

# Vpliv mikrostrukture aluminijevih zlitin s silicijem na hrapavost površine po finem struženju

## Effects of the Microstructure of Aluminium Alloys with Silicon on Surface Roughness after Fine Turning

J. Grum<sup>1</sup>, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana

Prejem rokopisa - received: 1996-10-04; sprejem za objavo - accepted for publication: 1997-04-21

*Aluminijeve zlitine se lahko uporabljajo v litem hladno utrjenem oziroma toplotno obdelanem stanju. Glede na spoznanje, da se večina izdelkov iz neželeznih zlitin po mehanski obdelavi vgradi v sklop, je potrebno pri izbiri obdelovalnih razmer in geometrije orodja upoštevati mikrostrukturno stanje zlitine. V delu bo prikazano vedenje podevtektične, evtektične in nadevtektične zlitine aluminija s silicijem, kot tudi vpliv le teh, dodatno legiranih z različnimi elementi. Na osnovi poznavanja mikrostrukturnih sestavin smo po finem struženju ugotovili izrazite vplive mikrostrukture na nastanek hrapavosti površine. Z linearno diskriminantno funkcijo nam je uspelo vnaprej napovedati pričakovano hrapavost površine, če smo poznali kemično sestavo zlitine.*

*Ključne besede: fino struženje, aluminijeve zlitine, mikrostrukturna analiza, linearna ločevalna funkcija, klasifikacija vzorcev*

*Aluminium alloys can be used in a cast work, hardened or heat treated condition. Considering the facts that most products made from non-ferrous alloys are built into assemblies after their treatment, it is necessary that the microstructure condition of the alloy is considered prior to selecting the machining conditions and tool geometry. In the contribution the behaviour of the subeutectic, eutectic and supereutectic Al-alloys with silicon as well as the effects of additional alloying with different alloying elements is investigated. On the basis of judgment about microstructural components, after fine-turning notable influences of the microstructure on the occurrence of surface roughness could be found. A linear discriminating function was successfully used for predicting the expected surface roughness given that the chemical composition of the alloy was known.*

*Key Words: fine turning, aluminium alloys, microstructure analysis, linear discriminating function, pattern classification*

### 1 Uvod

V inženirski praksi se pogosto uporabljajo aluminijeve zlitine za dele, ki se po mehanski obdelavi vgradijo v funkcionalne sklope. Zato se zanje pogosto postavljajo zahteve po kvaliteti površine in površinske plasti, ki jo opišemo kot integriteto površine. Cilj tega dela je bil opredeliti spremembe na površini in v tanki površinski plasti obdelovanca v odvisnosti od hrapavosti površine. Podevtektične in evtektične aluminijeve zlitine s silicijem vsebujejo trdno raztopino in fini evtektik. Pri mehanski obdelavi, kot je tudi fino struženje, pride zaradi različnih mikrostrukturnih sestavin do različnih učinkov v strižni coni, ki vplivajo na kvaliteto površine in na stanje materiala v površinski plasti. Jasim in Dwarakadasa<sup>1</sup> sta študirala tribološke razmere za številne aluminijeve zlitine s silicijem pri suhih drsnih razmerah. Tribološke raziskave so bile opravljene na univerzalni napravi s preizkuševalnim parom materiala v obliki valjčka in diska pri različnih normalnih silah. V razpravi so podane različne analize mikrostrukturnih sprememb v tanki površinski plasti z optično in elektronsko mikroskopijo. Bialo in soavtorji<sup>2</sup> so študirali sintrane zlitine aluminija s silicijem pri tribološkem kontaktu z oscilirajočo obremenitvijo. Analizirali so tudi zlitine aluminija in silicija z dodatki bakra in železa pri oscilirajoči obremenitvi. Rezultati so pokazali, da sega poškodba površinske plasti do globine, ki ustreza povprečni velikosti

silicijevih kristalov. Zanimive so raziskave Havisa in soavtorjev<sup>3</sup>, ki so obdelovali z abrazivnimi delci različne aluminijeve zlitine s silicijem. Glede na velikost teh delcev, ki so s svojo kinetično energijo oblikovali površino, so z mikromehanskim modelom opisali stanje površine in površinske plasti. Dokazali so, da lahko glede na obdelovalne razmere določijo velikost kraterjev na površini pri nepomembnih mikrostrukturnih spremembah v površinski plasti. Nadaljnje tribološke razmere so potrdile, da izjemno dobro kvaliteto površine, brez mikrostrukturnih sprememb v površinski plasti, zagotavljajo dobre obratovalne razmere tako površinsko obdelanih delov. V zadnjem času pa so raziskave usmerjene na primerjavo obdelovalnosti različnih vrst kompozitov na osnovi aluminija s talilno pridobljenimi aluminijevimi zlitinami s silicijem. Raziskujejo tudi vedenje različnih kompozitnih gradiv na osnovi aluminija v paru z različnimi vrstami jekel. Tako sta avtorja Wilson in Alpas<sup>4</sup> raziskovala tribološke razmere v paru aluminijeve zlitine oziroma s kompoziti z aluminijevo matico v proti paru s površinsko kaljenimi jekli pri povišanih temperaturah. Skarma in Rajan<sup>5</sup> sta raziskovala različne zlitine aluminija s silicijem z dodatki 4 - 16% svinca z namenom, da preverita drsne lastnosti pri delno mazanem in suhem kontaktu. Vložki dispergirane svinca v evtektični zlitini omogočajo polirni efekt tako pri mehanski obdelavi ležaja kot tudi v obratovalnih razmerah. Leskovar in Grum<sup>6</sup> sta opisala metalurške vidike obdelave kovinskih materialov, kjer sta glede na definicijo obdelovalnosti materialov prikazala lastne in tudi tuje raziskave s poudarkom na mikrostrukturnih vplivih. Avtorja

