

Razvoj in uporabnost domačih kompleksnih cepiv za sivo litino z lamelastim grafitom - II. del

Development and Usability of Domestic Complex Inoculants for Grey Cast Iron with Flake Graphite

Uršič V¹, Inštitut za kovinske materiale in tehnologije, Ljubljana
I. Surina, S. Semenič, TDR - Metalurgija d.o.o.
M. Tonkovič-Prijanovič, Belt - Livar d.o.o.

Rezultati cepljenja talin sive litine z lamelastim grafitom. Ugotavljanje cepilnega učinka v odvisnosti od kemijske sestave taline, temperature taline, odstajanja taline po cepljenju in od hitrosti ohlajanja ulitka.

Ključne besede: cepiva, siva litina, cepilni učinek, vplivni dejavniki

The results of inoculation of grey cast iron with flake graphite. Determination of inoculation effect, depending on chemical composition of the melt, on melt temperature, on holding time after inoculation and on cooling rate of test castings.

Key words: inoculants, grey cast iron with flake graphite, inoculation effect, significant factors

1. Uvod

V I. delu smo predstavili kemijsko sestavo (tabela 1), mikrostrukturne značilnosti in obnašanje domačih cepiv v talilnem mikroskopu¹. To so kompleksna cepiva za sivo litino z lamelastim grafitom, s katerimi želimo doseči v litini drobnozrnat perlit s čimbolj enakomerno porazdeljenim lističastim grafitom. Razvili in izdelali so jih v Tovarni dušika Ruše^{2,1} v okviru triletnega razvojno - raziskovalnega projekta: "Razvoj in implementacija sodobnih zlitin za livarstvo in jeklarstvo".

Tabela 1: Kemijska sestava preiskovanih cepiv
Table 1: Chemical composition of investigated inoculants (m. %)

Cepivo	Si	Al	Ca	Ba	Zr	Mg	CeMM	Mn	Fe
	(mas. %)								
RB 25	72,9	1,59	0,9	2,59	-	-	-	-	ost.
RB 5	69,6	1,82	1,7	6,09	-	-	-	-	ost.
RB 10	69,4	1,71	1,4	0,25	-	-	-	-	ost.
RZ 25	71,9	1,80	1,07	-	3,32	-	-	-	ost.
RC 1	74,8	1,60	2,84	-	1,88	-	-	-	ost.
RC 2	48,0	0,89	1,21	-	2,23	2,50	0,40	-	ost.
RBM 59	59,8	1,77	3,60	4,36	-	-	-	6,26	ost.
RZM 33	64,8	1,38	0,72	-	3,08	-	-	2,48	ost.
RZM 55	62,4	0,60	0,54	-	4,75	-	-	5,42	ost.
TC	63,0	1,58	1,23	2,32	-	-	-	-	ost.

V nadaljevanju poročamo o ugotavljanju uporabnosti obravnavanih cepiv, ki smo jih preiskovali v polindustrijskem obsegu in pri tem ugotavljali, kateri dejavniki poleg lastnosti cepiv samih, vplivajo na njihov cepilni učinek.

2. Delo in rezultati

2.1 Vpliv kemijske sestave taline na učinek cepljenja

V elektroindukcijski peči smo pripravili dve talini - s stopnjo nasičenja SC = 0,88 in SC = 0,98. Cepili smo ju z dvema cepivoma z barijem (RB 5 in RB 25) in z dvema cepivoma s cirkonijem (RZ 25 in RC 1). Dodatek cepiva z granulacijo 2 do 6 mm je bil v vseh primerih 0,35 mas.%. Za posamezno obdelavo smo porabili po 250 kg taline s temperaturo, ki je bila ob cepljenju 1350°C. V forme iz bentonitne peščene mešanice smo ulivali palice s premerom 30 mm - za določanje natezne trdnosti in obročje z maso 10 kg, pri katerih se je debelina stene skokovito povečala iz 15 na 45 mm.

