VBO - Visokobrzinska obrada materijala

Vranić, Luka

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Istrian University of applied sciences / Istarsko veleučilište - Universita Istriana di scienze applicate**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:212:074067

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-05-22**

Image not found or type unknown

Repository / Repozitorij:

Digital repository of Istrian University of applied sciences

zir.nsk.hr

Image not found or type unknown

Istarsko veleučilište
Università Istriana
di scienze applicate

PREDDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ POLITEHNIKE

ZAVRŠNI RAD

VBO-VISOKOBRZINSKA OBRADA MATERIJALA

LUKA VRANIĆ

PULA, 2019.

Izjava o samostalnosti izrade završnog rada

Izjavljujem da sam završni rad na temu “VBO-VISOKOBRZINSKA OBRADA MATERIJALA” samostalno izradio uz pomoć mentora dr.sc. Davora Stanića, koristeći navedenu stručnu literaturu i znanje stečeno tijekom studiranja. Završni rad je pisan u duhu hrvatskog jezika.

U Puli, studeni 2019.

Luka Vranić

Završni rad preddiplomskog stručnog studija Politehnike

VBO-VISOKOBRZINSKA OBRADA MATERIJALA

Student: Luka Vranić

Studijski program: Preddiplomski stručni studij Politehnike

Kolegij: Tehnologija i proizvodna tehnika 2

Mentor: pred.dr.sc. Davor Stanić

Pula, studeni 2019.

SAŽETAK

Ovim istraživanjem opisano je kako je visokobrzinska obrada unaprijedila proizvodnju i završnu obradu materijala. Uz to istraživanjem je dokazano da se visokobrzinska obrada (VBO) sve više primjenjuje u odnosu na konvencionalne obrade koje koristi sredstvo za hlađenje, podmazivanje i ispiranje na suhu obradu. Ovaj završni rad podijeljen je u sedam dijelova. U uvodnom djelu predstavlja se tema rada i postavljena je hipoteza, u drugom dijelu rada obrađuje se povijest visokobrzinske obrade odnosno njezini začeci, same karakteristike, kriterije koje mora zadovoljiti i primjena visokobrzinske obrade. Treći dio rada bavi se komponentama, alatima i modernim obradnim strojevima, te mjernim alatima kojima provjeravamo kvalitetu i točnost obrađene površine. U četvrtom dijelu rada predstavljena je suha obrada materijala sa svim svojim prednostima i manama kako si se što lakše moglo prijeći na peti dio rada koji predstavlja usporedbu između obrade koja koristi SHIP i suhe obrade kako bi se lakše potvrdila hipoteza iz uvodnog dijela ovog završnog rada. Sljedeći odnosno šesti dio rada predstavlja eksperimentalni dio rada u kojem je dokumentirana izrada prirubnice za pojačanje sa slijepim rupama, vijkom i maticom. U zaključku je potvrđena hipoteza o prelasku na suhu obradu i da će visokobrzinska obrada imati veliku ulogu u modernoj proizvodnji i u budućnosti.

SUMMARY

This research describes how high-speed machining has improved the production and finishing. In addition, research has shown that the future of that same high-speed treatment is the transition from a treatment that uses means for a cooling, lubricant and flushing to a dry treatment. As can be seen below, this research is divided into seven parts, in the introductory part is presented the topic of the research it is presented a hypothesis, the second part deals with the history of high-speed processing, characteristics, the criteria it must satisfy, and the application of high-speed machining. The third part deals with components, tools and modern machine tools, as well as measuring tools to check the quality and accuracy of the machined surface. The fourth part of the research presents the dry processing of materials with all its advantages and disadvantages, so that you can easily move to the fifth part of the research,

which is a comparison between processing that use SHIP and dry treatment to more easily confirm the hypothesis from the introductory part of this final paper. The next or sixth part of the paper represents the experimental part of the research, which is documented the fabrication of a reinforcement flange with blind holes, bolt and nut. In conclusion, the hypothesis of switching to dry processing was confirmed and that high-speed processing will play a large role in modern production in the future.

SAŽETAK..... I
SADRŽAJ..... II
PREGLED KORIŠTENIH OZNAKA…….. III
POPIS SLIKA..... IV
POPIS TABLICA..... V
POPIS GRAFOVA..... VI
1. UVOD……...13
1.1. Definicija problema……13
1.2. Cilj i svrha rada……..14
1.3. Hipoteza……14
1.4. Metode rada……15
1.5. Struktura rada……15
2. DEFINICIJA VISOKOBRZINSKE OBRADE……16
2.1. Povijesni razvoj VBO……16
2.2. Karakteristike visokobrzinske obrade……20
2.3. Primjena visokobrzinske obrade……22
2.4. Relativna lakoća obrade materijala……24
2.5. Kriterij obradivosti……25
2.6. Postojan alata……26
2.6.1. Utjecaj brzine na trošenje alata……28
2.6.2. Mjerenje istrošenosti alata……...29
2.7. Sile rezanja……30
2.8. Kvaliteta obrađene površine……...32
2.9. Odvojene čestice (strugotina)……..……...34
3. ALATNI STROJEVI ZA VISOKOBRZINSKU OBRADU……...37
3.1. Motorvreteno……..38
3.2. Alati za obradu……...40
3.2.1. Tokarski noževi……41
3.2.2. Glodala……42
3.2.3. Svrdla……..45
3.3. Mjerni instrumenti……..46
3.4. SHIP (Sredstvo za hlađenje, ispiranje i podmazivanje)……49
3.4.1. Karakteristike i primjena SHIP-a……50
3.4.2. Načini zbrinjavanja strugotina onečišćenih SHIP-om……53

4. SUHA OBRADA MATERIJALA……...54
5. KOMPARACIJA SHIP-A I SUHE OBRADE MATERIJALA……58
6. EKSPERIMENTALNI DIO RADA…….59
7. ZAKLJUČAK……...65
LITERATURA……..66

PREGLED KORIŠTENIH OZNAKA

Oznaka	Opis	Jedinica
d	promjer	mm
vc	brzina rezanja	m/min
n	broj okretaja	okretaja/min
ap	dubina rezanja	mm
f	posmak	mm
rap	relativna promjena dubine rezanja	%
r	radijus	mm
$Iistroš$	intenzitet trošenja alata	
RtB	teoretska visina neravnina	mm
$hmin$	minimalna debljina nedeformiranih čestica	mm
$r\varepsilon$	radijus vrha rezne oštrice	mm
Fc	glavna sila rezanja	N/mm2
Fp	pasivna (natražna) sila rezanja	N/mm2
Ff	posmična sila naprezanja	N/mm2
P	snaga	kW
SHIP	sredstva za hlađenje, ispiranje i podmazivanje	
VBO	visokobrzinska obrada	
CNC	„Computer Numerical Control“	

POPIS SLIKA

Slika 1. Ovisnost temperature o brzini rezanja kod glodanja……17

Slika 2. Ovisnost temperature o brzini rezanja……..18

Slika 3. Opća svojstva visokobrzinske obrade……..20

Slika 4. CNC glodalica u radu……23

Slika 5. Opći kriteriji obradivosti……..25

Slika 6. Hrapavost obrađene površine po P, W i R karakteristika profila…….26

Slika 7. Prikaz istrošenosti poleđine alata…….27

Slika 8. Intenzitet trošenja alata…….28

Slika 9. Učini trošenja alata……...29

Slika 10. Shema osnovnih oblika trošenja…….30

Slika 11. Komponente sila i brzina rezanja pri postupku tokarenja……..31

Slika 12. Prikaz komponenata sila rezanja……32

Slika 13. Određivanje hrapavosti po Brammertzu……33

Slika 14. Prikaz stvaranja strugotine…….34

Slika 15. Oblici odvojene čestice……..35

Slika 16. Oblici odvojene čestice……..36

Slika 17. Povijesni pregled razvoja glavnog vretena i motorvretena……38

Slika 18. Direktni pogon glavnog vretena…….38

Slika 19. Motorvreteno……..39

Slika 20. SK sustav stezanja reznog alata……..39

Slika 21. HSK sustav stezanja reznog alata……39

Slika 22. HSTEC-Visokobrzinsko motorvreteno……..40

Slika 23. Tokarski nož za metale veće čvrstoće……41

Slika 24. Primjeri vanjskih, unutarnjih noževa te noževa za finu, grubu obradu……..42

Slika 25. TPC glodalo za čelik……...42

Slika 26. Glodalo za urezivanje navoja…….42

Slika 27. Glodalo s pločicama za obradu……..43

Slika 28. Jednodijelno glodalo i s glodalo s izmjenjivim reznim oštricama…….43

Slika 29. Oštećeno TPC glodalo……44

Slika 30. Jednodijelno svrdlo i svrdlo s izmjenjivim reznim oštricama……44

Slika 31. Pomično mjerilo…….45

Slika 32. Mikro-metarski vijak……..46

Slika 33. Mjerne pločice „etaloni“…….47

Slika 34. Mikrometar za provrte s kontrolnim prstenovima……..47

Slika 35. Pločice za očitavanje vrijednosti…….48

Slika 36. Primjena SHIP-a pri obradi odvajanjem čestica…….48

Slika 37. Primjena SHIP-a u proizvodnji……..53

Slika 38. Shema gubitaka SHIP-a u procesu obrade…….53

Slika 39. Rezna pločica iz PCD-a……..57

Slika 40. CNC plazma rezač „Micro Step: Combi Cut 12001“…….61

Slika 41. Tijelo prirubnice izrezano na stroju CNC plazma rezač…….61

Slika 42. Tokarski nož……...62

Slika 43. Proces tokarenja……..62

Slika 44. Stupna bušilica „Dalmastroj SB 4“…….63

Slika 45. Glava za urezivanje navoja M16…….64

Slika 46. Vijak i matica M 16……64

Slika 47. Prirubnica za pojačanje sa slijepim rupama……64

POPIS TABLICA

Tablica 1. Primjer kataloške tablice za korišteni alat…….21

Tablica 2. Utjecaj uvjeta obrade i geometrije alata na odvojenu česticu……37

Tablica 3. Podatnost različitih materijala za određene postupke suhe strojne obrade……55

Tablica 4. Prikaza specifikacije CNC plazma rezača „Micro Step: Combi Cut 12001“……59

POPIS GRAFOVA

Graf 1. Istraživanja VBO kroz povijest……..19

Graf 2. Podjela područja brzina rezanja čelika po Icksu……22

Graf 3. Upotreba SHIP-a na području SAD-a……51

Graf 4. Raspodjela troškova strojne obrade……...58

POPIS PRILOGA

Prilog 1. Nacrt „Prirubnica za pojačanje sa slijepim rupama za vijke SB5935“…….67

1. UVOD

Poznata je činjenica da u suvremenom svijetu u kojem se napredak u polju informatike, robotike i ostalih modernih znanosti mijenjaju iz sata u sat i da je u proizvodnji bilo kakvog tipa vrlo važno biti u korak s razvojem sve u cilju kako bi ostali konkurentni na tržištu koje ne prašta ni najmanje pogreške ili kaskanje bilo kakve vrste u pogledu razvoja tehnologija i usvajanja novih znanja. Ostati u toku s razvojem u pogledu razvoja tehnologija ne služi nam prvenstveno kao bi ostali konkurentni na tržištu nego već kako bi smanjili povrijede na radu i kako bi u konačnici olakšali svakodnevne radne zadatke radnicima proizvodnim procesima. Zahvaljujući neprekidnom razvoju i poboljšanju alatnih strojeva, kao i materijala iz kojih se izrađuju alati, neprekidno se povećava i brzina rezanja. Od prvih alata izrađenih od visoko-ugljičnih čelika pa do današnjih, super tvrdih alatnih materijala, brzine rezanja su se povećale gotovo 100 puta.[1]

Tema ovog rada je VBO što je skraćenica od visokobrzinska obrada u smislu obrade materijala koja spada u skupinu obrade materijala odvajanjem čestica kako bi se postigle tražene i točne mjere, tolerancija i hrapavosti krajnjeg proizvoda. Nusprodukt obrade materijala odvajanjem čestica javlja se u obliku viška materijala poznato kao odvojena strugotina. Razvoj tehnologije visokobrzinske obrade i materijala za rezne alate je vrlo značajan za budućnost grube i završne obrade materijala, posebno metalnih legura i svoju primjenu ima u gotovo svakom modernom proizvodnom procesu.

1.1. Definicija problema

U današnje vrijeme tržište određuje pravila i uvjete poslovanje te ona strana koja se neće moći ili odbija se prilagoditi pravilima modernog poslovanja u konačnici gubi korak za konkurencijom, što se odražava na financijskom stanje poduzeća, te ako se stanje ne promijeni i poslovanje se ne prilagodi tržištu gotovo je sigurno da se za takvo poduzeće sprema najcrnji scenarij u poslovnom smislu. Uzevši to u obzir sva poduzeća koja se bave visokobrzinskom obradom u neku ruku imaju isti problem, a on se odnosi na zbrinjavanje viška materijala odvojenog od materijala kojeg se obrađuje, odnosno strugotine koja je onečišćena SHIP-om.

[1] Bajić, D. Obrada visokim brzinama. Sveučilište u Splitu, Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, 2017., str. 2-4.

Koliko je to ozbiljan problem s ekološkog aspekta u istoj mjeri je ozbiljan problem zbog raznih negativnih utjecaja na zdravlje radnika koji dolaze u svakodnevni doticaj s nekim od sredstva koje se koriste kao SHIP. Uz prije dva navedena problema vezana za negativne utjecaje na poslovanje poduzeća tu je još jedan vrlo važan aspekt, a to je onaj financijski. Uklanjanje strugotine onečišćene SHIP-om i njeno pravilno zbrinjavanje ima velike negativne utjecaje na financijsko stanje poduzeća jer je zbrinjavanje te vrste opasnog otpada strogo regulirano i kontrolirano, što utječe na krajnju cijenu gotovog proizvoda. Uzevši u obzir sve navedeno nameće se pitanje što je alternativa SHIP-u, jer tko prvi u svoju proizvodnju, uvede neku vrstu alternative SHIP-u (u smislu hlađenja komprimiranim zrakom) ili kompletan prelazak na suhu obradu, imat će veliku prednost nad konkurencijom.

1.2. Cilj i svrha rada

Cilj i svrha ovog rada je istražiti i pojasniti sve mogućnosti primjene visokobrzinske obrade u današnjoj industriji i proizvodnji kako bi se u konačnici moglo računati na manje troškove proizvodnje. Također kao cilj rada naveo bi analizu kako troškova tako i tehničkih karakteristika prelaska s obrade materijala u kojoj se koristi SHIP kao sredstvo na podmazivanje, hlađenje i ispiranje na suhu obradu materijala odnosno bez korištenja SHIP-a.

1.3. Hipoteza

Hipoteza ovog istraživanja je pokušati dokazati da bi se visokobrzinska obrada u budućnosti trebala u potpunosti okrenuti suhoj obradi materijala ili nekoj vrsti alternative za SHIP u odnosu na visokobrzinsku obradu uz pomoć SHIP-a koju možemo u današnja vremena vidjeti u većini slučajeva. Iako SHIP kao sredstvo za podmazivanje, hlađenje i ispiranje jako dobro odrađuje svoju „zadaću“ problem se javlja u načinu zbrinjavanja strugotine koja sadrži SHIP zbog sve strožih regulativa u cilju boljeg očuvanja okoliša, te samim tima i cijena proizvodnje se povećava.

1.4. Metode rada

Pri izradi ovog završnog rada koristile su se grafička metoda, komparativna metoda, metoda kvalificiranja podataka, induktivno-deduktivna metoda i deskriptivna metoda. Komparativnom metodom usporedili smo razliku u proizvodnji istog proizvoda uz pomoć visokobrzinske obrade sa SHIP-om i bez uporabe SHIP-a. Grafičkom metodom smo prikazali proces izrade proizvoda u proizvodnji koja u svojoj svakodnevnoj proizvodnji koristi visokobrzinsku obradu. Metodom klasificiranja podataka koji su prikupljeni iz knjiga, stručnih i znanstvenih časopisa, članaka i interneta. Deskriptivnom metodom opisali smo činjenice kao i dosadašnja teorijska znanja o visokobrzinskoj obradi, koje smo nadogradili na podatke prikupljene i raspoređene metodom klasifikacije. Do zaključaka i završnih spoznaja došli smo pomoću induktivno-deduktivne metode.

1.5. Struktura rada

Ovaj rad se sastoji od sedam (7) dijelova.

U prvom dijelu, Uvodu, obuhvaćeni su definicija problema, cilj i svrha rada, hipoteza i metode koje su korištene u završnom radu te struktura rada.

Drugi dio rada bavi se opisom definicije visokobrzinske obrade, povijesni razvoj, karakteristike i primjena visokobrzinske obrade, zatim se opisuje kvaliteta obrade materijala, razni utjecaji koji utječu na komad koji se obrađuje i utjecaj visokobrzinske obrade na alate koji se koriste u obrade.

U treći dio završnog rada bavimo se obradnim strojevima i njihovim sastavnim komponentama, alatima, mjernim uređajima i sredstvima za hlađenje, ispiranje i podmazivanje.

Četvrti dio završnog rada predstavlja alternativu SHIP-a u visokobrzinskoj obradi a odnosi se na suhu obradu materijala i sve aspekte na koje utječe.

U petom dijelu rada prikazana je usporedba visokobrzinske obrade se i bez SHIP-a, te kakve koristi donosi ne korištenje SHIP-a kao sredstva u obradi materijala.

Šesti dio ovog završnog rada odnosi se na eksperimentalni dio rada. U ovom djelu

Sedmi dio završnog rada predstavlja zaključak kao sintezu cjelokupnog istraživanja.

2. DEFINICIJA VISOKOBRZINSKE OBRADE

Sama definicija visokobrzinske obrade *(eng. High speed machining)*, odnosno prva poznata definicija visokobrzinske obrade materijala glasi da na određenoj brzini rezanja, koja je 5 do 10 puta veća od konvencionalne brzine rezanja, temperatura na mjestu dodira strugotine i alata počinje opadati. Schiffer otišao korak dalje pa je definirao da visokobrzinska obrada počinje na brzinama većim od 500 m/min, te je podijelio po brzinama rezanja pa tako imamo:

- Klasičnu obradu ; vc < 500 m/min

- Visokobrzinska obrada; vc= 500-10.000 m/min

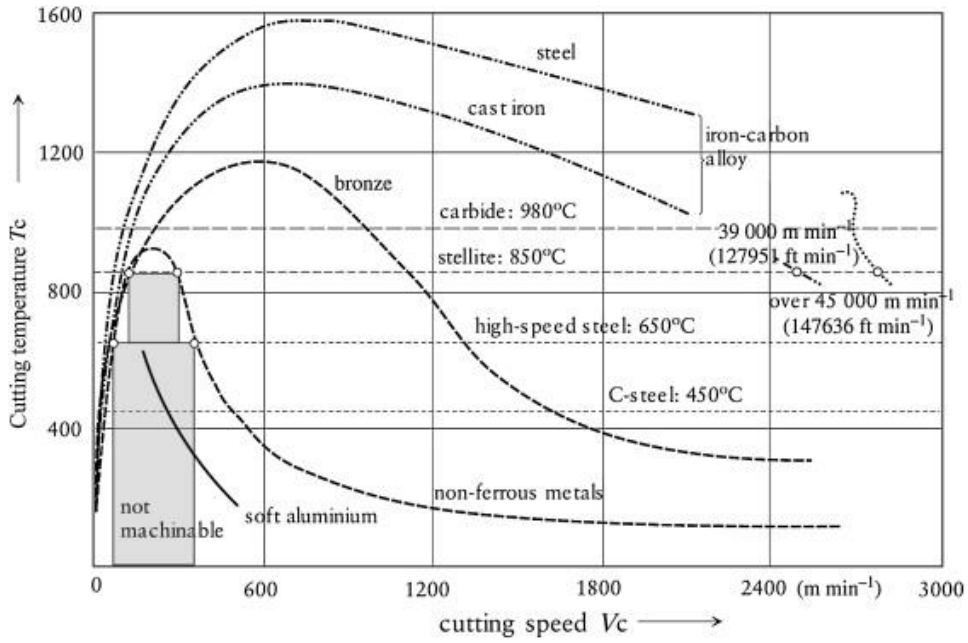
- Ultra visokobrzinska obrada; vc > 10.000 m/min[2]

Neki autori visokobrzinsku obradu definiraju po postupku kojim se obrađuje materijal i prema tablici koja nam tumači područja brzine rezanja po Icksu. Po Icksu područje VBO ovisi o postupku obrade, materijalu kojeg obrađujemo i samom reznom alatu kojeg koristimo. Samo iz ovih par definicija vidljivo je da postoji više različitih definicija kojima se opisuje visokobrzinska obrada i sve su one točne. Iako ima različitih definicija autori tih izjava složni su u jednom podatku, a to je da visokobrzinska obrada ima jako važnu ulogu u budućnosti obrade materijala i svako će naći svoje mjesto u svakoj proizvodnji koja planira ostati lider u svom području djelovanja.