<sup>1</sup> Dr. Janez GRUM, redni profesor  
Fakulteta za strojništvo  
Aškerčeva 6, 1000 Ljubljana

Queener in Mitchel<sup>7</sup> pa sta raziskovala obdelovalnost pri vrtnanju aluminijevih zlitin "380" za litje z 8,5% Si, 3,5% Cu z različnimi deleži železa pri uporabi modifikatorja. Koenig in Erinski<sup>8</sup> sta ugotavljala obdelovalnost številnih zlitin s silicijem v litem stanju z modifikacijo ali brez nje, nekatere izmed njih pa so bile še dodatno toplotno obdelane. Vplive mikrostrukture na nastanek hrapavosti površine pri različnih zlitinah aluminija s silicijem je opisal J. Grum<sup>9,10</sup>. Medsebojna odvisnost je opisana med interceptnimi dolžinami trdne raztopine in velikostjo srednje aritmetične hrapavosti obdelane površine po finem struženju. O obdelovalnosti siluminov v različnih razmerah sta poročala tudi Grum in Kisin<sup>11-13</sup>. Rezultati študija obdelovalnosti izhajajo iz velikosti statične in dinamične glavne rezalne sile v različnih obdelovalnih razmerah s ciljem optimizacije procesa z vidika integritete površine materiala orodja in obdelovanca.

## 2 Eksperimentalna zasnova

### 2.1 Material

Za raziskavo mikrostrukturnih vplivov na hrapavost površine smo izbrali zlitine aluminija s silicijem, ki imajo mehko trdno raztopinsko osnovo z vstavljenimi trdimi kristali silicija. Te zlitine so zaradi mikrostrukture zelo specifične pri finem struženju, saj se mehka osnova pri tem procesu v strižni coni reže in gnete, medtem ko trdi silicijevi kristali le drobijo. Na **sliki 1** je prikazano fino struženje, ko se ločuje odrezek od obdelovanca preko tako imenovane strižne ravnine. V njeni okolici nastane v odrezku primarna strižna cona, ki se spreminja po velikosti oziroma po stopnji utrditve materiala. Vpliv primarne strižne cone se lahko zaradi trdnosti materiala in njegove meje tečenja prenese tudi v površinsko plast obdelovanca. Sekundarna strižna cona nastane na spodnji strani odrezka zaradi normalne sile rezanja na orodje in zaradi tečenja odrezka po njegovi cepilni ploskvi. Stiskanje in krčenje materiala v primarni in sekundarni strižni coni kumulativno vplivata na nastanek hrapavosti površine, na utrditev materiala v površinski plasti obdelovanca in na mikrostrukturne spremembe. Kontaktna površina med cepilno ploskvijo orodja in nastajajočim odrezkom predstavlja ravnino tornega toplotnega izvira, ki lahko zaradi hitrega prenosa toplote v hladen material



Slika 1: Razmere pri finem struženju v strižni coni  
Figure 1: Circumstances in fine turning in shear zone

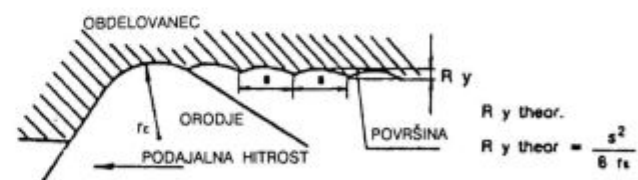
povzroča omehčanje površinske plasti obdelovanca. Posledice velikih pritiskov na kontaktni površini med odrezkom in orodjem so hladni navari materiala obdelovanca na cepilni ploskvi orodja. Hladno navarjeni material se postopno nalaga na cepilni ploskvi orodja, tako da je dolžina oziroma velikost nalepka vse večja in v določenem trenutku celo zajame radij noža. Zaradi hladnega navarjanja materiala se spreminjata geometrija orodja in oblika oziroma velikost primarne in sekundarne strižne cone.

Učinke nastale primarne in sekundarne strižne cone in nalepljanja materiala na cepilno ploskev orodja lahko zaznamo s spremembo hrapavosti površine. Vplive na njen nastanek lahko razvrstimo v tri skupine:

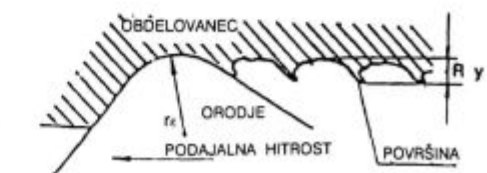
- kinematična hrapavost, ki je odvisna od relativnega gibanja orodja in obdelovanca ter od oblike konice orodja
- primarna hrapavost površine, ki nastane zaradi ločevanja odrezka od obdelovanca in jo dodamo k kinematični hrapavosti
- vplivi vibracij med orodjem in obdelovancem, vplivi tečenja materiala v površinski plasti obdelovanca neposredno za orodjem.

Glede na poznano geometrijo orodja ter relativno gibanje med orodjem in obdelovancem lahko izračunamo kinematično hrapavost. Mikroplastične in mikroelastične deformacije v površinski plasti obdelovanca ter dinamične razmere med orodjem in obdelovancem povzročajo, da se dejanska hrapavost površine močno razlikuje od teoretične (**slika 2**).