Litina s stopnjo nasičenja SC = 0,88

Litine, ulite 2 minuti po cepljenju, so imele, če so bile cepljene s cepivi RB 25, RZ 25 in RC 1 natezno trdnost med 320 in 330 MPa, medtem ko je imela litina, cepljena s cepivom RB 5 natezno trdnost 304 MPa. Ko smo pustili cepljene taline odstajati 8 minut, pa so se pokazale določene razlike: pri litinah, cepljenih s cepivoma RB 25 in RZ 25, vpliv časa zadrževanja pred ulivanjem ni bil opazen, medtem ko je pri litinah, cepljenih s cepivoma RC 1 in RB 5, cepilni učinek nekoliko splahnel in se je njuna natezna trdnost zmanjšala za 70 - 80 MPa. Trdota litin, cepljenih z omenjenimi štirimi cepivi, je bila v vseh primerih med 220 in 240 HB, ne glede na hitrost ohlajanja, tako da vpliv debeline stene ni bil izrazit.

¹ Vito URŠIČ, dipl. inž. met.
Inštitut za kovinske materiale in tehnologije
Lepsi pot 11, 61000 Ljubljana

Litina s stopnjo nasičenja $SC = 0.98$

Pri litinah z višjo stopnjo nasičenja, ne glede na cepivo, je bil učinek v vseh primerih občutno slabši kot pri litinah z nižjo stopnjo nasičenja, kar smo pričakovali. Litine, cepljene s cepivi RB 25, RZ 25 in RC 1 in ulite 2 minuti po cepljenju, so imele natezno trdnost med 190 in 205 MPa, le pri litini, cepljeni s cepivom RB 5 je natezna trdnost dosegla 215 MPa. Natezna trdnost po osemminutnem zadrževanju pred ulivanjem se litinama, cepljenima s cepivoma RB 5 in RZ 25 ni spremenila, litinama cepljenima s cepivoma RB 25 in RC 1 pa se je za malenkost povečala.

Po cepljenju s cepivi RB 5, RB 25 in RZ 25 so imele litine trdoto med 202 in 210 HB. Zelo visoko trdoto je imela litina, cepljena s cepivom RC 1 - 239 HB.

Občutnejšo razliko trdote zaradi različne debeline stene smo ugotovili le pri litini, cepljeni s cepivom RZ 25 - trdota tankega prereza je bila 207 HB, debelejšega pa 185 HB.

2.2 Cepilni učinek in vpliv trajanja odstajanja

V nadaljevanju smo preizkusili šest cepiv (RB 5, RB 25, RZ 25, RZM 33, RZM 55 in tuje cepivo TC, za katerega smo že ugotovili, da ga lahko primerjamo z našim cepivom RB 25). Taline s stopnjo nasičenja $SC = 1.0$ in pregrete na 1350°C smo porabili po 280 kg. Dodatek cepiva z granulacijo 2 - 6 mm je bil v vseh primerih 0.35 mas.%,

Ugotavljali smo učinkovitost posameznih cepiv in kako se spreminja - upada - cepilni učinek, če trajanje zadrževanja taline po cepljenju podaljšamo preko 20 minut. V tem času smo ulivali posamezne vzorce za preiskavo v razmakih 5 - 7 minut.

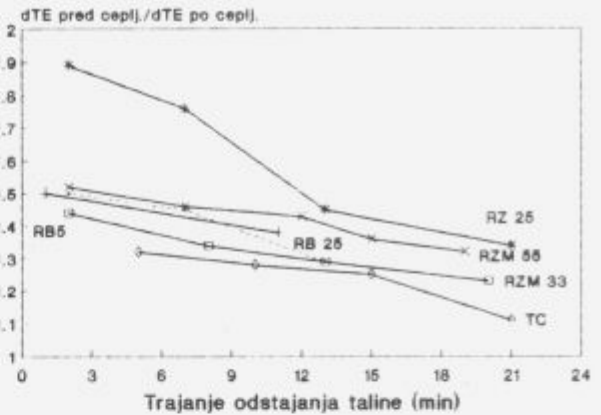
Kot kriterij uspešnosti cepljenja oziroma učinkovitosti cepiva je predlagano razmerje med euteklično podhladitvijo taline pred cepljenjem in po cepljenju⁴. Ta podatek nam posreduje termična analiza. Večje je to razmerje, večje je število eutekličnih celic (pri razmerju 1.7 je okoli 300 eutekličnih celic/cm²). Majhno razmerje (okoli 1.3) pomeni, da je bila litina prešibko cepljena. Če pa je omenjeno razmerje visoko (okoli 2.2), pa to pomeni, da je bila litina precepljena in je poleg drugih napak možen predvsem pojav lunkranja oziroma mikroporoznosti.