2.1. Povijesni razvoj VBO

Prvu definiciju visokobrzinske obrade predložio je njemački istraživač Carl J. Salomon 1931. godine, koji je svoju tvrdnju temeljio na podacima koje je dobio istraživanjem koje je proveo u travnju 1931. godine, a ispitivanje se provodilo tako što je rezao metal visokim brzinama, odnosno provodio je rezanje čelika na brzinama od 440 m/min, bronce na 1.600 m/min, bakra na brzinama od 2.840 m/min i aluminija na 16.500 m/min.

[2] https://repository.ffri.uniri.hr/islandora/object/ffri%3A805/datastream/PDF/view , (16.9.2019.)



Slika 1. Ovisnost temperature o brzini rezanja kod glodanja[3]

Upravo se ovo istraživanje uzima kao sami začetak visokobrzinske obrade materijala iako se neki od istraživača iz tog vremena nisu u potpunosti slagali s rezultatima Salomonovog istraživanja, a prvi je to naglasio Schmidt.

Iako u Salomonove vrijeme nisu bile dostupne velike brzine rezanja, spretno se snašao te je u svom istraživanju koristio oštrice kružnih pila, a da bi postigao velike brzine rezanja povećavao je promjere istih te nam i prikazao u sljedećoj formuli.

$$\mathrm{Vc} = \frac{\pi \cdot \mathrm{d} \cdot \mathrm{n}}{1.000}\ [\mathrm{m/min}]$$

Iz formule možemo očitati da je: Vc- brzina rezanja [m/min]

d- promjer pile [m]

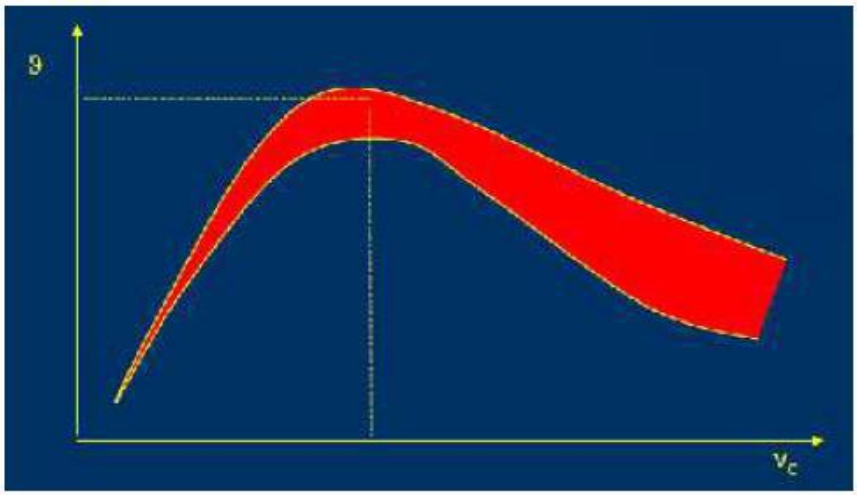
n- broj okretaja [okretaja/min]

Nakon što je Salomon pokrenuo priču oko obrade materijala pomoću velikih brzina mnogi su se istraživači tog vremena priključili istraživanju u tom polju. Pa su tako 1958. godine Voughn i Peterson te 1964. godine Recht tvrdili da produktivnost raste brže nego što je itko mogao

[3] < https://repozitorij.sfsb.hr/en/islandora/object/sfsb%3A72>, (16.9.2019.)

predvidjeti te da se u skorije vrijeme može očekivati pad cijena proizvoda ako se uspije riješiti problem brzog trošenja alata i strojeva koji se koriste u visokobrzinskoj obradi materijala te vibracija koja se javlja kod takve vrste obrade. Vođeni tom tvrdnjom prvi ozbiljniji koraci ka visokobrzinskoj obradi kakvu danas poznajemo pokrenuti su u Japanu 1967. godine kada tamošnji istraživači započeli intenzivnije istraživati mehanizme nastajanja strugotine, ali su nažalost mogli nastaviti i detaljnije proučiti nastajanje strugotine tak kasnije, odnosno s pojavom prvih visokobrzinskih vretena u ranim 80-ima.

Paralelno s istraživanjima u Japanu njihovi američki kolege dolaze do važnih podataka vezano za VBO, a to je da s povećanjem brzine rezanje također i raste kvaliteta obrađene površine materijala kojeg obrađujemo. Također su američki istraživači došli do važnog podatka u svojim istraživanjima i provedenim testovima, a to je da pri visokim brzinama rezanja, toplina generirana tijekom obrade u najvećem dijelu odlazi s odvojenom strugotinom. Ova dva podatka vrlo su važna za visokobrzinsku obradu kako u pogledu kvalitete obrade tako i na sami vijek trajanja alata i samog uređaja/stroja.[4]

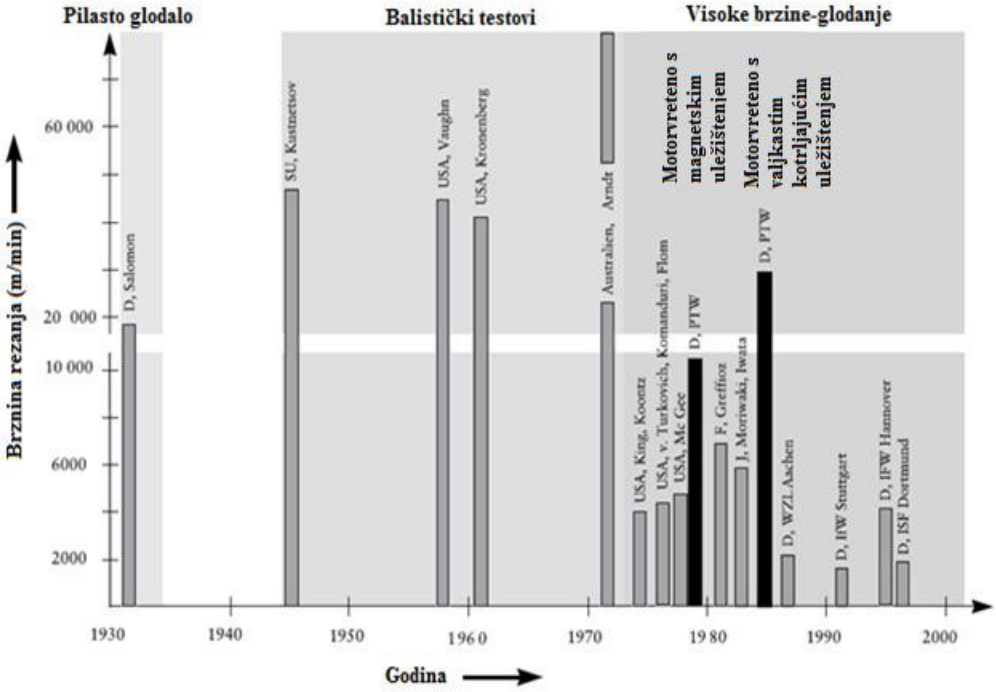


Slika 2. Ovisnost temperature o brzini rezanja[5]

Istodobno s istraživanjima koja su se provodila u Japanu i Americi, u Europi 1979. godine osnovan je prvi europski centar s nazivom „Istraživanje karakteristika procesa visokobrzinske obrade“ na Tehnološkom sveučilištu u Darmstadtu. Istraživači s tog sveučilišta fokusirali su se na razvitku visokobrzinskih vretena pričvršćenih u aktivnim magnetskim ležajevima. Ova vrsta

[4] <https://repository.ffri.uniri.hr/islandora/object/ffri%3A805/datastream/PDF/view>, (16.9.2019.)
[5] < https://repository.ffri.uniri.hr/islandora/object/ffri%3A805/datastream/PDF/view>, (16.9.2019)

vretena svoju primjenu su našli početkom 1980. te je ostvaren veliki napredak u polju postizanja visokih brzina obrade materijala.[6]

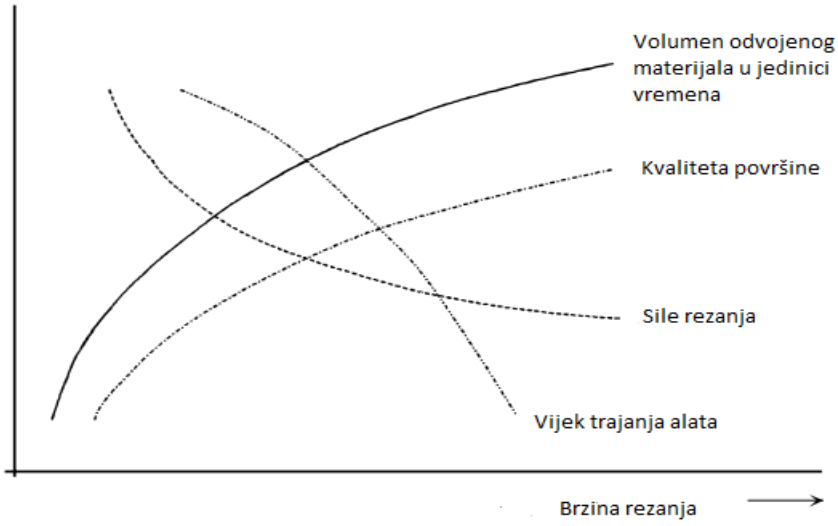


Graf 1. Istraživanja VBO kroz povijest[7]

Unatoč svemu priloženom kroz ovaj kratki povijesni pregled razvoja visokobrzinske obrade u ranim osamdesetim pojedinci su si dali za pravo predviđati da visokobrzinska obrada nema primjenu u budućnosti obrade materijala. Njihov glavni argument za takve tvrdnje je taj da vretena neće izdržati uklanjanje veće količine viška materijala u obliku strugotine te da bi to učinio proces obrade materijala neisplativim. Dokaz da ti takozvani „eksperti“ nisu mogli više pogriješiti u svojim predviđanjima je razina u kojoj se danas visokobrzinska obrada koristi u današnjici te sve mogućnosti koje pružaju moderni strojevi koje koriste tu vrstu tehnologije i u koliko je mjeri VBO postala nezamjenjiva u modernoj proizvodnji. Nakon provedenih istraživanja, eksperimentiranja i proizvodnje, došlo je do saznanja da s povećanjem brzine rezanja opadaju sile rezanja. Uz to toplina odlazi sa strugotinom, kvaliteta obrađene površine je na visokoj razini (hrapavost opada), a vibracije su uvelike smanjene. No unatoč tim

[6] < https://repository.ffri.uniri.hr/islandora/object/ffri%3A805/datastream/PDF/view>, (16.9.2019.)
[7] < http://repozitorij.fsb.hr/2138/1/21_02_2013_Zavrsni_rad_-_Dario_Babic.pdf>, (17.9.2019)

prednostima možemo vidjeti da s porastom brzine rezanja smanjuje se životni vijek alata. Zbog toga i danas postoji velika potražnja za što boljim i dugotrajnijim alatima.



Slika 3. Opća svojstva visokobrzinske obrade[8]

2.2.Karakteristike visokobrzinske obrade

Vrlo je važno kada se spominje visokobrzinska obrada u istraživanjima da se ista definira te da se specificiraju prednosti i nedostaci takve vrste obrade materijala. Još jedna definicija visokobrzinske obrade, uz već dvije prije navedene, a to je uz pomoć utvrđivanja DN broja koji se dobije množenjem promjera glavnog vretena (mm) i broj okretaja vretena (min^{-1}). Proizvođači se koriste DN brojem kako bi prikazali visokih brzina.

Prema formuli: $DN = d \cdot n$

Iz formule možemo očitati da je:

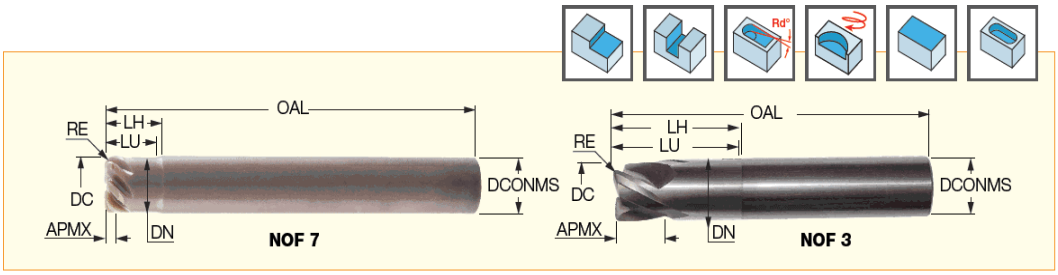
d- promjera glavnog vretena (mm)

n- broj okretaja vretena (min^{-1})

[8] < https://repository.ffri.uniri.hr/islandora/object/ffri%3A805/datastream/PDF/view>, (17.9.2019.)

Danas na tržištu imamo alate i alatne strojeve s velikim DN brojem čak i do 1.500.000, a za testiranje čak se koriste i s DN brojem i do 2.000.000.[9]

Tablica 1. Primjer kataloške tablice za korišteni alat[10]

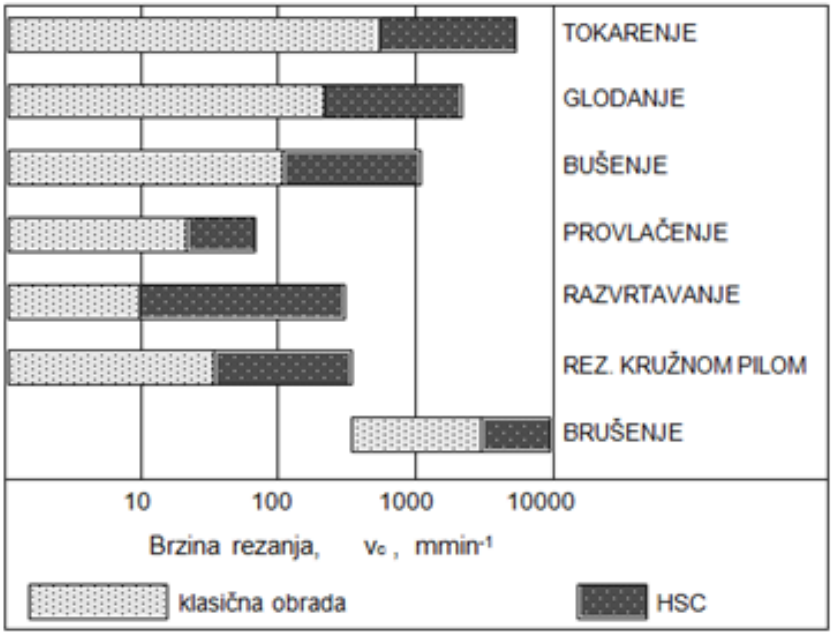


Designation	Dimensions										Tough ↔ Hard		Recommended Machining Data
	DC	APMX	LU	LH	DN	RE(1)	NOF(2)	DCONMS	RMPX(3)	OAL	IS35	IS6	f_z (mm/t)
EC-E3 06-06/15C06R.4N50CE	6.00	6.00	14.5	15.0	5.50	0.42	3	6.00	3.0	50.00	•		0.02-0.03
EC-E3 08-08/20C08R.5N57CE	8.00	8.00	19.5	20.0	7.50	0.56	3	8.00	3.0	57.00	•		0.02-0.03
EC-E3 10-10/25C10R.7N65CE	10.00	10.00	24.5	25.0	9.50	0.70	3	10.00	3.0	65.00	•		0.02-0.03
EC-E3 12-12/30C12R1.N72CE	12.00	12.00	29.5	30.0	11.50	1.10	3	12.00	3.0	72.00	•		0.02-0.03
EC-E3 16-16/35C16R2.N83CE	16.00	16.00	34.5	35.0	15.50	1.90	3	16.00	3.0	83.00	•		0.02-0.04
EC-E3 20-20/40C20R2.N93CE	20.00	20.00	39.5	40.0	19.50	2.50	3	20.00	3.0	93.00	•		0.02-0.04
EC-E7 08-02C08R1.0N63CE	8.00	0.40	8.0	9.5	7.50	1.00	7	8.00	3.0	63.00		•	0.02-0.03
EC-E7 10-02C10R1.5N72CE	10.00	0.70	10.0	11.5	9.50	1.50	7	10.00	3.0	72.00		•	0.02-0.03
EC-E7 12-02C12R1.5N83CE	12.00	1.30	10.0	12.0	11.50	1.50	7	12.00	3.0	83.00		•	0.02-0.03

Podjela visokobrzinske obrade po Icksu najviše ovi o postupku obrade, materijalu koji se obrađuje i reznom alatu i kako postižemo optimalnu vrijednost istrošenog reznog alata koji ovisi o posmaku i brzini rezanja. Ako se vodimo ovom definicijom u pogledu bušenja i glodanja najpovoljnije je imati visoku brzinu i to iz razloga jer imamo konstantu masu alata koji rotira, a pošto alat ne rotira nema pojave vibracija te ima stalnu ravnotežu. Za razliku od bušenja i glodanja kod tokarenja imamo visoku vrtnju komada kojeg obrađujemo i tako skidamo višak materijala te zbog toga dolazi do gubitka ravnoteže zbog mijenjanja mase. Zbog nastanka velikih centrifugalnih sila koje pokušavaju otvoriti stezane čeljusti vrlo je važno da se komad kojeg obrađujemo stegne s unutarnje strane.

Kako je VBO nalazila svoju primjenu u svakodnevnoj proizvodnji tako su se i istraživanja sve više razvila, pa tako jedno istraživanje je otkrilo da pri VBO povećamo brzinu rezanja u isto vrijeme povećavamo i specifični volumen odvojene strugotine te je veća kvaliteta obradive površine, ali kao negativna strana treba navesti da se smanjuje izdržljivost alata te sile rezanja.

[9] Dr. Sabahudin Ekinović: Postupci obrade rezanjem, Zenica, 2003. ; Izdavač : Mašinski fakultet u Zenici
[10] <https://www.iscar.com/newarticles.aspx/countryid/1/newarticleid/2882>, (17.9.2019.)



Graf 2. Podjela područja brzina rezanja čelika po Icksu[11]

Kao što je već ranije u radu spomenuto vrlo je važno da se kontinuirano radi na poboljšavanju suhe obrade materijala, odnosno bez korištenja SHIP-a iz razloga jer štetno utječe na okoliš i njegovo korištenje utječe na povećanje troškova proizvodnje u prvom redu zbog deponiranja i recikliranje odvojene strugotine prekrivene toksičnim tekućinama, te ću u nastavku rada pokušati detaljnije istražiti ovaj dio visokobrzinske obrade, načine deponiranja strugotine sa SHIP-om, te povoljniju financijsku stranu suhe visokobrzinske obrade materijala.

2.3.Primjena visokobrzinske obrade

Visokobrzinska obrada se počela primjenjivati kada su zahtjevi krajnjih korisnika postali jedan od važnijih faktora u borbi s konkurencijom, ali osim zahtjeva krajnjih korisnika posebno se ističe, rezanje troškova proizvodnje povećanjem produktivnosti, kao glavni razlog sve veće primijene visokobrzinske obrade u industriji. Povećanje produktivnosti se postiglo tako što se u prvom redu skratilo dostavno vrijeme i samo vrijeme obrade, a što se tiče ispunjavanja zahtjeva krajnjih korisnika to se riješilo tako da se pomoću VBO postiže zahtjevnije i točnije tolerancije i hrapavosti. Iako se uglavnom visokobrzinska obrada koristi za završnu obradu

[11] <https://repozitorij.sfsb.hr/en/islandora/object/sfsb%3A72>, (18.9.2019.)

