinions with other experts from Europe, America and Asia.

CONFERENCE THEMES:

Symposium A - ADVANCED IRON AND STEELMAKING

Symposium B - METAL FORMING

Symposium C - STEEL PRODUCTS - PROPERTIES

Symposium D - MODERN TRENDS IN SURFACE ENGINEERING

Symposium E - NON-FERROUS METALS AND ALLOYS

Symposium F - ECONOMICS AND MANAGEMENT OF METALLURGICAL PRODUCTION

POSTER SESSION

CONTACTS, QUESTIONS:

METAL 2014

TANGER, Ltd.

Keltickova 62

710 00 Slezska Ostrava

Czech Republic, EU



tel: +420 595 227 117

fax: +420 595 227 110

e-mail: info@METAL2014.com

URL: www.metal2014.com

**REGISTRATION, PAYMENTS, DEADLINES, TRANSPORTATION, ACCOMMODATION,
PROGRAM AND OTHER INFORMATIONS:**

www.METAL2014.com



**KATEDRA
TEPELNÉ
TECHNIKY**



17. LISTOPADU 15, 708 33 OSTRAVA - PORUBA

KATEDRA TEPELNÉ TECHNIKY

Katedra zajišťuje studium bakalářského, inženýrského a doktorského typu. Výuka se zaměřuje na získávání, přeměny a využívání energie. Jsou respektovány světové trendy hospodaření s energií, zavádění netradičních energetických zdrojů, úpravy technologií z hlediska úspor energie s ohledem na životní prostředí, a to v průmyslové i v komunální oblasti. Výuka je dále orientována na výrobu a využití keramických materiálů. Posluchači se seznámí s celou škálou keramických materiálů, od tradičních produktů, skla, anorganických pojiv, žáromateriálů, až po oblast speciální keramiky. Studenti se výběrem volitelných předmětů profilují buď v oblasti tepelné techniky, nebo v oblasti průmyslové keramiky.

BAKALÁŘSKÉ STUDIUM, OBOR TEPELNÁ TECHNIKA A ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ

- Absolvent tohoto studia má praktické i teoretické poznatky v oboru tepelné techniky a procesů získávání a užití tepelné energie, spalovacích procesů, sdílení tepla, ohřevu a ochlazování materiálů.
- Student je seznámen s měřicí a diagnostickou technikou. Je schopen analyzovat důsledky hospodaření s tepelnou energií pro životní prostředí včetně znalostí příslušné legislativy.
- Student získává základní přehled v oblasti keramických materiálů. Důraz je kladen na poznání specifických parametrů těchto materiálů, určujících jejich využití.

MAGISTERSKÉ STUDIUM, OBOR TEPELNÁ TECHNIKA A PRŮMYSLOVÁ KERAMIKA

- Student získává poznatky pro správnou analýzu hospodaření s tepelnou energií, včetně ekologických důsledků.
- Studium zahrnuje problematiku modelování tepelných procesů a zařízení, tepelných bilancí a optimalizace práce tepelných zařízení, plynárenství, vytápění a klimatizace, stanovení tepelných ztrát a možností jejich minimalizace.
- V souvislosti s keramickými materiály se obor zaměřuje na surovinovou základnu, výrobní postupy, zkoušení a hodnocení produktů technologií skla, tradiční a stavební keramiky, žárovzdorné keramiky, izolační keramiky, maltovin, kompozitů, elektrokeramiky a biokeramiky, včetně aplikace uvedených materiálů.

DOKTORSKÉ STUDIUM, OBOR TEPELNÁ TECHNIKA A PALIVA V PRŮMYSLU

- Studium je zaměřeno na získávání, využívání a hospodaření s energií převážně tepelnou, a to i z netradičních zdrojů. Jsou řešeny technologie a tepelně technická zařízení zejména se zaměřením na úspory energie s ohledem na ekologické aspekty.
- V oblasti průmyslové keramiky se studenti zabývají procesy při výrobě, zkoušení a aplikaci keramických a žárovzdorných materiálů, skel, pojiv, izolačních materiálů a technické keramiky.
- Studenti doktorského studia se stávají plnohodnotnými členy řešitelských kolektivů výzkumných úkolů, je podporována jejich publikační činnost, zahraniční stáže a účast na odborných konferencích.

