

VPLIV RAZMER PRI RAZPRŠEVANJU TALINE NA LASTNOSTI JEKLENEGA GRANULATA

INFLUENCE OF ATOMISING CONDITIONS ON THE PROPERTIES OF A HIGH-CARBON CAST STEEL SHOT

Franc Zupanič, Tonica Bončina, Alojz Križman, Rebeka Rudolf

Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo, Smetanova 17, 2000 Maribor

Prejem rokopisa - received: 1999-07-20; sprejem za objavo - accepted for publications: 1999-07-27

V tej raziskavi smo opredelili vpliv procesnih parametrov pri razprševanju jeklene taline na lastnosti visokoogljčnega jeklenega granulata. V sodelovanju s podjetjem Abrasiv Muta smo v industrijskih razmerah razpršili devet šarž jeklene taline ob znanih vrednostih različnih vplivnih parametrov, kot so temperatura in pretok taline, tlak in temperatura razpršilne vode, temperatura in nivo vode v hladilnem bazenu... Rezultati preiskav jeklenega granulata so pokazali, da ima najizrazitejši vpliv tlak razpršilne vode, ki določa velikostno porazdelitev jeklenih kroglic v granulatu, njihovo okroglost ter obrabno obstojnost. Tudi vpliv drugih dejavnikov ni zanemarljiv. Ugotovljeno je, da večje granulacije kroglic vsebujejo večje število napak kot drobne, to pa se kaže tudi v njihovi manjši obrabni obstojnosti.

Ključne besede: jekleni granulati, velikostna porazdelitev, okroglost, obrabna obstojnost, Ervinov preskus

In this investigation we studied the influence of processing parameters by melt atomisation on the properties of a high carbon steel shot. We performed atomisation of nine heats in industrial conditions (Abrasiv Muta) by known processing parameters such as temperature and flow rate of the melt, temperature and pressure of the atomising water, temperature and level of water in the cooling pool... It has been found out that the pressure of the atomising water determines in a great extent the size distribution, spheroidity and wear resistance of the cast steel shot, although the influence of other parameters is not negligible. Results also suggest that larger granulation contain more defects than smaller, with consequential detrimental effect on their wear resistance.

Key words: high carbon steel shot, size distribution, spheroidity, Ervin test, wear resistance

1 UVOD

Visokoogljčni jekleni granulati se večinoma uporabljajo za peskanje ulitkov in utrjevanje površine strojnih in konstrukcijskih elementov. Postopek njegove izdelave lahko v grobem razdelimo v tri stopnje, ki zajemajo (1) pripravo jeklene taline, praviloma v EOP, (2) razprševanje taline in (3) toplotno obdelavo granulata¹. Med naštetimi stopnjami izdelave ostaja pri razprševanju (atomizaciji) jeklene taline še največ možnosti za izboljšanje in optimizacijo procesov, ker nanjo vpliva veliko število procesnih parametrov, katerih vpliv na lastnosti jeklenega granulata še ni popolnoma opredeljen. K temu prispeva majhna ponovljivost poskusov in tudi težavnost merjenja pomembnih lastnosti jeklene taline, kakor tudi ključnih procesnih parametrov. Navadno lastnosti jeklenega granulata preverjajo šele po končani toplotni obdelavi, pri tem pa so zaradi narave delovnega procesa v preskusnem vzorcu granulati iz različnih šarž. Zato s temi podatki ni mogoče dobiti

neposredne povezave med parametri razprševanja in lastnostmi jeklenega granulata.

Zaradi tega smo v tej raziskavi opredelili makro- in mikroskopske značilnosti granulotov, kakor tudi njihovo obrabno obstojnost neposredno po razprševanju. Pri tem je bil temeljni cilj raziskave ugotoviti soodvisnost med procesnimi parametri, makro- in mikroskopskimi značilnostmi granulata ter obrabno obstojnostjo.

2 EKSPERIMENTALNO DELO

V sodelovanju s podjetjem Abrasiv Muta smo v industrijskih razmerah razpršili devet šarž visokoogljčne jeklene taline. To jeklo vsebuje 0,80-1,10% C in največ po 0,04% S in P. Mejne vrednosti, v katerih so se gibale koncentracije kemijskih elementov v devetih šaržah, so podane v **tabeli 1**.

