

Enotni dogodek kot osnovni element obdelane površine

M.Junkar, J.Valentinčič, A.Lebar

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Slovenija

Povzetek

V prispevku so predstavljeni nekateri rezultati raziskave vpliva obdelovalnega procesa na funkcionalnost končnega izdelka. Iz meritev hrapavosti so bili izločeni atributi, za katere je bilo pokazano, da najboljše razločujejo nekatere obdelovalne procese med seboj.

Ključne besede: površine, Gaussova porazdelitev, beta porazdelitev

Abstract:

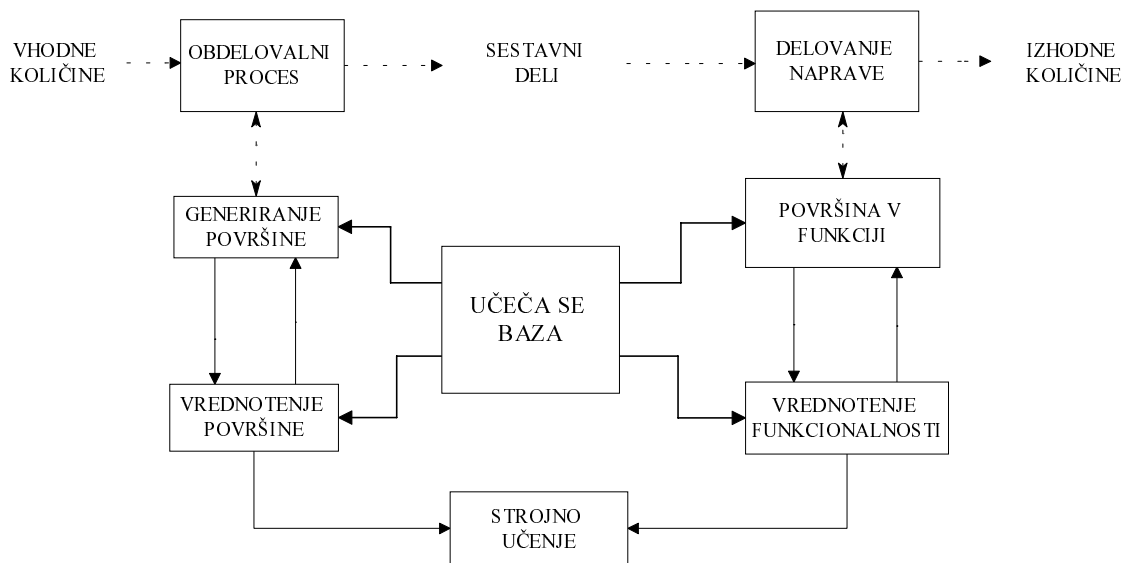
In this paper some research results of influence of machining process on functionality of assembled component. From the roughness measurements the most significant attributes were extracted, which separate tested machining processes the best.

Key words: surfaces, Gauss distribution, beta distribution

1. Uvod

Po končani obdelavi smo s površino obdelovanca v stiku uporabniki ali pa se površine kot sestavni deli nekega mehanizma stikajo v svoji funkciji med seboj. Pri aplikacijah, pri katerih je stanje površine pomembno za delovanje naprave velja, da moramo za linearno povečanje performance sklopa eksponentno izboljšati hrapavost površine [1]. Jasno je torej, da je poleg drugih značilnosti, tudi od integritete površine odvisno, kako dobro se bo sestavni del obnašal med uporabo [2].

Integriteta površine je “prstni odtis”, ki ga na površini obdelovanca zapusti vrsta enotnih dogodkov, ki so najmanjši elementi določenega obdelovalnega procesa. Na sliki 1 smo skušali prikazati glavne elemente učnega procesa, ki privedejo do pravilne uporabe obdelovalnega postopka. Ne le zato, da bi dosegli zahtevane tolerance hrapavosti, ampak čim boljše funkcioniranje naprave v celoti. Oglejmo si, katere so količine, ki v učno zanko vstopajo in katere nastajajo (sl.1).



Slika 1: Shema učečega sistema

Pojavi se problem, kako določiti tiste lastnosti površin, ki na funkcionalnost najbolj vplivajo. Prvič, kakšno lastnost površine posamezen atribut popisuje in drugič, kako signifikantno je ta lastnost podana s tem atributom. Do sedaj še nismo naredili dovolj preizkusov, da bi lahko odgovorili na ta vprašanja. Problem smo poenostavili in rekli, da tisti atribut, ki najbolje loči med seboj procese generiranja površine, najbolje popisuje lastnosti površin. Pri tem smo upoštevali predpostavko, da so lastnosti površine v dovolj močni odvisnosti od procesa izdelave. Moramo se pa zavedati, da na lastost površine vplivajo tudi drugi dejavniki, na primer atributi obdelave, material, ipd.