PROČ STUDOVAT U NÁS

- Absolvujete obor s bohatou tradicí a s respektem zaměstnavatelů
- Získáte kvalitní informace a stanete se vyhledávaným odborníkem
- Zapojíte se do výzkumné činnosti
- Získáte možnost absolvování zahraničních stáží
- Studium je úzce propojeno s praxí
- Nabízíme akreditované obory od bakaláře až po doktora
- Podporujeme tvořivost a individualitu studentů
- Vzájemně vytváříme přátelské prostředí



VĚDECKÁ ČINNOST

Studenti jsou aktivně zapojováni do řešení odborných projektů, podporovaných Grantovou agenturou České republiky, Ministerstvem průmyslu a obchodu, Ministerstvem životního prostředí, Ministerstvem pro místní rozvoj, Technologickou agenturou České republiky.

MOŽNOST STUDIA V ZAHRANIČÍ

Německo: RWTH Aachen University, TU Bergakademie Freiberg,
Rakousko: Technische Universität Clausthal, **Ukrajina:** DonNTU Donetsk,
Švédsko: Linköping University, **V. Británie:** The University of Exeter,
Polsko: AGH-University of Science and Technology,
Slovensko: Technická univerzita v Košiciach,
USA: Southern Illinois University Carbondale.



info

Příhlášky do bakalářského oboru:

Tepelná technika a životní prostředí, 3904R020

Příhlášky do navazujícího magisterského oboru:

Tepelná technika a průmyslová keramika, 2109T025

Další informace na internetové prezentaci katedry.



ÚSTAV PRŮMYSLOVÉ KERAMIKY

V rámci katedry tepelné techniky působí ústav průmyslové keramiky. Ústav, jako jedno z mála pracovišť v České republice, zabezpečuje studium v oblasti výroby a užití celého spektra keramických materiálů. Studenti navíc získávají přehled v oboru tepelné techniky. Zájemci se v oblasti keramických materiálů profilují výběrem volitelných předmětů a závěrečných prací. Studium je akreditováno v bakalářském, navazujícím magisterském i doktorském studijním programu.

Do oblastí keramiky se kromě tradičních materiálů, jako porcelán, pórovina, stavební a žárovzdorná keramika, řadí také materiály, které jsou nepostradatelné pro moderní progresivní technologie. Například technická keramika nalézá uplatnění v automobilovém, elektrotechnickém a leteckém průmyslu a stává se nezbytnou součástí kompozitních materiálů. Implantáty v lidském organismu jsou běžně připravovány z biokeramiky. Keramické materiály výhodně nahrazují kovy a plasty v průmyslové výrobě a také ve výrobách denního použití.

ZAPOJENÍ STUDENTŮ DO VÝZKUMNÉ ČINNOSTI ÚSTAVU

- Vývoj moderních kompozitních materiálů
- Aplikace a ekologické využívání druhotných surovin
- Studium fázového složení a mikrostruktury alternativních stavebních hmot
- Inovace a rekonstrukce tepelných zařízení v průmyslu
- Studium stability a odolnosti keramických výrobků

UPLATNĚNÍ ABSOLVENTŮ

- Technolog a vedoucí výroby
- Konstruktor a projektant
- Obchodně technický pracovník, manažer
- Pracovník vývoje a výzkumu
- Kontrola jakosti a zkušebnictví
- Tvůrčí design ve stavebnictví
- Specialista aplikace keramických materiálů



CO JE KERAMIKA

Stavební materiály • Žárovzdorné a tepelně izolační materiály • Sklo a sklokeramika
Užitková a sanitární keramika • Technická keramika a biokeramika • Anorganická pojiva • Speciální keramika • Kompozitní materiály

KERAMIKA MATERIÁL BUDOUCNOSTI



info

Přihlášky do bakalářského oboru:

Tepelná technika a životní prostředí, 3904R020

Přihlášky do navazujícího magisterského oboru:

Tepelná technika a průmyslová keramika, 2109T025

Další informace na internetové prezentaci katedry.

ZÍSKEJTE KVALITNÍ VZDĚLÁNÍ S PERSPEKTIVOU UPLATNĚNÍ



REFRASIL
S. R. O.

**Největší výrobce žárobetonových
prefabrikátů v České republice nabízí:**

- pálené šamotové
a vysokocehlité výrobky
- klasické, LCC, U-LCC a samotekoucí
žárobetony
- izolační šamotové tvarovky
- žárobetonové prefabrikáty
- žárovzdorné hmoty, malty a tmely

REFRASIL, s.r.o., Průmyslová 720, 739 65 Třinec – Kanská

Tel.: +420 558 532 026, Fax: +420 558 534 260, E-mail: office@refrasil.cz, www.refrasil.cz