Raziskovali smo aluminijeve zlitine s silicijem, in sicer: AlSi5, AlSi12, AlSi20 in AlSi12 CuNiMg aluminijeve zlitine, dodatno legirano s Cu, Ni in Mg. Pripravo vzorcev za metalografsko analizo na optičnem mikroskopu smo opravili na Struersovi napravi ABRAMIN z mikroprocesorskim vodenjem brušenja in poliranja. Kot jedkalno sredstvo smo uporabili 5% vodno raztopino HF.



a) KINEMATIČNA HRAPAVOST



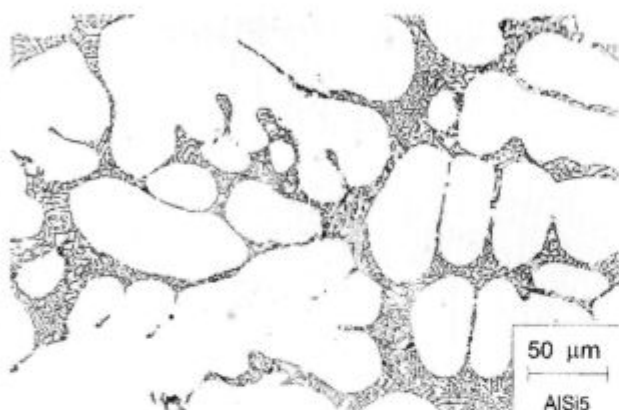
b) DEJANSKA HRAPAVOST

Slika 2: Teoretična in dejanska hrapavost površine po finem struženju  
Figure 2: Theoretical and practical surface roughness in the fine turning

Mikrostrukturno stanje smo analizirali v litem stanju in po finem struženju. Sestava mikrostrukture pri obravnavanih zlitinah je bila naslednja:

- trdna raztopina
- eutektik iz trdne raztopine in iglice ali lamel silicija
- trdi, krhki in veliki kristali primarnega silicija
- intermetalne spojine v zlitini netopnih ali malotopnih elementov.

V **tabeli 1** sta prikazani kemična sestava in trdota po Brinellu za posamezne vrste obravnavanih aluminijevih zlitin. Trdota aluminijevih zlitin s silicijem je med 53 in



Slika 3: Mikrostrukture aluminijevih zlitin s silicijem, pov. 100x  
a) AlSi 5 b) AlSi12 c) AlSi20

Figure 3: Microstructure of aluminium silicon alloys, Mag. 100x

66 HB, v aluminijevi zlitini AlSi12 CuNiMg pa 104HB, torej znatno večja.

**Tabela 1:** Kemična sestava in trdota analiziranih zlitin

**Table 1:** Chemical composition and hardness of investigated alloys

Elements % Material	Si	Fe	Mn	Mg	Cu	Ni	Ti	Trdota HB Hardness
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 3** so prikazani mikrostrukturni posnetki za zlitine AlSi5, AlSi12 in AlSi20 pri 100-kratni povečavi.

## 2.2 Obdelovalne razmere pri finem struženju

Geometrija orodja je bila določena na osnovi zbranih podatkov v strokovni literaturi<sup>7,8,6</sup> in po preverjanju s finim struženjem zlitin. Preizkuse struženja smo opravili z ostrim orodjem brez obrabe na prosti in cepilni ploskvi z naslednjo geometrijo orodja iz karbidne trdine ISO 210 (SPUN 120308 D12):

- prosti kot  $\alpha = 5^\circ$
- cepilni kot  $\gamma = 6^\circ$
- nastavni kot  $\chi = 75^\circ$
- kot konice  $\epsilon = 90^\circ$
- radij konice  $r = 0,8 \text{ mm}$

Ključni pomen pri finem struženju je zagotoviti fino obdelano površino brez poškodb in nalepkov s čim manjšo kinematično hrapavostjo. Fino oziroma gladko površino lahko dosežemo pri izjemno visokih rezalnih hitrostih in zelo majhnih pomikih oziroma globinah rezanja. Seveda pa je potrebno izbrati globino rezanja večjo od kritične, da ne prihaja do odtrganja noža in s tem do tlačenja obdelovanca. Posledica tega je večje odstopanje v ovalnosti, kar pa moramo pri finem struženju prav tako preprečiti. Ob upoštevanju navedenih dejstev smo izbrali pri dani geometriji orodja obdelovalne razmere podane v **tabeli 2**.

**Tabela 2:** Obdelovalne razmere po finem struženju

**Table 2:** Machining conditions in fine turning

Pogoji finega struženja Machining conditions in fine turning				
Hitrost finega struženja Fine turning velocity	$v(\text{mm/s})$	20		
Podajalna hitrost Feed rate	$f(\text{mm/vrt})$	0,08	0,016	0,032
Globina rezanja Cutting depth	$\alpha(\text{mm})$	0,025	0,05	0,1

## 3 Eksperimentalni rezultati

### 3.1 Procesi v obdelovancu pri finem struženju

Na površini obdelovanca prihaja do neposrednega vpliva rezalnega orodja in s tem povezanega spreminjanja morfologije in geometrije sestavin mikrostrukture. Stanje površine in površinske plasti je odvisno od

procesov v obdelovancu v neposredni bližini rezalne cone, in sicer:

- rezanje obdelovanca
- mikroplastična deformacija trdne raztopine
- nalepljanje trdne raztopine na cepilno ploskev orodja
- prehod nalepljenega materiala iz cepilne ploskve orodja na površino obdelovanca
- nalepljeni material, ki prehaja od cepilne ploskve orodja je utrjen in po prehodu na obdelovanec povzroča dodatno utrditev trde raztopine, in sicer na tistem mestu, kjer je obstal kot nalepek na obdelovancu
- drobljenje evtektičnega in primarnega silicija
- vgnetenje zdrobljenih delcev (trdih) silicijevih kristalov v mehko osnovo (trdna raztopina), kar dodatno prispeva k utrditvi mehke osnove.

