

Rezultati poskusne monolitne obzidave vmesnih ponovc pri kontinuirnem ulivanju jekla

Results of Experimental Monolithic Linings of Tundishes for Continuous Casting of Steel

J. Šoba, A. Eleršek, H. Mikuž, *Zavod za raziskavo materiala in konstrukcij Ljubljana*
F. Golčman, R. Grabner, *Železarna Štore, Jeklo d.o.o.*

Zasnovan je bil sodoben način ognjevzdržne monolitne obzidave vmesnih ponovc: delovni sloj iz brizgane lahke magnezitno-olivinske mase, trajni sloj iz vibracijskega betona z ultrazvokovsebnostjo cementa na osnovi andaluzita ter zunanji izolacijski sloj iz malte na osnovi vermikulita. Debeline slojev so bile izbrane optimalno glede na konstrukcijske in toplotno izolacijske zahteve. Uvedeno je bilo vgrajevanje gostega betona s pomočjo enovite vibracijske šablone. Rezultati dela z dvema poskusnima ponovcema so pokazali, da lahko pričakujemo znatne prihranke pri stroških na tono proizvedenega jekla, ker je bila življenjska doba poskusnih ponovc več kot dvakrat daljša kot pri dosedanji obzidavi iz šamotne opeke.

Ključne besede: ognjevzdržni materiali, monolitna obzidava, vmesna ponovca, beton z ultrazvokovsebnostjo cementa

Modern monolithic refractory tundish lining was designed: working layer of sprayed lightweight magnesia-olivine mortar, permanent layer of ultralow cement castable on andalusite basis, and exterior insulation layer of vermiculite basis mortar. Installation of dense concrete by means of monolithic vibrating form was introduced. The results of operation of two tundishes showed that remarkable savings of costs per unit of produced steel could be expected, because the service life of trial tundish linings amounted to more than two lives of classical fireclay brick ones.

Key words: refractories, monolithic lining, tundish, ultralow cement castable

1 Uvod

Pomemben sestavni del naprave za kontinuirno ulivanje jekla je vmesna ponovca, ki zagotavlja enakomerno preliivanje taline jekla na večje število vzporednih kontinuirnih žil. Klasično ognjevzdržno obzidavo vmesne ponovce - izolacijski sloj iz šamotne opeke, trajno obzidavo iz šamotne opeke in delovni sloj iz goste magnezitne malte - je v svetu zamenjala obzidava iz monolitnih slojev. Ti so po lastnostih prilagojeni pogojem, ki jih zahteva metalurški proces, poglavito pa je, da se vgrajujejo s postopki, ki zahtevajo manj časa in manjše število delavcev kot zidanje z opeko. Takšni postopki so npr. nabrizgavanje in vibracijsko ulivanje ognjevzdržnih mas, ki so pri najsoodobnejših jeklarskih obratih že avtomatizirani. Lastnosti sodobnih monolitnih materialov so takšne, da zagotavljajo bistveno daljšo življensko dobo v primerjavi s klasično obzidavo.

2 Predvideni potek obzidavanja

Predvideli smo naslednji potek obzidavanja: na pločevino

ohišja ponovce opremljeno z ustreznimi sidri najprej ročno ali strojno naneseemo zunanjo izolacijsko maso. Po otrditvi in sušenju v ponovco pritrdimo enodelno kovinsko šablono opremljeno z elektromotorji - vibratorji. Med zunanji izolacijski sloj in vibracijsko šablono vgradimo trajno obzidavo ustrezne debeline. Po primerni toplotni obdelavi trajne obzidave z brizganjem naneseemo notranji delovni izolacijski sloj.

3 Določitev debelin posameznih slojev

Debeline posameznih slojev smo izbrali tako, da smo pregledali sestave monolitnih oblog vmesnih ponovc iz razpoložljive literature (1), (2) in primerjali najpogosteje uporabljene debeline s tistimi, ki smo jih določili z izračuni prehoda toplote skozi obzidavo pri pogojih obratovanja.

Za izračun temperatur na različnih mestih prereza obloge smo uporabili lasten računalniški program "Nestacionarni prehod toplote skozi sestavljeno steno" (NPTSSS). Pri računanju izbiramo debeline posameznih slojev ter njihove fizikalne lastnosti: gostoto, toplotno prevodnost in speci-

fično toploto ter potek temperature na vroči strani obloge, t.j. v ponovci, v odvisnosti od časa. S primerno izbranimi debelinami in materiali slojev dosežemo take temperature na stičnih ploskvah slojev, ki jih uporabljeni materiali še prenesajo brez škode, pa tudi temperatura na zunanem plašču ponovce ni previsoka, kar pomeni, da ni prevelikih toplotnih izgub. Na **diagramu 1** prikazujemo dva računška poteka temperatur po prerezu obloge pri končno izbranih debelinah in materialih obloge. Prvi prikazuje stanje po 2 urah predgrevanja s temperaturo 1200°C in 2 urah preliivanja taline s temperaturo 1580°C, drugi pa stanje po 4 urah predgrevanja in 4 urah preliivanja pri istih temperaturah.

