

STRUKTURA IN MIKROSTRUKTURA JEKLENIH PESKOV, NAREJENIH V ABRASIVU MUTA

STRUCTURE IN MICROSTRUCTURE OF CAST STEEL ABRASIVES MADE IN ABRASIV MUTA

Rebeka Rudolf, Alojz Križman, Tonica Bončina

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

Prejem rokopisa – received: 1998-11-10; sprejem za objavo – accepted for publications: 1999-03-09

V Sloveniji je podjetje Abrasiv Muta edini proizvajalec jeklenih peskov. Njihovi konkurenti so svetovne multinacionalke, eden izmed njih je tudi Whelebrator Allevard France. V članku podajamo primerjavo mikrostruktur vzorcev jeklenih peskov Abrasiva Mute z vzorci tega konkurenčnega podjetja. Po ameriškem standardu SAE J827 smo pripravili in analizirali vzorce peskov ter ocenili napake na prerezi delcev. Raziskave so obsegale makroskopski in mikroskopski pregled vzorcev. Naredili smo tudi meritve trdot, preskuse obrabne obstojnosti in sejalno analizo teh peskov. Na podlagi rezultatov smo ugotovili, da so peski podjetja Abrasiv Muta in francoskega podjetja primerljivi glede kvalitete in mikrostrukturnih značilnosti, medtem ko imajo peski romunskega podjetja veliko slabše lastnosti.

Ključne besede: jekleni peski, mikrostruktura, napake

In Slovenia the firm Abrasiv Muta is the only producer of cast steel shot. They have the world competitor, one is Whelebrator Allevard France. This paper deals with the microstructure comparison of cast steel shot produced in Abrasiv Muta with shot made in that competitor. After American standard SAE J827 the samples of shot were prepared and the defects of shot were determined. The samples were macrostructural and microstructural estimated. Hardness test, wear resistance and screening analyses of steel cast shot were also done. The results show that the cast steel shots of Abrasiv Muta and French company were comparable, while the Rumanian shots were worse.

Key words: cast steel shot, microstructure, defects

1 UVOD

V razvitem svetu vse bolj prodirajo tehnologije izdelave različnih kovinskih izdelkov po postopkih metalurgije prahov. Izbrani postopek atomizacije je odvisen od namembnosti izdelka. Te nove tehnologije zmanjšujejo obremenitev okolja, porabo energije na enoto proizvoda in povečujejo izkoristek uporabljenega materiala, drage toplotne obdelave pa velikokrat odpadejo.

Procesi, ki potekajo pri nastajanju jeklenih peskov, so atomizacija taline, strjevanje kapljic in fazne transformacije v trdnem stanju. Le-ti vplivajo na lastnosti peskov, vsak na svoj način. Razmere pri atomizaciji taline vplivajo na velikostno porazdelitev granulata, pri strjevanju na nastanek votlosti in poroznosti, pri ohlajanju kapljic v trdnem stanju pa na izoblikovanje končne mikrostrukture ter na pojav razpok.

Velika prednost metalurgije prahov je, da je vsak delec po mikrostrukturi in kemijski sestavi primerljiv in homogen ter da je razred napak omejen največ na dimenzijo delca, kar je neprimerno boljše, kot pri klasičnem litju.

Jekleni peski se uporabljajo za peskanje različnih kovinskih in plastičnih polizdelkov ter izdelkov, za čiščenje že uporabljenih kovinskih delov kakor tudi za deformacijsko površinsko utrjevanje.

Abrasiv Muta proizvaja jeklene peske, ki spadajo v dva programa, t.j. splošnega in nerjavnega. V okviru

splošnega programa izdelujejo peske z vsebnostjo ogljika okoli 0,8-1,2%, pri nerjavnem pa peske z večjo vsebnostjo Cr (do 18%) in Ni (do 8%). Izdelujejo jih z vodno atomizacijo. V članku bomo podali mikrostrukturne ter druge primerjalne analize za peske iz splošnega programa, ki so namenjeni za nadaljnjo toplotno obdelavo.