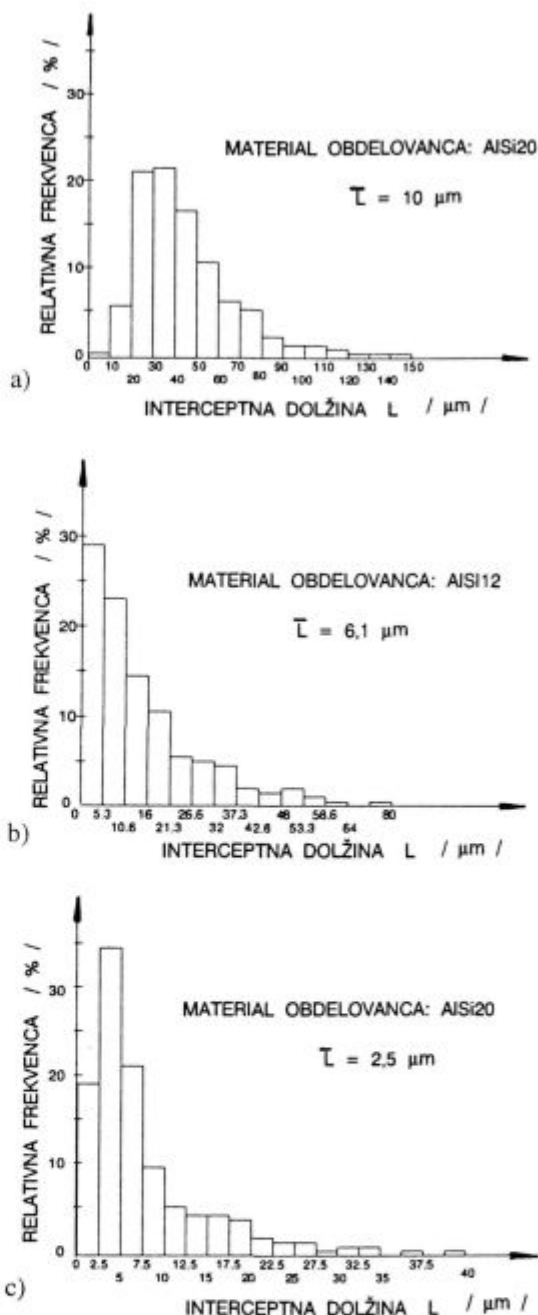
### 3.2 Mikrostruktura v površinski plasti obdelovanca po finem struženju

Mikrostrukturne spremembe, ki jih dobimo v posameznih zlitinah, se med seboj močno razlikujejo po velikosti in obliki. Trdna raztopina aluminija in silicija ima mehko osnovo in ima po litju obliko dendritov. Evtetik je zelo fin in je sestavljen iz trdne raztopine in iglic silicija, grobih kristalov primarnega silicija in iz zelo fine intermetalne spojine:  $Al_3Ni$ ,  $AlCuMgSi$ ,  $AlFeSiMg$  in  $Al_6CuNi$ .

Glede na morfologijo posameznih mikrostrukturnih faz in njihovo vedenje med finim struženjem smo izbrali za kvantitativno analizo linijsko metodo, s katero smo ugotovili porazdelitev interceptnih dolžin v trdni raztopini.

Na **sliki 4** je prikazana porazdelitev interceptnih dolžin trdne raztopine za posamezne aluminijeve zlitine z različnimi deleži silicija po finem struženju. Iz diagramov lahko ugotovimo, da se te dolžine močno spreminjajo glede na delež silicija oziroma vrsto posameznih faz. Pri analizi smo se omejili le na velikost trdne raztopine, ki jih zaznamuje velikost interceptnih dolžin. Največja je okoli 150  $\mu m$ . V zlitini AISi12, kjer prevladuje evtektik, dobimo povprečno interceptno dolžino okoli 16  $\mu m$ , medtem ko je največja okoli 80  $\mu m$ . V nadevtektični zlitini AISi20 je povprečna interceptna dolžina okoli 20  $\mu m$  in največja pri trdni raztopini okoli 40  $\mu m$ .

Mikrostruktura v površinski plasti se spremeni zaradi rezanja in mikroplastične deformacije obdelovanca pri finem struženju. Ker med finim struženjem ne prihaja do spremembe velikosti delcev silicija v evtektiku, pomeni, da vse spremembe v mikrostrukturi potekajo preko mehke osnove. Trdi evtektični silicij se premešča v trdni raztopini. Tako se evtektični silicij zblizuje in se zmanjšujejo razdalje med trdimi delci. Posledica premeščanja evtektičnega silicija je zmanjševanje interceptnih dolžin v trdni raztopini, kar vpliva na povečanje trdote zlitine v površinski plasti. Drug pojav, ki prispeva k povečevanju



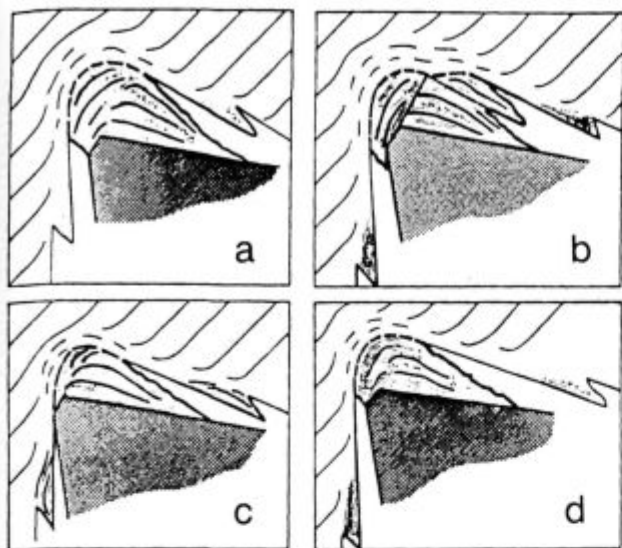
**Slika 4:** Porazdelitev interceptnih dolžin v trdni raztopini