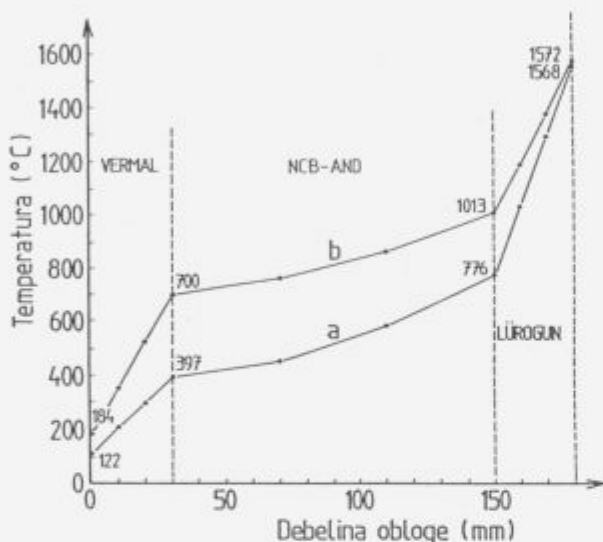


Diagram 1. Potek temperature po debelini trislojne obzidave ob koncu dveh načinov obratovanja: a) predgrevanje 2 uri pri 1200°C, preliivanje 2 uri pri 1580°C b) predgrevanje 4 ure in preliivanje 4 ure pri istih temperaturah.

Diagram 1. Variation of temperature within three-layer lining at the end of two operation cycles: a) preheating 2 hours at 1200°C, casting 2 hours at 1580°C b) preheating 4 hours and casting 4 hours at the same temperatures.

Končno izbrane debeline slojev so bile: zunanja izolacija 30 mm, trajna obzidava 120 mm in delovna obzidava 30 mm. Temperature na stičnih ploskvah, ki so razvidne iz diagrama 1, ne presegajo mejnih temperatur uporabe materialov.

4 Izbira materialov posameznih slojev

Zunanja izolacija:

Ker so toplotni izračuni pokazali, da temperatura na bolj vroči strani tega sloja ne presega 1000°C, smo izbrali lahki izolacijski beton razvit na ZRMK z nazivom VERMAL Z1. Ta je primeren za ročno in za strojno nanašanje in ima v svežem stanju odličen oprijem na pločevino ponovce. Lastnosti VERMALA Z1 so prikazane v **tabeli 1**.

Trajna obzidava:

Na vroči strani tega sloja je pričakovati temperature med 750 in 1350°C. Alumosilikatni material mora zato vsebo-

Tabela 1: Lastnosti lahkega izolacijskega betona VERMAL Z1

prostorninska masa:	600 kg/m ³
tlačna trdnost v sušenem stanju:	0,8 MPa
toplotna prevodnost pri	
200°C:	0,116 W/mK
400°C:	0,138 W/mK
600°C:	0,163 W/mK
800°C:	0,192 W/mK
temperatura uporabe:	1000 °C

vati nad 40 % aluminijevega oksida, vendar ne preko 80 %, ker bi se preveč poslabšala odpornost proti hitrim temperaturnim spremembam in povišala gostota. Po pregledu lastnosti različnih vrst monolitnih materialov iz literature smo se odločili, da razvijemo HIGH-TECH beton z nizko, skoraj že ultranizko vsebnostjo visokoaluminatnega cementa, ki bo imel za ognjevzdržni agregat alumosilikat andaluzit vsebujoč 60 % aluminijevega oksida. Ta beton je imel po navedbah iz literature eno najvišjih odpornosti na hitre temperaturne spremembe in eno najdaljših trajnosti. Lastnosti novo razvitega betona za vibracijsko vgrajevanje z oznako NCB-AND so prikazane v **tabeli 2**.