Po omenjenem kriteriju je bilo najučinkovitejše cepivo RZ 25; učinek takoj po cepljenju je bil najboljši (razmerje okoli 1.9) in kljub sorazmerno močnemu padanju med odstajanjem taline pred ulivanjem je bil tudi še po 20 minutah v sprejemljivih mejah (okoli 1.35). Cepivi RZM 55 in RZM 33 sta kljub nekoliko nižji začetni ravni zadržali potrební učinek do dvajsete minute (slika 1).

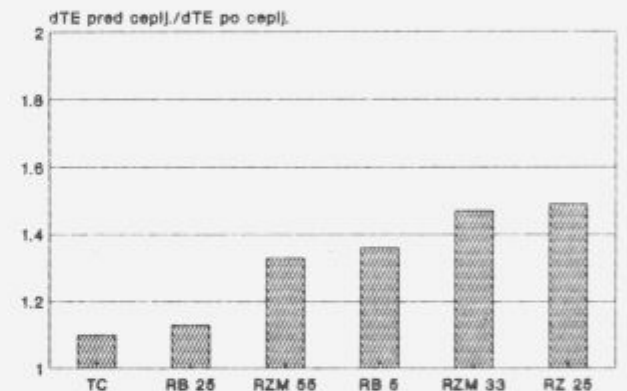
Za primerjavo smo temperaturo taline dvignili na približno 1420°C . S termično analizo smo ugotovili euteklično podhladitev necepljene taline in talin, ulitih 2 - 3 minute po vnosu istih cepiv v talino.

Vidimo, da cepivi s cirkonijem in manganom (RZ 25 in RZM 33), zagotavljata najboljši učinek, občutno slabšega pa cepivi z barijem (slika 2).

Preiskave v talinem mikroskopu² so pokazale, da imajo med obravnavanimi cepivi najvišja tališča (med 1400 in 1500°C) tista s cirkonijem in manganom (RZ 25, RZM 55, RZM 33), za katera smo ugotovili, da zagotavljajo tudi najboljši cepilni učinek. To je posledica vnosa zlitin z višjim tališčem, iz katerih nastanejo bolj stabilne kristalizacijske kalí, ki so v talini tudi dalj časa obstojne. Na njihovo obstojnost med drugim vpliva tudi temperatura taline, saj lahko na ta način pojasnimo zakaj je cepilni učinek vseh obravnavanih cepiv občutno boljši v manj pregreto talini.



Slika 1: Razmerje euteklične podhladitve pred in po cepljenju v odvisnosti od trajanja odstajanja taline s temperaturo 1350°C
 Figure 1: Ratio eutectic undercooling before inoculation / eutectic undercooling after inoculation, depending on holding time of the melt with temperature 1350°C



Slika 2: Razmerje euteklične podhladitve pred in po cepljenju pri talini s temperaturo 1420°C
 Figure 2: Ratio eutectic undercooling before inoculation / eutectic undercooling after inoculation; melt temperature: 1420°C

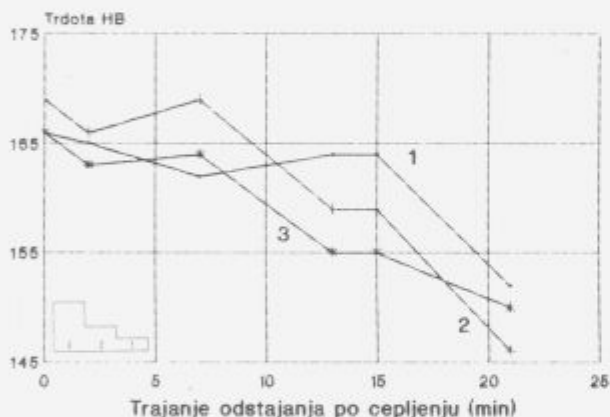
2.3 Skupni vpliv hitrosti ohlajanja in trajanja odstajanja na lastnosti sive litine

Poznavanje vpliva debeline sten na izoblikovanje mikrostrukture in na mehanske lastnosti sive litine je pomembno za livarja, ki mora s pomočjo ustrezne livarske tehnologije in sredstev, ki so mu na voljo, zagotoviti čim bolj izenačene lastnosti po različno debelih prerezihih ulitka. Tudi s pravilno izbranim cepivom je mogoče vpliv različne hitrosti ohlajanja na izoblikovanje mikrostrukture nekoliko omiliti.