2 EKSPERIMENTALNO DELO IN REZULTATI

2.1 Kontrola kvalitete peskov v industrijskem laboratoriju

Vzorci treh proizvajalcev jeklenih peskov smo analizirali po ameriškem standardu SAE J827¹, ki zajema vizualni in mikroskopski pregled pod svetlobnim mikroskopom, meritve trdote, preskuse obrabne obstojnosti in sejalno analizo. Vzorce smo poimenovali po proizvajalcih z A-Abrasiv, F-francoski in R-romunski. Izbrani jekleni peski so imeli premere velikostnega reda 1,0-1,7 mm.

Zaradi standardne 50-kratne povečave ni bila potrebna natančna priprava vzorcev. Sto naključno izbranih zrn granulata smo zalili z dvokomponentnim poliestrom. Vzorce smo nato obrusili s SiC-papirjem do stopnje 1000# in polirali z glinico 1 μ m. Pri vsakem delcu, ki smo ga pregledali, smo vsako napako šteli le enkrat.

S spiralnim klasifikatorjem smo ugotovili stopnjo okroglosti teh peskov. Stopnja okroglosti nam pove, kolik je delež delcev s pravilno okroglo obliko. Drugi delci imajo nepravilno obliko, najpogosteje so podolgovati, in velja, da je njihova dolžina reda velikosti dvakratnega maksimalnega premera delcev.

Ocena napak na granulatu je zajemala pregled metalografskih vzorcev s svetlobnim mikroskopom. Področje pregleda vzorcev smo razdelili na štiri območja in natančno pregledali vseh 100 delcev. Napake smo ocenili z merili, ki upoštevajo naslednje opise pojmov (po standardu SAE J827):

- **Razpoke**, ki imajo razmerje 3:1 ali več v primerjavi s širino delca ter presegajo 20% premera ali najkrajše dimenzije delca in so razporejene v radialni smeri
- **Votlost**, ki dosega do 10% površine delca v prečnem prerezu z gladko površino v kroglicah
- **Strjevalna poroznost**, za katero velja, da so to praznine z nazobčano grobo površino v delcih in le-te lahko dosežejo do 40% površine delca v prečnem prerezu.

Kemijska analiza po tem standardu je za vse tri primerjalne vzorce podana v **tabeli 1**. V **tabeli 2** je navedeno število napak, ki smo jih ugotovili s prešteti razpok, votlosti in strjevalne poroznosti.

Rezultati meritev trdot, okroglosti in obrabne obstojnosti kakor tudi sejalnih analiz so zbrani v **tabelah 3 in 4**. Preizkus trdote smo naredili po metodi Vickers, rezultate pa smo izrazili s trdoto po Rockwellu. Meritve obrabne obstojnosti smo naredili z Ervinovim preskusom. Pri tem smo določili število ciklov, ko se je jeklenemu granulatu zmanjšala masa za 50% glede na sito primerne prepustnosti (velikost odprtine zanke pri situ 0,355 mm je ustrezala izbranim jeklenim peskom s premerom med 1 in 1,7 mm).

Tabela 1: Kemijska analiza peskov

Table 1: Chemical analysis

Vzorec	Masni delež (%)				
	C	Mn	Si	S	P
A	0,9	0,8	0,81	0,02	0,022
F	1,01	0,73	0,79	0,02	0,024
R	1,09	0,77	0,83	0,017	0,029

Tabela 2: Rezultati določevanja števila razpok, votlosti in strjevalne poroznosti

Table 2: Results of cracks, voids and shrinkage determination

Vzorec	Napake (%)		
	Razpoke	Votlost	Poroznost
A	9	3	8
F	3	0	16
R	8	21	6

Tabela 3: Rezultati meritev trdote, okroglosti in obrabne obstojnosti jeklenih peskov

Table 3: Results of hardness test, the round experiment and wear resistance of cast steel shot