V tem prispevku bomo predstavili uvodne raziskave popisa funkcionalnih lastnosti površin, dobljenih s postopki struženja, brušenja in EDM.

2. Metode in mere za identifikacije površin

Površine, ki nastanejo pri obdelavi so v splošnem nepravilne in kompleksne in takšen je tudi njihov podroben opis. V nasprotju s tem pa vseeno velik del obdelanih delov zadovoljivo služi svojemu namenu, čeprav je konstrukter ali tehnolog predpisal teksturo površine zelo ohlapno. Ponavadi je dovolj le običajna procesna kontrola in minimalna kontrola kakovosti. Če zahteva po hrapavosti površine ne presega razreda N8 ($R_a \geq 1,6$ mm), večina proizvajalcev uporablja raje vizualno kontrolo kot meritev profila hrapavosti [3].

Do leta 1930 so hrapavost preizkušali tako, da so s prstom primerjali površino obdelovanca z nekaj normalami, ki so jih imeli na razpolago [1]. Preizkuševalec je zaporedoma tipaje primerjal površino obdelovanca s površino normale. Taktilne normale so imele eksponentno zaporedje vrednosti maksimalnih vrednosti za hrapavost, zato ker je za linearno povečanje performance sklopa potrebno eksponentno zmanjšati vrednost hrapavosti površine. Še danes pogosto podpremo vizualno kontrolo z vnaprej pripravljeno skupino normal, saj je uporaba drugih metod dražja.

Po letu 1930 so meritve hrapavosti postale kvantitativne s pomočjo profilometričnega merilnika hrapavosti. V praksi uporabljamo vrsto količin, ki jih dobimo s profila. Zahtevnim sestavnim delom, ki so med uporabo zelo obremenjeni ali izpostavljeni izjemnim okoliščinam, določi konstrukter zahteve po kvaliteti površine bolj natančno. Često je dovoljena hrapavost tesno povezana s tolerancami. Kot smo že omenili, so poskusi na takšnih strojnih delih pokazali, da sta tekstura površine in trajnost izdelka neposredno povezana. Naštejmo nekaj primerov, pri katerih je tekstura površine izjemno pomembna [3]: drsni ležaji, letalska krila, sestavni deli, ki delujejo v korozivni atmosferi, naprave za pripravo hrane, teleskopske leče, valji za valjanje, nosilni ležaji, pobarvane ali prevlečene površine, spojene površine ali torno sklopljeni sestavni deli.

Na tem mestu navedimo dva primera iz prakse, ki demonstrirata pomen identifikacije površin in uporabo izmerjenih atributov. V prvem primeru [4] smo po naročilu farmacevtske tovarne izvedli kontrolo hrapavosti površine na kontejnerjih za skladiščenje granulata, ki ga kasneje stiskajo v tablete. Kontejner se polni z vrha. Odjem je spodaj, kjer se konično zoža iz premera enega metra na odprtino dvajset centimetrov. Funkcionalnosti je zadoščeno, če se granulati pri praznjenju ne lepi na stene kontejnerja. Ta funkcionalna zahteva je dobro popisana s standardnimi statističnimi parametri hrapavosti. Zato smo merili samo R_a in R_{max} .

Drugi primer [5] se nanaša na proizvodnjo ventilov, kjer nastopa drog kot element, s pomočjo katerega odpiramo in zapiramo ventil. Med drogom in ohišjem je zahtevano dobro tesnenje in majhna obraba tesnila. Funkcionalnost se v tem primeru kontrolira s tlačnim preiskusom in življenjsko dobo ventila. Kriterij je število odpiranj in zapiranj. Drog izdelajo s struženjem in gladilnim

valjanjem. S slednjim postopkom plastično deformirajo vrhove profila, ki nastanejo s struženjem. S tem zadostijo funkcionalnosti. Zgoraj navedena kontrola funkcionalnosti se lahko izvaja šele takrat, ko je ventil končan. Do takrat ne moremo izvajati omenjene kontrole, če ne ugotovimo kateri parameter površine najboljše popisuje funkcionalnost. Za gladilno valjanje tudi ni vseeno, kakšna je vhodna površina. Polni profili niso dobri, ker se vrhovi nimajo kam uvaljati.