a) AISi5 b) AISi12 c) AISi20

**Figure 4:** Distribution and size of intercept length on solid solution grains

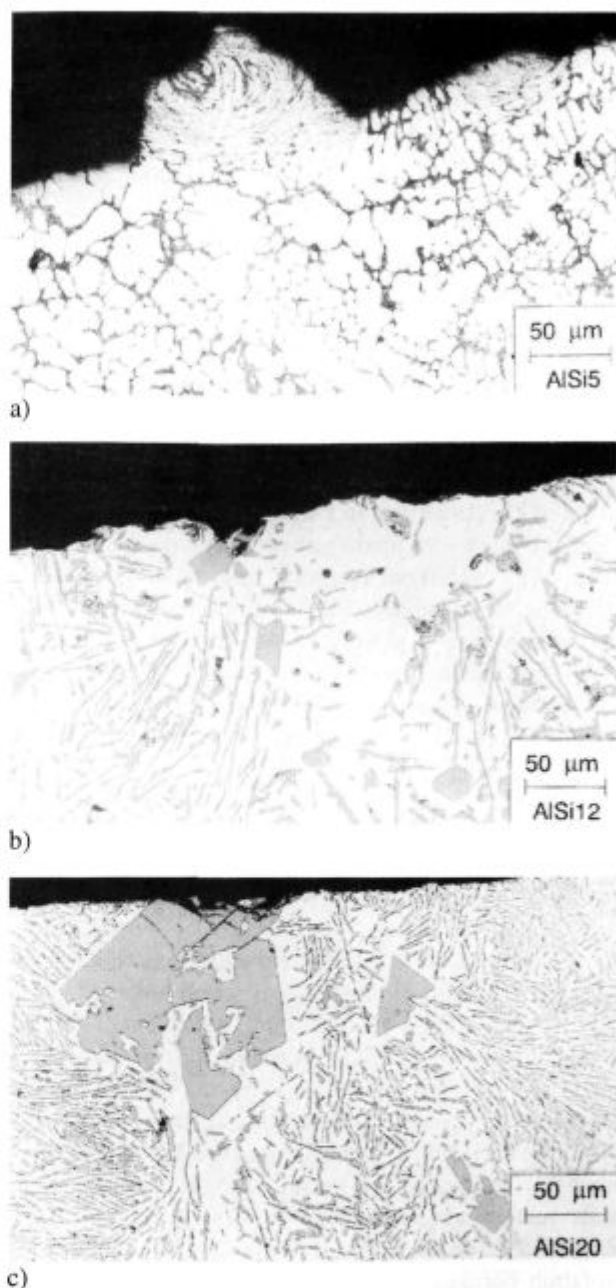
a) AISi5 b) AISi12 c) AISi20

trdote trdne raztopine, pa je utrjevanje zaradi hladne deformacije, ki je posledica povečevanja gostote dislokacij. Iz premeščanja trdih delcev v mehki osnovi sledi, da orodje pri finem struženju močnejše razriva in iztiska ob nožu mehko osnovo. Zelo pomemben proces je tudi formiranje mejne plasti med odrezkom in orodjem. Zaradi normalne sile na orodje, ki jo povzroči nastajajoči odrezek, prihaja do hladnega zvara obdelovanca na cepilno ploskev orodja (**slika 5a**). Ta material se pos-



Slika 5: Nalepljanje materiala na orodje v coni tečenja materiala  
Figure 5: Built up edge on the cutting tool in flow-zone

topno naleplja na cepilno ploskev in vpliva na geometrijo orodja. Ko se nabere oziroma nalepi material do kritične višine oziroma širine, se prične nanos relativno premikati in se pri vse večji prečni sili nalepljeni material odtrga. Nalepek materiala obdelovanca, ki se odtrga na cepilni ploskvi, gre nato preko spodnje površine odrezka. Nasprotno je pri nalepljanju materiala, ki pokrije rezalni rob in sega celo na prosto ploskev orodja, kjer potekajo podobni procesi. To pomeni, da se pri kritični višini nalepka na orodju odtrga v smeri proste ploskve in obstane nato kot nalepek na površini obdelovanca. Med finim struženjem, ko prihaja do prekomernega nalepljanja materiala na konico orodja, le-ta stiska površino obdelovanca in jo utrdi, istočasno pa spremeni tudi dimenzijo izdelka. Nalepek na površini obdelovanca pomeni zmanjšano izmero izdelka in tudi mesto z najvišjo trdoto na njegovi površini. Na **sliki 5b** je prikazano postopno oziroma plastovito nalepljanje materiala obdelovanca na orodje. Nalepek se v nekem trenutku zaradi prečnih sil odtrga in odnese preko odrezka oziroma površine obdelovanca (**slika 5c**). Na **sliki 5d** pa je prikazan ostanek nalepljenega materiala obdelovanca, ki se bo v naslednjem trenutku ponovno povečeval in omogočil ciklično ponavljanje omenjenih pojavov. **Slika 6** prikazuje mikrostrukturo površinske plasti po finem struženju obravnavanih aluminijevih zlitin. Za nastanek hrapavosti je zelo pomembno nalepljanje materiala obdelovanca na rezalni rob orodja, ki se ciklično odnaša preko spodnje ploskve odrezka oziroma se natisne na površino obdelovanca ob prosti ploskvi orodja. Poškodbe v tanki površinski plasti so močno odvisne od mikrostrukture, zato pri mehkejši zlitini AlSi5 dobimo največjo hrapavost površine, ki se nato zmanjšuje z večanjem deleža silicija v zlitini.