Posamezna šarša je bila razpršena v dveh livnih bazenih. V prvem je bil tlak razpršilne vode vselej 1,3 bar, v drugem pa 1,5 bar. Drugi parametri atomizacije,

Tabela 1: Kemijska sestava visokoogljčnega jeklenega granulata. Podane so mejne koncentracije kemijskih elementov v devetih šaržah

Table 1: Chemical composition of the high carbon cast steel shot (the minimum and the maximum concentrations of the chemical elements in the nine heats)

C	Si	S	P	Mn	Ni	Cr	Mo	V	Cu	W	Ti	Co	Al
0,91-1,05	0,78-0,86	0,017-0,024	0,012-0,029	0,71-0,86	0,06-0,11	0,1-0,29	0,02-0,08	0,001-0,005	0,18-0,30	0,000-0,008	0,004	0,005-0,008	0,11-0,13

kot so temperatura in pretok taline, temperatura in nivo vode v bazenu, so se pri različnih poskusih nekoliko razlikovali med seboj. Pri nekaterih poskusih smo odvezemali vzorce na različnih razdaljah od razpršilnih šob, da bi dobili povezavo med oddaljenostjo od šob in lastnostmi jeklenega granulata.

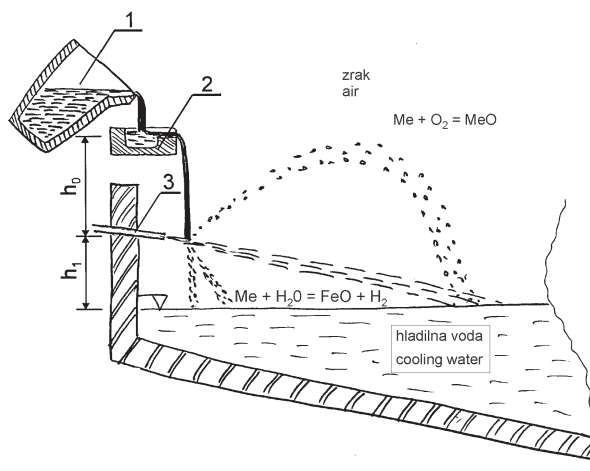
Po razprševanju taline je bila izvedena sejalna analiza, s katero smo določili velikostno porazdelitev jeklenega granulata, prav tako pa smo določili njegovi nasipni in prostorninski masi. Po sejanju granulata smo temeljito preiskali tri karakteristične granulacije:

- S-230: 0,5-1,0 mm (nazivna vrednost je 0,60 mm)
- S-460: 1,0-2,0 mm (nazivna vrednost je 1,20 mm) in
- S-780: 1,7-2,8 mm (nazivna vrednost je 2,0 mm).

Skladno s standardom SAE J827 (1994-07) [2] smo določili kemijsko sestavo, trdoto, delež votlosti, strjevalne poroznosti, nekovinskih vključkov, razpok in vseh napak skupaj, poleg tega pa smo s tehnološki preskusom - t.i. Ervinovim preskusom - določili tudi njihovo obrabno obstojnost. Granulate smo metalografsko pripravili in opazovali njihovo mikrostrukturo s svetlobnim ter z vrstičnim (rastrskim) elektronskim mikroskopom. Metodo EDS smo uporabili pri opredelitvi vrste nekovinskih vključkov in porazdelitvi kemijskih elementov.