Delci	Trdota (HRC)*	Okroglost (%)	Obrabna obstojnost **
A	65,2 (62,3-66,5)	81	87
F	65,4 (63,8-66,1)	78	86
R	60,0 (25,6-67,2)	92	72

* povprečna vrednost trdot; v oklepaju sta podani minimalna in maksimalna vrednost

** število ciklov

Tabela 4: Sejalna analiza

Table 4: Screening analysis

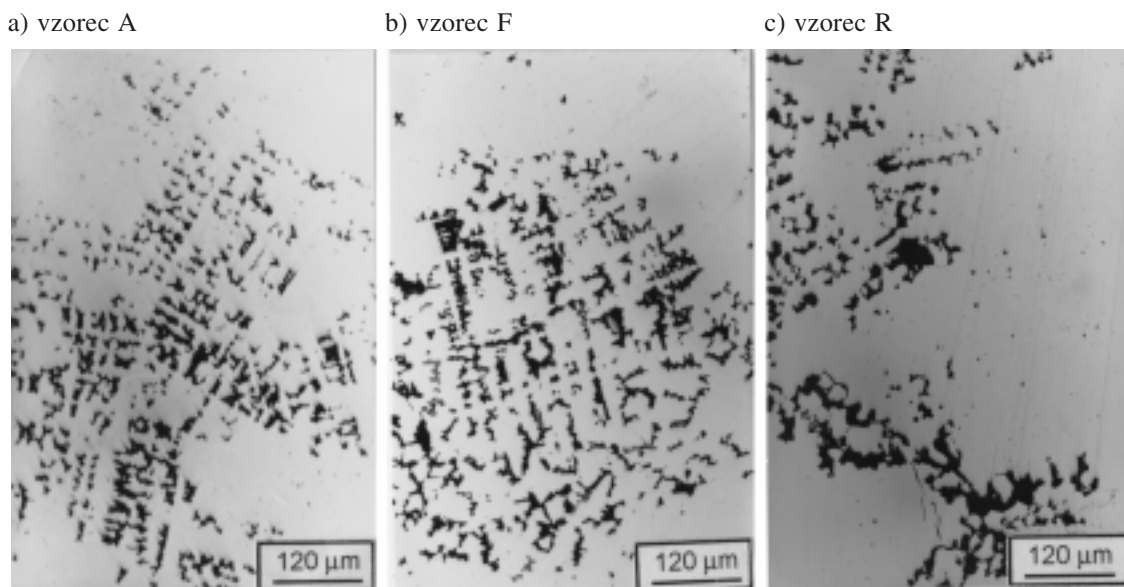
VZOREC	SEJALNA ANALIZA (%)*					
	Velikost zanke v situ					
	2,36 mm	2,00 mm	1,70 mm	1,40 mm	1,18 mm	1,00 mm
A	0	0	2	0	88	10
F	0	0	5	0	83	12
R	0	1	73	25	1	-