Slika 6: Mikrostruktura v površinski plasti po finem struženju za posamezne vrste analiziranih zlitin, pov. 100 x  
Figure 6: Microstructure in surface layer after fine turning for analysed alloys, Mag. 100 x

### 3.3 Vpliv mikrostrukture na hrapavost površine

Poznani so različni matematični statistični postopki za razvrščanje vzorcev v posamezne kategorije ali razrede<sup>14-18</sup>. Linearna diskriminantna funkcija je najpreprostejša oblika, ki jo lahko zapišemo z "n" značilnostmi v naslednji obliki:

$$d(x) = w_0^T x + W_{n+1},$$

kjer je  $w_0$  vektor koeficientov, ki jih zapišemo v naslednji obliki:

$$w_n = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T,$$

$w_n + 1$  je koeficient, ki določa pragovno vrednost, pomembno za odločitveni proces.

Meja oziroma devizijska ločnica med dvema razredoma  $R_i$  in  $R_j$  je linearna, če velja, da je

$$d_i(x) - d_j(x) = 0$$

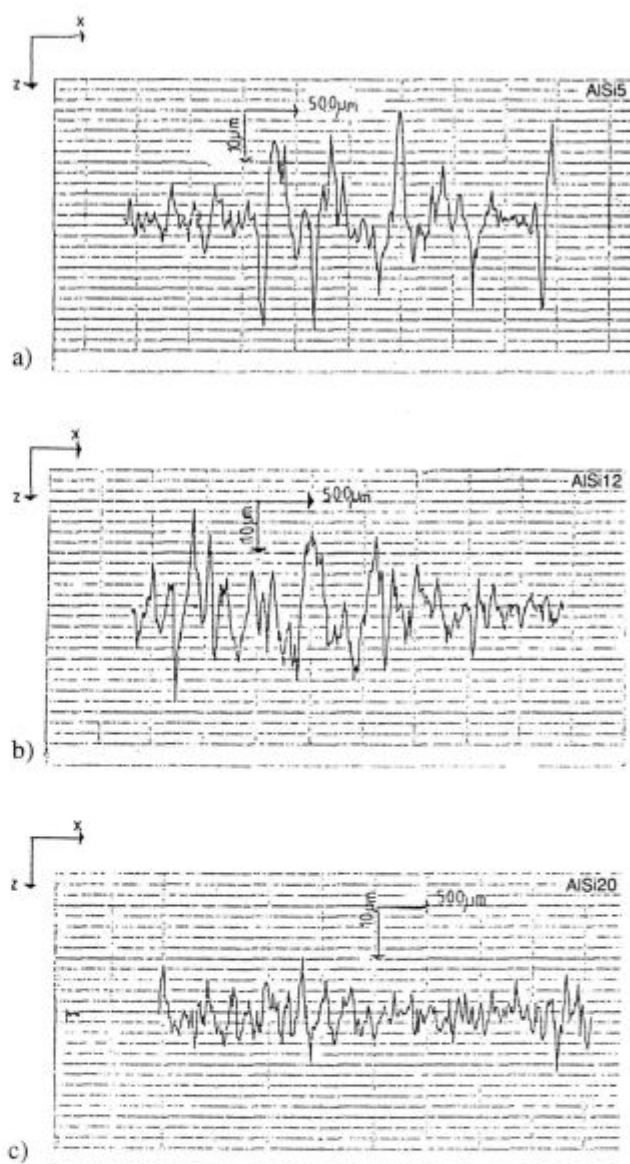
Tako imamo v našem primeru, ko obravnavamo odvisnost med velikostjo interceptnih dolžin in srednjo aritmetično hrapavostjo le dve značilnosti, ločilna meja pa je premica.

Na **sliki 7** so prikazani profilogrami površine po finem struženju v obravnavanih aluminijevih zlitinah z različnimi deleži silicija. Merilnik hrapavosti PERTHOMETER zana površinske značilnosti s tipalom, ki ima končno dimenzijo, in z njim lahko dobimo le profil, ki ga registrira lega tipala glede na dejanski profil hrapavosti. Pred pričetkom merjenja smo na valjastih preizkušancih po struženju označili štiri merilna mesta za hrapavost površine v aksialni smeri. Znotraj posameznih smeri smo opravili po tri zapise hrapavosti  $R$  na referenčni dolžini 4,8 mm, izračunali srednjo vrednost hrapavosti  $R_a$ , izvedli statistični opis s sipanjem hrapavosti okoli srednje vrednosti, opravili statistične preskuse srednje vrednosti in tudi statistične preskuse za popis sipanja okoli nje. Le-ti so pokazali, da je bil izbrani vzorec za merjenje hrapavosti dovolj velik in da so rezultati hrapavosti v mejah pričakovanja glede na izbrano mejo zaupanja.

Podobno kot smo zasledili spreminjanje velikosti interceptnih dolžin v trdni raztopini pri posameznih vrstah aluminijevih zlitin s silicijem, smo določili tudi spreminjanje hrapavosti površine. Na **sliki 8** je prikazana porazdelitev hrapavosti površine po posameznih velikostnih razredih. Iz podatkov v posameznih diagramih lahko ocenimo, da je hrapavost površine v enakih obdelovalnih razmerah največja pri zlitini AlSi5, v eutektični in nadeutektični zlitini se zmanjšuje celo za 3 do 5 krat. Zanimivo je, da pri nadeutektični zlitini prihaja do katastrofalnih porušitev velikih silicijevih kristalov, ki pa ne povzročajo negativnih učinkov na povečanje hrapavosti. Tako imamo po finem struženju razpon profila hrapavosti od 4 do 14  $\mu\text{m}$  pri zlitini AlSi5 in nekoliko manjšega od 4,5 do 8,0  $\mu\text{m}$ , pri AlSi12. Najmanjšo hrapavost med 1,0 in 4,5  $\mu\text{m}$  smo dobili po finem struženju zlitine AlSi20.

