

Ocenjevanje integritete površin na osnovi spremembe mikrostrukturnih sestavin pri finem struženju

Estimation after Surface Integrity on Basis of Changes of the Microstructure Components after Fine Turning Process

J. Grum¹, M. Kisin, Fakulteta za strojništvo, Univerza v Ljubljani

Prejem rokopisa - received: 1995-10-04; sprejem za objavo - accepted for publication: 1996-01-22

Predstavljeno delo obravnava raziskavo integritete površine pri procesu finega struženja zlitin aluminija s silicijem z namenom, da zadostimo obratovalnim zahtevam. Spremljali smo spremembe mikrostrukturnih sestavin na površini in površinski plasti obdelovanca zaradi finega struženja in vpliv teh sprememb na kvaliteto obdelane površine.

Ključne besede: zlitne Al-Si, mikrostrukturne sestavine, hrapavost površine, računalniško podprta kvantitativna analiza slike

The paper reports on a study of investigation surface integrity in fine turning Al-Si alloys with aim to satisfy the operating requirements. The study describes the changes in size and shape of the microstructure components on the surface and surface layer subsequently to fine turning operation and the influence of structural changes on the quality the machined surface.

Key words: Al-Si Alloys, microstructure components, surface roughness, computer - aided quantitative image analysis

1 Uvod

Večina izdelkov iz neželeznih zlitin navadno neposredno po mehanski obdelavi vgradijo v sklope, zato so opravičene zahteve o kvaliteti obdelane površine in stanju površinske plasti obdelovanca po končni obdelavi, kar znanstvena literatura popisuje s skupnim pojmom integriteta površine materiala obdelovanca in orodja. Za zagotavljanje zaželeno integritete površin po mehanski obdelavi predstavljajo zelo pomembno vlogo mikrostrukturne sestavine in njihove lastnosti. Naša naloga je bila zato usmerjena v spremljanje mikrostrukturnih sprememb in stanja površine po finem struženju. To je navadno zadnja in končna obdelava, ki mora dati zelo gladko površino brez poškodb na površini in z minimalnimi nateznimi zaostalimi notranjimi napetostmi. Kako pomembna je integriteta površin pri obdelavi neželeznih zlitin govorijo številne zahteve naročnikov, ki med prevzemne lastnosti zlitin oziroma izdelkov vključujejo v zadnjem času tudi zaostale notranje napetosti. Iz navedenih razlogov pa pogosto ugotovimo da je končna obdelava utrjevanje površinske plasti s hladno deformacijo, ki daje zaželeno tlačno zaostale notranje napetosti. V predstavljenem delu se bomo usmerili le na vplive mikrostrukturnih sestavin na nastanek hrapavosti površine in spremembe v tanki površinski plasti v povezavi z naravo finega struženja.

2 Eksperimentalno delo

Raziskovali smo zlitine aluminija z različnimi deleži silicija in drugimi legirnimi elementi z vidika vpliva

mikrostrukture na integriteto površine po finem struženju. V tabeli 1 so podane kemična sestava posameznih obravnavanih zlitin in njihovo trdota po Brinellu. Zlitine AlSi5, AlSi12 in AlSi20 imajo le manjša odstopanja trdote. Zaradi dodanih legirnih elementov in nastanka intermetalnih spojin je dosežena trdota zlitine AlSi12CuNiMg znatno večja. Z mikrostrukturnega vidika je kompozicija omenjenih zlitin za fino struženje zelo specifična, ker jo sestavljajo mehki raztopinski kristali na osnovi aluminija z različnimi deleži in velikostjo krhkih, trdih evtektičnih in grobih primarnih kristalov silicija ter finih intermetalnih spojin. Omenjene sestavine mikrostrukture se namreč zelo različno odzovejo v obdelovalnih procesih. Na sliki 1 so prikazane metalografske slike obravnavanih zlitin s pripisom posameznih mikrostrukturnih sestavin. Kvantitativno analizo mikrostruktur danih zlitin v litem stanju in nato še mikrostrukturnih sprememb v površinski plasti obdelovanca po finem struženju smo opravili na računalniško podprtem sistemu za analizo slike.