2.2 Kontrola kvalitete peskov v raziskovalnem laboratoriju

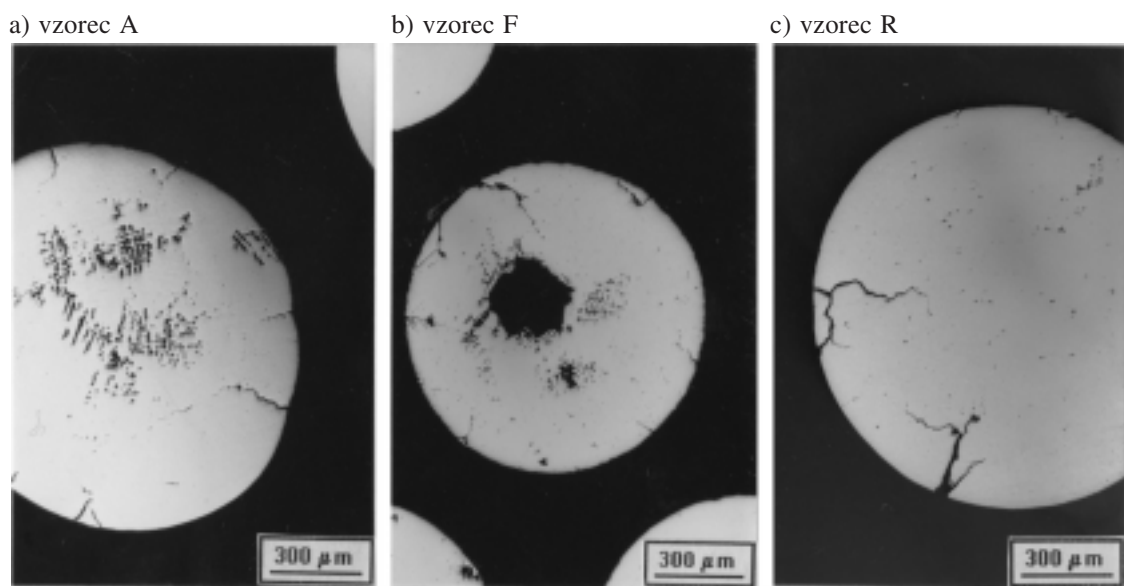
Kontrola kvalitete peskov v raziskovalnem laboratoriju je zajemala natančno pripravo vzorcev za svetlobno in elektronsko mikroskopijo. Vzorce smo po brušenju s SiC na zadnji stopnji 1200# še polirali z diamantno pasto (najprej z 1 μ m in nato še z 1/4 μ m). Nato smo jih jedkali s 4% nitalom in 4% pikralom v razmerju 10:1, in sicer 10 sekund. Za natančnejši pregled nekaterih mest smo uporabili različne povečave (od 50- do 1000-krat) na svetlobnem mikroskopu.

Pri raziskovanju mikrostruktur treh različnih jeklenih peskov smo ugotovili naslednje:

- Vzorec R ni enakovredno primerljiv z vzorcema A in F, saj vsebuje delci ogromno napak. V splošnem imajo večji delež strjevalne poroznosti (**slike 1a, 1b in 1c**), kakor tudi število in velikost razpok (**slike 2a, 2b in 2c**). Strjevalna poroznost pri delcih vzorca R je zgoščena, zato zavzema večjo površino. Razpoke so širše in velike okoli 350 μ m. Pri makroskopskem pregledu tega vzorca smo ugotovili visok delež votlosti in našli veliko delcev s pravilno okroglo obliko.
- Zaradi primerljivosti vzorcev A in F smo natančneje analizirali njuni mikrostrukturi. Večji delež strjevalne poroznosti (**slike 1a, 1b**) in manj razpok (**slike 2a, 2b**) smo opazili pri delcih vzorca F. V mikrostrukturah peskov obeh vzorcev smo našli različne nekovinske vključke, ki so se nahajali v kapljicah znotraj materiala ali v območju strjevalne poroznosti (**slike 3a, 3b**). Pri delcih v vzorcu F nismo opazili votlosti.
- V vseh treh pregledanih vzorcih smo opazili velik delež različnih nečistoč (**slike 3a, 3b in 3c**). Njihova povprečna velikost je bila okoli 10 μ m. Če vsebuje



Slika 1: Delež strjevalne poroznosti je v vseh vzorcih velik
Figure 1: High fraction of solidification porosity in the samples



Slika 2: Razpoke se pojavljajo v vseh vzorcih
Figure 2: Cracks in the samples

talina prevelike količine žilindre v ponovci, je posledica njeno vmešavanje v jeklene delce, kar se kaže v obliki nekovinskih vključkov. V podjetju Abrasiv imajo zato računalniški sistem kontinuirne kontrole kemične sestave taline, s katerim neprestano spremljajo dogajanje v ponovci z željo, da bi bilo nekovinskih vključkov v mikrostrukturi čim manj.