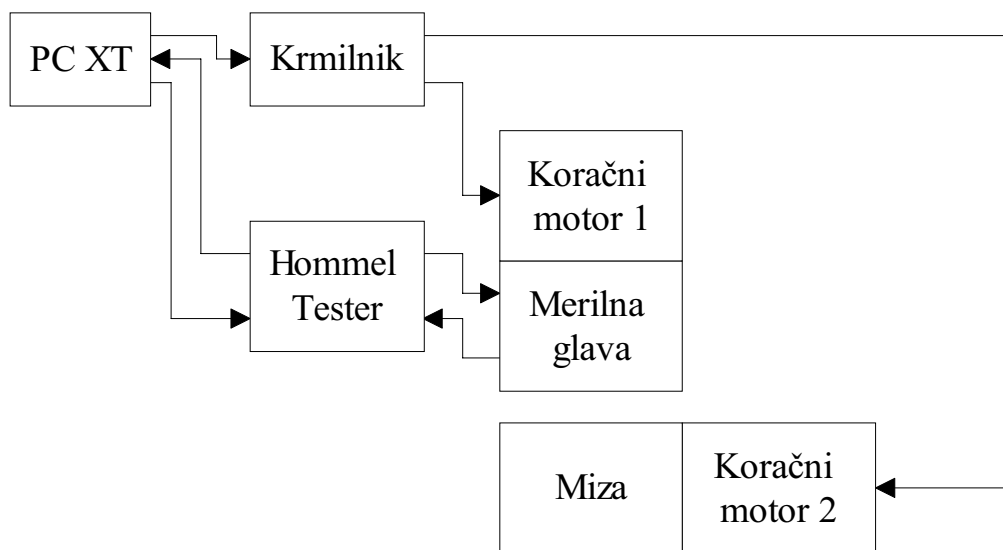
Izkazalo se je, da ni dobro, da površino, ki jo bomo gladilno valjali, predhodno brusimo, zato so brušenje, ki je sledilo struženju ukinili. Mislimo, da je za ugotavljanje bolje uporabiti parametre beta distribucije ali poševnosti in sploščenosti Gaussove porazdelitve. Ti parametri veliko povedo o polnosti profila. Predvidevamo, da bi raziskava povezave med funkcionalnostjo in navedenimi parametri omogočala učinkovitejšo kontrolo drogov po struženju in po gladilnem valjanju, kar bi pomeni boljše obvladovanje procesov in večjo kvaliteto proizvodov. Brez eksperimentov v tej smeri lahko povemo le to, da je bolje, če je pred gladilnim valjanjem profil bolj prazen, po gladilnem valja pa čimbolj poln profil. Sedaj se vrši kontrola površine s standardnimi statističnimi parametri, kateri pa polnosti profila nikakor ne popisujejo.

Vidimo, da morajo imeti nekateri sestavni deli predpisane attribute integritete površine, glede na njihovo funkcionalnost. V pričujočem članku se omejujemo na obravnavo teksture površine.

Tekstura površine je ponavljajoče ali naključno odstopanje površine od namišljene - nominalne ravnine. Standardi (ISO R468), ki obravnavajo to področje, določajo sprejemljive merilne postopke za meritev teksture površine. Standardi opredeljujejo tudi attribute, ki sestavljajo teksturo površine. To so: hrapavost, valovitost, usmerjenost in vključki - napake. Definirani so na sledeče načine: Hrapavost je množica drobnih nepravilnosti, ki so večinoma posledica delovanja obdelovalnega postopka. Vključuje vzorec, ki je posledica podajanja obdelovalnega stroja in druge nepravilnosti, manjše od merjene dolžine; Valovitost opisuje napake, ki imajo razsežnost večjo od merilne dolžine za hrapavost. Izvira iz odklonov procesa, opletanja, vibracij, toplotne obdelave in obrabe orodja; Usmerjenost opisuje smer prevladujočega vzorca na površini, ki ga praviloma določa izbrani obdelovalni postopek; Napake - vključki so nehotenega značaja. Pojavljajo se na enem mestu ali relativno redko ali v neenakomernih intervalih po površini. Med napake prištevamo razpoke, napihnjene luknje, vključke, špranje, grebene, praske. Vpliv teh napak ne sme biti zajet v meritvah hrapavosti, razen če je to posebej zahtevano. V primerih, ko je pomembno da na izdelku ni napak, mora biti v dokumentaciji to posebej določeno [3].