Tabela 2: Lastnosti betona za trajno obzidavo NCB-AND

prostorninska masa	pri 110°C:	2600 kg/m ³
	pri 1200°C:	2550 kg/m ³
tlačna trdnost	pri 110°C:	17 MPa
	pri 1350°C:	33 MPa
upogibna trdnost	pri 110°C:	2 MPa
	pri 1350°C:	4 MPa
trajne dimenzijske spremembe po odžigu 4 ure pri 1350°C:		+ 0,6 %
povprečni linearni raztezostni koeficient med 20 in 1500°C:		6,5 · 10 ⁻⁶ K ⁻¹
temperatura uporabe: 1550°C		
toplotna prevodnost pri 1000°C:		2,4 W/mK
zamesna voda pri vgrajevanju:		5,4 - 6,2 %

Pomembna lastnost tega betona je, da se po prvem segrevanju na visoko temperaturo trajno razširi. Okoli nove dolžine se nato pri uporabi reverzibilno razteza in krči z navedenim raztezostnim koeficientom. Ta lastnost omogoča, da v velikih jeklnah betonirajo v enem kosu kadi dimenzij tudi do 8 × 1,5 m. V ilustracijo opisane lastnosti prikazujemo v diagramu 2 dilatogram neodžganega in odžganega betona NCB-AND.

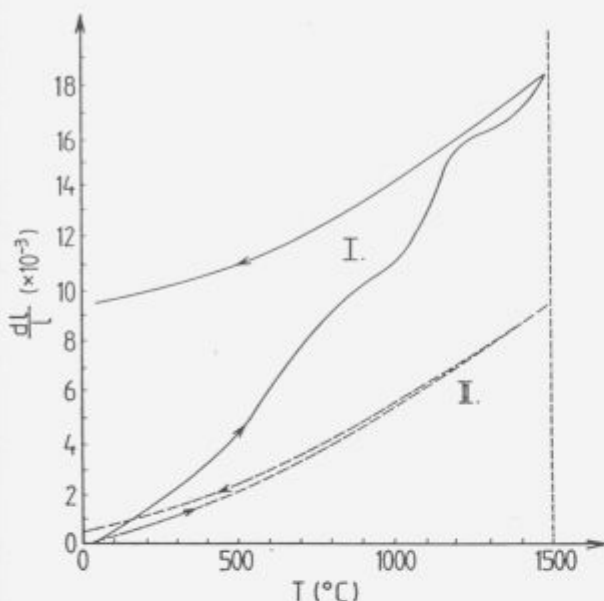


Diagram 2. Dilatogram neodžganega (I) in odžganega (II) betona NCB-AND v območju med 20 in 1500°C

Diagram 2. Thermal expansion of unfired (I) and fired (II) castable NCB-AND in the range between 20 and 1500°C

Notranja delovna obzidava:

Na osnovi naših večletnih kontaktov s strokovnjaki firme Lungen iz Nemčije smo za notranji vroči izolacijski sloj predlagali njihovo brizgano maso Lütogun 0837. Ker ta, za razliko od do tedaj uporabljane mase firme Radex, vsebuje poleg sinter magnezita kot osnovnega agregata tudi magnezijev silikat olivin, je še lažja in bolj toplotno izolativna, predvsem pa cenejša. Gledano s stališča prihrankov na toplotni energiji je izredno pomembno, da se sloj z dobro toplotno izolativnostjo nahaja na vroči strani obloge. Tedaj bo manj toplote prešlo iz taline jekla na oblogo in talina se bo manj ohladila.

Navedena masa je potrošni material: po vsakem litju se izstrese iz ohlajene ponovce z ostanki taline in žindre, nato pa se ponovno strojno nabrizga na še toplo trajno oblogo. Zato je pomembno, da se notranja izolacija vmesne ponovce pri visokih temperaturah ne lepi na podlago, kar dosežemo z ustrezno sestavo in dodatki. Lastnosti uporabljene mase Lütogun so podane v tabeli 3.

5 Vgrajevanje posameznih slojev

Zunanja izolacija:

Izolacijsko malto VERMAL Z1 so mešali v mešalniku tipa Viktor v količinah po 25 kg s predpisano količino vode. Nato so jo nanašali v debelini 3 cm na ohišje ponovce z zidarskim orodjem. Masa je imela odličan oprijem na podlago. Pustili so jo otrjevati več dni na zraku, nakar so jo sušili 8 ur pri 150°C s plinskim gorilnikom.

Tabela 3: Lastnosti izolacijske mase Lütogun 0837 za nabrizgavanje delovnega sloja

prostorninska masa	sušene mase pri 110°C: odžgane pri 1200°C:	1570 kg/m ³ 1550 kg/m ³
toplotna prevodnost pri 1400°C:		0,51 W/mK
temperatura uporabe:		1750°C

Trajna obzidava:

Predpogoj za izvedbo monolitne trajne obzidave je bila izdelava dobre vibracijske šablone. Izdelali so jo v Železarni Štore. Dimenzionirali so jo na podlagi predlaganih dimenzij posameznih slojev obzidave in velikosti ponovce. Material zanjo je bilo konstrukcijsko jeklo Č.0545 v debelini 5 mm. Zaradi velikih dimenzij je bila ojačana s kotnimi profili. Hkrati so bila izdelana mesta za pritrditev 4 elektromotorjev -vibratorjev. Tri odprtine za izlivne školjke v dnu ponovce je bilo možno oblikovati tako, da so bili na dnu šablone pritrjeni 3 škatlasti opaži. Spoj med šablono in ohišjem vmesne ponovce je bil zaradi močnih vibracij izveden preko 6 vijakov na podložnih ploščah iz gume.