Največja srednja aritmetična hrapavost površine po finem struženju je bila dosežena v zlitinah AlSi5 z  $R_a = 3,3 \mu\text{m}$  in AlSi20 z  $R_a = 2,95 \mu\text{m}$ .

Z združevanjem podatkov o hrapavosti površine in interceptnih dolžin pri trdni raztopini posameznih zlitin, smo določili mejne črte oziroma premice, ki ločujejo posamezne značilne razrede hrapavosti. Na **sliki 9** so prikazana področja razvrščanja hrapavosti v posamezne razrede glede na interceptne dolžine trdne raztopine po finem struženju z globino rezanja  $a = 0,025 \text{ mm}$  in  $0,1$

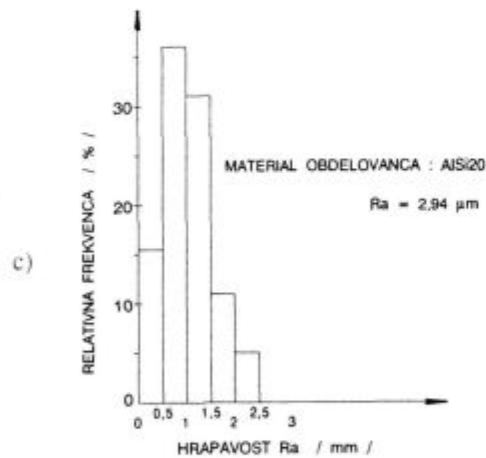
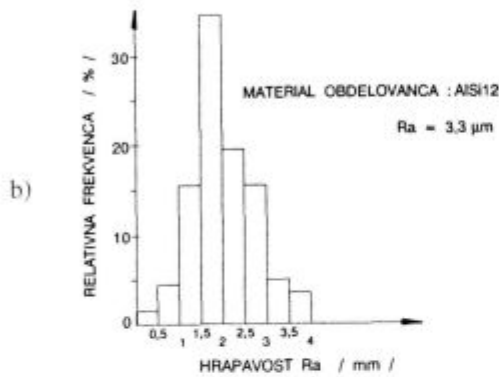
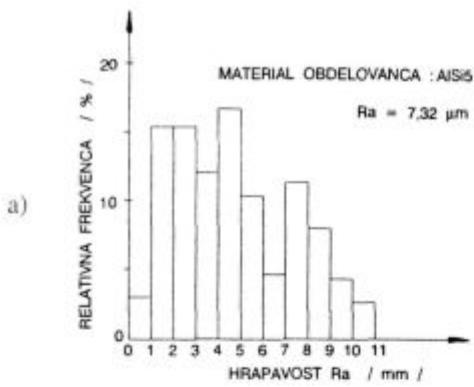


**Slika 7:** Profil hrapavosti površine po finem struženju za aluminijeve zlitine: a) AlSi5, b) AlSi12, c) AlSi20

**Figure 7:** Roughness profile of surface after fine turning for given aluminium alloys: a) AlSi5, b) AlSi12, c) AlSi20

mm. Iz podatkov smo za posamezne vrste analiziranih zlitin ugotovili:

- Zlitine z večjo interceptno dolžino trde raztopine imajo večjo hrapavost površine v enakih razmerah pri finem struženju
- Vpliv globine rezanja je opazen med najmanjšo ( $a = 0,025 \text{ mm}$ ) in največjo ( $a = 0,1 \text{ mm}$ ) globino finega struženja
- Odvisnost med interceptnimi dolžinami trdne raztopine v površinski plasti po finem struženju in hrapavosti za zlitini AlSi12 in AlSi20 je nekoliko manjša in jo matematično statistični postopek razporedi v dva ločena razreda. Vzrok za nekoliko slabšo opredelitev hrapavosti glede na mikrostrukturo je, da prevladuje v obeh zlitinah eutektik.

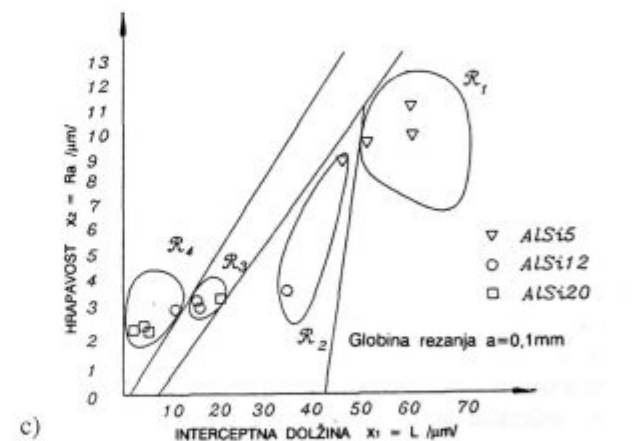
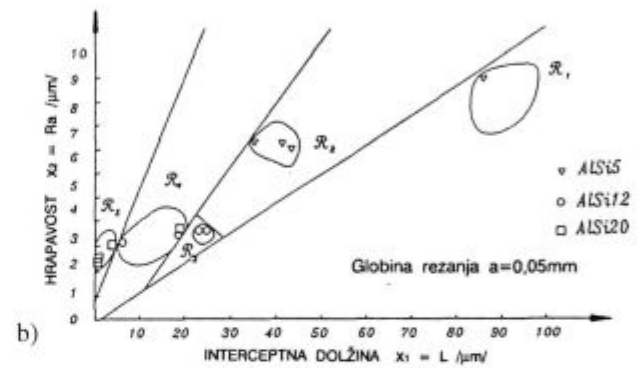
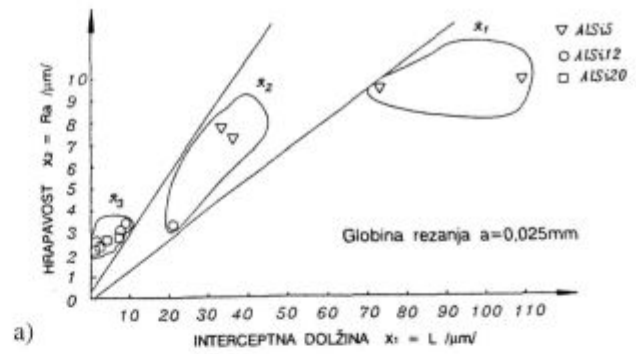