- V vzorcih so bile tudi druge napake. Pogosta je bila nepravilna oblika delcev, bili so podolgovati ali celo sprjeti med seboj (sliki 4a, 4b). Pri delcih v vzorcu R smo tudi opazili, da ima kar velik delež le-teh grobo, neravno zunanjo površino (slika 4c).

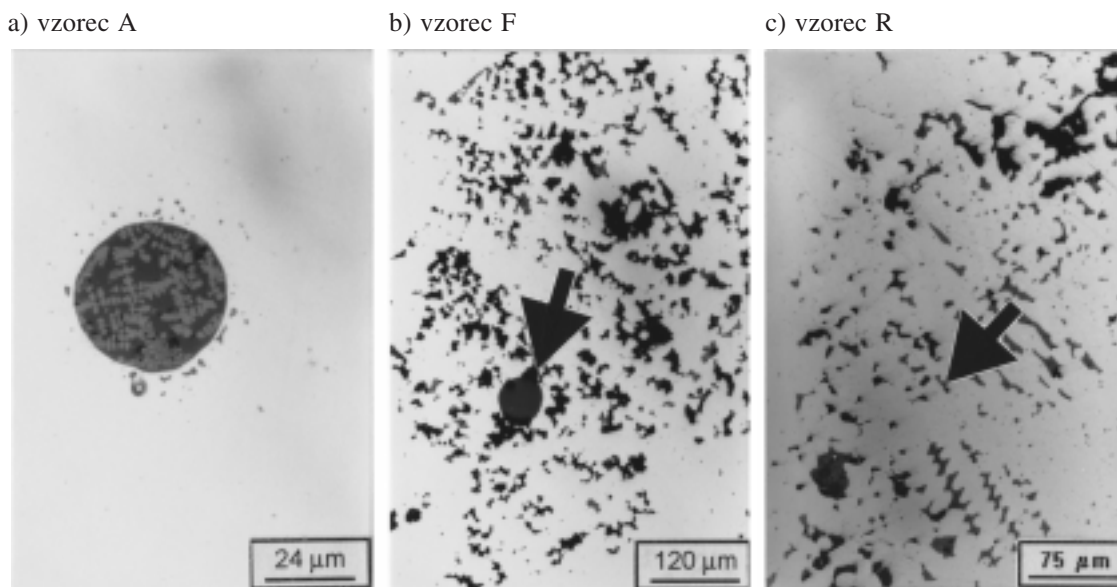
3 DISKUSIJA

3.1 Diskusija rezultatov primerjalnih analiz iz industrijskega laboratorija

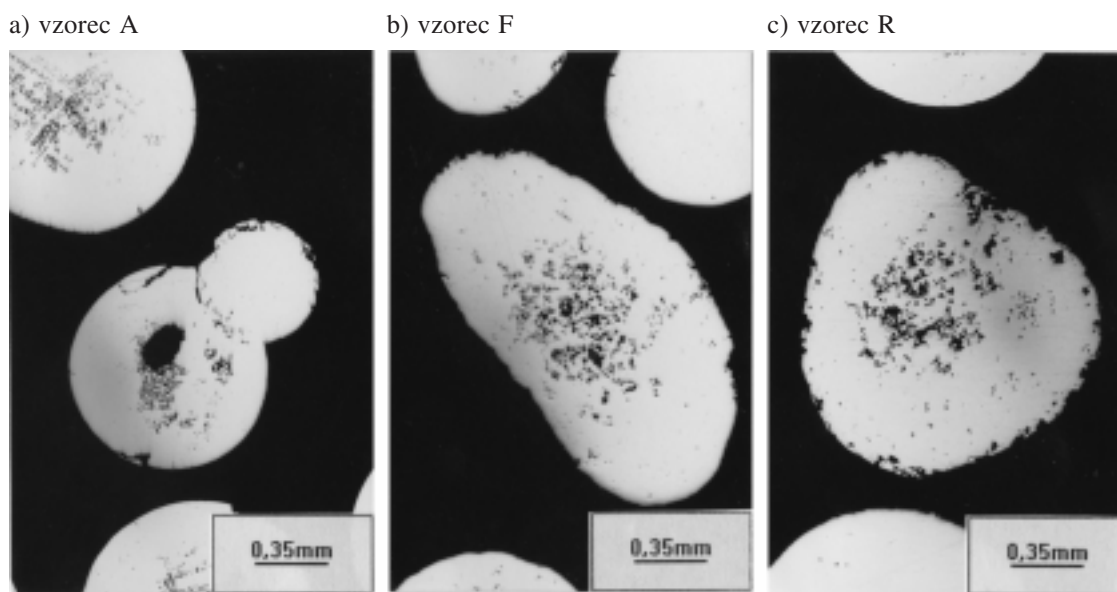
Kemijska sestava vzorcev jeklenih peskov je podana v tabeli 1. Sklenemo lahko, da so sestave peskov primerljive in v okviru standarda SAE J827.