3 REZULTATI IN DISKUSIJA

Izdelava visokoogljčnega jeklenega granulata v podjetju Abrasiv Muta poteka z asimetrično nizekotlačno vodno atomizacijo taline (slika 1). Pred atomizacijo izlijejo 8000 kg jeklene taline iz elektroobločne peči v dve ponovci. Pri atomizaciji nagibajo ponovco s primerno hitrostjo, da dosežejo masni pretok taline med 4,5 in 5,5 kg s⁻¹. To pomeni, da traja čas izliva t_i iz ponovce približno 12-15 min. Iz ponovce teče talina po livnem žlebu in nato prosto pada, dokler ne trči v vodni curek, ki brizga iz razpršilnih šob. Pri tem se curek taline razdeli na tri dele. En del curka se odbije. Drugi se razprši na drobne kapljice, ki frčijo skozi zrak in se pri tem močno oksidirajo. Tretji del curka prebije vodni curek. Le-ta ob trku le malo spremeni svojo smer in pade skoraj navpično v livni bazen. Stopnja atomizacije tega curka je zelo majhna, zato je zelo grob in v glavnem neuporaben. Najpomembnejši je curek taline, ki potuje vzdolž vodnega curka. Vodni curek povzroči primarno in sekundarno atomizacijo curka taline - razpad taline v drobne delce³. Dezintegraciji taline sledijo sferoidizacija delcev, strjevanje, fazne transformacije v trdnem stanju in tudi interakcija delcev z okolico (npr. oksidacija)¹. Pot vsakega drobca taline od livnega žleba do vode v hladilnem bazenu poteka v neponovljivih razmerah. Toda pri določenih nastavitvah procesnih parametrov so razmere pri atomizaciji in ohlajanju večine delcev vseeno podobne. Tako je možno vsaj kvalitativno opredeliti vpliv procesnih parametrov na značilnosti in lastnosti jeklenega granulata.

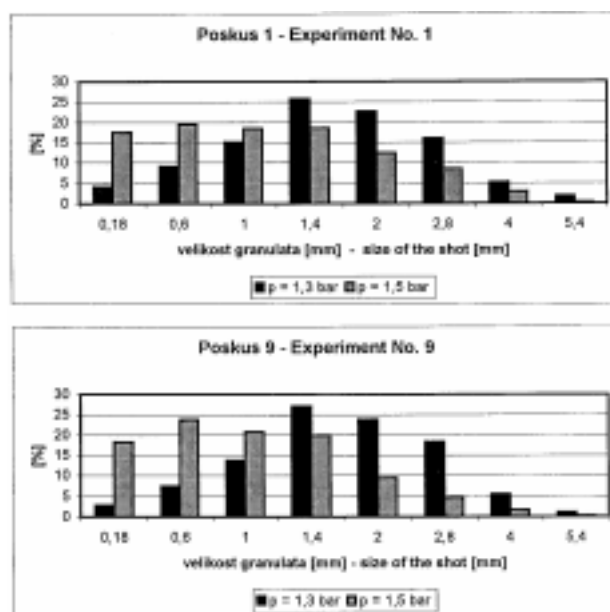


Slika 1: Shematična predstavitev asimetrične nizekotlačne vodne atomizacije v Abrasivu Muta (1: livna ponovca, 2: livni žleb, 3: razpršilna šoba, h_0 : razdalja med livnim žlebom in razpršilno šobo, h_1 : razdalja med razpršilno šobo in nivojem vode v bazenu, α : naklonski kot razpršilne šobe)

Figure 1: Schematic presentation of the asymmetric low-pressure water atomisation in Abrasiv Muta (1: the ladle, 2: the launder, 3: the atomising nozzle, h_0 : the distance between the launder and the atomising nozzle, h_1 : the distance between the atomising nozzle and the cooling water, α : inclination of the atomising nozzle)

3.1 Velikostna porazdelitev jeklenega granulata

Ugotovljeno je, da na velikostno porazdelitev jeklenega granulata najbolj vpliva tlak razpršilne vode. Že majhno povečanje iz 1,3 bar na 1,5 bar močno pomakne vrh velikostne porazdelitve proti manjšim



Slika 2: Velikostna porazdelitev visokoogljčnega jeklenega granulata v poskusih 1 in 9. Pri vseh poskusih je razvidno, da večji tlak povzroči nastanek drobnejšega granulata

Figure 2: Size distribution of the high carbon steel shot in experiments No. 1 and No. 9