Zato smo iz talin $SC = 1.0$, ki smo jih pri 1350°C cepili s šestimi preiskovanimi cepivi, ulivali poleg palic s premerom 30 mm tudi preiskuvance s tremi različnimi debelinami stopnic: 25, 50 in 100 mm. Poleg ugotavljanja vpliva hitrosti ohlajanja smo ugotavljali tudi, kako se mikrostruktura in trdota litin spreminjata s trajanjem odstajanja po cepljenju. Pri litinah, cepljenih s cepivi RZ 25, RZM 33, RZM 55, RB 25 in s cepivom TC je bil vpliv hitrosti ohlajanja bolj ali manj neizrazit, kar je zelo ugodno, ko moramo ulitek pred vgradnjo mehansko obdelati. Pri litini, cepljeni s cepivom RB 5, pa se je trdota precej bolj spreminjala od stopnice do stopnice.

Vpliv trajanja odstajanja cepljene taline ni bil močan pri litanah, cepljenih s cepivi RZ 25, RZM 33 in TC. Ves čas odstajanja je bila namreč trdota v naštetih primerih na stalni ravni (med 160 in 170 HB), kar je prav tako ugodno, če obdelamo večjo količino taline in z njo dalj časa polnimo večje število form. Trdota litine, cepljene s cepivom RZM 55 pa je bila do približno petnajste minute odstajanja nespremenjena (165 HB), nato pa se je hitro močno znižala (135 HB). Trdota litine, cepljene s cepivom RB 25 se je med odstajanjem ves čas postopoma nižala (od 165 na 145 HB) (slika 3).

Na slikah 4 do 8 vidimo, kako se je spreminjala mikrostruktura v palicah iz litine, cepljene s cepivom RB 25, v odvisnosti od trajanja odstajanja po cepljenju. S pojemanjem cepilnega učinka zaradi zadrževanja taline se namreč v mikrostrukturi povečuje delež ferita na račun perlit⁴⁵. V necepljeni litini (slika 4) prevladuje ferit predvsem v večjih gnezdih na robu ulitka, preostala osnova pa je perlitna. Pri tem se pojavlja grafit oblike D in E. Osnova litin, pri katerih je bil cepilni učinek najboljši (sliki 5 in 6) je pretežno perlitna le z 1 - 5 % po vsem prerezu enakomerno porazdeljenega ferita. Prevladuje grafit A 3 - 4; poleg njega je prisoten le še manjši delež grafita B. Pri predolgo odstajani litini (sliki 7 in 8), se je delež ferita, na račun perlit, povečal na 20 - 40 %, grafit pa se je ponovno izločil v nezaželjeni obliki D.



Slika 3: Vpliv trajanja odstajanja taline in debeline stene na trdoto vzorcev iz stopničastega preiskušanca; cepivo RB 25

Figure 3: Influence of holding time and wall thickness on the hardness of the specimens from wedge test castings; inoculant RB 25



Slika 4: Mikrostruktura necepljene litine (palica s premerom 30 mm); stopnja nasičenja SC = 1.0

Figure 4: Microstructure of noninoculated cast iron (test bar - 30 mm); saturation grade SC = 1.0



Slika 5: Mikrostruktura z RB 25 cepljene litine (palica s premerom 30 mm); trajanje odstajanja po cepljenju: 2 minuti

Figure 5: Microstructure of inoculated cast iron (test bar - 30 mm); holding time after inoculation: 2 minutes