Iz tabele 2 razberemo, da imajo peski A in F podoben delež napak, medtem ko peski R izstopajo z visokim deležem votlosti.

Rezultati določevanja razpok pri vseh treh vzorcih so podobni. Sklepamo, da so bile razmere pri ohlajanju



Slika 3: Nekovinski vključki
Figure 3: Non-metallic inclusion



Slika 4: Druge napake: a) votlost in sprijeta kroglica, b) podolgovate kroglice, c) hrapava zunanja površina
Figure 4: Other defects: a) porosity and adhered particles, b) elongated particles, c) surface rough

kapljic v trdnem stanju pri vseh treh proizvajalcih podobne. Razpoke v mikrostrukturi jeklenih peskov so posledica prehitrega ohlajanja taline, zato je treba med izdelavnim procesom zagotoviti dovolj visoko konstantno temperaturo hladilnega medija. V Abrasivu uporabljajo za hladilni medij vodo, ki mora imeti temperaturo okoli 50°C. Razpoke negativno vplivajo na mehanske lastnosti, še posebej na obrabno obstojnost, saj so inicialna mesta za prelom delcev.

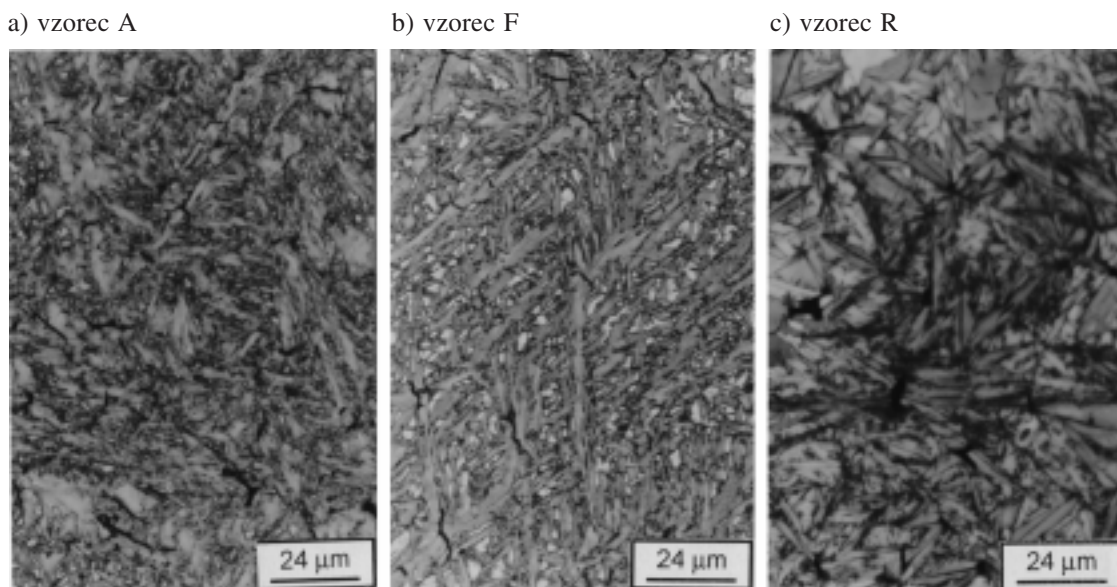
Pri delcih A smo ugotovili 3% delež votlosti, pri pregledu delcev F pa je nismo opazili. Peski R imajo

21% delež votlosti, kar je pomembno izhodišče za določitev drugih njihovih lastnosti.