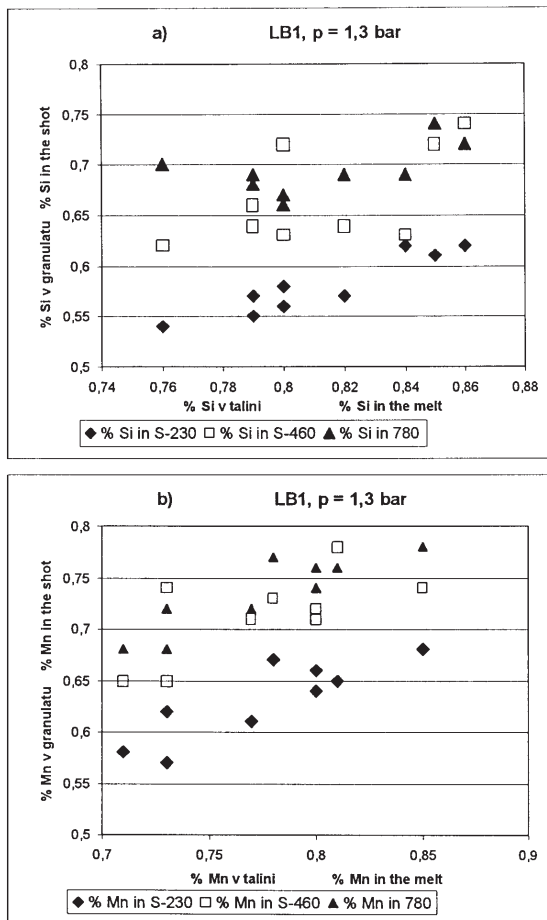
granulacijam (slika 2). Z večjim tlakom se namreč poveča hitrost razpršilnega medija in tudi pretok, če ni ločeno uravnan. Takšen vpliv tlaka razpršilne vode je pričakovan in se sklada tudi z rezultati drugih raziskovalcev tako pri nizkotlačni kot tudi visokotlačni vodni atomizaciji^{1,4}.

3.2 Sprememba kemijske sestave med razprševanjem

Koncentraciji silicija in mangana sta v granulatu precej manjši kot v talini pred razprševanjem. To je še posebej izrazito pri drobnejšem granulatu (slika 3). Namreč, med razprševanjem taline, ko tekoča kapljica leti skozi zrak in vodno paro, se oksidirata predvsem mangan in silicij. Značilno je, da pri tej vrsti jeklenega granulata na površini kapljic ne nastane debela in toga oksidna plast kot pri vodni atomizaciji nerjavnih jekel⁵ in tudi številnih drugih materialov na zraku^{1,4}.

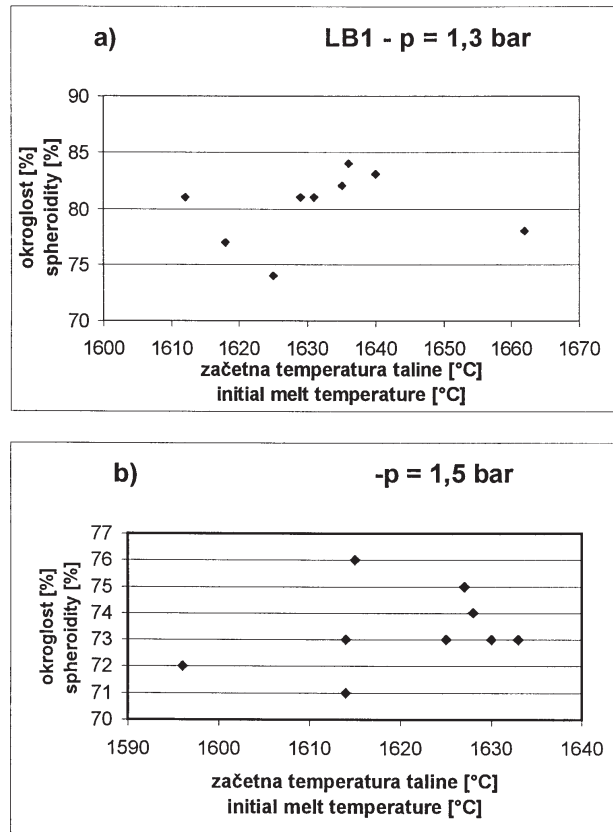
3.3 Okroglost

Okroglost granulata je pomembna takrat, kadar so dovoljene poškodbe peskane površine zelo majhne.