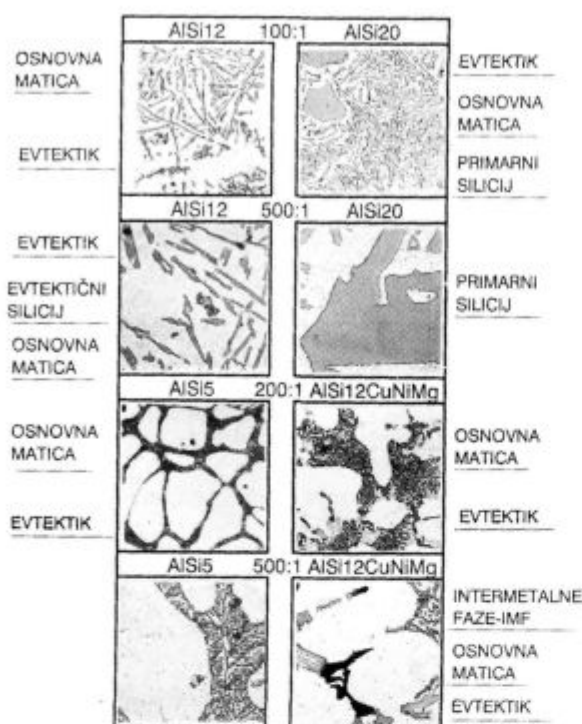
Tabela 1: Kemična sestava in trdota analiziranih zlitin

Table 1: Chemical composition and hardness of the analysed alloys

Elementi % Material	Si	Fe	Mn	Mg	Cu	Ni	Ti	Trdota HB
AlSi5	4,76	0,17	0,11	0,01	-	-	0,012	53
AlSi12	12,5	0,24	0,25	-	-	-	0,009	66
AlSi20	20,5	0,12	0,01	-	-	-	-	63
AlSi12CuNiMg	12,0	0,01	0,01	1,04	0,93	0,9	0,013	104

Na sliki 2 je prikazan računalniško podprt sistem za mikrostrukturno analizo, ki ga sestavljajo optični mikroskop s kamero in računalnik z zaslonom ter pisalnikom. Računalniška podpora zajema program za vzorčenje mikrostrukture, program za obdelavo

¹ Dr. Janez GRUM, redni prof.
Univerza v Ljubljani
Fakulteta za strojništvo
1000 Ljubljana, Aškerčeva 6



Slika 1: Mikrostrukture analiziranih zlitin
Figure 1: Microstructure analysed alloys

posameznih struktur in program za prikaz rezultatov mikrostrukturnih analiz v obliki različnih tabel in diagramov.

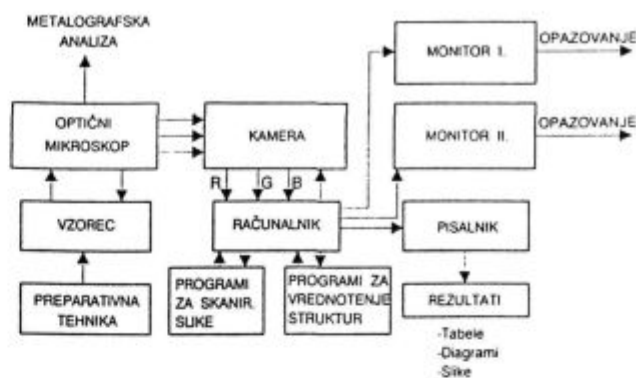
Če želimo doseči zahtevano integriteto površine in površinske plasti materiala obdelovanca je pomembna izbira obdelovalnih parametrov. V našem primeru smo izbrali orodje iz karbidne trdine in naslednje obdelovalne parametre:

- hitrost finega struženja $v = 20 \text{ mm/s}$
- podajalna hitrost $f = 0,08; 0,16; 0,32 \text{ mm/vrt}$
- globina rezanja $a = 0,025; 0,05; 0,1 \text{ mm}$

3 Rezultati in diskusija

V površinski plasti obdelovanca prihaja pri finem struženju do neposrednega vpliva rezalnega orodja in s tem do oblikovnega in velikostnega spreminjanja posameznih mikrostrukturnih sestavin. Stanje površine in površinske plasti je odvisno od vrste značilnih procesov v materialu obdelovanca v neposredni bližini rezalne cone. Iz analize mikrostrukturnih sestavin po litju in nato še po finem struženju lahko potrdimo naslednje procese:

- rezanje materiala obdelovanca
- mikroplastična deformacija in utrditev mehke osnove na osnovi aluminija
- drobljenje trdih delcev silicija in vgnetenja le-teh v mehko osnovo. Rezultat komplementarnega efekta v