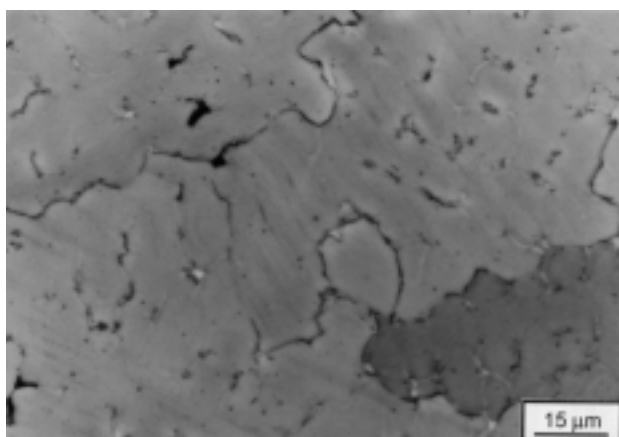
Primerjava deležev poroznosti je pokazala, da je imajo delci v vzorcu F največ (16%).

Vzporedno z določitvami napak smo opravili še druge meritve. Rezultati meritev trdot, zbrani v **tabeli 3**, so pokazali, da sta vzorca A in F boljša kot R, kjer smo izmerili velike odmike trdote (od 25,6 do 67,2 HRc). To je posledica velikega števila napak v mikrostrukturi teh peskov, še posebej votlosti, kakor tudi zrn, ki ne vsebujejo martenzita.

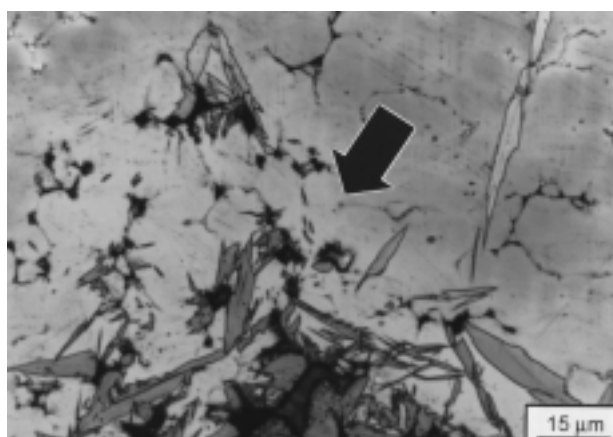
Pri toplotno neobdelanih jeklenih peskih je pomembna tudi oblika, ki jo ugotovimo s spiralnim klasi-



Slika 5: Mikrostruktura
Figure 5: Microstructure



Slika 6: Mikrostruktura vzorca R (brez martenzita)
Figure 6: Microstructure of sample R (without martensite)



Slika 7: Mikrostruktura vzorca R; martenzit se pojavlja le na nekaterih mestih
Figure 7: Microstructure of sample R with martensite at some places

fikatorjem. Delce pravilnih oblik (okroglih) toplotno obdelamo, druge pa najprej zdrobimo in šele nato toplotno obdelamo. To je pomemben primarni dejavnik pri izdelavi jeklenih peskov, saj je povpraševanje po okroglem granulatu na svetovnem tržišču večje. Iz **tabele 3** razberemo, da imajo jekleni peski A stopnjo okroglosti okoli 81%, kar je za 3% boljše od peskov F. Delci R imajo zelo visoko stopnjo okroglosti (okoli 92%), kar je verjetna posledica drugačnih okoliščin pri izdelavi. Oblika granulata je odvisna od več tehnoloških parametrov, zato je pri vsaki šarži nujno napraviti granulometrični preskus. Če so jekleni peski preveliki, moramo zvišati pritisk vode in obratno. V primeru, da je granulater ovalen ter podolgovat, potem je bila temperatura taline v ponovci prenizka. V Abrasivu nimajo možnosti, da bi lahko zvišali temperaturo litja med samim procesom izdelave. Izboljšanje oblike granulater