čelika, lijevanog željeza i ostalih teško obradivih legura, VBO se također koristi i za obradu lakih metala, obojenih metala i plastike. Prikladnije je za visokobrzinsku obradu materijala glodanje za razliku od tokarenja iz razloga jer kod glodanja glavno gibanje izvodi rezni alat stalne geometrije, a kod tokarenja, komad koji se obrađuje čija se geometrija stalno mijenja, što je nepovoljno kada je u pitanju visoka brzina vrtnje. U današnjoj proizvodnji visokobrzinska obrada ima sve veću uporabu i to najviše u proizvodnji zahtjevnih komada i proizvoda sa strogo definiranim tolerancijama te joj se ne predviđa skori pad, nego baš suprotno sve veći rast i širenje i na druga polja u proizvodnji raznih komponenti. Neke od proizvodnje i industrije u kojima se trenutačno najviše koristi visokobrzinska obrada su automobilska industrija, proizvodnja kalupa za lijevanje, proizvodnja dijelova od lakih metala, aluminija ili sivog lijeva i dr., proizvodnja računala i medicinske opreme.

Slika 4. CNC glodalica u radu[12]

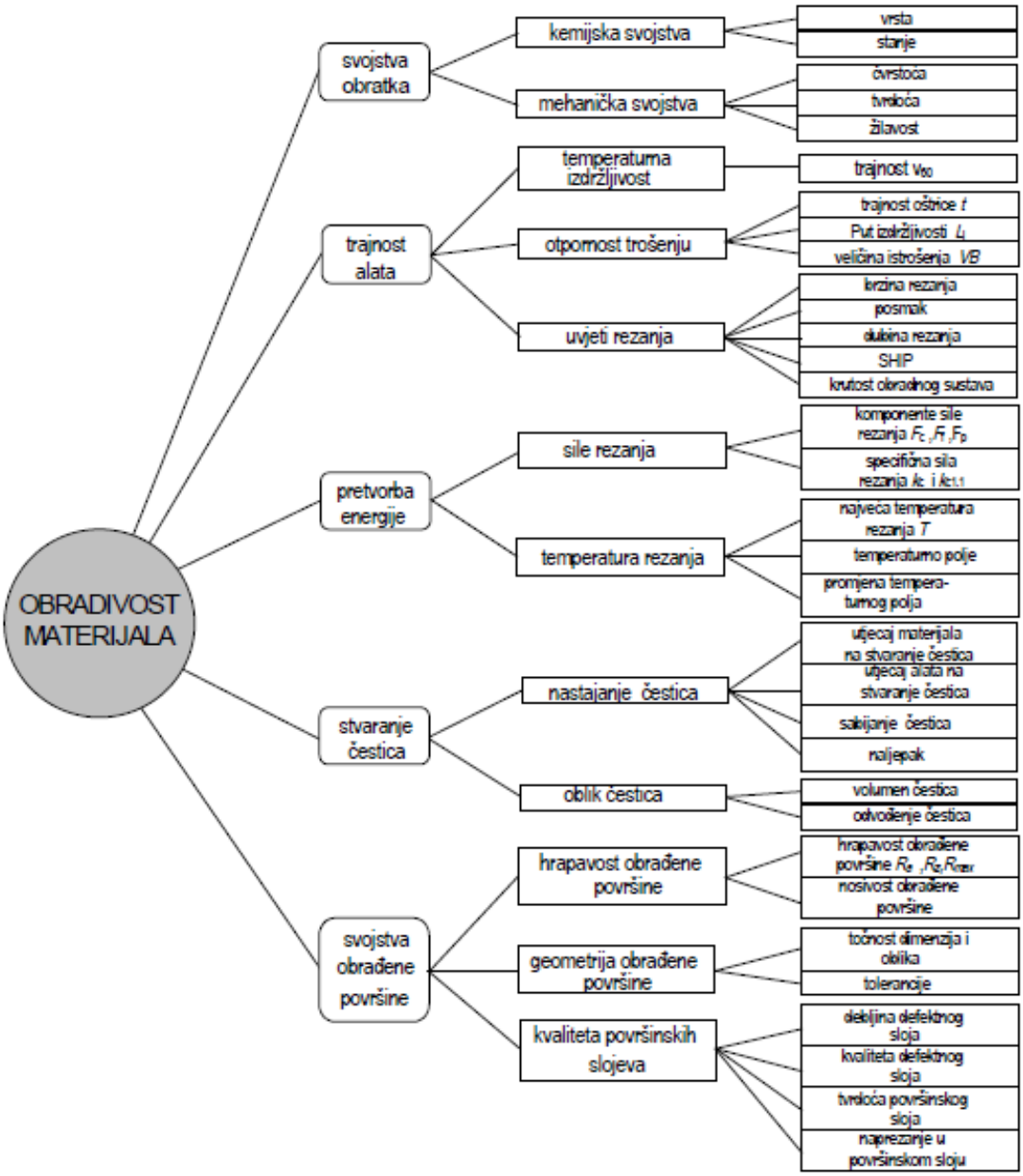
[12] < https://hr.wikipedia.org/wiki/CNC_glodalica>, (18.9.2019.)

2.4. Relativna lakoća obrade materijala

U današnjoj suvremenoj proizvodnji koristi se sve više materijala, te je u konačnici zahtjev krajnjeg korisnika ali i uvjeti u kojima se završni proizvod koristi diktiraju da se te vrste materijala u zadnjem koraku prije sklapanja finalnoj obradi po navedenim zahtjevima tolerancije i hrapavosti. Razumljivo je da će se manje energije upotrijebiti za obradu materijala kao što je plastika nego na obradu materijala kao što su čelik ili neki drugi teško obradivi materijali. Sam pojam relativne lakoće obrade određenog materijala ovisi o više faktora kao što su: krutost obradnog sustava, istrošenosti alata, koje sredstvo koristimo kao sredstvo za hlađenje, ispiranje i hlađenje, sili rezanja i nakon toga još i broj i redoslijed operacija dovoljnih za izradu gotovog proizvoda. Pošto postoji više viđenja i definicija obradivosti, spomenuti ćemo neke od njih.

Sam pojam obradivosti može se definirati na više načina, ali u suštini njime se iskazuje lakoća obradivosti određenog materijala. Jedan on najvažnijih tehnoloških parametara je upravo obradivost, te se u američkim normama mogu pronaći koeficijenti obradivosti, ali sama obradivost određenog materijala ne ovi samo o materijalu od kojeg je komad izrađen pa tako taj koeficijent obradivosti možemo koristiti kao grubu procjenu obradivosti. U prijevodu s engleskog jezika *(eng. Technical glossary of seaport steel)* na hrvatskom jeziku dobijemo obradivost ili relativna lakoća obrade materijala. U izvještajima TIMKEN kataloga može se pročitati da se postiže puno bolju obradivost površine materijala kojeg obrađujemo ako smanjimo nepoželjna naprezanja tijekom obrade a kao primjer možemo uzeti određene distorzije kod toplinske obrade, dulju postojanost alata i puno bolje mogućnosti što se tiče odvajanja čestica. Obradivost se može opisati kao određena mjera lakoće kojom se materijal obrađuje uz pomoć reznih ili abrazivnih alata. Nadalje R. Orady je definirao obradivost kao relativnu lakoću obrade materijala uz pomoć alata koji je odgovarajući za obradu koju imamo u planu koristiti i uz odgovarajuće uvjete rezanja.

Za izradu nekog proizvoda ili poluproizvoda može se definirati puno načina i metoda obrade, uzevši to u obzir važno je naglasiti da izraditi neki proizvod nije toliko komplicirano koliko i zvuči, nego je izazov izraditi određeni proizvod s niskim troškovima proizvodnje, a da u isto vrijeme razina kvalitete ostane visoka. Postupak i parametri obrade određenog komada su nam prihvatljiviji i bolji ako su u traženoj kvaliteti proizvedenost i gospodarstvenost veća. Materijal je lako obradiv ako imamo postupak koji zadovoljava navedene kriterije.



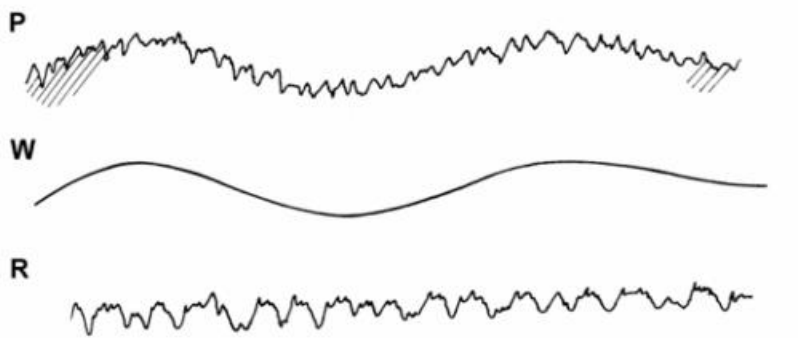
Slika 5. Opći kriteriji obradivosti[13]

2.5. Kriterij obradivosti

Kod visokobrzinske obrade postoje više kriterija obradivosti, svi su oni važni na neki svojstven način i sve ovisi koji od njih je postavljen kao primaran odnosno što je u naručitelj naglasio kao glavni kriterij obradivosti. U većini slučajeva jedan od glavnih kriterija obradivosti

[13] < https://repository.ffri.uniri.hr/islandora/object/ffri%3A805/datastream/PDF/view>, (19.9.2019.)

su hrapavost obrađene površine i postojanost korištenog alata, ali uz ova dva kriterija ima ih još kao što su sile rezanja, temperatura nastala prilikom rezanja, oblik odvojene strugotine, utrošena snaga, sve ovisi o definiranom odnosno o primarnom cilju obrade. Ako nam je što se obradivosti tiče primaran kriterij proizvodnosti, onda možemo smatrati da nam je materijal dobro/lako obradiv ako se može rezati visokim brzinama uz zadovoljavajuću kriterija postojanost reznog alata. Indeks obradivosti je uveden naknadno kao jedna vrsta smjernice kod mjere obradivosti. Indeks obradivosti nam je pokazatelj koji odgovara brzini rezanja kojom se dosegne određeni iznos istrošenosti alata u određenom vremenskom razdoblju obrade.



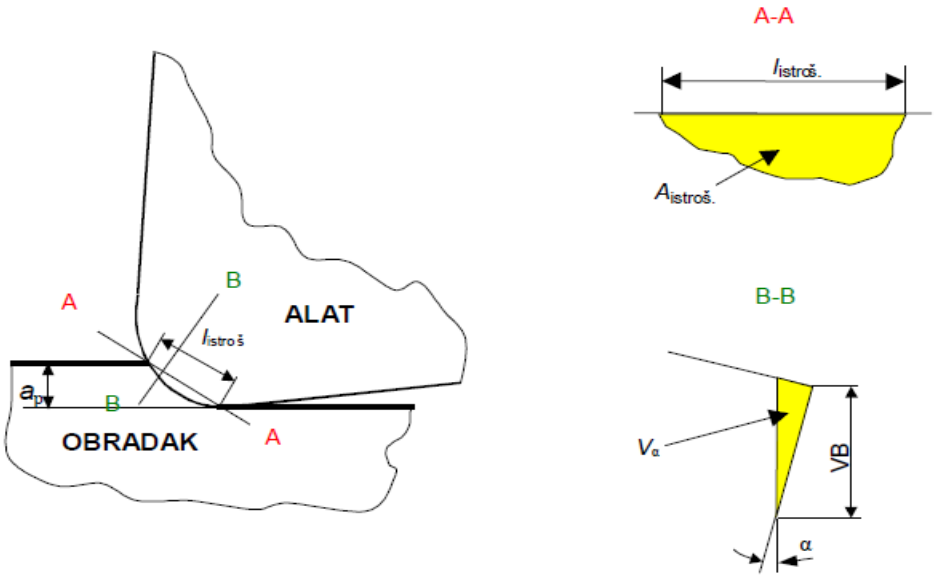
Slika 6. Hrapavost obrađene površine po P, W i R karakteristika profila[14]

2.6. Postojanost alata

U svakoj proizvodnji glavni pokazatelji isplativosti i konkurentnosti proizvodnje su troškovi proizvodnje i vrijeme obrade, a oni najviše ovise o postojanosti alata koji se koristi, a o postojanosti alata ovisi tvrdnja u kojoj je mjeri određeni materijal obradiv. Samo vrijeme rezanja u kojem alat vrši radnju rezanja pa sve do unaprijed određenog stupnja istrošenosti alata nakon čega više nije preporučljivo korištenje istog definira se kao postojanost alata. Može se izražavati u broju obrađenih komada, ali najčešće se koriste vremenske jedinice jer je puno točniji i sigurniji nego neki drugi pokazatelji. Trošenje alata je nepovratan i naravno nepoželjan proces i kako se alat sve više koristi njegova svojstva rezanja se smanjuju. Istrošenost alata u praksi se mjeri jednoznamenkasti ili dvoznamenkastim veličinama na poleđini oštrice alata,

[14] König, W., Klocke F. : Fertigungsverfahren 1, Band 8, VDI Verlag, Aachen, 2008.

Otupljivanje oštrice je pojava koja se pojavljuje nakon svakog procesa rezanja s reznim alatom te ga je nemoguće izbjeći, ali se svakim danom izvršavaju istraživanja da se otupljivanje oštrice svede na minimum i to odabirom i raznim tehnikama izrada reznog alata.



Slika 7. Prikaz istrošenosti poleđine alata[15]

Da bi dobili intenzitet trošenja alata, u omjer moramo postaviti veličinu istrošenosti i vremena rezanja.

$$I_{istroš} == \frac{\Delta V_\alpha}{\Delta l}\ ili\ \frac{\Delta A_{istroš}}{\Delta l}\ ili\ \frac{\Delta V_\alpha}{\Delta t}\ ili\ \frac{\Delta A_{istroš}}{\Delta t}$$

Gdje je :

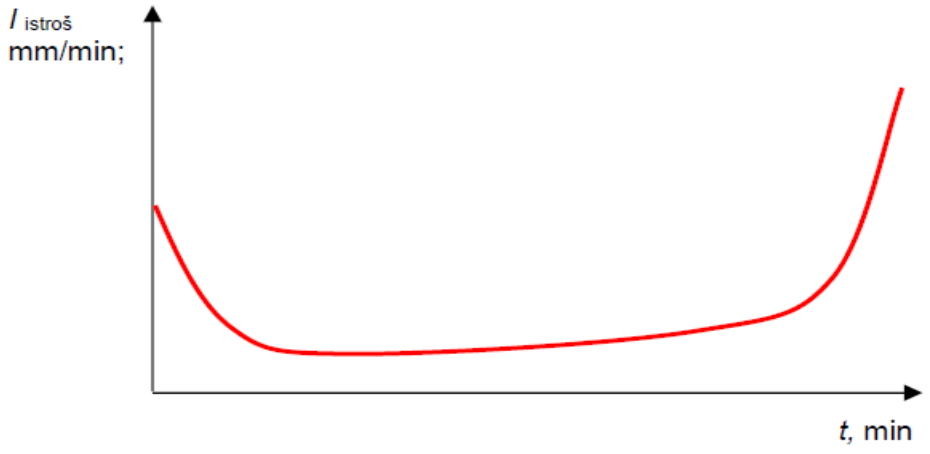
-$I_{istroš}$= intenzitet trošenja alata,

- $\Delta\ Va$ = veličina istrošenosti alata,

- $\Delta\ l$ = vrijeme rezanja.

[15] https://repository.ffri.uniri.hr/islandora/object/ffri%3A805/datastream/PDF/view, (19.9.2019.)

Ako vremenski pratimo vrijednost povećanja istrošenosti, možemo utvrditi vrijednosti prikazane na slici.



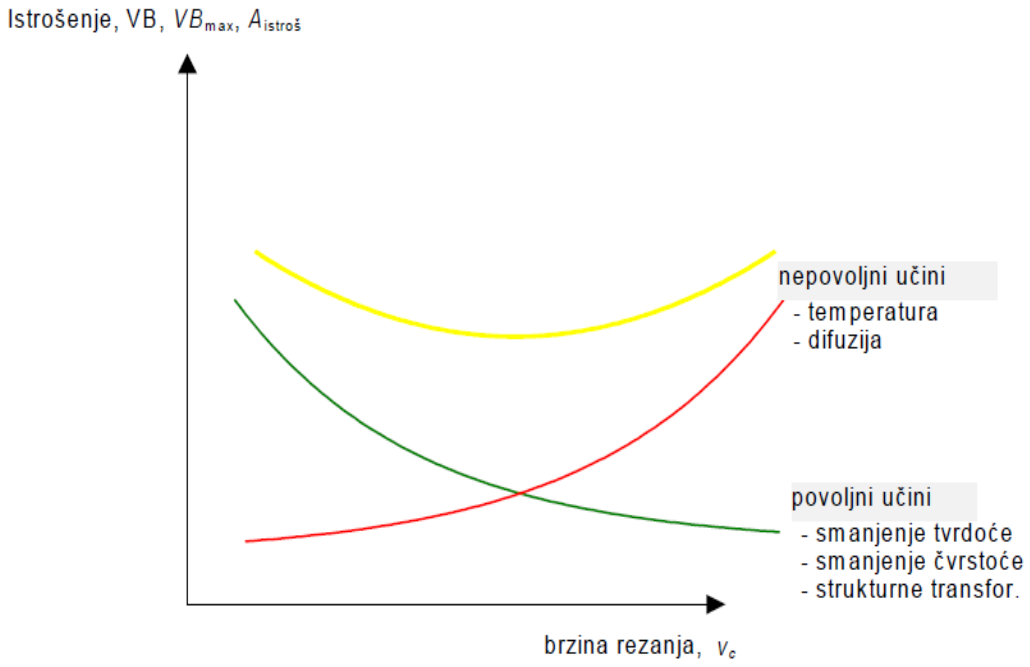
Slika 8. Intenzitet trošenja alata[16]

2.6.1. Utjecaj brzine na trošenje alata

Svaka, pa i najmanja promjena brzine pri obradi materijala nosi sa sobom određene željene i neželjene promijene kako na materijalu tako i na samom alatu. Iz tog razloga vrlo je važno da odredimo pravu, optimalnu brzinu kod obrade tvrđih materijala prvenstveno zbog postojanosti alata, drugim riječima na njegovu istrošenost i put rezanja.

Ako se brzina rezanja povećava preko određene granice, samim time se povećava i temperatura rezanja, ali opet s druge strane smanjuje se postojanost oštrice alata te ako se nastavi povećavati brzina rezanja, a samim time i temperatura rezanja dolazi do smanjenja čvrstoće i tvrdoće samog materijala kojeg obrađujemo pa tako i do smanjenja otpornosti na istrošenost reznog alata što nam i pokazuje sljedeća slika.

[16] < https://repository.ffri.uniri.hr/islandora/object/ffri%3A805/datastream/PDF/view>, (19.9.2019.)