Slika 2: Oprema za računalniško podprto mikrostrukturno analizo
Figure 2: Equipment of microstructure analysis

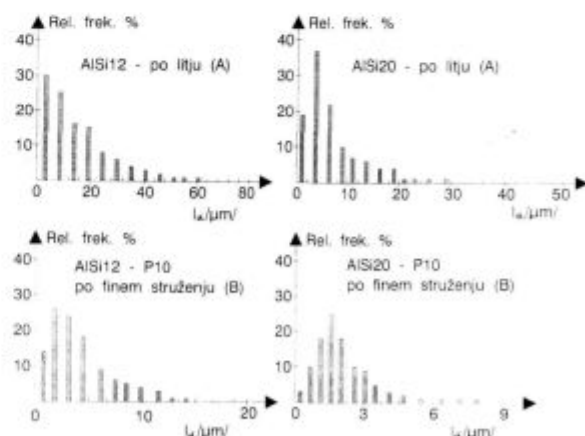
površinski plasti materiala obdelovanca predstavlja dodatno utrditev mehke osnove

- nalepljanje mehke osnove na cepilni ploskvi orodja
- prehod nalepkov iz orodja na površino obdelovanca
- prehod nalepkov iz orodja na odrezek.

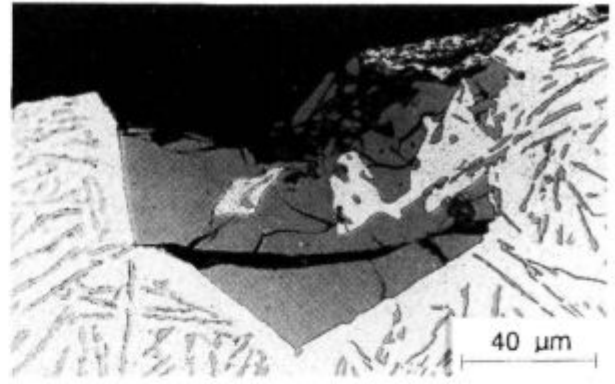
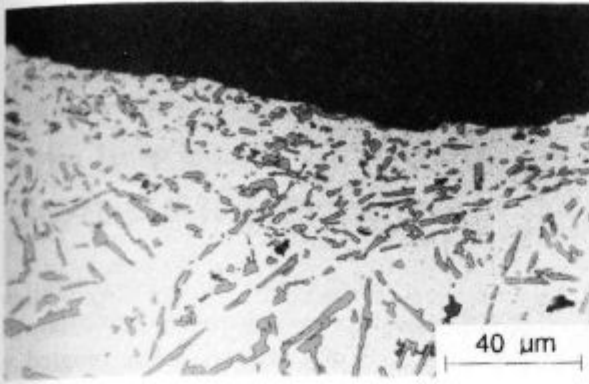
Glede na diametralne lastnosti posameznih mikrostrukturnih sestavin in njihovo vedenje med finim struženjem smo izbrali za kvantitativno analizo linijsko metodo, metodo merjenja arealov ter določevanje oblikovnega faktorja delcev. Z računalniškim vrednotenjem smo izmerjene strukturne parametre podali na naslednji način:

- porazdelitev velikosti posameznih sestavin mikrostruktur po litju in po finem struženju
- porazdelitev arealov in oblikovnega faktorja posameznih mikrostrukturnih sestavin po litju in po finem struženju.

Na sliki 3 je prikazana porazdelitev velikosti interceptnih dolžin raztopinskih kristalov po litju (A) in po finem struženju (B) za zlitino AlSi12 in AlSi20. Primerjava spremembe porazdelitve velikosti interceptnih dolžin raztopinskih kristalov potrjuje, da pride pri finem struženju do drobljenja silicijevih kristalov in vgnetenja