Slika 3: Razmerje med koncentracijama a) silicija in b) mangana v talini in v granulatih različnih velikostnih razredov

Figure 3: Relation between a) silicon and b) manganese content in the melt, and in the granulates of different sizes



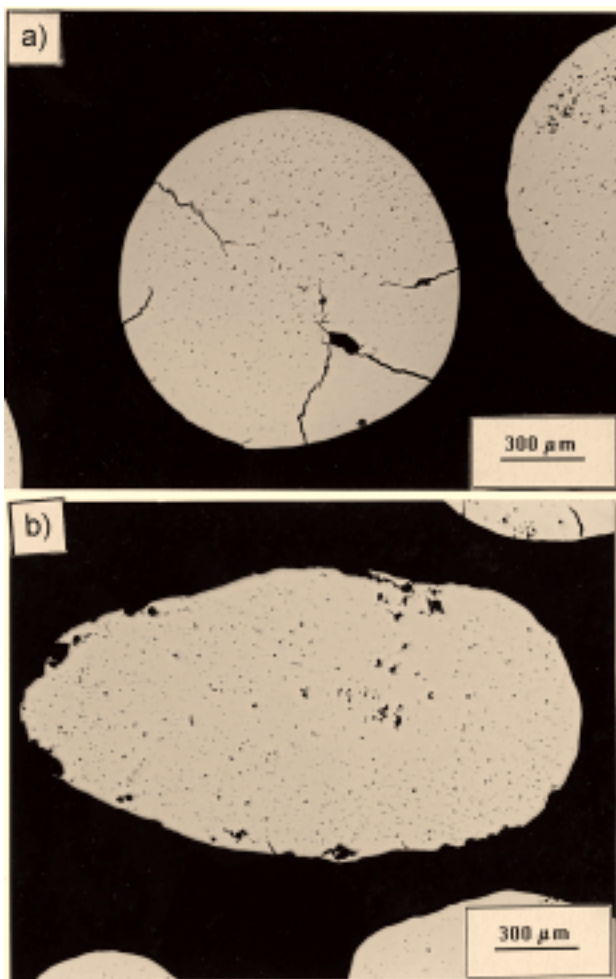
Slika 4: Vpliv začetne temperature taline na okroglost jeklenega granulata a) p = 1,3 bar, b) p = 1,5 bar

Figure 4: Effect of the initial melt temperature on the spheroidity of the high carbon steel shot a) p = 1,3 bar, b) p = 1,5 bar

Ugotovili smo, da so jeklene kroglice bistveno bolj okrogle pri manjšem tlaku vode za razprševanje (pri 1,3 bar je približno 80% okroglih delcev, pri 1,5 bar pa med 70 in 75%). Poleg tega smo ugotovili, da od vplivnih parametrov na okroglost najbolj vpliva temperatura taline. Njen vpliv na okroglost je verjetno posreden, saj se z višanjem temperature praviloma zmanjšujeta tako viskoznost kot tudi površinska napetost⁶. Pri tlaku 1,3 bar je optimalna temperatura taline med 1630 in 1640°C, pri tlaku 1,5 bar pa med 1625 in 1635°C (slika 4). Na sliki 5 a je prikazan popolnoma okrogel delec, medtem ko je na sliki 5 b podolgovat delec. Slednji se pri analizi defektov prišteje k neokroglim delcem. Kot je razvidno, okoli delcev ni debele oksidne plasti, ki v mnogih zlitinah prepreči njihovo sferoidizacijo. Glede na to menimo, da za odmik od okroglosti ni odločilna oksidacija in nastanek debele ter toge oksidne plasti, temveč je pri nekaterih delcih strjevalni čas krajši od sferoidizacijskega.