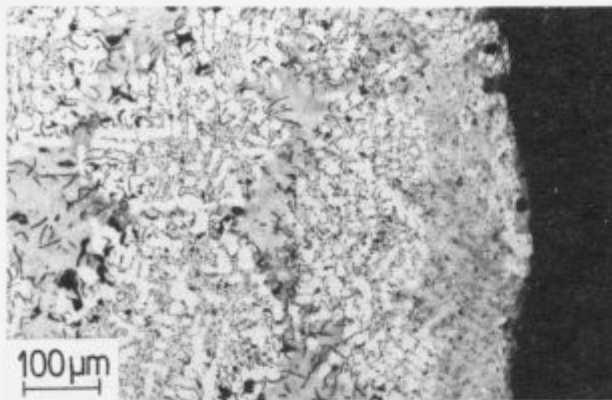
Slika 6: Mikrostruktura z RB 25 cepljene litine (palica s premerom 30 mm); trajanje odstajanja po cepljenju: 7 minut

Figure 6: Microstructure of inoculated cast iron (test bar - 30 mm); holding time after inoculation: 7 minutes



Slika 7: Mikrostruktura z RB 25 cepljene litine (palica s premerom 30 mm); trajanje odstajanja po cepljenju: 15 minut

Figure 7: Microstructure of inoculated cast iron (test bar - 30 mm); holding time after inoculation: 15 minutes



Slika 8: Mikrostruktura z RB 25 cepljene litine (palica s premerom 30 mm); trajanje odstajanja po cepljenju: 21 minut

Figure 8: Microstructure of inoculated cast iron (test bar - 30 mm); holding time after inoculation: 21 minutes

3. Zaključki

V triletnem projektu so v TD Ruše v obstoječih talilnih agregatih med drugim razvili in osvojili proizvodno tehnologijo za vrsto sodobnih kompleksnih cepiv za sivo litino z lamelastim grafitom. Ta cepiva smo najprej podrobneje analizirali in pregledali. V nadaljevanju smo nekatera izmed njih preiskusili v polindustrijskem obsegu, da bi ugotovili njihove učinke in uporabnost pri izdelavi različnih vrst litin oziroma pri različnih pogojih. Ugotavljali smo kaj lahko pričakujemo od cepiv samih, kako na njihov cepilni učinek vplivajo različni dejavniki, kot so

kemijska sestava taline, njeno prejetje, zadrževanje cepljene taline pred ulivanjem in hitrost ohlajanja. Vse to vpliva na izoblikovanje mikrostrukture in lastnosti izdelanih litin. Prišli smo do določenih ugotovitev, s pomočjo katerih bo moč svetovati uporabo posameznega cepiva za določene vrste litine.

Izdelava novih, sodobnejših cepiv predstavlja za TD Ruše obogatitev proizvodnega programa, osvajanje nove tehnologije ter povečano ponudbo teh zlitin domačim in tujim livarnam.

4. Zahvala

Zahvaljujemo se Ministrstvu za znanost in tehnologijo Republike Slovenije, ki je sofinanciralo izvajanje gornjega razvojno - raziskovalnega projekta.

5. Literatura

- ¹ V. Uršič, I. Surina, S. Semenič, M. Tonkovič-Prijanovič: Razvoj in preiskava domačih kompleksnih cepiv za sivo litino z lamelastim grafitom; *Kovine zlitine tehnologije*, 28, 1994, 1-2, 251-255
- ² V. Uršič, I. Surina, S. Semenič, M. Tonkovič-Prijanovič: Razvoj in uvajanje kompleksnih modifikatorjev, *Projekt MZT 42-0392: Razvoj in implementacija sodobnih zlitin za livarstvo in jeklarstvo, I. del*; Inštitut za kovinske materiale in tehnologije v Ljubljani, 1992
- ³ V. Uršič, I. Surina, S. Semenič, M. Tonkovič-Prijanovič: Razvoj in uvajanje kompleksnih modifikatorjev, *Projekt MZT 42-0392: Razvoj in implementacija sodobnih zlitin za livarstvo in jeklarstvo, II. del*; Inštitut za kovinske materiale in tehnologije v Ljubljani, 1993
- ⁴ K. H. Caspers: Pristop k zagotavljanju kakovosti staljene sive litine, *Livarski vestnik*, 5, 1987, 129-134
- ⁵ J. Mueller, W. Siefert: Entwicklung wirksamer Impftechniken, *Giessereiforschung*, 45, 1993, 4, 135-141