3. Merjenja

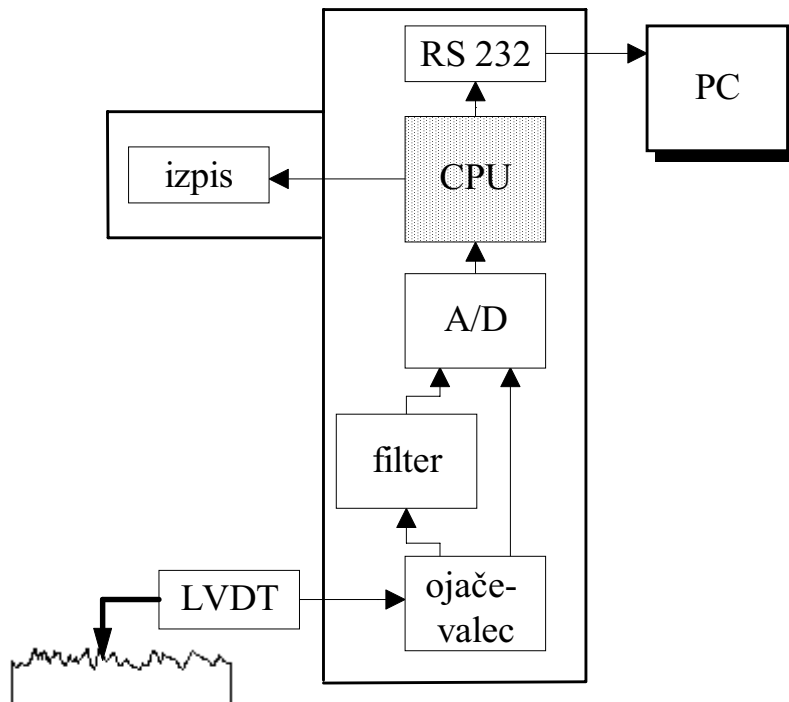
Hrapavost površine smo merili z merilnikom Hommel T1000, katerega je I. Komel nadgradil s krmilnikom in programsko podporo preko PC-ja. Podatke o točkah površine in izračunane statistične parametre profila pošilja osebnemu računalniku, kateri tudi skrbi za podajalno gibanje merjenca. Komunikacija med njima teče po kablu RS 232. Za pomikanje merilne igle po površini (za zajemanje profila), skrbi Hommelov merilnik (slika 2), ki upošteva DIN standarde za zajemanje in vrednotenje rezultatov.



Slika 2: Blokovna shema merilnika Hommel T1000

Blokovna shema je prikazana na sledeči sliki (sl. 2) [6]. Podajalno gibanje pa upravlja PC preko krmilnika in koračnega motorja 2 (sl. 3). Koračni motor 1 je namenjen nastavitvi merilne igle (pred merjenjem) glede na merjeno površino. Tipalo merilnika ima naslednje značilne vrednosti. Material tipala je diamant, radij tipala je 5 μm , kot tipala je 90°, sila pritiskanja na površino je 0,8 mN. Distančni drsnik služi kot mehanski filter — izloči valovitost, tako da merilnik meri samo hrapavost. Za ugotavljanje parametrov površine je po standardu (DIN, ISO) obvezen, za ugotavljanje oblike profila pa je boljši nefiltriran signal, katerega je možno naknadno in po želji filtrirati s pomočjo osebnega računalnika. Na podlagi meritev se je izkazalo, da drsnik ne vpliva bistveno na izračunane statistične parametre hrapavosti, zato smo vse naše meritve opravili brez uporabe distančnega drsnika.

Kot sekundarni senzor je uporabljen linearni variabilni diferencialni transformator (LVDT). Jedro tuljave LVDT-ja se premika v odvisnosti od zasuka tipala, ki je vpeto v rubinovem ležaju. Za izračun standardnih parametrov površine — mi smo zajemali podatke za R_a , R_z , R_t in R_p — je merilno območje $\pm 40 \mu\text{m}$, za posredovanje točk profila pa $\pm 127 \mu\text{m}$. Pri tem moramo vedeti, da je prisotna napaka nelinearnosti, kar do $\pm 40 \mu\text{m}$ ni problem.



Slika 3: Shema merilnika

Korak podajalne mize je $10,31 \mu\text{m}$, z največjo relativno napako 23%. Možni so tudi manjši koraki mize, a to vodi do večje relativne napake. Procentualno je napaka velika, dejansko pa to pomeni napako $3 \mu\text{m}$, kar pri podajalnem gibanju ni tako pomembno.

Meritve smo opravili na treh vrstah obdelovancev — etalonov, to je na struženem, brušenem in obdelanem z elektroerozijo (EDM).