lahko dosežejo le na druge načine, in sicer s hitrejšim ulivanjem, krajšim časom hlajenja in povečanim pritiskom razpršilnega medija. Iz zgornjih predpostavk lahko sklepamo, da je visoka stopnja okroglosti peskov R posledica višje temperature litja.

Meritve obrabne obstojnosti so dale skoraj enakovredne rezultate za peske A in F, pri R pa je bila izmerjena zelo slaba obrabna obstojnost. Zaradi večjega deleža napak v mikrostrukturi teh peskov, še posebej votlosti, je bila obrabna obstojnost slaba.

V **tabeli 4** so zbrani rezultati za sejalno analizo peskov. Pri peskih A in F ni bilo bistvenih razlik v odmiku velikostnega razreda, saj je bila 100% neprepustnost sita dosežena za premer delcev 1mm. Peski R so imeli nekoliko večji premer, 100% neprepustnost sita smo dobili pri premeru peskov 1,18 mm.

3.2 Diskusija rezultatov primerjalnih analiz iz raziskovalnega laboratorija

Pri pregledu jedkanih metalografskih vzorcev smo se osredotočili na mikrostrukturo. Pri vseh vzorcih je bila osnovna mikrostruktura jeklenih peskov sestavljena iz letvastega martenzita in manjših področij zadržanega avstenita.

Martenzit in zadržani avstenit sta bila v vseh pregledanih kroglicah različnih premerov (**slike 5a, 5b in 5c**). Mikrostrukturi jeklenih peskov vzorcev A in F sta primerljivi, saj sta količini zadržanega avstenita in velikosti martenzitnih letev podobni. Povprečna dolžina martenzitnih letev v mikrostrukturi peskov A in F je bila okoli 30 μm , medtem ko je bila ta pri peskih R tudi 75 μm . S **slike 5c** je še razvidno, da so martenzitne lamele bolj grobe in neenakomerno usmerjene.

Pri natančnejšem pregledu delcev smo tudi opazili, da so se na nekaterih martenzitnih letvah pojavile mikrorazpoke (črne linije na **slikah 5a, 5b in 5c**). Pri delcih R, ki imajo bolj grobe martenzitne lamele, so bile te mikrorazpoke večje. Njihova dolžina je bila do 6 μm .

Pri opazovanju mikrostrukture delcev R smo našli področja, kjer ni bilo martenzita (**slika 6**) ali pa se je le-ta pojavljal na nukleacijskih mestih. Tako je na **sliki 7**

vidna rast martenzita pri strjevalni poroznosti. Mikrostruktura peskov R je nehomogena, saj so martenzitne letve zelo grobe in se nahajajo le na nekaterih mestih.

4 SKLEPI

Pri pregledu vzorcev treh različnih proizvajalcev smo ugotovili, da so jekleni peski A in F primerljivi tako z vidika industrijske kontrole kakor tudi mikrostrukturne analize. Iz rezultatov lahko sklepamo, da imata proizvajalca teh peskov podobne izhodne surovine, tehnologijo izdelave, procesne parametre in ostro kontrolo kemijske sestave pred litjem in po njem.

Jekleni peski R so se ločili od drugih pri primerjalni analizi. Bili so nepravilnih oblik, imeli so večje število napak, slabše rezultate pri obrabni obstojnosti in trdoti, predvsem pa niso bili primerljivi glede na vrsto mikrostrukture. Iz rezultatov lahko sklepamo na neustrezne in neenakomerne razmere pri litju in težave pri doseganju ustrezne kemijske sestave.

5 LITERATURA

¹ *Standard SAE J827: High Carbon Cast Steel shot*, Society of Automotive Engineers, 1994