Slika 8: Porazdelitev izmerjenih vrednosti hrapavosti na referenčni dolžini 4,8 mm za posamezne aluminijeve zlitine: a) AlSi5, b) AlSi12, c) AlSi20

Figure 8: Distribution of measured roughness values on reference length 4,8 mm for aluminium alloys: a) AlSi5, b) AlSi12, c) AlSi20

## 5 Sklepi

Z linearnimi diskriminantnimi funkcijami smo dokazali zanesljivo povezavo med interceptnimi dolžinami trdne raztopine in hrapavostjo površine po finem struženju. Rezultati merjenja mikrostrukturnih značilnosti in hrapavosti površine po finem struženju so potrdili, da je napovedovanje hrapavosti iz podatkov o mikrostrukturi lahko zelo uspešno le za podeltektično



Slika 9: Linearne diskriminantne funkcije med interceptnimi dolžinami trdne raztopine in hrapavostjo pri finem struženju

Figure 9: Linear discriminant functions between intercept lengths of solid solution crystals and roughness at a fine turning

zlitino. S približevanjem sestave zlitine k eutektični koncentraciji pada zanesljivost napovedi, predvsem zaradi globalnega razmerja posameznih faz, kot so v našem primeru trdna raztopina, eutektik in primarni silicij. Razmerja med deležom posameznih faz so odvisna tudi od razmer pri ohlajanju, od uporabe modifikatorja ter vrste zlitine glede na delež silicija oziroma vpliva drugih legirnih elementov.

## 6 Literatura

- <sup>1</sup> K. M. Jasmin, E. S. Dwarakadasa: Wear in Al-Si Alloys under Dry Sliding Conditions, *Wear*, 199, 1987, 119-130
- <sup>2</sup> D. Bialo, J. Duszczak, J. A. W. J. De Gee, G. J. Van Heyningen: Friction and Wear Behaviour of Cast and Sintred Al-Si Alloys under Conditions of Oscillating Contact, *Wear*, 141, 1991, 291-309
- <sup>3</sup> S. K. Hovis, J. Talia, R. O. Scatergood: Erosion Mechanisms in Aluminium and Al-Si Alloys, Technical Note, *Wear*, 107, 1986, 175-181
- <sup>4</sup> S. Wilson, A. T. Alpas: Effect of Temperature on Sliding Wear Performance of Al Alloys and Al Matrix Composites, *Wear*, 196, 1996, 270-278
- <sup>5</sup> A. Sharma, T. V. Rajan: Bearing Characteristics of Cast Lead Al-Aluminium - Silicon Alloys, *Wear*, 197, 1996, 105-114
- <sup>6</sup> P. Leskovar, J. Grum: The Metallurgical Aspects of Machining, *Annals of the CIRP*, 35, 1986, 2, 537-550
- <sup>7</sup> C. A. Queener, W. L. Mitchell: Effect of Iron Content and Sodium Modification on the Machinability of Aluminium Alloys the Castings, *Trans. of the America Foundrymens Society*, 73, 1966, 14-19
- <sup>8</sup> W. Koenig, D. Erinski: Machining and Machinability of Aluminium Cast Alloys, *Annals of the CIRP*, 30, 1981, 2, 535-540
- <sup>9</sup> J. Grum: Influence of Microstructure Al-Si Alloys on Surface Roughness after Fine Turning Process, *Proc. of the 1st Int. Conf. Development Testing and Application of Materials*, Ed.: A. Filetin MATEH 96, Opatija, Croatia, 1996, 231-239
- <sup>10</sup> J. Grum: Estimation of Surface Integrity with Microstructure Changes after Mechanical Machining, *Proc. of the 18th Int. Conf. on Information Technology Interfaces*, Eds.: D. Kalpić, V. Hljuz-Dobrić, Pula, Croatia, 1996, 253-259
- <sup>11</sup> J. Grum, M. Kisin: Obdelovalnost aluminijevih zlitin, *Deseti naučno stručni skup o transportnim procesima u industriji*, Beograd, 1988, 129-136
- <sup>12</sup> J. Grum, M. Kisin: Structure Analysis of Aluminium Alloys and Criteria of Cuttability, *11. Int. Symposium Computer at the University*, Cavtat, 1989, 9.14.1-9.14.6
- <sup>13</sup> J. Grum, M. Kisin: Influence of Structural Characteristics in Fine Turning of Aluminium Alloys, *6th Yugoslav Int. Symposium on Aluminium, Working, Casting and Finalising*, 2, 1990, 385-396
- <sup>14</sup> J. Grum: Razpoznavanje vzorcev, *Stereologica Yugoslavica*, 1, 1978, 1, 235-255
- <sup>15</sup> J. T. Tou, R. C. Gonzales: Pattern Recognition Principles, Addison-Wesley, Publishing Company, Readings, Massachusetts, 1974, 39-74
- <sup>16</sup> J. R. Ullmann: Pattern Recognition Techniques, Butterworths, London, 1973, 48-88
- <sup>17</sup> T. Y. Young, T. W. Calvert: Classification, Estimation and Pattern Recognition, Elsevier, New York, 1974, 109-165
- <sup>18</sup> J. Grum, M. Kisin: Structure Analysis of Aluminium Alloys and Criteria of Cuttability, *Int. Symposium Computer at the University*, Cavtat, 1989, 9.14, 1-9.14.6