Vsi vzorci imajo enako povprečno hrapavost (R_a), zanimalo pa nas je, kako značilno se ločijo površine po ostalih parametrih. Standardni statistični parametri, ki se eventuelno podajajo na risbah so še srednja višina neravnin (R_z), največje odstopanje profila (R_{max}), lokalni maksimum (R_p), pa mogoče še kakšen; mi smo merili le te.

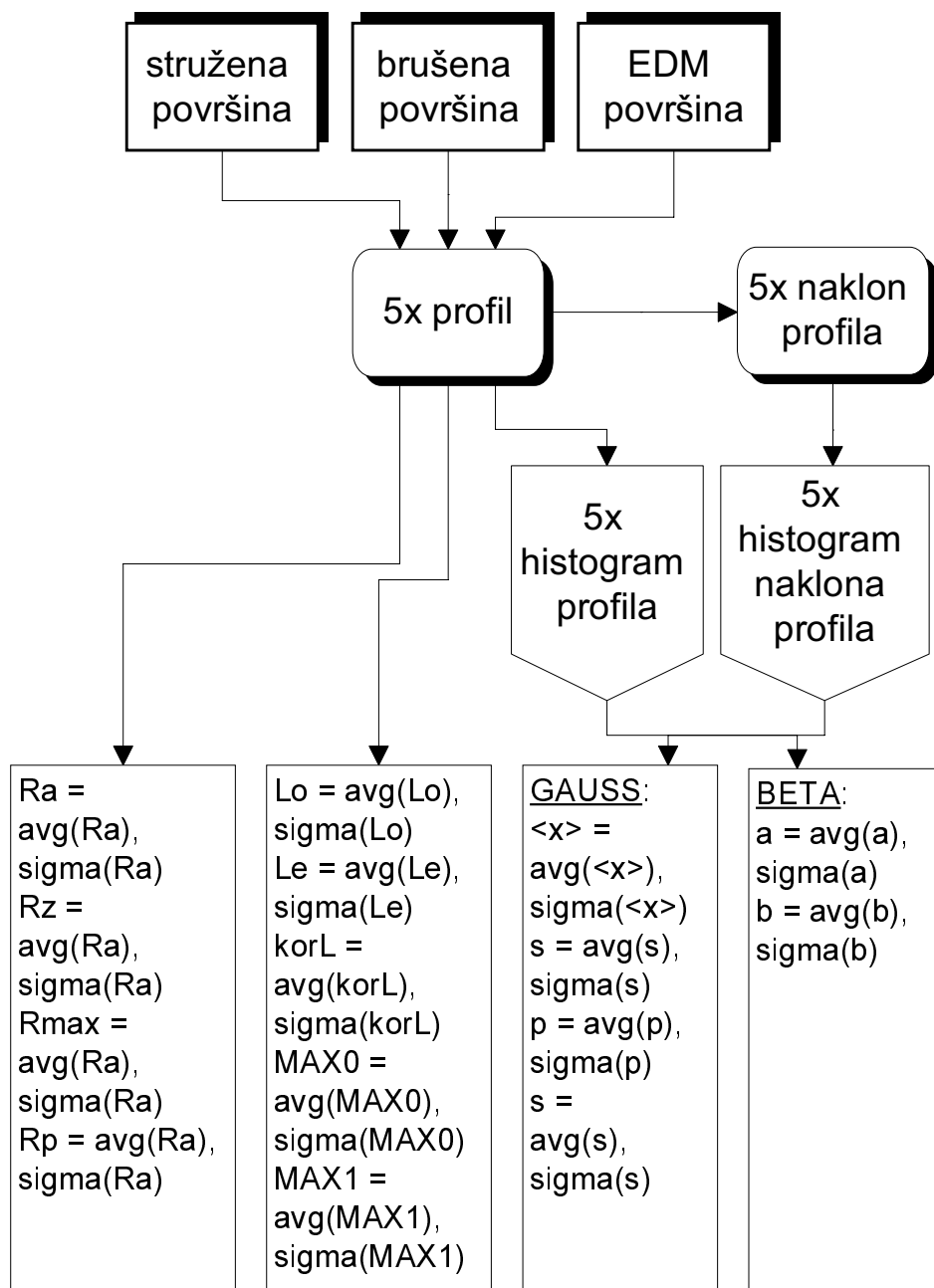
Poleg teh parametrov, pa se v literaturi [7,8,9] navaja tudi druge, ki se v praksi ne uporabljajo, naj bi pa boljše ločili lastnosti površin. Na tem področju še vedno

in bilo narejeno dovolj, da bi nove metode vrednotenja in predpisovanja kvalitete površin zaživele v praksi.