Slika 9. Učini trošenja alata[17]

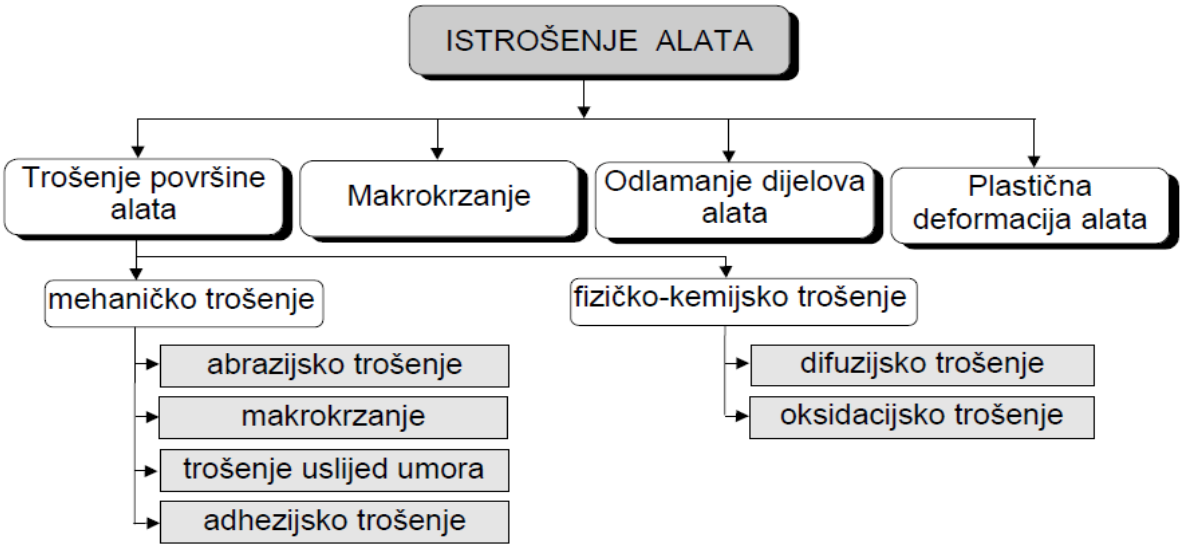
2.6.2. Mjerenje istrošenosti alata

Svakome je jasno tko je došao u doticaj sa bilo kakvim alatom za obradu materijala da što se više alat koristi za obradu to se više oštrica troši te će se u jednom trenutku morati zamijeniti novom sve u cilju da ne dođe do oštećenja ili još gore do ozljede rukovatelja obradnim strojem. Svako trošenje alata je kao svojstvo naravno nepoželjno te se rezna svojstva smanjuju ali na žalost trošenje alata je još uvijek neizbježno. Kako sam već prije u ovom radu naveo formulu kojom se može prikazati intenzitet trošenja alata sada ću navesti parametre koji utječu na istrošenost alata a oni su podijeljeni u tri glavne skupine, a to su:

- Parametri materijala kojeg planiramo obraditi
- Parametri alata
- Parametri uvjeta obrade

Također neki od osnovnih parametara istrošenosti alata prikazani su na sljedećoj slici.

[17] < https://repository.ffri.uniri.hr/islandora/object/ffri%3A805/datastream/PDF/view>, (19.9.2019.)



Slika 10. Shema osnovnih oblika trošenja[18]

Uz već navedene parametre istrošenosti alata još se mogu i navesti oni koji karakteriziraju materijal koji se obrađuje, a oni se dijele na:

- Fizikalna- kemijska svojstva (čvrstoća, žilavost, tvrdoća, inertnost površine, toplinska provodljivost i rastezanje i kemijska stabilnost)
- Geometrijske značajke

Jasno je da kada materijal koji se obrađuje ima bolja mehanička svojstva također će se pojaviti i veća istrošenost alata, dok kod geometrijskih značajki materijala kojeg obrađujemo moguće je pojava prekidne obrade što dovodi do promjenjivog opterećenja alata i na posljetku i do povećanja trošenja alata.

2.7.Sile rezanja

Kod visokobrzinske obrade materijala, ako djelujemo alatom na komad kojeg obrađujemo određenom silom rezanja F, a ona mora biti jednaka otporu rezanja i silama trenja te dolazi do odvajanje strugotine. Kako bi bolje prikazali silu rezanja *F*, u raznim literaturama njen vektor sile rastavlja se na komponente sila rezanja i to pomoću ravnotežne kružnice sila. Najčešće su

[18] < https://repository.ffri.uniri.hr/islandora/object/ffri%3A805/datastream/PDF/view>, (19.9.2019.)

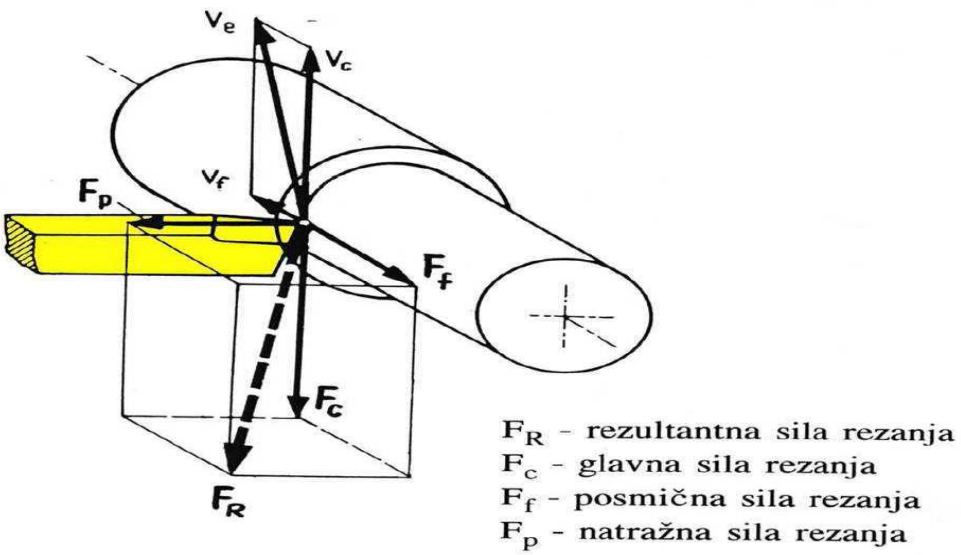
to tri komponente sila Fc, Ff i Fp i vektori tih sila orijentirani su prema tri parametra: brzini rezanja, posmaku te dubini rezanja.

- Fc - glavna sila rezanja koja se poklapa s pravcem vektora glavne brzine rezanja;
- Ff - posmična sila rezanja koja djeluje u pravcu posmičnog gibanja alata;
- Fp - natražna sila rezanja koja djeluje u smjeru okomitom na sile Fc i Ff.

Rezultantna se sila računa prema izrazu:

$$F_R = \sqrt{Fc^2 + F_f^2 + F_P^2}$$

Promjenom dubine i posmaka geometrije alata, mehaničkih svojstva alata i istrošenost alata uvelike se mijenjaju odnosi pojedinih komponenata, ali kao glavna vrijednost uvijek ostaje glavna sila rezanja. Drugi najčešći način procjene kvalitete obradivosti je mjerenjem sile, a posebno ako se uzimaju u obzir testovi postojanosti alata iz nekog razloga ograničeni.



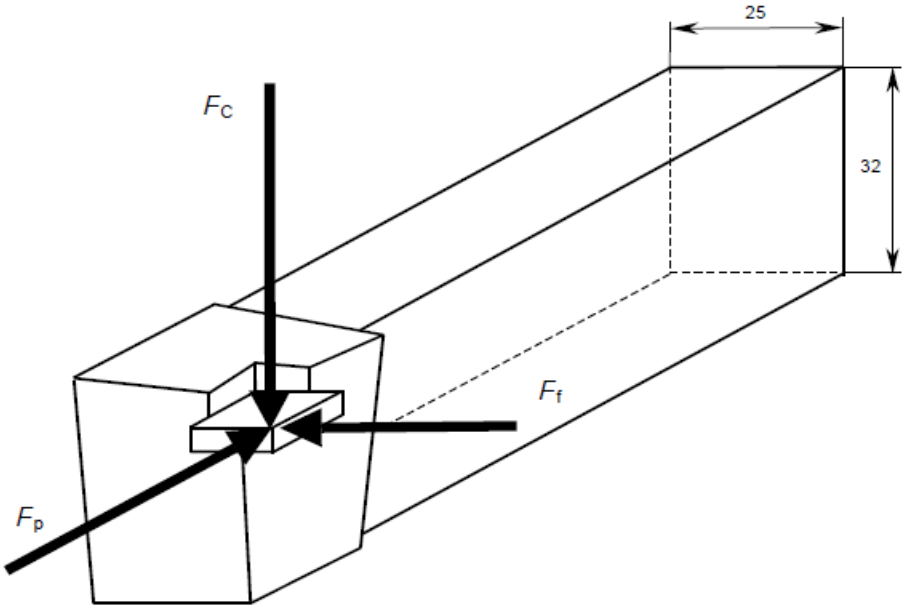
Slika 11. Komponente sila i brzina rezanja pri postupku tokarenja[19]

Kakvi će omjeri biti između ovih triju komponenti, odnosno hoće li oni u pojedinim slučajevima biti preveliki ili premali ovisi o uvjetima obrade, materijalu i sl. Razni autori su iznosili razna

[19] < https://www.fsb.unizg.hr/kas/ODIOO/ODIOO%202017/5,%206%20i%207._predavanje_ODIOO.pdf>, (19.9.2019.)

zapažanja te različite omjere između komponenti sila, ali svi su se složili oko toga da porastom istrošenosti oštrice alata i tvrdoće materijala povećavaju i komponente sila rezanja.

Neka od istraživanja su pokazala da postoji ovisnost između brzine rezanja i sile rezanja. Zaključak je bio da se komponente sile rezanja smanjuju povećavanjem brzine rezanja, ali u maloj mjeri. Daljnjim povećavanjem brzine dolazi i do povećavanja sila rezanja, a sukladno tome smanjujemo vijek rezne oštrice zbog visokog toplinskog opterećenja.



Slika 12. Prikaz komponenata sila rezanja[20]

2.8. Kvaliteta obrađene površine

Kod obrade površina visokobrzinskom obradom jedan od važnijih faktora koji utječe skoro pa jednako na materijal, ali i na sam stroj i alat je u stvarnosti brzina. Cilj svake obrade materijala je da on u konačnici vizualno lijepo izgleda, ali uz to kvaliteta obrađene površine uvelike doprinosi otpornosti na trošenje kod pojave trenja, otpornost na koroziju, čvrstoću spoja i druge korisne „osobine“ koje dolaze s kvalitetno obrađenom površinom materijala. Kvaliteta obrađene površine se uglavnom određuje mikro geometrijskim nepravilnostima, odnosno

[20] <https://repository.ffri.uniri.hr/islandora/object/ffri%3A805/datastream/PDF/view>, (19.9.2019.)

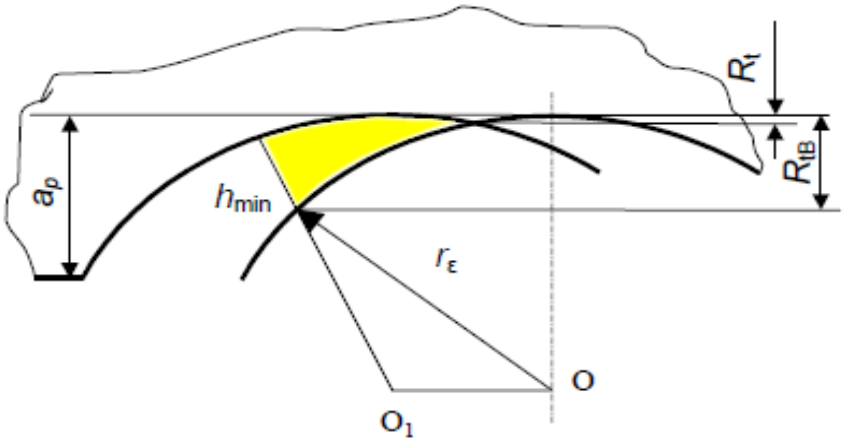
hrapavošću. Vrlo je važno kod obrade materijala postići određenu razinu kvalitete obrađene površine. Proširenu jednadžbu za dobivanje teoretske visine neravnina prvi je izveo Brammertz.

$$R_{tB} = \frac{f^2}{8 \cdot r_\varepsilon} + \frac{hmin}{2} + \left(1 + \frac{r\varepsilon + h_{min}}{2}\right)$$

Gdje je:

- f = posmak rezne oštrice na jedan okretaj
- $hmin$ = minimalna debljina nedeformiranih čestica kod kojih je moguće odvajanje
- r_ε = radijus vrha rezne oštrice

Na sljedećoj slici se može lijepo vidjeti što je Brammertz pojasniti svojoj proširenom jednadžbom. Osjenčani dio predstavlja nedeformirane odvojene čestice pa je h manji od $hmin$. Važno je naglasiti da se svakim prolaskom pomoćne oštrice alata po tom dijelu taj isti dio „glača“. Također se u tom dijelu čestice ne odvajaju nego se deformiranjem tvore elastični povrat prolaskom alata. Po jednadžbi vrijednost R_t se povećava za razliku od vrijednosti R_{tB}.



Slika 13. Određivanje hrapavosti po Brammertzu[21]

Tim takozvanim „glačanjem“ se komad materijala kojeg obrađujemo ujedno i otvrdnjava, odnosno njegova površina. Kako povećavamo brzinu vrtnje samog alata, na materijal kojeg obrađujemo se to odražava tako da se hrapavost površine smanjuje što je u cilju svake fine obrade, te se smanjuje posmak po okretaju. Razne vrste obrade, režimi rada, sheme rezanja,

[21] <https://repository.ffri.uniri.hr/islandora/object/ffri%3A805/datastream/PDF/view>, (19.9.2019.)

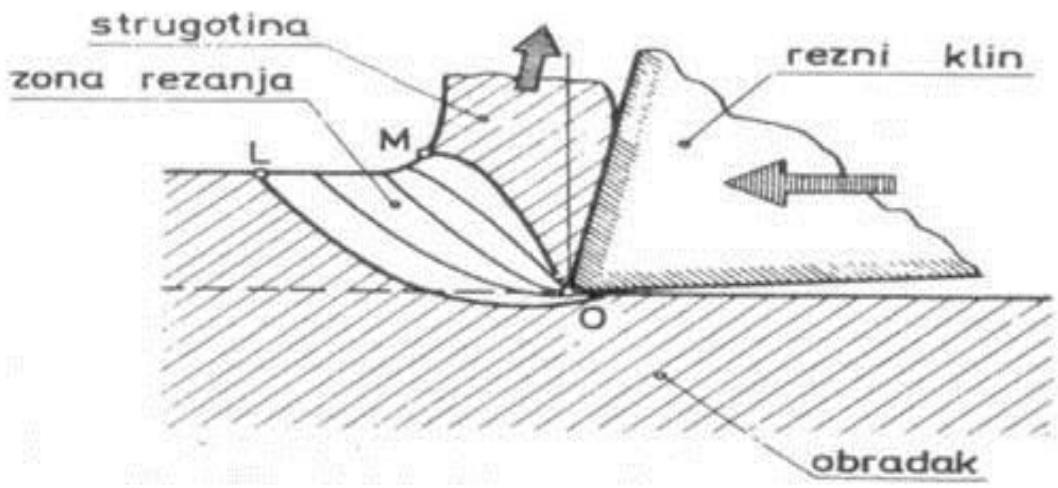
vibracije, plastične deformacije materijala i ostali faktori mogu značajno utjecati na mikro/makro geometrijske neravnine komada kojeg obrađujemo.
Pokazatelje kvalitete obrađene površine dijelimo na dvije grupe a one su:

- geometrijske (hrapavost, valovitost i odstupanje oblika)
- fizikalno-mehaničke karakteristike površinskog sloja (struktura, zaostala naprezanja i mikro tvrdoća)

Pod geometrijskim parametrima smatramo odstupanja od geometrijski pravilne makro i mikro razine. Fizikalno-kemijsko stanje površinskog sloja ocjenjuje se parametrima koji karakteriziraju strukturu, fazni i kemijski sastav, deformacije, naprezanja i sl.

2.9. Odvojene čestice (strugotina)

Kod visokobrzinske obrade a ponajviše kod tokarenja i glodanja kao nusprodukt pojavljuje se odvojene čestice, drugim riječima strugotina, koje se potrebno efikasno ukloniti iz kruga proizvodnje i radnog prostora u što kraćem vremenskom roku. Kako za glodanje tako i za tokarenje se može reći da su to kontinuirani procesi odvajanja strugotine. Sam oblik strugotine ovisi o više faktora za početak imamo promjenu posmaka, dubine rezanja, stanja istrošenosti alata i sl. Istraživanjima se došlo do zaključka da kod povećanja brzine rezanja dobivamo različite oblike strugotina. Iz tih istraživanja doneseni su zaključci da postoji povezanost između frekvencije lomljenja odvojenih čestica i same brzine rezanja, odnosno da se povećanjem brzine rezanja povećava i frekvencija lomljenja odvojenih čestica. Stalnom odnosno nepromijenjenom frekvencijom rezanja povećala bi se duljina strugotine. Proces stvaranja strugotine prikazan je na sljedećoj slici.

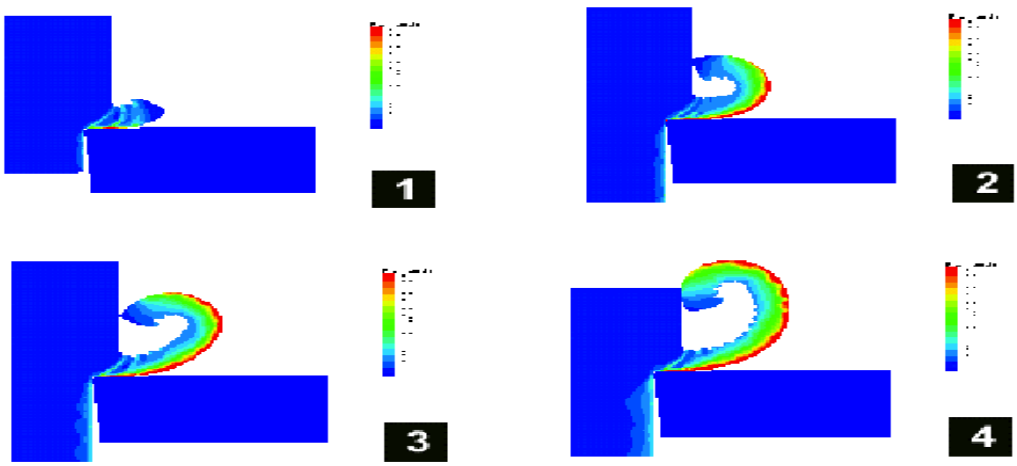


Slika 14. Prikaz stvaranja strugotine[22]

Povoljniji oblici strugotine su oni koji se lakše i u kraćem vremenskom roku mogu odstraniti iz zone rezanja, pa su takvi materijali po tom kriteriju lakše obradivi od materijala koji ne daju takve oblike strugotine.

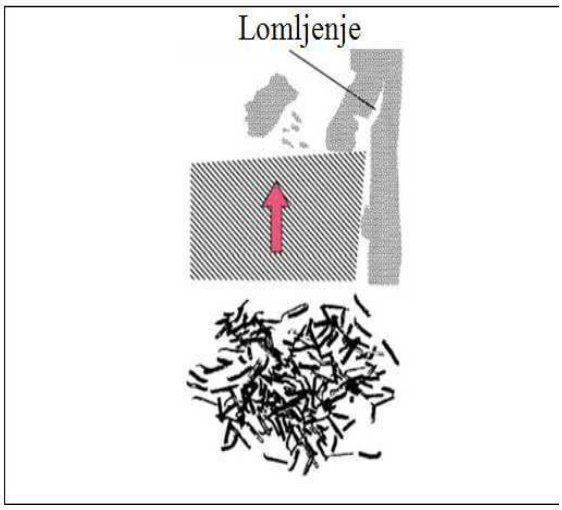
Osnovni oblici odvojene čestice prikazani su na slici ispod, a oni su:

- Lomljena (elementarna) odvojena čestica
- Nasječena (lamelarna) odvojena čestica (više lamela zajedno)
- Tekuća (kontinuirana) odvojena čestica



Slika 15. Oblici odvojene čestice[23]

[22] < http://automatizacija1.etf.rs/poglavlja/Rezanje%201.htm>, (20 9 2019.)
[23] < https://www.fsb.unizg.hr/kas/ODIOO/ODIOO%202017/4_predavanje_ODIOO.pdf>, (20.9.2019.)