3.4 Razpoke

V vzorcih se pojavljajo kalilne razpoke. Kljub majhnim dimenzijam delcev nastanejo zaradi neenakomerne temperaturne porazdelitve pri martenzitni

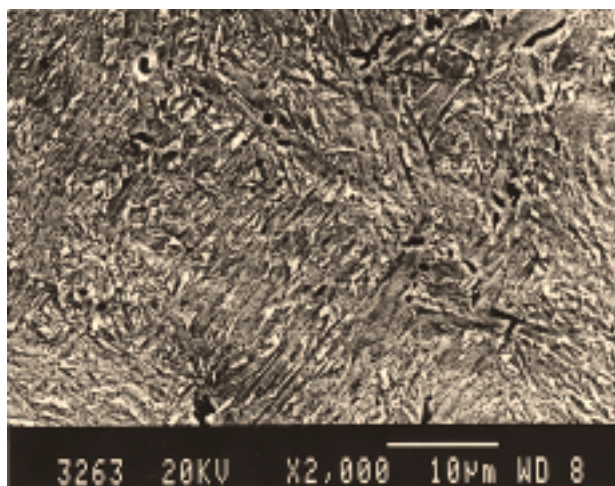


Slika 5: Mikroposnetek a) okroglega in b) neokroglega delca v S-460
Figure 5: Micrograph of a) spherical and b) non-spherical particle in S-460

transformaciji velike premenske napetosti, ki so na površini natezne, v jedru pa tlačne. Razpoke nastanejo na površini in segajo v notranjost (slika 5a). Pogosto so le-te povezane v mreže. Več razpok je v večjih granulatih, zato je njihova obrabna obstojnost manjša. Dosedanje raziskave niso podale jasne povezave med procesnimi parametri in deležem razpok v granulatu.

3.5 Nekovinski vključki

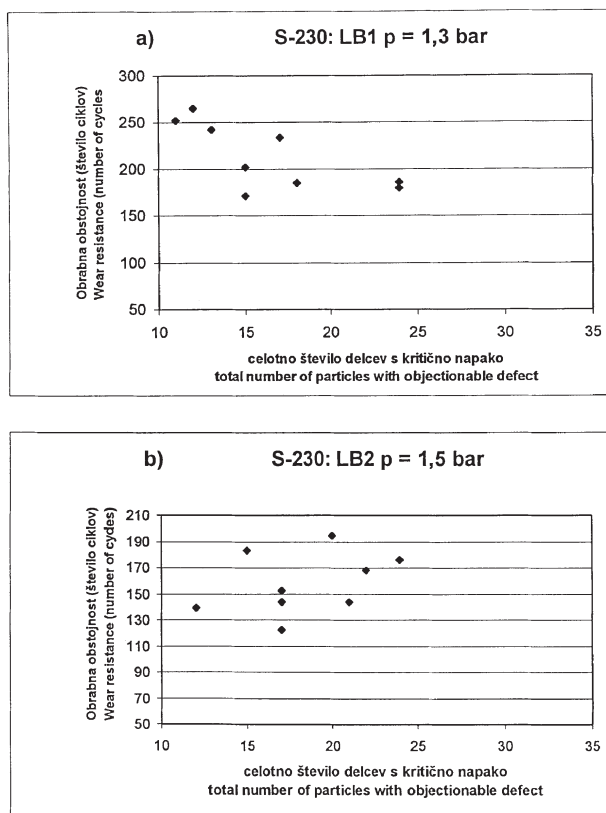
Nekovinski vključki v granulatu lahko izhajajo iz več virov. To so lahko delci žindre, ognja vzdržne obzidave, produkti dezoksidacije jekla, kakor tudi oksidi, ki nastanejo pri interakciji granulata z okolico (npr. z oksidacijo silicija in mangana). Tudi povezava med deležem nekovinskih vključkov in procesnimi parametri ni povsem jasna. Ugotovljeno pa je, da delež nekovinskih vključkov narašča z oddaljevanjem (curka litine) od razpršilnih šob.