Na vsakem vzorcu (struženem, brušenem in obdelanem z EDM) je bilo opravljenih pet meritev, to pomeni zajetih pet vzporednih profilov istega vzorca na medsebojni razdalji 10 μm . Na vsakem teh profilov se je določilo R_a , R_z , R_{max} , R_p , avtokorelacijsko funkcijo in histogram profila. Temu histogramu smo prilagodili Gaussovo in beta distribucijo. Tako smo pridobili štiri parametre Gaussove in dva parametra beta distribucije.

Na vsakem profilu se je določilo tudi odvod profila. S tem smo dobili diagram naklona profila in njegov histogram, na katerega smo položili Gaussovo in beta distribucijo.

Enako tudi za vse parametre Gaussove in beta porazdelitve(slika 4).



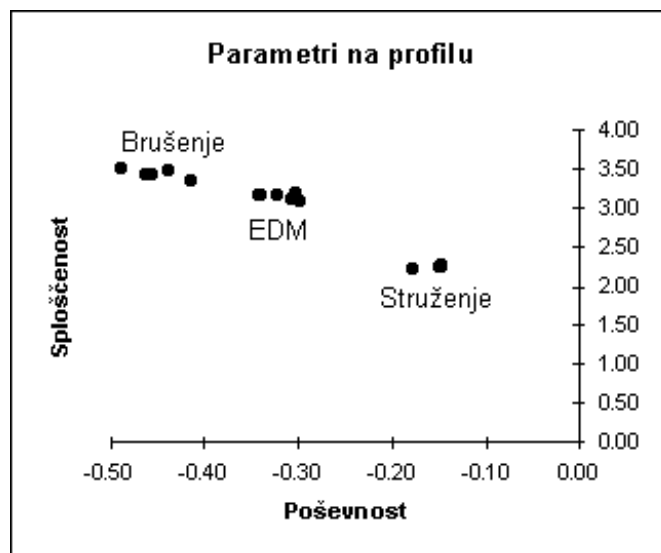
Slika 4: Potek vrednotenja površine

Naklon površine se je generiral s pomočjo pascalskega algoritma, ki je v vsaki točki določil naklon profila $-f'(x)$.

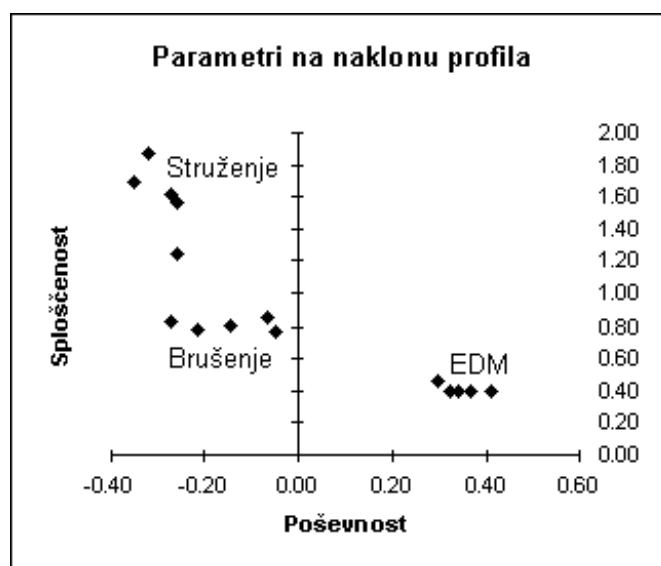
4. Rezultati meritev

	STRUŽENJE		BRUŠENJE		EDM	
standardni parametri	avg	stdv	avg	stdv	avg	stdv
Ra	2.47	0.006	2.53	0.008	2.43	0.007
Rz	10.61	0.03	16.87	0.07	14.67	0.128
Rmax	11.13	0.21	22.15	0.44	16.31	0.99
Rp	6.31	0.18	10.28	0.16	6.59	0.92
atributi porazdelitve profila						
srednja vrednost	0.31	0.00	0.49	0.00	0.62	0.00
std.deviacija	0.36	0.02	0.19	0.00	0.19	0.02
poševnost	-0.15	0.01	-0.45	0.03	-0.31	0.02
sploščenost	2.23	0.02	3.43	0.07	3.13	0.04
beta a	1.30	0.04	4.27	0.19	4.18	0.19
beta b	1.85	0.04	4.37	0.14	2.81	0.14
atributi porazdelitve naklona						
srednja vrednost	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
std.deviacija	0.03	0.00	0.07	0.00	0.04	0.00
poševnost	0.35	0.04	-0.15	0.09	-0.29	0.04
sploščenost	0.41	0.03	0.81	0.04	1.60	0.23
beta a	2.22	0.28	6.90	0.79	7.34	0.70
beta b	2.14	0.14	5.50	0.37	6.37	0.60
atributi avtokorelacije						
L0	29.00	0.00	120.00	0.00	29.00	0.00
Le	19.00	0.00	19.00	0.00	19.00	0.00
korL	0.00	0.00	0.00	0.00	350.00	47.96
MAX0	120.00	0.00	94.00	4.47	86.00	0.00
MAX1	240.00	0.00	170.00	0.00	142.00	4.47