Osobine:

-Pojedinačne, nema spojenih elemenata

-Gruba površina kao posljedica loma

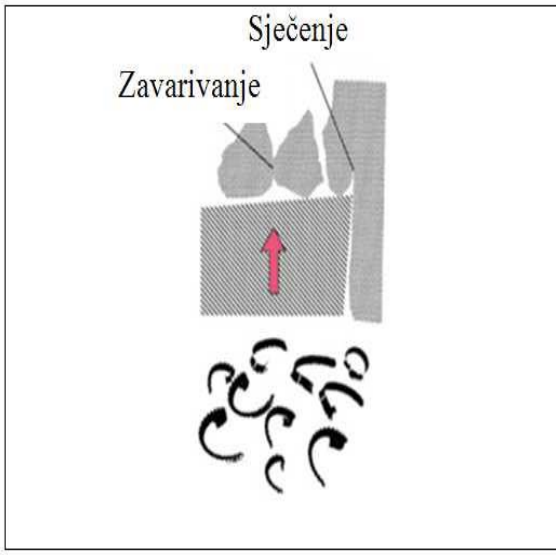
Formacija:

-Kod krhkih materijala nakon lagane deformacije u smičnoj zoni

Uvjeti:

-Kod materijala niske žilavosti

-Nepovoljni uvjeti obrade



Osobine:

-Jednodijelna, nema kontinuiranog toka

-Površina vrlo oštra

Formacija:

-Lamele u smičnoj zoni lagano deformirane, odvojene jedna od druge na kraju ipak zavarene

Uvjeti:

-Nehomogenosti u materijalu, vibracije, premali prednji kut alata, velika dubina reza

Slika 16. Oblici odvojene čestice[24]

Lomljenu odvojenu česticu je najlakše za ostvariti iz razloga jer je njeno odvođenje iz zone rezanja najjednostavnije. Kod materijala koji su skloni stvaranja kontinuirane lomljene čestice vrlo je važno voditi pažnju o kontroli odvojene čestice, a to se osobito odnosi na duktilne materijale (nisko-ugljični čelici, aluminijeve legure i sl.). Kontrola strugotine podrazumijeva dva primarna zadatka a oni su:

- Lomljenje čestice
- Odnošenje odvojene čestice iz prostora zahvata komada kojeg obrađujemo i alata, odnosno iz djelokruga radnog prostora

[24] <https://repository.ffri.uniri.hr/islandora/object/ffri%3A805/datastream/PDF/view>, (20.9.2019.)

Lomljenje čestice ostvaruje se tako da se ista usmjeri ka prepreci zbog koje će doći do savijanja u dovoljnoj mjeri da se ostvari njeno pucanje, odnosno da naprezanje dosegne maksimalnu vrijednost na savijanje. Nakon što se čestica odvoji od materijala potrebno ju je pravilno odstraniti iz kruga radnog prostora zbog visoke temperature kako ne bi došlo do termalne distorzije koje bi u konačnici mogle dovesti do nepravilnosti završnog proizvoda, te je potrebno na pravilan način skladištiti i u konačnici na pravilan način je potrebno transportirati na daljnju obradu. Uporaba SHIP-a kao sredstva koji između ostalog služi za hlađenje prilikom procesa odvajanja čestica je vrlo važna kako ne bi došlo do termalnih distorzija, te je vrlo važno SHIP koristiti kod obrade alatima sklonim temperaturnim šokovima (SiN keramika, neke oksidne presvlaka i sl.), kako ne bi došlo do istih drugim riječima kako ne bi došlo do uništavanja alata.

Tablica 2. Utjecaj uvjeta obrade i geometrije alata na odvojenu česticu[25]

UVIJETI OBRADE	UTJECAJ NA OBLIK ODVOJENE ČESTICE
Brzina	S povečanjem brzine obrade lošiji je oblik odvojene čestice ovisno o materijalu
Posmak	Povećanje posmaka poboljšava lom čestice; no istodobno je lošija kvaliteta
Dubina reza	Nema direktnog utjecaja
Prednji kut alata	Negativan prednji kut alata pozitivno utječe na lom čestice; istodobno negativno utječe na kvalitetu obrađene površine
Kut namještanja alata	Što je veći, lom čestice će biti bolji
Lomači čestice	Posebno pospješuju lom čestice (poželjna optimizacija procesa)

3. ALATNI STROJEVI ZA VISOKOBRZINSKU OBRADU

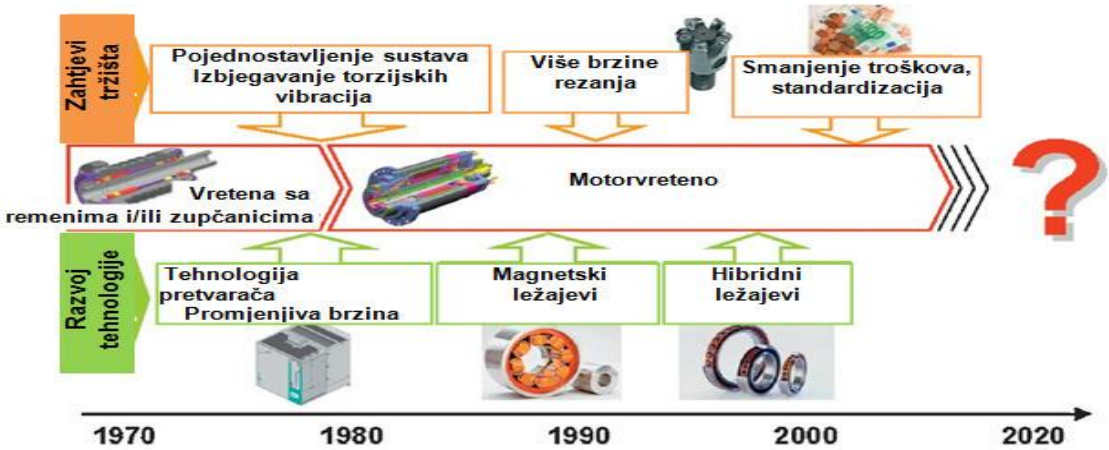
Moderni alatni strojevi za visokobrzinsku obradu materijala moraju zadovoljavati zahtjeve suvremene proizvodnje. Neki od tih zahtjeva su što kraće vrijeme obrade, veći stupanj iskoristivosti i veća produktivnost, zahtjev za stalnim povećanjem točnosti i kvalitete obrade, te sve rigoroznijim zahtjevima za očuvanje okoliša. Sve gore navedeni zahtjevi, osim zahtjev

[25] Izradio autor

za očuvanje okoliša, moguće je ispuniti iz razloga jer moderni alatni strojevi nude mogućnost više različitih postupaka obrade u samo jednom stezanju. Time se skraćuje i vrijeme obrade i veći je stupanj iskoristivosti zbog uštede vremena i veća je produktivnost iz istog razloga, te je povećana točnost i kvaliteta obrade jer nema izmjene alata ni pomicanja materijala kojeg obrađujemo. Također jedan od segmenata koji se dodatno razvio s pojavom modernih alatnih obradnih strojeva, a to je u modularnoj gradnji istih. Prednost takvih obradnih strojeva je da omogućuju usavršavanje pojedinih modula i potiče nezavisan razvoj.

3.1.Motorvreteno

Motorvreteno je glavno vreteno s integriranim motorom tj. elektromotor čija je osovina glavno vreteno alatnog stroja i sve češće se koriste permanentno uzbuđeni sinkroni motori. Prednosti motorvretena su bolja dinamika regulacije, točnije pozicioniranje C-osne obrade, manja buka i mirniji rad. Nedostatak motorvretena u odnosu na direktni pogon glavnog vretena preko spojke je u toplinskim svojstvima. Razvoj pogonskih sustava tekao je od nereguliranih asinkronih i stupnjevanih pogona, vanjskih pogonskih varijanti do ugradbenih elektromotora i preciznih motorvretena.

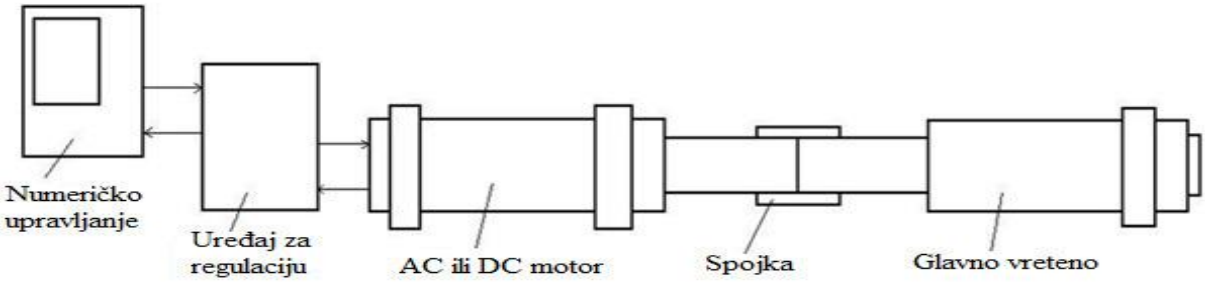


Slika 17. Povijesni pregled razvoja glavnog vretena i motorvretena[26]

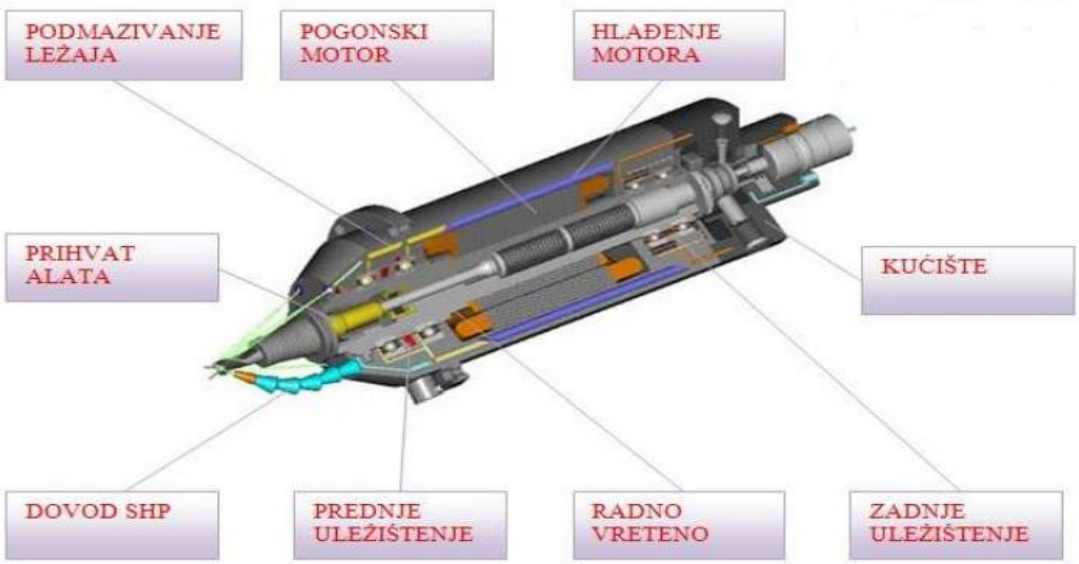
Direktni pogon podrazumijeva pogon glavnog vretena koje je zupčastom spojkom direktno vezano na vreteno elektromotora, takav sustav pogona daje veliku krutost. Kod direktnog

[26] < http://repozitorij.fsb.hr/1441/1/11_07_2011_Zavrsni_rad-MOTORVRETENO-NOVO-CD.pdf>, (22.9.2019.)

pogona najčešće se koriste trofazni kavezni asinkroni motori, a oni su najjednostavniji, specifično najlakši i najjeftiniji, najpouzdaniji i zbog toga najčešće korišteni elektromotor.



Slika 18. Direktni pogon glavnog vretena[27]

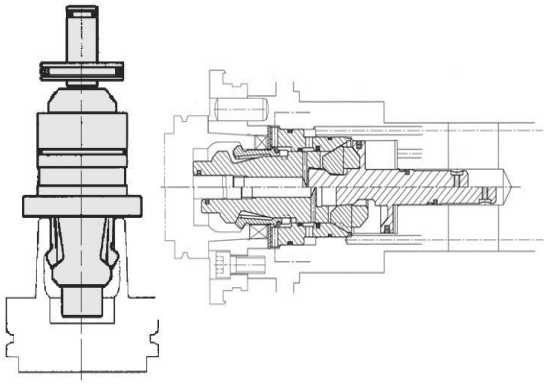


Slika 19. Motorvreteno[28]

U sustavu obradni stroj - držač alata - rezni alat, najslabija karika je veza glavno vreteno-rezni alat zbog relativno niske krutosti. Dva su osnovna standardizirana sustava za stezanje reznog alata. To su SK sustav i HSK sustav stezanja reznog alata. Kod SK sustava postoji zračnost između čela vretena i prirubnice držača reznog alata. Ovaj sustav je samo-centrirajući te stezni spoj između držača reznog alata i glavnog vretena omogućuje brzo i jednostavno stezanje i otpuštanje alata. HSK sustav stezanja reznog alata je najsuvremeniji i najčešće korišteni sustav

[27] < http://repozitorij.fsb.hr/2138/1/21_02_2013_Zavrsni_rad_-_Dario_Babic.pdf>, (22.9.2019.)
[28] < http://repozitorij.fsb.hr/2138/1/21_02_2013_Zavrsni_rad_-_Dario_Babic.pdf>, (22.9.2019.)

kod visokobrzinske obrade. Veza između reznog alata i glavnoga vretena ostvaruje se preko konusa pod kutom nagiba 1:10.



Slika 20. SK sustav stezanja reznog alata[29]

Slika 21. HSK sustav stezanja reznog alata[30]

HSTEC-Visokobrzinska motorvretena standardne i specijalne izvedbe prema zahtjevima kupaca:

- izvedbe sa sinkronim ili asinkronim namotajima
- Nazivnih snaga između 3,5 kW i 40 kW
- Broj okretaja do 40.000 min-1
- Keramički ili čelični ležajevi trajno podmazani mašću ili uz podmazivanje uljem u struji zraka
- Ručni ili automatski sustav stezanja alata (HSK, SK, specijalne izvedbe)
- Sustav hlađenja vodom ili zrakom
- Ugradbene dimenzije prema DIN i HR standardu ili prema zahtjevima kupaca
- Omogućeno upravljanje regulatorima svih vodećih svjetskih proizvođača

Slika 22. HSTEC-Visokobrzinsko motorvreteno[31]

[29] < http://repozitorij.fsb.hr/2138/1/21_02_2013_Zavrsni_rad_-_Dario_Babic.pdf>, (22.9.2019.)
[30] < http://repozitorij.fsb.hr/2138/1/21_02_2013_Zavrsni_rad_-_Dario_Babic.pdf>, (22.9.2019.)
[31] < https://www.hstec.hr/proizvodi/hsm>, (22.9.2019.)

3.2. Alati za obradu

Kada se spominju alati za obradu najčešće se misi na tokarske noževe, razne izvedbe glodala i svrdla, ali i alati za obradu odvajanjem čestica s geometrijski definiranom oštricom se u prvom redu dijele na jednodijelne alate, odnosno alate od brzoreznog čelika i na alate s izmjenjivim pločicama koje su izrađene od raznih materijala (CBN, keramika, kompozitni materijali, dijamant i sl.).

3.2.1. Tokarski noževi

Tokarski nož je obradni alat za tokarenja, ima definiranu oštricu s jednom glavnom reznom oštricom. Tokarenje je postupak obrade odvajanjem čestica za izradu simetričnih i nesimetričnih te okruglih i predmete raznih drugih oblika. Tokarenje se izvodi na tokarilicama, alatnim strojevima i tokarskim obradnim centrima, a glavno odnosno rezno gibanje je kružno i kontinuirano i izvodi ga komad koji se obrađuje. Posmično je gibanje kontinuirano i pravocrtno u ravnini okomitoj na pravac glavnog gibanja i izvodi ga alat. Glavna brzina rezanja se označava sa v_c, posmična sa v_f, dok je v_e rezultantna brzina rezanja. Glavna sila rezanja se označava sa F_c, posmična sa F_f te natražna sa F_p dok je F_r prostorna rezultanta. Izrađuju se od istih te sličnih materijala kao glodala te se dijele na nekoliko vrsta:

- Prema vrsti obrade (gruba, polu-gruba, fina obrada)
- Prema položaju tokarenja (vanjsko, unutarnje)
- Prema orijentaciji vrha alata (lijevi, desni)
- Za utore i odrezivanje
- Za izradu navoja.

Slika 23. Tokarski nož za metale veće čvrstoće[32]

Slika 24. Primjeri vanjskih, unutarnjih noževa te noževa za finu, grubu obradu[33]

3.2.2. Glodala

Kod obrade odvajanjem čestica na glodalici kao alat za obradu koriste se razne vrste glodala. Glodala se koriste za odstranjivanje viška materijala, izrađuju se zaobljenja i skošenja bridova ili kada se buše provrti. Glodala se također koriste za finu obradu, urezivanje navoja i

[32] Izradio autor
[33] < https://repository.ffri.uniri.hr/islandora/object/ffri%3A805/datastream/PDF/view>, (25.9.2019.)

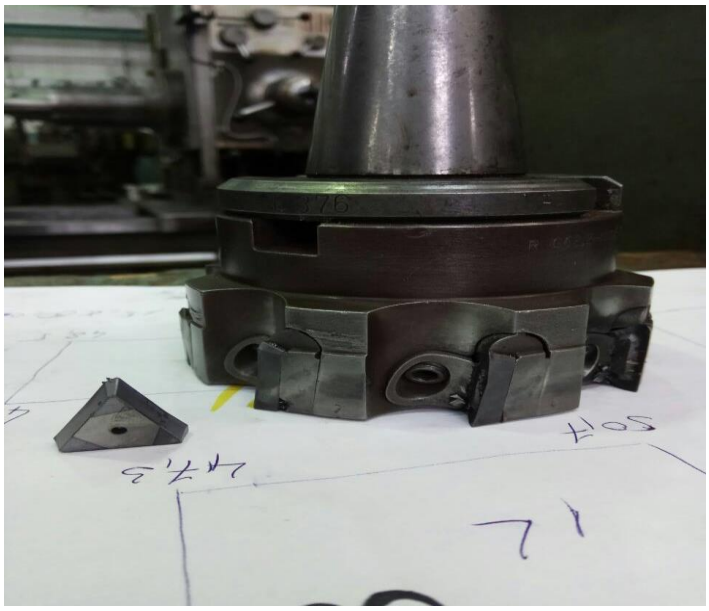
sl. Glodala su alati s definirane geometrije reznog dijela s više reznih oštrica koje su pozicionirane na zubima glodala i mogu biti smještene kako na obodnoj tako i na obodnoj i čeonoj plohi glodala.

Slika 25. TPC glodalo za čelik[34]

Slika 26. Glodalo za urezivanje navoja[35]

Jedno od glavnih karakteristika glodala je to da zubi ulaze i izlaze periodično u zahvat s materijalom koji se obrađuje, te je opterećenje dinamičko. Glavno (rezno) gibanje kružno kontinuirano i izvodi ga alat.

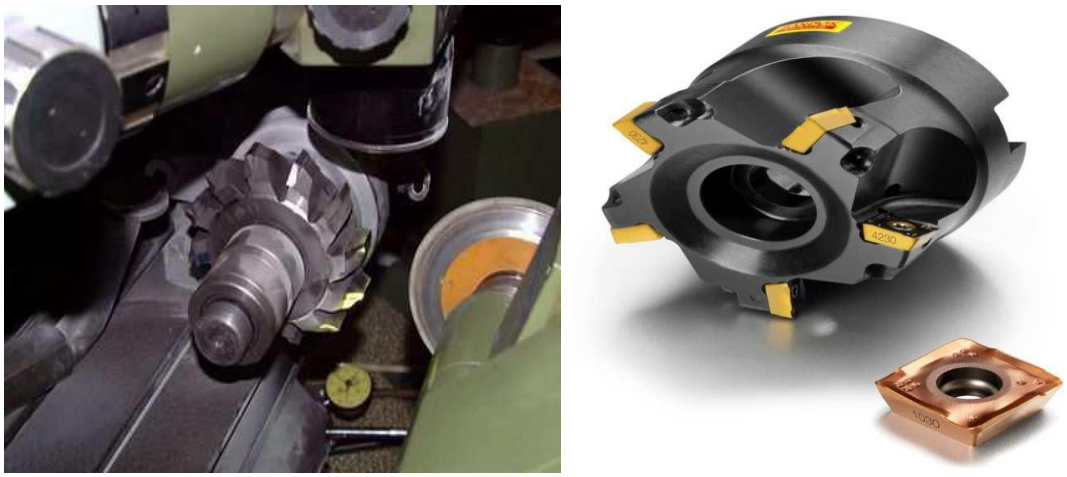
[34] Izradio autor
[35] Izradio autor



Slika 27. Glodalo s pločicama za obradu[36]

Posmično gibanje je kontinuirano, proizvoljnog oblika i smjera i najčešće ga izvodi komad koji se obrađuje. Os okretanja glavnog gibanja ne mijenja svoj položaj prema alatu bez obzira na smjer brzine posmičnog gibanja. Glodalo također može biti izvedeno kao tokarski nož, na dva načina:

- jednodijelno
- glodalo s izmjenjivim reznim pločicama



Slika 28. Jednodijelno glodalo i s glodalo s izmjenjivim reznim oštricama[37]

[36] Izradio autor
[37] < https://hrv.mentorbizlist.com/4164114-classification-of-cutters-types-description-applicatio> (25.9.2019.)