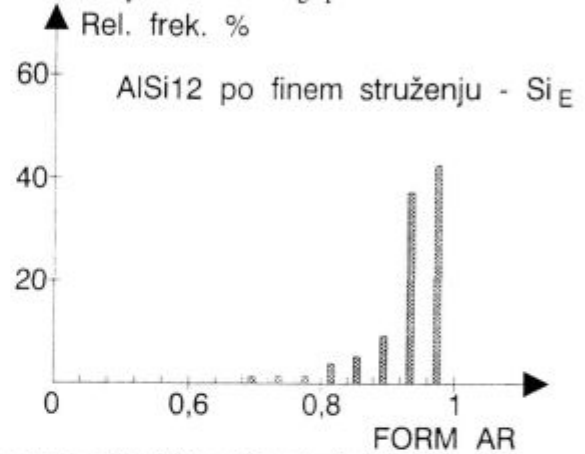
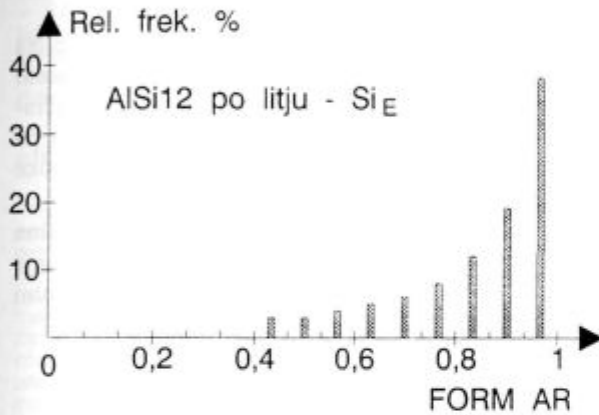


Slika 3: Porazdelitev velikosti interceptnih dolžin na osnovni matici po litju (A) in po finem struženju (B) zlitine AlSi12 in AlSi20
Figure 3: Interception length distribution on the soft matrix of AlSi12 and AlSi20 alloy after casting (A) and fine turning (B)



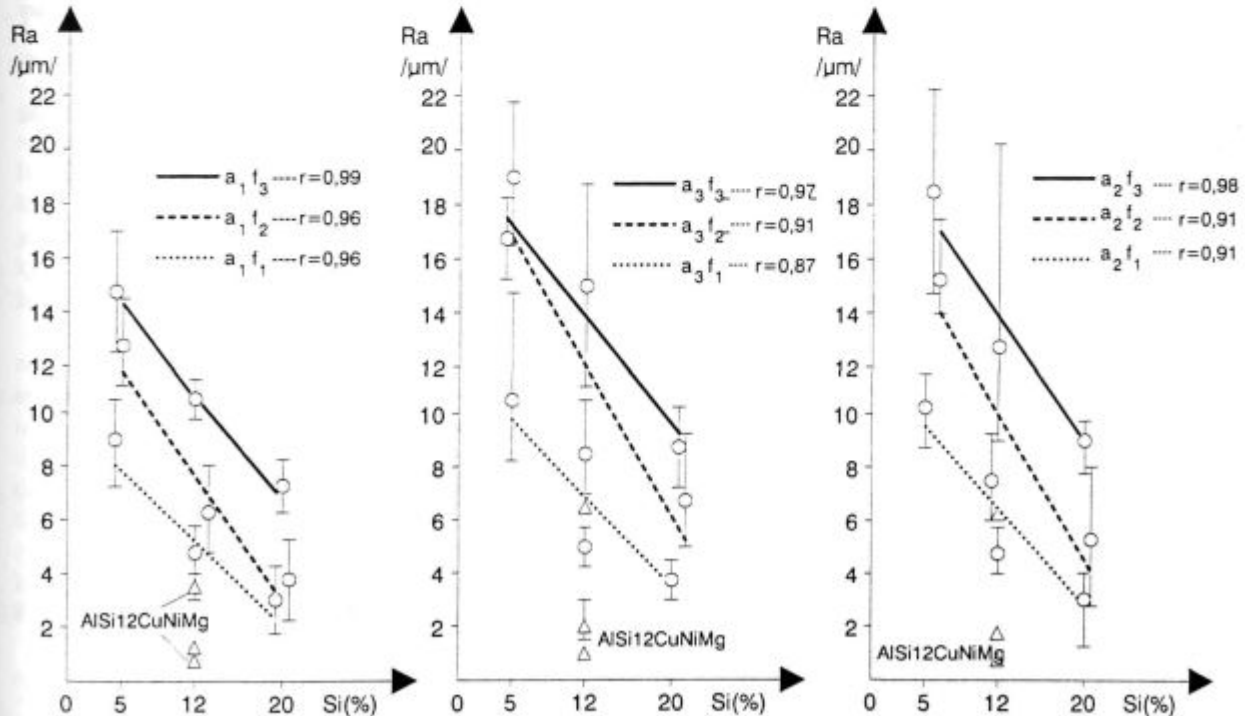
Slika 4: Spremembe velikosti in oblike evtektičnih in primarnih kristalov silicija na površinski plasti po finem struženju