Tabela 1: Rezultati meritev



Slika 5: Lega posameznega procesa glede na poševnost in sploščenost profila



Slika 6: Lega posameznega procesa glede na poševnost in sploščenost naklona profila

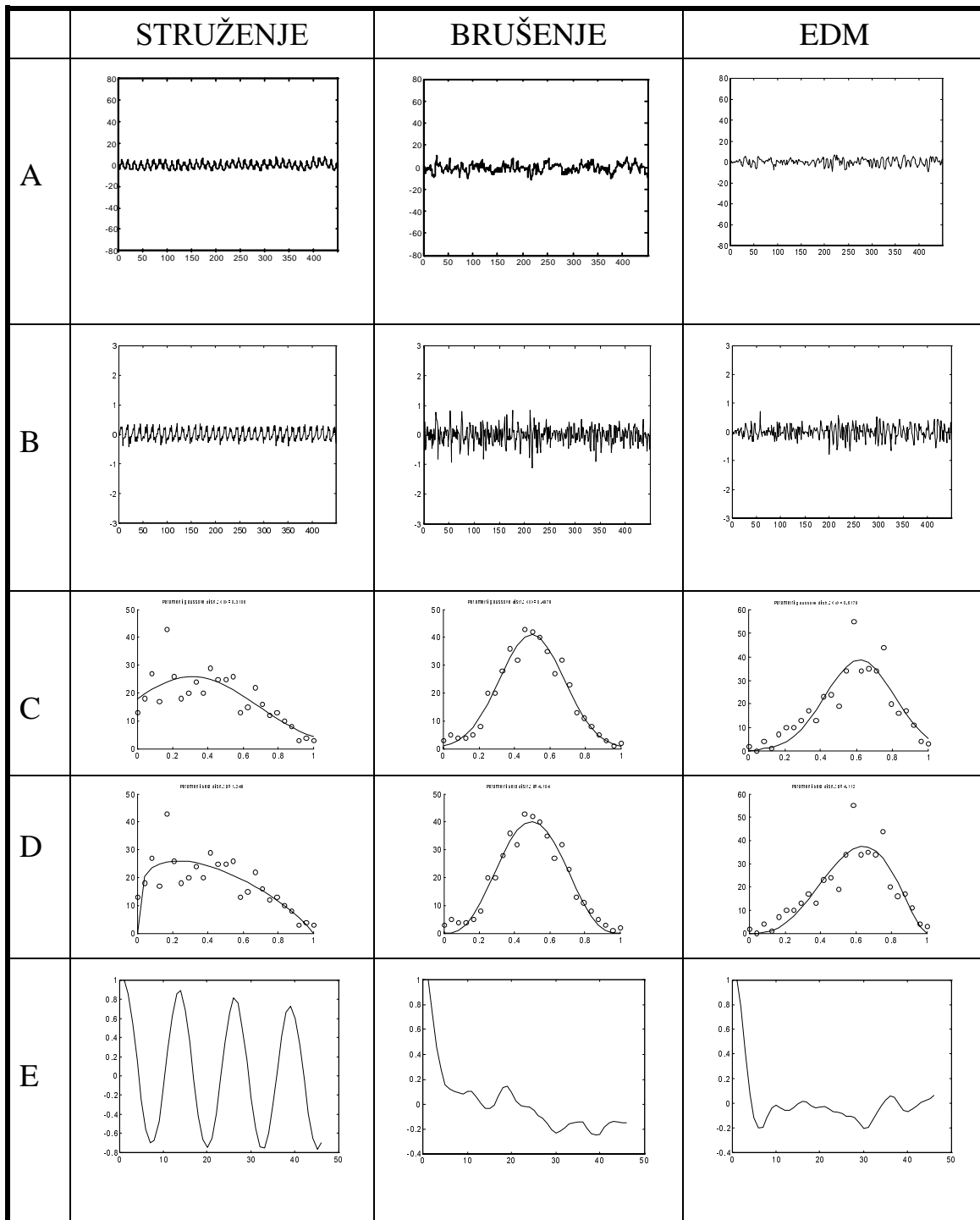


Tabela 2: Rezultati meritev

A. profil

B. naklon profila

C. Gaussova porazdelitev prilagojena histogramu profila

D. beta porazdelitev prilagojena histogramu profila

E. avtokorelacija profila

5. Komentar rezultatov

lastnostmi površine.