Glodala se proizvode od izdržljivih, čvrstih i tvrdih materijala kao što su brzorezni čelici, keramike, tvrdi metali te kubični nitridi bora (CBN). Unatoč tome glodalo ima svoj vijek trajanja te je podložno trošenju o kojemu operater mora voditi računa te obradu prilagođavati trošenju alata.

Slika 29. Oštećeno TPC glodalo[38]

3.2.3. Svrdla

Svrdla su alati za bušenje provrta i rupa i to je alata definirane geometrije reznog dijela. Svrdla se sastoje od dvije glavne rezne oštrice i jedne poprečne oštrice. Bušenje je postupak obrade odvajanjem čestica koji se upotrebljava za bušenje provrta manjih promjera ili proširivanje provrta na veće promjere. Izvodi se na alatnim strojevima uglavnom na bušilicama, pri čemu je glavno gibanje kružno kontinuirano, a posmično gibanje kontinuirano pravocrtno i potrebno ga je izvoditi istodobno kad i glavno gibanje da bi se zadržao kontinuitet obrade.

[38] < https://repository.ffri.uniri.hr/islandora/object/ffri%3A805/datastream/PDF/view>, (25.9.2019.)

Slika 30. Jednodijelno svrdlo i svrdlo s izmjenjivim reznim oštricama[39]

Ako se obrada izvodi na bušilicama sva gibanja izvodi alat. Neke od karakteristika obrade bušenjem su mala krutost sustava, promjenjiva brzina te promjenjivi kutovi rezanja duž glavne rezne oštrice, otežano odvođenje odvojene čestice i dovođenje sredstva za hlađenje, ispiranje i podmazivanje „SHIP“. Kao i tokarski nož i glodalo, svrdla također mogu biti jednodijelna ili s izmjenjivim reznim oštricama.

3.3.Mjerni instrumenti

Prilikom svakog postupka obrade visokobrzinskom obradom postoji mogućnost da se dogodi pogreška koja može biti rezultat lošeg modeliranja, unosa krivih dimenzija, istrošenosti alata kojeg koristimo (glodalo, tokarski nož, svrdlo) i sl. Iz tih razloga komad kojeg obrađujemo potrebno je više puta tijekom obrade kontrolirati mjernim instrumentima sve s ciljem kako bi bili sigurni da proizvod zadovoljava svim zahtjevima od strane naručitelja. Kao neki najosnovniji mjerni instrument, vezan za obradu odvajanja čestica, je pomično mjerilo, u malo naprednije mjerne instrumente spadaju razne izvedbe mikro-metarskih vijaka, zatim imamo

[39] < http://salotehnik.hr/proizvodi/busenje-i-duboko-busenje/>, (25.9.2019.)

mjerne pločice (etaloni) i na kraju kao najpouzdaniji mjerni instrument za provrte imamo još i mikrometar.

Pomična mjerila ručni mjerni instrument koji se može izraditi od metala, plastike, drveta itd. Ima fiksni i pomični krak te se njime mogu mjeriti promjeri (unutarnji, vanjski), provrti i sl. Na pomičnom kraku je ugravirana mjerna skala (tzv. „nonius“) koja omogućava točnost mjerenja 1/10 mm, 1/20 mm te 1/50 mm.

Slika 31. Pomično mjerilo[40]

Mikro-metarski vijak – mjerna sprava za mjerenje vrlo malih duljina. To omogućava precizno izrađeni vijak malenog hoda koji se vrti u cilindričnoj matici. Točnost mu iznosi 0,01 mm te prilikom mjerenja treba osigurati uvijek jednak i pravilan pritisak. Da bi se to osiguralo, na određenom pritisku zupčasti kotačić sa zaporom klikne te se onemogući daljnji pritisak.

[40] Izradio autor

Slika 32. Mikro-metarski vijak[41]

Mjerne pločice ili etaloni služe za precizno mjerenje i kontrolu mjernih instrumenata. Imaju veću preciznost od pomičnog mjerila i mikro-metarskog vijka. Rade se od čelika otpornog na: habanje, koroziju, vlagu i toplinu, koji je kaljen, brušen, lepan i poliran. Za specijalne svrhe se rade od tvrdog metala i kvarca. Osnovna namjena je za kontrolu ostalih. mjera. Paralelne mjerne površine daju željenu dužinu. Spajanje mjernih. pločica kombiniramo tako da dobijemo željene dužine (stavljamo jednu pločicu na drugu). Drže se zajedno uslijed ravnih površina. Da bi se zaštitili od vlage i topline, uzimaju se pincetom ili kožnim rukavicama.

Slika 33. Mjerne pločice „etaloni“[42]

[41] Izradio autor
[42] Izradio autor

Mikrometar za provrte funkcioniraju na principu mikro-metarskog vijka Koriste se za mjerenje rupa, provrta te imaju visoko točnost mjerenja. Mjerne površine se često izrađuju od kaljenog čelika s prevlakama titana kako bi se osigurala dugotrajnost. Okretanjem vijka, prema van se izvlače pločice za očitanje vrijednosti dok ne dotaknu predmet.

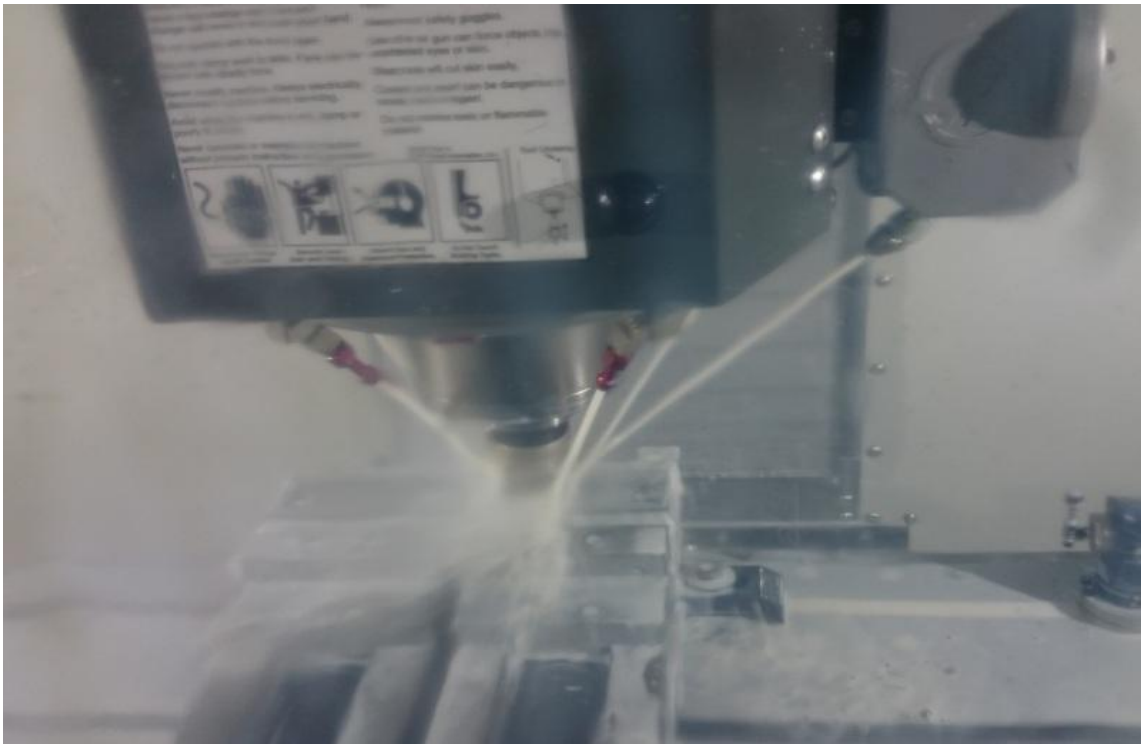
Slika 34. Mikrometar za provrte s kontrolnim prstenovima[43]

Slika 35. Pločice za očitavanje vrijednosti[44]

3.4. SHIP (Sredstvo za hlađenje, ispiranje i podmazivanje)

[43] Izradio autor
[44] <https://repository.ffri.uniri.hr/islandora/object/ffri%3A805/datastream/PDF/view>, (26.9.2019.)

Sredstva za hlađenje i podmazivanje uvedena su u industrijsku proizvodnju s ciljem da se poveća produktivnost, smanje troškovi, poboljša kvaliteta površine koje obrađujemo. Takva sredstva su prvenstveno uvedena zbog poboljšanja karakteristika procesa kod kojih je uvijek prisutan kontakt površinama koje se obrađuju i površina alata kojim se obrađuje. U zonama kontakta alata i materijala, zbog temperature koja se razvija odvajanjem čestica, stvaraju se idealni uvjeti za skraćivanje vijeka trajanja alata i može uvelike utjecati na dimenzije i integritet površine komada koji se obrađuje.



Slika 36. Primjena SHIP-a pri obradi odvajanjem čestica[45]

Sredstva za hlađenje i podmazivanje koriste se prije svega za minimiziranje negativnih utjecaja visokih temperatura koje se razvijaju u zoni rezanja i da se spriječi postizanje kritične temperature nakon koje alatu „prijeti“ povećan postotak povećanog trošenja obradnog alata. I minimalno smanjenje temperature u zoni odvajanja čestica može doprinijeti povećanju vijeka trajanja obradnog alata i same karakteristike materijala kojeg se obrađuje.

[45] http://www.abcmaziva.hr/castrol/tekucine-za-obradu-metala/sintetska-sredstva-za-hladjenje-i-podmazivanje/syntilo/castrol-syntilo-81-bf-81-e/, (26.9.2019.)

Korištenje SHIP-a pokazalo se jako korisno kad postoje jako velika adhezija između alata i odvojene čestice, te kada nije moguće kontrolirati toplinsku deformaciju komada kojeg obrađujemo i kod suhe obrade kada je trošenje obradnog alata preveliko.
Primjena sredstva za hlađenje i podmazivanje ima i svoje negativne utjecaje na okoliš i čovjeka, a kako su danas ekološki aspekti proizvodnje strogo regulirani potrebno je da svaka moderna proizvodna industrija posveti posebnu pažnju na društveno i ekološko prihvatljiva sredstva, pa se proizvođača okreću suhoj obradi ili nekom alternativnom sredstvu hlađenja pri visokobrzinskoj obradi.

3.4.1. Karakteristike i primjena SHIP-a

Dvije su glavne funkcije SHIP-a kao sredstva za obradu materijala, a one su:

- Hlađenje, umanjivanje utjecaja visokih temperatura koje se razvijaju u zoni rezanja
- Podmazivanje, smanjivanje trenja

Uz ove dvije glavne funkcije SHIP ima i niz sporednih funkcija koje su u nekim slučajevima imaju vrlo važnu ulogu. Neke od tih „sporednih“ funkcija su: čišćenje alata i obrađenog komada, odvođenje odvojene čestice, produljenje vijeka trajanja alata, zaštita alata od korozije, povećanje produktivnosti, kvalitetnija završna obrada, održavanje ujednačenih temperatura unutar komada kojeg obrađujemo i alata kao i cjelokupno stvaranje uvjeta za sigurno izvršavanje automatiziranih operacija prilikom obrade metala.[46]

Prilikom hlađenja za vrijeme strojne obrade najčešće se koriste četiri vrste SHIP-a, i to:

- ulja koja uključuju mineralna, biljna, životinjska, mješavine istih te sintetička ulja. Koriste se pri obradi nižim brzinama rezanja gdje porast temperature nije značajan, smanjujući adheziju i abraziju. Čista ulja koriste se kad je potreban visok stupanj podmazivanja dok se zbog pospješivanja odvođenja topline koriste ulja manje viskoznosti (ISO VG 15 do ISO VG 46).

- emulzije se sastoje od osnovnog ulja koje osigurava svojstva podmazivanja, vode, emulgatora koji održava ulje u finim kapljicama u vodi, te od ostalih aditiva. Emulzije imaju

[46] Kalpakjian S., Schmid S.R.: *Manufacturing Engineering and Technology,* Pearson Education, Prentice Hall, 2010., str. 591-614.

karakteristike odličnih toplinskih prijenosnika zbog velikog sadržaja vode te ih se najčešće koristi pri obradi visokim brzinama rezanja gdje postoji značajan porast temperature.

- polu-sintetici su kemijske emulzije koje sadrže malu količinu mineralnih ulja razrijeđen u vodi zajedno s određenim aditivima.

- sintetici kemikalije s aditivima, pomiješane u vodi bez prisustva bilo koje vrste ulja. U odnosu na gore navedene vrste, emulzije su najčešće korišteno sredstvo za hlađenje i podmazivanje. Udio korištenja različitih vrsta SHIP-a u SAD-u

Graf 3. Upotreba SHIP-a na području SAD-a[47]

Sredstva za hlađenje, podmazivanje i ispiranje se najčešće proizvode u obliku koncentrata, te se razrjeđuju prema potrebi obrade. Postoje različiti sastavi SHIP-a, a ovise o specifičnim željenoj i zahtjevima strojne obrade. Razlikujemo gore već navedena četiri osnovna sredstva, odnosno: čista ulja, emulzije te sintetske i polu-sintetske tekućine. Zbog kompleksnosti interakcija između SHIP-a, materijala kojeg se obrađuje, temperatura, vremena obrade te parametara rezanja, primjena određenog tipa tekućine za obradu metala za pojedine operacija ne može biti generalizirana. Različiti procesi obrade zahtijevaju i različita sredstva za hlađenje, kao recimo kod procesa s nedefiniranom reznom oštricom, primjerice kod brušenja se generira velika količina topline, što zahtjeva efikasno hlađenje. Dok kod recimo

[47] Izradio autor

obrade s definiranom reznom oštricom zahtjeva sasvim drukčije uvijete za efikasno hlađenje, podmazivanje i ispiranje. Kao glavna zadaća je hlađenje kontaktne zone, ali uz to vrlo je važno

smanjiti adheziju i abraziju pri malim brzinama rezanja tako da se omogućavajući adekvatno podmazivanje. U praksi ovisno o zahtjevima i željenoj strojnoj obradi najčešće se koriste čista ulje ili emulzije. Preporuke koje vrste SHIP-a koristiti pri određenim uvjetima i vrstama obrade najčešće se odnose na one od strane mnogobrojnih proizvođača SHIP-a. Kvalitetan izbor vrste SHIP-a za određenu obradu je od velike važnosti i adekvatno nanošenje sredstva na mjesto kontakta alata i materijala, odnosno zonu rezanja. Postoje četiri metode aplikacije SHIP-a u strojnoj obradi i to:

- prskanje predstavlja najčešće korištenu metodu aplikacije SHIP-a. Tipični protok za ovu metodu jest između 10 l/min za alate s jednom reznom oštricom (tokarenje) pa do 225 l/min za alate s više reznih oštrica (glodanje). Kod nekih postupaka obrade odvajanjem čestica kao što su bušenje i glodanje korištenje tlakova unutar sistema SHIP-a od 700 do 14 000 kPa, služi za efikasno odvođenje odvojenih čestica iz zone rezanja.

- maglica omogućava dovođenje SHIP-a do nepristupačnih područja na kojima se odvija obrada i bolju vidljivost materijala kojeg obrađujemo za vrijeme rezanja. Učinkovitost metode najveća je pri korištenju SHIP-a na bazi vode (emulzije, sintetici, polu-sintetici) uz tlak zraka u razmjeru od 70 do 600 kPa. Kao nedostatak metode može se izdvojiti manja efikasnost hlađenja u odnosu na metodu prskanjem, te potreba za adekvatnom ventilacijom unutar obradnog stroja zbog prevencije pretjerane izloženosti operatera pri udisanju čestica SHIP-a prisutnih u zraku.

- visokotlačni sustavi zbog visoke efikasnosti pri odvođenju topline iz zone rezanja posebno su korišteni pri visokobrzinskoj obradi odvajanjem čestica. Dovođenje SHIP-a ovom metodom često se odvija uz pomoć posebnih sapnica kroz koje struji SHIP pod tlakom od 5.5 do 35 MPa. Ovako visoki tlakovi unutar sistema omogućavaju dodatno svojstvo SHIP-a kao lomitelja odvojene čestice (sprječavanje stvaranja trakastog oblika odvojene čestice). Važno je pravilno i kontinuirano filtriranje SHIP-a kako bi se spriječilo prisustvo sitnih čestica metala unutar sredstva (veličina čestica ne smije prijeći 20 μm) koje bi moglo pri visokim tlakovima oštetiti samu površinu obrađenog komada.

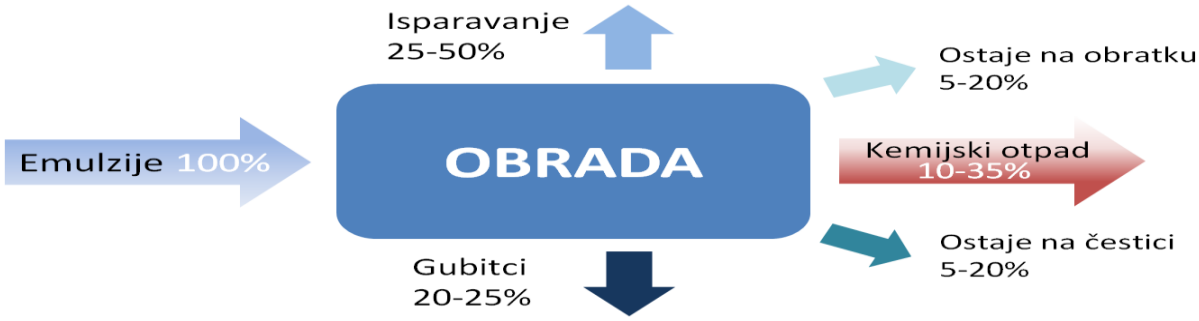
- provođenje kroz glavno vreteno/držak/alat omogućava dovod SHIP-a direktno u zonu rezanja što povećava efikasnost glavnih funkcija SHIP-a, pogotovo pri postupcima bušenja. Kao nedostatak metode mogu se izdvojiti veliki troškovi ulaganja pri nabavci samog sistema kao i

visoki troškovi nabave posebnih izvedba alata s mogućnosti provođenja SHIP-a kroz prihvatni i rezni dio istih.[48]

Slika 37. Primjena SHIP-a u proizvodnji[49]

3.4.2. Načini zbrinjavanja strugotina onečišćenih SHIP-om

Sredstva za hlađenje, podmazivanje i ispiranje se iz proizvodnog sistema gube na više načina, isparavanjem, količinama koje ostaju na komadu kojeg obrađujemo, komponentama alata ili samoj odvojenoj čestici kad se iznose iz sistema, kroz sisteme pod tlačnim pritiskom. Odvojene čestice (strugotina) koja ostaje nakon visokobrzinske obrade, a ako je u tom procesu korišteno sredstvo za hlađenje, podmazivanje i ispiranje potrebno je pravilno odstraniti s mjesta obrade, te ju je također potrebno pravilno skladištiti do trenutka kada se ne transportira na daljnju obradu.