Beton NCB-AND so mešali v šaržah po 230 kg z velikim mešalnikom tipa Viktor in ga ročno vsipavali med šablono in zunanjo izolacijo. Med in ob koncu vgradnje so beton zgoščevali z vibriranjem šablone, pri čemer se je dovolj hitro razlival. Za vgradnjo 4,5 tone betona je bilo potrebno delo 5 oseb 1 uro. Po treh urah je beton toliko otrdel, da so lahko odstranili šablono z žerjavom.

Toplotna obdelava trajne obloge je bila naslednja: 48 ur sušenje pri cca. 100°C, dvig temperature na 700°C v 24 urah, držanje te temperature 6 ur, nato dvig na 800°C 4 ure ter držanje 6 ur pri tej temperaturi in slednjič ohlajanje.

Zunanja izolacija:

Obrizg smo izvajali z aparatom MAI 220. Sušenje je trajalo cca. 15 minut do temperature 150°C, nato je sledil porast v eni uri do 600°C ter v nadaljnjih dveh urah do 1200°C, ko je postala ponovca dovolj ogreta za litje.

6 Obnašanje vmesnih ponovc v uporabi

Po opisanem postopku sta bili obzidani dve vmesni ponovci 3,6 × 1,2 × 0,6 m za prelivanje 10 t jekla. Od 1. avgusta 1992 do 7. septembra 1993 je bilo z vsako opravljenih 104 odlivanj. Ponovci sta še v uporabi. Na trajni obzidavi so se pojavile razpoke v mrežasti obliki, ki so se le počasi širile. Odpadanje materiala na stičiščih razpok in tudi porušitev ali izpadanje posameznih delov se ni pojavilo. Ocenjujejo, da bi ena od vmesnih ponovc lahko vzdržala še enkrat toliko prelivanj, druga pa manj.

Positivni učinki na metalurški proces so bili: - manjša poraba brizgane notranje izolacije zaradi večje ravnosti trajne obzidave in enakomernejše debeline; - lažje luščenje delovne obloge na obračalni napravi - niso bili več potrebni

fizični posegi z možnostjo mehanskih poškodb trajne obzidave; - padec temperature taline med livno ponovco in vmesno ponovco merjen po 10 minutah prelivanja je bil enak, kot pri klasični obzidavi, kasnejši padec med odlivanjem pa je bil manjši in je znašal povprečno 4,4°C.

Po podatkih Železarne Štore so bili stroški obzidave vmesne ponovce pri trajni obzidavi iz šamotne opeke 1,416 DEM, pri novi monolitni obzidavi pa 1,26 DEM na tono proizvedenega jekla. Pri tem izračunu so upoštevali, da znaša trajnost klasične obzidave 40 šarž, monolitne obzidave pa 104 šarže.

7 Zaključek

Uspešna poskusna obzidava vmesnih ponovc v Železarni Štore je bila rezultat sodelovanja strokovnjakov Jeklarne, ZRMK in tujega partnerja. Kolikor nam je poznano, je bila to tudi prva aplikacija doma razvitega ognjevzdržnega materiala na osnovi andaluzitnega agregata. Potrjuje koncept razvoja ognjevzdržnih materialov, po katerem jih je treba sestavljati tako iz razpoložljivih domačih kot neobhodno potrebnih uvoženih surovin. Kupovanje gotovih uvoženih mas in njihove aplikacije po tujih navodilih so dostikrat cenovno ugodne, toda dolgoročno gledano s tem siromašimo naše znanje na tem področju in odjedamo zaslužek domačim proizvajalcem ognjevzdržnih materialov. Z dobrim poznavanjem tržišča ognjevzdržnih surovin v Evropi in širše ter ob nižji ceni dela pri nas bi lahko tudi doma proizvajali te materiale po evropskih cenah.

8 Literatura

- ¹ W. Krönert: Development Trends in Refractory Materials for Continuous Casting Applications. Interceram, Special Issue 1987, Vol. 36, str. 10 - 18
- ² R. Avis, B. Clavaud, J.P. Radal: Monolithic Permanent Linings in Tundishes. Interceram, Special Issue 1987, Vol. 36, str. 33 - 38.