V tej raziskavi se naklon profila ni izkazal kot pomemben faktor, glede na druge članke [8,9], pa ga ni za zanemariti.

6. Zaključek

Za izdelek je pomembno, da zadosti zahtevam funkcionalnosti. Te zahteve so za V zgornji tabeli lahko razberemo, da so za R_a ostali standardni parametri razlikujejo med seboj. Vprašanje pa je, če ti parametri res ločijo procese med seboj. Za odgovor na to vprašanje, bi morali narediti veliko preiskusov na površinah z različnim R_a . Iz definicije teh parametrov pa lahko sklepamo, da na podlagi teh parametrov procesov med seboj ne moremo ločit.

Poševnost in sploščenost Gaussove porazdelitve obravnavamo skupaj v tabeli 2. Vidimo, da na podlagi teh parametrov histogram profila bolje loči med procesi, kot pa histogram njegovega naklona. Tudi srednja vrednost in varianca Gaussove porazdelitve bolje ločuje procese na profilu, kot pa na naklonu profila.

Enako velja tudi za beta porazdelitev in njuna parametra a in b.

Če primerjmo med Gaussovo in beta porazdelitvijo, pa na podlagi teh preiskusov zelo težko rečemo, katera je boljša. Za razpoznavo oblike profila je primernejša beta distribucija, saj na podlagi dveh parametrov razpoznamo obliko histograma profila in s tem tudi sam profil, za Gaussovo pa potrebujemo poleg srednje vrednosti in standardne deviacije še poševnost in sploščenost.

Avtokorelacija pa dobro loči struženje od EDM in brušene površine, med EDM in brušeno površino pa ne loči. Lahko pa pričakujemo, da bi se pokazala za pomembno na podlagi večih eksperimentov in v povezavi z dejanskimi različne izdelke različne. Poleg zgoraj navedenih lahko omenimo še zahteve za čimmanjše trenje, dobro oprijemljivost barve, izgled površine, itd. Zaradi različnih zahtev funkcionalnosti je težko pričakovati, da bi bil en atribut površine dovolj signifikanten za vse primere.

Problem, kako določiti attribute površine, ki najbolj določajo funkcionalnost smo reducirali na problem, kako določiti attribute, ki najbolj ločijo procese generiranja površine podobne hrapavosti med seboj. Na majhnem vzorcu se je izkazalo, da procese struženja, brušenja in EDM najbolje loči poševnost in sploščenost Gaussove porazdelitve ter parametra a in b beta porazdelitve.

Iz tega lahko zaključimo, da za funkcionalnost ni dovolj, da podamo zahteve samo v obliki standardnih statističnih parametrov, kot so R_a , R_{max} , itd., ustrezná dopolnitev je poševnost in sploščenost Gaussove porazdelitve ali pa a in b beta porazdelitve. Primeri, da so statistični parametri dovolj za popis funkcionalnosti, je bolj izjema kot pravilo.

Literatura

- [1] M.C.Shaw, *Metal Cutting Principles*, Oxford University Press, 1984.
- [2] D.J.Whitehouse, *Manufacture to function - In Optics*, Annals of C.I.R.P. Vol.42/1/1993 p.p.641-646.
- [3] *Machining data handbook*, 3rd Edition, Machinability Data Center, Metcut Research Associates Inc., Cincinnati, Ohio, 1980.
- [4] M.Junkar, J.Valentinčič: *Poročilo o izvedenem preiskusu hrapavosti*, Lek Ljubljana, 1996
- [5] Kopač diploma
- [6] I.Komel: *Prvi podiplomski seminar*, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana 1993
- [7] C.Berdin, idr.: *Investigation of Surfaces Microgeometry in Laser Cutting*, Annals of CIRP, Vol 37/1/1988, str. 157-160.
- [8] J.Peters, idr.: *Assessment of Surface Typology Analysis Techniques*, Annals of CIRP, Vol 28/2/1979, str. 1-16
- [9] Peklenik