Slika 38. Shema gubitaka SHIP-a u procesu obrade[50]

[48] Rakic R., Rakic Z.: Tribological aspects of the choice of metalworking fluid in cutting processes, Journal of Materials Processing Technology, 2002., str. 25-31.
[49] http://www.abcmaziva.hr/castrol/tekucine-za-obradu-metala/sintetska-sredstva-za-hladjenje-i-podmazivanje/syntilo/castrol-syntilo-81-bf-81-e/, (27.9.2019.)
[50] http://intranet.fesb.hr/Portals/0/docs/nastava/kvalifikacijski/Kvalifikacijski%20ispit_Luka%20Celent.pdf, (27.9.2019.)

Ispuštanje SHIP-a u obliku tekućina u kanalizacijski sustav ili otpadne vode nije prihvatljivu niti u ekološkom smislu niti je isplativo rješenje. Emulzija iz proizvodnje se uglavnom odvaja na vodenu i uljnu fazu. Ulje se u većini slučajeva spaljuje u cementnoj industriji ili u posebnim industrijskim spalionicama. Vodena faza, koja je još uvijek kontaminirana i sadrži ulje šalje se dalje u postrojenja za obradu kanalizacijskog otpada.

4. SUHA OBRADA MATERIJALA

Sve se veći broj industrija koje se bave obradom materijala okreću suhoj obradi kao alternativno rješenju za obradu materijala koja koristi sredstva za hlađenje, podmazivanje i ispiranje u obliku ulja, emulzija ili sintetika koja imaju štetan utjecaj na zdravlje, okoliš i negativne financijske utjecaje na poslovanje poduzeća, a ako to nije dovoljan razlog za prelazak na suhu obradu, onda bi strože zakonske regulative trebale odigrati ključnu ulogu u prelasku na suhu obradu u što većem broju. Prednosti suhe obrade su sljedeće:

- Kao što je već prije spomenuto, nema štetnog utjecaja na vodu, atmosferu pa samim time nema rizika za okoliš kao ni za čovjeka.
- SHIP kao sredstvo iziskuje određene troškove kako za nabavu tako i za samu primjenu pa sve do pravilnog zbrinjavanja ostataka koji nisu više za uporabu, ovi troškovi u slučaju suhe obrade ne postoje te se ta financijska sredstva mogu usmjeriti za druge potrebe.
- Troškovi namijenjeni za čišćenje i održavanje dijelova stroja onečišćenim sa SHIP-om, kao i utrošena energija također su nepostojeći u slučaju suhe obrade što je također velika prednost.
- Zbrinjavanje ostataka (strugotine) onečišćene SIP-om iz proizvodnje također predstavlja poveći financijski teret kojeg u slučaju suhe proizvodnje nema.[51]

Neki autori navode da se uvođenjem suhe obrade u zamjenu za konvencionalnu mokru obradu može uštediti i do 17% od ukupnih troškova za obradu određenog komada, sve iz razloga jer se izuzelo iz proizvodnje korištenje SHIP-a te su se samim time i troškovi potrebna za čišćenje, odlaganje i održavanje umanjili ili ih nema.[52]

[51] Dudzinski D., Devillez A., Moufki A., Larrouquere D.: A review of developments towarde dry and high speed machining of Inconel 718 alloy, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 2004., str. 439-456.
[52] Lahres M., Doerfel O., Neumulerrr R.: Applicability of different hard coatings in dry machining an austenitic stele, Surface and Coatings Technology, 1999., str. 687-691.

Neki od ograničavajućih faktora koje bi trebalo riješiti u što kraćem roku, a vezani su za suhu obradu materijala su prvenstveno zahtjevi za visokom dimenzijskom točnošću što je kod suhe obrade oduvijek bilo teže za postići. U slučaju velike adhezije između alata i komada kojeg obrađujemo trošenje alata je preveliko te u nekim slučajevima nije moguće iskontrolirati toplinsku deformaciju samog komada. A da bi se to spriječilo potrebna su istraživanja na polju materijala od kojih se izrađuju alati za visokobrzinsku obradu. Korak u pravom smjeru je već napravljen s naprednim materijalima i presvlakama za obradu legura od aluminija i čelika te su se prvi rezultati pokazali pozitivni. U proizvodnji alata za suhu obradu potrebno je uzeti u obzir nekoliko uvjeta koje taj alat mora ispunjavati, prvi je potreba da se specifično dizajnira kako i omogućio što manju vrijednost trenja u zoni dodira alata i komada kojeg obrađujemo, a drugi vrlo važan uvjet je taj potreba za velikom toplinskom otpornošću. Sam proces suhe obrade mora biti dizajniran tako da reducira toplinu koja se zadržava na komadu kojeg obrađujemo. To se postiže minimiziranjem sila rezanja i utjecajem na distribuciju topline povećanjem brzina rezanja. Iako je prelazak na suhu obradu poželjan u svim poljima visokobrzinske obrade, važno je shvatiti da eliminiranje uporabe sredstva za hlađenje, podmazivanje i ispiranje ostajemo bez svih pozitivnih funkcija takvog sredstva, a to su u prvom redu smanjenje trenja, odvođenje topline iz zone rezanje i uklanjanje odvojene čestice. U izostanku SHIP-a u visokobrzinskoj obradi i prelazak na suhu obradu, najkritičnije je bušenje, osobito duboko bušenje. Taj problem se nastoji riješiti tako da se navede koje se funkcije gube u nedostatku SHIP-a u visokobrzinskoj obradi, kako nadomjestiti funkciju hlađenja, izrada alata od novih materijala i izmjenom geometrije, te korištenje presvučenih alata.

Tablica 3. Podatnost različitih materijala za određene postupke suhe strojne obrade[53]

VRSTA OBRADE	Lijevano željezo	Neželjezne slitine	Konstrukcijski čelik	Toplinski obrađen čelik	Aluminijske legure
Glodanje	●	●	●	●	●
Tokarenje	●	●	●	●	●
Bušenje	●	●	◊	◊	◊
Narezivanje navoja	●	●	◊	◊	◊
Upuštanje	◊	●	◊	◊	◊
Duboko bušenje	◊	○	◊	◊	◊
● Trenutno izvedivo		◊ Trenutno u razvoju		○ Trenutno neizvedivo	

[53] Izradio autor

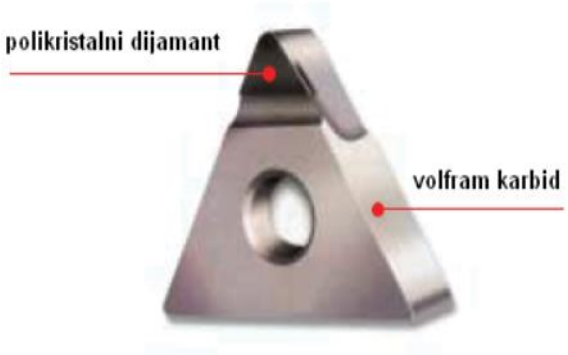
Razvoj proizvodnje u smislu prelaska na suhu obradu moraju pratiti adaptirani rezni alati. Idealan materijal za izradu alata ujedinjavao bi visoku tvrdoću s visokom čvrstoćom i kemijskom stabilnošću pri visokim temperaturama. S obzirom na to da tvrdoća i čvrstoća. Podatnost različitih materijala za određene postupke suhe strojne obrade predstavljaju suprotne karakteristike, ne postoji niti jedan postojeći materijal koji ispunja sva tri zahtjeva. Pri odabiru materijala za obradu rezanjem, mehaničke karakteristike materijala i njihovo ponašanje bi trebalo sagledati kao funkciju temperature. Dobra otpornost na termalni šok je važna karakteristika prikladnog materijala.

Materijali za izradu alata:

- Karbidi: cementirani karbidi su danas najčešće korišteni materijali u izradi alata za obradu odvajanjem čestica. Karbidi su dobiveni praškastim metalurškim metodama korištenjem primarnih karbida i tvrdih metala iz skupine željeza kao veziva. Jedan od najčešće upotrebljavanih materijala je WC *(eng. tungsten carbide)* koji se dobiva sinteriranjem (na visokim temperaturama) kombinacije praškastog WC i praškastog Co (kobalt). Dva parametra, uglavnom omjer Co naprema WC i veličina WC čestice, kontroliraju odnosno imaju odlučujući utjecaj na karakteristike materijala. Tako sastav u kojem su WC čestice velike i gdje je visok postotak Co garantiraju visoku otpornost na termalni šok i visoku žilavost. Novija dostignuća idu za tim da povećaju tvrdoću materijala koristeći sub-mikronske i ultra fine zrnate legure s WC veličinom čestice od 0,5-0,8 μm i 0,2-0,5 μm i sadržajem Co od 6-16% [39].
- Cermeti; rastuća važnost suhe obrade daje novi impuls razvoju cermet-a. Oni u principu imaju sličnu strukturu kao i karbidi. Čestice tvrdog materijala se nalaze u matrici Co i Ni. Komponente tvrdih materijala nisu od W i C, već od karbon-nitrida titana (Ti) s različitim omjerima tantala (Ta), volframa (W) i ponekad molibdena (Mo). Čvrstoća nitrogen cermeti-a se može mjeriti s konvencionalnim karbidima, dok je optimalan materijal reznog alata za suhu obradu odvajanjem čestica otpornost na oksidaciju mnogo veća [40]. Prednosti ovih materijala su visoka tvrdoća pri visokim temperaturama i kemijska stabilnost što utječe na visoku otpornost na trošenje i dobru kvalitetu površine komada kojeg obrađujemo. Ipak ovi materijali su manje čvrsti od WC-karbida i njihova limitiranost u pogledu veličine posmaka je evidentna.
- Keramike; koriste se dvije vrste keramičkih kompozicija, koje se mogu podijeliti ovisno o korištenoj matrici. Aluminijev oksid, koji se pri visokim temperaturama zadržava u svojoj najstabilnijoj kristalnoj, heksagonalnoj rešetci, iz čega proizlaze različite poželjne karakteristike materijala. S druge strane je Silicijev nitrid, koji ima dobru oksidacijsku otpornost i zahvaljujući niskom koeficijentu termalne ekspanzije, dobru otpornost na termalni šok za razliku od drugih keramičkih materijala. Inovacija na ovom području su SiC keramike, koje u

kombinaciji s keramičkim kompozitima povećavaju čvrstoću, toplinsku vodljivost i otpornost na toplinski šok.

- Borov nitridi; Postoje različite kristalne strukture ovih materijala. Grafitu slični, heksagonski borov nitrid je poznat po svojim svojstvima mekoće i svojstva podmazivanja u suprotnosti s kubičnim strukturama (CBN) koje su tvrde te se koriste za rezne alate. CBN ima istu strukturu kao i dijamant te se njegove karakteristike ogledaju u karakteristikama dijamanta. CBN se po tvrdoći može svrstati odmah iza dijamanta koji predstavlja najtvrđi materijal. CBN je sintetički materijal napravljen od kubičnog bor nitrida i specijalnog keramičkog veziva. On pokazuje visoku tvrdoću i kemijsku stabilnost na visokim temperaturama i do 1400 ºC [13].
- Dijamant; prirodni dijamant se sastoji od karbona. Mono-kristalni dijamant je najtvrđi materijal. Upravo zbog veće čvrstoće, polikristal dijamant ima prednost za izradu reznih alata u odnosu na mono-kristalni. Dijamant omogućava impresivnu kombinaciju kemijskih, fizikalnih i mehaničkih svojstava, niski koeficijent trenja i toplinske ekspanzije, visoku otpornost na koroziju. Ipak i dijamant ima svoje nedostatke, zbog velikog kemijskog afiniteta karbona i željeza, pri obradi željeznih materijala dijamantom dolazi do visoke stope trošenja alata.

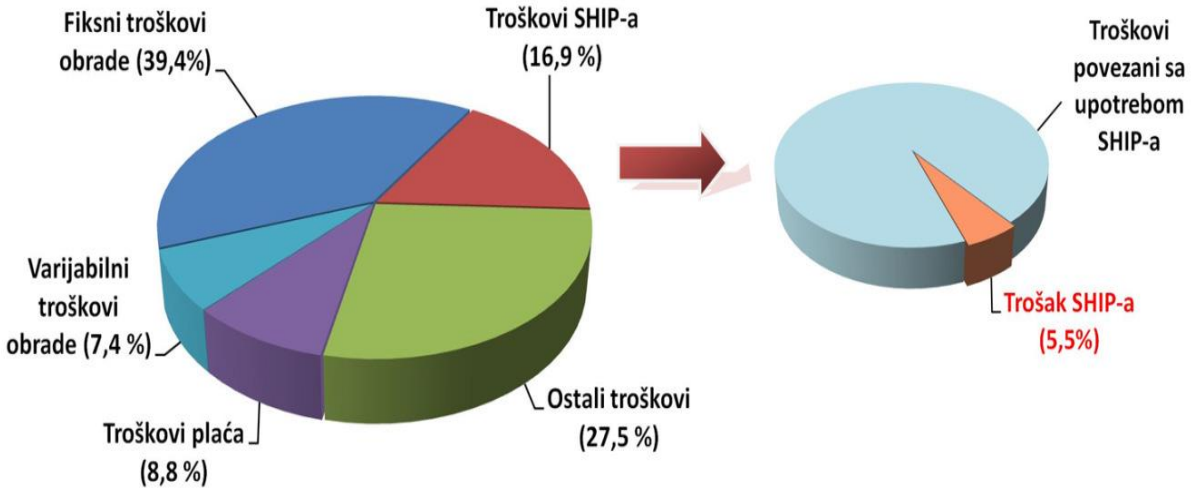


Slika 39. Rezna pločica iz PCD-a[54]

[54] < http://salotehnik.hr/proizvodi/glodanje/>, (28.9.2019.)

5. KOMPARACIJA SHIPA-A I SUHE OBRADE MATERIJALA

U ovom poglavlju analiziran je odnos suhe obrade i obrade koja koristi SHIP, ali ako se pročitaju neki osnovni podaci o štetnim utjecajima SHIP-a svima će biti jasno što prelazak na suhu obradu znači proizvodnju i društvo u cjelini. Činjenica je da svakodnevni kontakt radnika sa SHIP-om predstavlja veliki rizik za narušavanje zdravlje radnika i obolijevanja od različitih bolesti, u prvom planu su bolesti kože koje su povezane s direktnim rukovanjem onečišćenim supstancama, pa sve do kancerogenim svojstvima SHIP-a. Za SHIP kao sredstvo često se vežu termini kao što su: eksplozivno, izrazito zapaljivo, oksidirajuće, vrlo i lako zapaljivo, toksično, korozivno, iritativno i kancerogeno. Nacionalni institut za zdravlje i zaštitu na radu (NIOSH) daje procjenu da na godišnjoj bazi oko 1,2 milijuna radnika usko povezanih za obradom materijala u kojoj se koristi SHIP su izloženi negativnim utjecajima tih sredstva. Uz negativne utjecaje na zdravlje tu su i veliki troškovi vezani za nabavu, odlaganje i pravilno zbrinjavanje korištenog SHIP-a.



Graf 4. Raspodjela troškova strojne obrade[55]

Na slici iznad može se jasno vidjeti da su troškovi SHIP-a oko 17% od ukupnog troška proizvodnje, dok se troškovi vezani za nabavu i korištenje alata 2-4% što je puno manje i isplativije, iako bi se ti troškovi povećali prestankom uporabe SHIP-a svejedno ne bi došli ni

[55] < http://intranet.fesb.hr/Portals/0/docs/nastava/kvalifikacijski/Kvalifikacijski%20ispit_Luka%20Celent.pdf>, (28.9.2019.)

blizu troškovima SHIP-a koji su sada na snazi. Korištenje SHIP-a predstavlja najbolje rješenje gledajući tehničku stranu i dovodi do znatnog napretka u proizvodnji, ali s ekološkog aspekta otvara se pitanje do kada je napredak, a kada postaje situacija u kojoj je pronađeni lijek smrtonosniji od same bolesti. Ovo otvara izazov znanstvenicima u potrazi za boljim rješenjem koje će biti tehnički i ekonomski konkurentno, a neće biti prijetnja budućnosti.

Uzevši sve do sada napisano vrlo je jednostavno za zaključiti da je prelazak na suhu obradu jedno od najlogičnijih rješenja uporabi SHIP-a iako u nekim aspektima su potrebna dodatna istraživanja i razvoj na polju materijala za izradu alata za obradu. Ali promijene su nužne jer ako zdravstveni i ekološki aspekt nisu „dovoljni“ uvijek nam ostaje financijski aspekt koji, svakom tko se bavi proizvodnjom i svakodnevno se bori s konkurencijom, prvi upadne u fokus.

6. EKSPERIMENTALNI DIO RADA

Eksperimentalni dio rada opisuje izradu prirubnice za pojačanje sa slijepim rupama za vijke od rezanja materijala (čelik oznake Č.0451) na plazmi do gotovog proizvoda spremnog za transport do naručitelja. Proizvodni proces koji je praćen i dokumentiran nalazi se u sklopu tvrtke „Tubus d.o.o.“ koja se bavi proizvodnjom cjevarske i bravarske opreme. Kada se radi o većem broju naručenih prirubnica od strane naručitelja, osnovni oblik izrezan iz materijala odrađuje vanjski suradnik radi uštede prvenstveno vremena, ali i zbog stroja (CNC plazma rezač) kojeg trenutačno imaju u pogonu. U ovom slučaju broj naručenih komada nije velik pa se rezanje na plazmi odrađuje na stroju kojeg imaju u pogonu „Micro Step: Combi Cut 12001“.

Tablica 4. Prikaza specifikacije CNC plazma rezača „Micro Step: Combi Cut 12001“[56]

TEHNIČKI PODACI	COMBI CUT 12001
Radna duljina	1500 – 50000 mm
Radna širina	1500 – 8000 mm
Maksimalan broj stanica alata	6 (8 oksigorivo)
Maksimalna debljina materijala rezanog plazmom	prema izvoru plazme
Maksimalna debljina materijala izrezanog oksigorivom	300 mm
Koso rezanje (pod kutom)	da (vidi pribor)
Rezanje cijevi	Ø 30 - 1500 mm, max 12 t
Bušenje i tapkanje	Ø 4 - 40 mm, M4 - M33, automatska izmjena alata
Brzina pozicioniranja	max 50 m/min
Dvosmjerna ponovljivost	0.05 mm/m

[56] Izradio autor

Tijek proizvodnje prirubnice opisan u kratkim crtama opisan je na slijedeći način:

Tehnologija izrade prirubnice:

Nakon narudžbe za izradu

1. Provjeriti traženu kvalitetu materijala
2. Provjeriti standarde za izradu i naputke kupca za posebnim zahtjevima

Praktičan primjer:

Prirubnica SB 5935 DN 50, prema nacrtu sama prirubnica izrađuje se po nacrtu SB 3032, kvaliteta materijala zadana je S275JR. Eventualni naputci kupca mogu se odnositi na antikorozivnu zaštitu, drugačiju debljinu ili kvalitetu materijala, moraju biti dani u pisanom obliku.

3. Odabir tehnologije izrade:

   a. rezanje plazmom tijela prirubnice
   b. grubo čišćenje odreska
   c. tokarenje vanjske i unutarnje površine, lica i urezivanje brtvenih utora
   d. bušenje rupa za vijke prema priključnim mjerama
   e. urezivanje navoja za usadne vijke
   f. konačno sklapanje prirubnice SB 3032 u sklop prirubnicu SB 5935

   a. Rezanje plazmom:

Prema nacrtu izraditi vektorski model traženog odreska.

Pošto se radi o jedno planarnom načinu rada stroja, dovoljno je koristiti bilo koji program za crtanje koji kao izlaz daje vektorski prikaz traženog izratka u .dxf formatu (u daljnjem tekstu samo dxf), i koji ga sve poznatiji programi mogu generirati. Prilikom crtanja, potrebno je na osnovu iskustva i tehnoloških ograničenja predvidjeti na mjeru odreska u veličini dovoljnoj da bi se kasnijom strojnom obradom postigla mjera u zadanim tolerancijama.