Slika 6: Značilna mikrostruktura visokoogljječnega jeklenega granulata (S-460)
Figure 6: Characteristic microstructure of the high-carbon steel shot (S-460)

3.6 Mikrostruktura

Mikrostruktura zlitine po razprševanju je martenzitna z manjšim deležem zadržanega avstenita (slika 6). V mikrostrukturi so tudi vključki žindre in oksidov, ki so



Slika 7: Vpliv tlaka razpršilne vode in celotnega deleža napak na obrabno obstojnost granulacije S-230 a) p = 1,3 bar, b) p = 1,5 bar
Figure 7: Effect of the water pressure and the total amount of defects on the wear resistance of S-230 at a) p = 1,3 bar, b) p = 1,5 bar

nastali pri oksidaciji silicija in mangana. Poleg tega so v mikrostrukturi še številne kalilne razpoke ter strjevalna poroznost.

3.7 Povezava obrabne obstojnosti s kemijsko sestavo granulata, parametri razprševanja in z deležem napak

Koncentracija ogljika med 0,9 in 1,1% praktično nima vpliva na obrabno obstojnost, merjeno z Ervinovim preskusom. Enako lahko rečemo tudi za koncentraciji mangana in silicija. Opaženo je bilo, da se v večini primerov doseže zadovoljiva obrabna obstojnost, če je razdalja med razpršilnimi šobami in gladino vode v hladilnem bazenu med 900 in 1000 mm.

Razvidno je tudi, da je pri višjem tlaku razpršilne vode obrabna obstojnost granulata manjša kot pri nizkem tlaku (**slika 7**). Zelo pomembna je ugotovitev, da se pri tlaku razpršilne vode 1,3 bar hkrati z večanjem deleža vseh napak zmanjšuje obrabna obstojnost. Take jasne povezave pri tlaku razpršilne vode 1,5 bar nismo opazili. To kaže, da posredno ocenjevanje kvalitete jeklenega granulata samo na podlagi ocenjenega deleža napak v granulatu ni najbolj zanesljivo. Prva omejitev je že ta, da se po SAE-standardu² pregleda le 100 kroglic, kar je malo v primerjavi s skupnih številom kroglic v neki šarži. Mnogo boljši je Ervinov preskus. Ta v prvi vrsti simulira razmere pri peskanju, poleg tega pa je v 100 g zatehte bistveno več delcev. Npr. v 100 g zatehti jeklenega granulata s srednjim premerom delcev 0,2 mm je okoli 400 000 delcev.

4 SKLEPI

Rezultati preiskav jeklenega granulata so pokazali, da je najpomembnejši vpliv tlak razpršilne vode. Z večanjem tlaka nastane drobnejši granulati, njegova okroglost, kakor tudi obrabna obstojnost pa se zmanjšata.

Ugotovljeno je, da se pri razprševanju oksidirata silicij in mangan, saj se njuna koncentracija v granulatu zmanjša glede na njuno koncentracijo v talini. Učinek je izrazitejši v drobnejših granulatih.

Okroglost jeklenega granulata zmanjša povečanje tlaka razpršilne vode, nanjo pa prav tako vpliva začetna temperatura taline. Optimalna temperatura taline je med 1625 in 1640 °C.

Posredno ocenjevanje kvalitete jeklenega granulata preko vrednotenja deleža napak v granulatu ni najbolj zanesljivo. Najboljše je ocenjevanje lastnosti granulata na osnovi rezultatov tehnološkega preskusa obrabne obstojnosti - Ervinovega preskusa.

5 LITERATURA

- ¹ A. J. Yule, J. J. Dunkley: Atomisation of melts, Oxford **1994**
- ² SAE J827, 1994-07, High Carbon Cast Steel Shot
- ³ E. J. Lavernia, J. D. Ayers, T. S. Srivatsan: Rapid solidification processing with specific application to aluminium alloys, *International Materials Review*, 37 (**1992**) 1-44
- ⁴ B. Šuštaršič: Lastnosti kovinskih prahov, izdelanih z vodno atomizacijo, *Magistrsko delo*, FNT Ljubljana, **1993**
- ⁵ I. Anžel, F. Zupanič, T. Bončina, R. Rebeka: Raziskava vplivnih tehnoloških parametrov atomizirane taline / Razvoj Cr-Ni granulata : letno poročilo za leto 1998 za RR fazo (za MZT Slovenije)
- ⁶ T. Iida, R. I. L. Guthrie: The Physical Properties of Liquid Metals, Clarendon Press, Oxford, **1993**