Figure 4: The changes in size and shape of eutectic and primary silicon crystals in surface layer after fine turning operation



Slika 5: Relativna frekvenca velikosti oblikovnega faktorja za delce evtektičnega silicija po litju (A) in po finem struženju (B)

Figure 5: Relative frequency of the form factor size of eutectic silicon particles after casting (A) and after fine turning (B)



Slika 6: Vpliv deleža silicija na hrapavost površine analiziranih zlitin

Figure 6: Silicon proportion effect on surface roughness in analysed alloys

trdih delcev v mehko osnovo. Mikrotrdota v površinski plasti se pri istih obdelovalnih razmerah spreminja v odvisnosti od porazdelitve mehke osnove in velikosti kristalov silicija.

Spremembo velikosti in oblike kristalov silicija smo potrdili še z izračunom t.i. oblikovnega faktorja, ki je poznan po literaturi kot FORM AR.

$$\text{FORM AR} = \frac{\text{AREAL DELCA}}{\frac{\pi}{4} \cdot D_{\min} \cdot D_{\max}}$$

kjer je:

Areal - površina delca dane faze v analiziranem prerezu vzorca

$D_{\min}$ - premer včrtanega kroga, analiziranega delca

$D_{\max}$ - premer očrtanega kroga analiziranega delca

Popis delcev evtektičnega silicija z oblikovnim faktorjem FORM AR je potrdil, da so delci po litju bolj podolgovati. Vrednost izračunanega FORM AR je 0,84. Po finem struženju pa v površinski plasti naraste na 0,94, kar potrjuje, da se silicijevim kristalom zaradi porušitve med finim struženjem spremeni oblika v bolj ostrorobe enakoosne delce.

Na **sliki 5** je prikazana porazdelitev oblikovnega faktorja evtektičnega silicija po litju (A) in po finem struženju v površinski plasti (B). Analiza silicijevih kristalov je potrdila, da imajo posamezne vrste mikrostruktur zelo specifičen vpliv na spremembe lastnosti v površinski plasti. Za popis stanja površine, nastale po finem struženju, smo uporabili tudi merjenje njene hrapavosti, ki predstavlja osnovni parameter za popis integritete površin. Meritve so potrdile ugoden odziv krhke faze na kvaliteto površine. Na **sliki 6** je prikazan vpliv deleža silicija v obravnavanih zlitinah na velikost oziroma spreminjanje hrapavosti.

V zlitinah z naraščajočo vsebnostjo silicija dobimo nižjo hrapavost zaradi:

- manjšega nalepljanja mehke osnove na cepilno ploskev orodja
- sprotnega odstranjevanja nalepkov iz cepilne ploskve zaradi abrazivnih učinkov porušeni kristalov silicija.

4 Sklepi

Eksperimentalni rezultati potrjujejo, da lahko v zlitinah, sestavljenih iz zelo trde faze (trdote HV 1200) in mehke faze (trdote HV 60), dobimo dober vpogled v procese na mikrostrukturnem nivoju pri finem struženju. Pri finem struženju prihaja v površinski plasti do:

- rezanja mehke in plastične osnove, ki odločilno vpliva na povečanje hrapavosti površine
- drobljenje evtektičnega silicija zelo ugodno vpliva na mikroproces v mehki osnovi, kjer zaradi vgnetenja v mehko osnovo dobimo utrjeno površinsko plast. Navedeni procesi v površinski plasti pa povzročajo po finem struženju nastanek bolj gladke površine z manjšo hrapavostjo
- fine intermetalne spojine v mikrostrukturi zlitine AlSi12CuNiMg pomembno vplivajo na povečanje trdote zlitine in s tem ugodno vplivajo na rezalni proces in nastanek hrapavosti.

5 Literatura

- ¹ P. Leskovic, J. Grum: The Metallurgical Aspects of Machining, *Annals of the CIRP*, 35, 1986, 2, 537-550
- ² W. Koenig, D. Ernski: Machining and Machinability of Aluminium Cast Alloys, *Annals of the CIRP*, 30, 1981, 2, 535-540
- ³ Jeong Du Kim, Eun Sang Lee: Mirror Finish Machining of an Al-Si Alloy, *Aluminium*, 1993, 3, 254-258
- ⁴ J. Grum, M. Kisin: Vpliv silicija v siluminih na integriteto površin, *Rudarsko-metalurški zbornik*, 40, 1993, 3-4, 407-428