Praktičan primjer :

SB 3032 DN 50 Debljina 30, vanjski promjer 125 mm unutarnji 77,5 mm rezati od lima debljine mm 32 mm s vanjskim promjerom 130 mm i unutarnjim 72 mm. Iz dxf potrebno je generirati g – kod. Nekad se radio ručno i za prirubnicu je prilično lako raditi i danas, ali na sreću, postoje programi koji na osnovu dxf, automatski izrade g-kod. Takvi programi ne samo da generiraju g-kod kao skup naredbi za upravljanje radom stroja, nego omogućavaju i automatizirano optimiziranje potrebnog utroška primarnog materijala.

Slika 40. CNC plazma rezač „Micro Step: Combi Cut 12001 "[57]

Primjer:

Kada je potrebno izraditi 200 komada prirubnica različitih dimenzija na istoj debljini lima, jednostavnim zadavanjem naredbe, program će sam prema ugrađenim algoritmima, poredati te komade na lim na naj optimalniji način tako da ostane najmanje škarta. Program isto tako omogućava i zadavanje postavki kao što je veličina ulaza i izlaza alata na odrezak, odnos kvalitete i brzine reza, izračunavanje težine škarta i broja komada po sekciji i slično. Sav taj proces se naziva „nesting". Nakon postupka nestinga, program generira izlaz u CNC obliku. Takav format spreman je za direktno učitavanje na stroj prijenosom bilo preko memorijskog stick-a ili intranetom. Kada se format očita određuju se dvije polazišne točke na limu i započinje rezanje lima. Na primjeru lima od 32 mm struja se podešava na 280 ampera i rezanje traje cca. 2 min. Proizvod kojeg dobijemo nakon rezanja na plazmi prikazan je na slici br.41 i spreman je za grubo čišćenje i slanje da stanicu za obradu tokarenjem.

Slika 41. Tijelo prirubnice izrezano na stroju CNC plazma rezač[58]

[57] Izradio autor
[58] Izradio autor

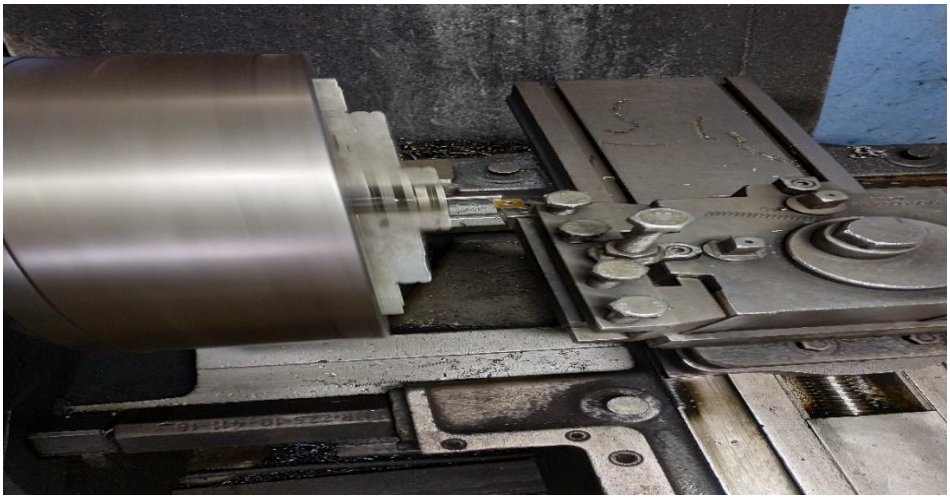
c. Tokarenje:

Nakon što je prirubnica odrezana na plazmi odlazi na tokarenje da bi se obradila na točne dimenzije. U ovom slučaju tokarenje se obavlja na stroju „Prvomajska TvP 250. Proces tokarenja prirubnice se sastoji od tri koraka, koji su opisani u nastavku:

- Tokarenje vanjske površine – 400 okretaja u minuti, posmak 0,45 mm/okretaj, dubina rezanja 5 mm
- Tokarenje unutarnje površine – 550 okretaja u minuti, posmak 0,45 mm/okretaj, dubina rezanja 5 mm
- Tokarenje lica i urezivanje brtvenih utora – 550 okretaja u minuti, posmak 0,45/okretaj, dubina rezanja 1 mm

Nakon obrade tokarenjem na točne dimenzije prirubnica je spremna za bušenje i urezivanje navoja.

Slika 42. Tokarski nož[59]



Slika 43.Proces tokarenja[60]

[59] Izradio autor
[60] Izradio autor

d. Bušenje:

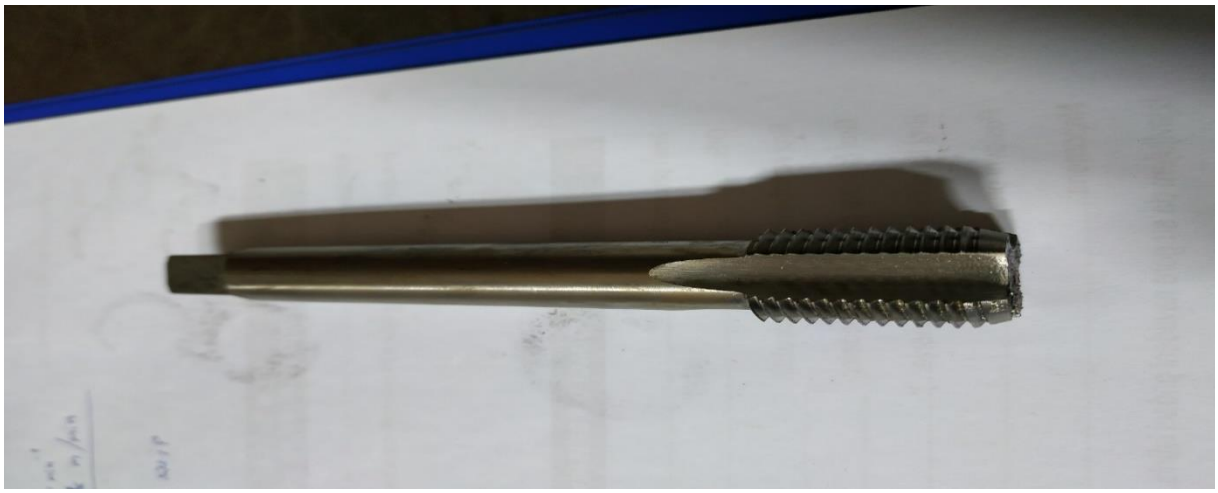
Bušenje rupa kao priprema za urezivanje navoja odrađuje se na stroju „Dalmastroj SB 4“, koji je stariji, ali dobar stroj za radnike početnike koji se tek školuju za rukovatelje strojevima za obradu materijala. Za navedenu prirubnicu buše se 4 rupe za vijak M 16. Koristi se punta veličine 14, a brzina bušenja je 650 okretaja u minuti, posmak 0,15 mm/okretaj.

Slika 44. Stupna bušilica „Dalmastroj SB 4“[61]

e. Urezivanje navoja:

Zadnji korak u procesu izrade prirubnice je urezivanje navoja u prethodno izbušene rupe. Za tu prigodu koristi se glava za urezivanje navoja M16, brzina urezivanja je 80 okretaja u minuti, a stroj koji se koristi za bušenje i urezivanje navoja je Dalmastroj SB 4 . Na slici br. 45 prikazana glava za urezivanje navoja koja se koristila u procesu urezivanja.

[61] Izradio autor



Slika 45. Glava za urezivanje navoja M16[62]

Kako su vijci i matice naručeni i dostavljeni od strane vanjskog dobavljača ovim zadnjim korakom završava proces izrade prirubnice za pojačanje sa slijepim rupama za vijke „SB 5935“ te je ista spremna za pravilno skladištenje dok se ne transportira do naručitelja. U nastavku je slika krajnjeg proizvoda sa pripadajućim vijkom i maticom.

Slika 46. Vijak i matica M 16[63]

Slika 47. Prirubnica za pojačanje sa slijepim rupama[64]

[62] Izradio autor
[63] Izradio autor
[64] Izradio autor

7. ZAKLJUČAK

Uvođenjem visokobrzinske obrade u suvremenu proizvodnju uvelike je skratio vrijeme obrade, kao i što su se značajno smanjili troškovi obrade komada kojeg se obrađuje te je samim time cjenovno konkurentniji na tržištu.

Eksperimentalnim djelom ovog rada dokumentirana je izrada prirubnice za pojačanje sa slijepim rupama za vijke. U radu je opisan postupa izrade prirubnice od rezanja osnovnog oblika prirubnice od čelika oznake Č.0451 na plazmi, zatim tokarenja iste na mjere definirane u nacrtu, dubokog bušenja slijepih rupa i urezivanja navoja kako bi odgovarao vijcima navedenim u nacrtu. Cijeli eksperimentalni dio rada prikazan je slikama, nacrtima i prilozima iz realne proizvodnje koja se odvijala u firmi „Tubus d.o.o.“ koja se bavi proizvodnjom cjevarske i bravarske opreme.

Na početku ovog rada postavljena je hipoteza, a u ovom zaključku može se sa sigurnošću potvrditi da je potreban prelazak s obrade koja koristi SHIP na suhu obradu ili obradu s alternativnim hlađenjem i to u što kraćem mogućem roku. Hipoteza je potvrđena i ona se može poduprijeti brojnim podacima i istraživanjima koji dokazuju da je sredstvo za hlađenje, ispiranje i podmazivanje izravno utjecalo na brojne oboljele koji su bili u izravnom doticaju s takvim sredstvom. Uz podatke o utjecaju na zdravlje radnika, na koje su se potrošila velika financijska sredstva, tu su i podaci i regulative koje u posljednje vrijeme rigorozno kontroliraju odlaganje i saniranje strugotine onečišćene SHIP-om kao i ostatke SHIP-a za što je potrebno izdvojiti značajna financijska sredstva. Uzevši u obzir ova dva navedena razloga i pridodavši njima kao razlog financijska sredstva koja su potrebna za početnu nabavu SHIP-a jasno je da, i uz dodatne troškove koje nosi prelazak na suhu obradu zbog povećanog trošenja alata, svejedno je financijski isplativije, ekološki prihvatljivije i sigurnije za zdravlje radnika prelazak na suhu obradu materijala. Jedini nedostatak ovom „planu“ je taj da ima još puno prostora za napredak suhe obrade, pogotovo na polju izbora materijala za izradu alata za obradu, jer izuzevši sredstvo za hlađenje, ispiranje i podmazivanje alati za obradu materijala od kojeg se danas izrađuju i zbog režima rada ispostavlja se da se puno češće i brže troše. Na kraju ovog završnog rada potrebno je naglasiti da visokobrzinska obrada ima jako veliki potencijal u budućnosti obrade materijala prvenstveno jer postoji veliki prostor za daljnje istraživanje i napredak, a kvaliteta obrade može se samo povećati, brzina rezanja i financijska ulaganje za proizvodnju mogu se samo smanjivati.

LITERATURA

Knjige

1. Bajić, D. Obrada visokim brzinama. Sveučilište u Splitu, Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, 2017., str. 2-4.
2. Dr. Sabahudin Ekinović: Postupci obrade rezanjem, Zenica, 2003. ; Izdavač : Mašinski fakultet u Zenici
3. König, W., Klocke F. : Fertigungsverfahren 1, Band 8, VDI Verlag, Aachen, 2008.
4. Kalpakjian S., Schmid S.R.: Manufacturing Engineering and Technology, Pearson Education, Prentice Hall, 2010., str. 591-614.
5. Rakic R., Rakic Z.: Tribological aspects of the choice of metalworking fluid in cutting processes, Journal of Materials Processing Technology, 2002., str. 25-31.
6. Dudzinski D., Devillez A., Moufki A., Larrouquere D.: A review of developments towarde dry and high speed machining of Inconel 718 alloy, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 2004., str. 439-456.
7. Lahres M., Doerfel O., Neumulerrr R.: Applicability of different hard coatings in dry machining an austenitic stele, Surface and Coatings Technology, 1999., str. 687-691.

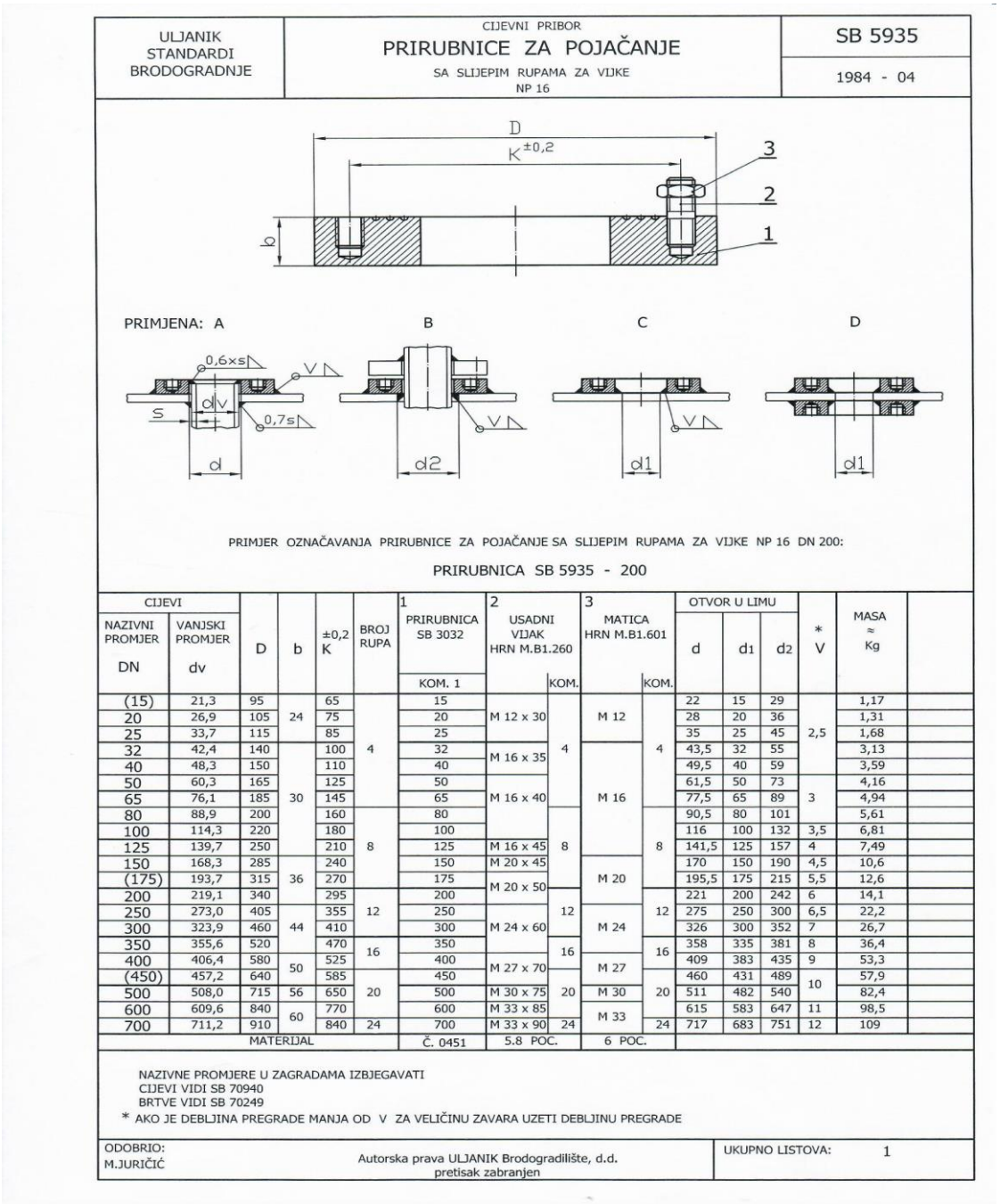
Internet izvori

1. https://repository.ffri.uniri.hr/islandora/object/ffri%3A805/datastream/PDF/view
2. https://repozitorij.sfsb.hr/en/islandora/object/sfsb%3A72
3. http://repozitorij.fsb.hr/2138/1/21_02_2013_Zavrsni_rad_-_Dario_Babic.pdf
4. https://www.iscar.com/newarticles.aspx/countryid/1/newarticleid/2882
5. https://hr.wikipedia.org/wiki/CNC_glodalica
6. https://www.fsb.unizg.hr/kas/ODIOO/ODIOO%202017/5,%206%20i%207._predavanje_ODIOO.pdf
7. http://automatizacija1.etf.rs/poglavlja/Rezanje%201.htm
8. http://repozitorij.fsb.hr/1441/1/11_07_2011_Zavrsni_rad-MOTORVRETENO-NOVO-CD.pdf
9. https://www.hstec.hr/proizvodi/hsm
10. https://hrv.mentorbizlist.com/4164114-classification-of-cutters-types-description-applicatio
11. http://salotehnik.hr/proizvodi/busenje-i-duboko-busenje/

12. http://www.abcmaziva.hr/castrol/tekucine-za-obradu-metala/sintetska-sredstva-za-hladjenje-i-podmazivanje/syntilo/castrol-syntilo-81-bf-81-e/
13. http://intranet.fesb.hr/Portals/0/docs/nastava/kvalifikacijski/Kvalifikacijski%20ispit_Luka%20Celent.pdf
14. http://salotehnik.hr/proizvodi/glodanje/

PRILOZI

Prilog 1. Nacrt „Prirubnica za pojačanje sa slijepim rupama za vijke SB5935“



ULJANIK STANDARDI BRODOGRADNJE	CIJEVNI PRIBOR PRIRUBNICE ZA POJAČANJE SA SLIJEPIM RUPAMA ZA VIJKE NP 16	SB 5935 1984 - 04

PRIMJER OZNAČAVANJA PRIRUBNICE ZA POJAČANJE SA SLIJEPIM RUPAMA ZA VIJKE NP 16 DN 200:

PRIRUBNICA SB 5935 - 200

CIJEVI NAZIVNI PROMJER DN	CIJEVI VANJSKI PROMJER dv	D	b	±0,2 K	BROJ RUPA	1 PRIRUBNICA SB 3032 KOM. 1	2 USADNI VIJAK HRN M.B1.260	KOM.	3 MATICA HRN M.B1.601	KOM.	OTVOR U LIMU d	d1	d2	* V	MASA ≈ Kg
(15)	21,3	95		65		15					22	15	29		1,17
20	26,9	105	24	75		20	M 12 x 30		M 12		28	20	36		1,31
25	33,7	115		85		25					35	25	45	2,5	1,68
32	42,4	140		100	4	32	M 16 x 35	4		4	43,5	32	55		3,13
40	48,3	150		110		40			M 16		49,5	40	59		3,59
50	60,3	165		125		50					61,5	50	73		4,16
65	76,1	185	30	145		65	M 16 x 40				77,5	65	89	3	4,94
80	88,9	200		160		80					90,5	80	101		5,61
100	114,3	220		180		100					116	100	132	3,5	6,81
125	139,7	250		210	8	125	M 16 x 45	8		8	141,5	125	157	4	7,49
150	168,3	285		240		150	M 20 x 45				170	150	190	4,5	10,6
(175)	193,7	315	36	270		175	M 20 x 50		M 20		195,5	175	215	5,5	12,6
200	219,1	340		295		200					221	200	242	6	14,1
250	273,0	405		355	12	250		12		12	275	250	300	6,5	22,2
300	323,9	460	44	410		300	M 24 x 60		M 24		326	300	352	7	26,7
350	355,6	520		470	16	350		16		16	358	335	381	8	36,4
400	406,4	580	50	525		400	M 27 x 70		M 27		409	383	435	9	53,3
(450)	457,2	640		585		450					460	431	489	10	57,9
500	508,0	715	56	650	20	500	M 30 x 75	20	M 30	20	511	482	540		82,4
600	609,6	840	60	770		600	M 33 x 85		M 33		615	583	647	11	98,5
700	711,2	910		840	24	700	M 33 x 90	24		24	717	683	751	12	109
MATERIJAL						Č. 0451	5.8 POC.		6 POC.						

NAZIVNE PROMJERE U ZAGRADAMA IZBJEGAVATI
CIJEVI VIDI SB 70940
BRTVE VIDI SB 70249
* AKO JE DEBLJINA PREGRADE MANJA OD V ZA VELIČINU ZAVARA UZETI DEBLJINU PREGRADE

ODOBRIO: M.JURIČIĆ	Autorska prava ULJANIK Brodogradilište, d.d. pretisak zabranjen	UKUPNO LISTOVA: 1