# Karakteristike obrade s odvajanjem čestica - glodanje

**Kovčalija, Josip**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2018**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Rijeka, Faculty of Humanities and Social Sciences / Sveučilište u Rijeci, Filozofski fakultet u Rijeci**

*Permanent link / Trajna poveznica:* https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:231:514890

*Rights / Prava:* In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-03-29**

*Repository / Repozitorij:*

Repository of the University of Rijeka University Studies, Centers and Services - RICENT Repository

zir.nsk.hr

UNIRI DIGITALNA KNJIŽNICA

Image not found or type unknown

SVEUČILIŠTE U RIJECI
STUDIJ POLITEHNIKE

# ZAVRŠNI RAD

**Josip Kovčalija**

Rijeka, 2018.

SVEUČILIŠTE U RIJECI
STUDIJ POLITEHNIKE

# KARAKTERISTIKE OBRADE S ODVAJANJEM ČESTICA - GLODANJE

Mentor: Student:

Prof. dr. sc. Marko Dunđer Josip Kovčalija

Rijeka, 2018.

# IZJAVA

Izjavljujem da sam završni rad „Karakteristike obrade s odvajanjem čestica - glodanje“ izradio samostalno primjenom vlastitog znanja i navedenom literaturom.

Tijekom pisanja završnog rada svojim savjetima i uputama vodio me je mentor završnog rada, prof. dr. sc. Marko Dunđer, kome se prvenstveno zahvaljujem na pruženoj pomoći pri izradi ovog završnog rada.

Ovim putem iskrenu zahvalu iskazujem svojoj obitelji koja me podržavala cijelim putem mojeg obrazovanja i usmjerila na pravi put.

Josip Kovčalija

U Rijeci, srpnja 2018.

# SADRŽAJ

SADRŽAJ ..... I
POPIS SLIKA ..... II
POPIS OZNAKA ..... III
SAŽETAK ..... IV
1. UVOD ..... 1
2. GLODANJE ..... 3
2.1. Podjela postupaka ..... 4
2.2. Parametri obrade ..... 6
2.3. Alati za glodanje ..... 8
2.3.3. Geometrija alata ..... 10
3. VISOKOBRZINSKA OBRADA ..... 12
3.1. Osnovni pojmovi visokobrzinske obrade ..... 13
3.1.1. Prednosti i nedostaci visokobrzinske obrade ..... 15
3.1.2. Područje primjene visokobrzinske obrade ..... 16
3.2. Visokobrzinsko glodanje ..... 17
3.2.1. Alati u visokobrzinskom glodanju ..... 18
4. TVRDA OBRADA GLODANJEM ..... 20
4.1. Alat za obradu ..... 20
4.1.1. Alati za rezanje ..... 21
4.1.2. Držači za alat ..... 22
4.2. CAD/CAM ..... 23
5. SREDSTVA ZA HLAĐENJE I PODMAZIVANJE ..... 24
5.1. Obrada sa SHIP-om ..... 24
5.1.1. Utjecaj SHIP-a na čovjeka i okoliš ..... 27
5.2. Obrada bez upotrebe SHIP-a ..... 28
5.2.1. Suvremeni rezni alati ..... 29
5.3. Obrada s minimalnom upotrebom SHIP-a ..... 30
6. GLODALICE ..... 32
6.1. Glodaći obradni centri ..... 33
7. ZAKLJUČAK ..... 36
8. LITERATURA ..... 37

# POPIS SLIKA

Slika 1.1. Podjela postupaka ..... 2
Slika 1.2. Podjela strojnih postupaka obrade ..... 2
Slika 2.1. Primjer glodaćeg centra – vertikalni ..... 3
Slika 2.2. Protusmjerno ..... 4
Slika 2.3. Istosmjerno ..... 5
Slika 2.4. Čeono glodanje pravih kutova ..... 6
Slika 2.5. Parametri obrade ..... 8
Slika 2.6. Glodala s umetnutim reznim oštricama ..... 9
Slika 2.7. Glodala izrađena iz jednog komada ..... 10
Slika 2.8. Geometrija glodala ..... 10
Slika 2.9. Dijelovi glodala ..... 11
Slika 3.1. Ovisnost brzine o temperaturi ..... 12
Slika 3.2. Ovisnost temperature o brzini ..... 13
Slika 3.3. Ovisnost brzine rezanja o materijalu ..... 14
Slika 3.4. Osnovne značajke visokobrzinske obrade ..... 15
Slika 3.5. Prikaz procesa obrade ..... 17
Slika 3.6. Područja brzine rezanja kod visokobrzinskog glodanja, prema PTW institutu ..... 18
Slika 4.1. Konstrukcija stroja od polimernog betona ..... 20
Slika 4.2. Svojstva prevlaka ..... 22
Slika 4.3. HSK držač ..... 23
Slika 5.1. Vanjska primjena SHIP-a ..... 24
Slika 5.2. Udjeli supstrata u određenim vrstama SHIP-a ..... 26
Slika 5.3. Kožne bolesti uzrokovanje SHIP-om ..... 28
Slika 5.4. Optimalan rezni materijal za suhu obradu ..... 29
Slika 5.5. Svojstva MQCL obrade ..... 31
Slika 6.1. Numerički upravljana glodalica iz 1980. godine ..... 32
Slika 6.2. Vertikalni glodaći obradni centar ..... 33
Slika 6.3. Horizontalni glodaći obradni centar ..... 34
Slika 6.4. 5 - osni glodaći obradni centar ..... 35

# POPIS OZNAKA

| Oznaka | Jedinica | Značenje |
|---|---|---|
| $v_c$ | m $min^{-1}$ | brzina rezanja |
| $D_g$ | mm | promjer glodala |
| $n_g$ | $min^{-1}$ | frekvencija vrtnje glodala |
| $f$ | mm | posmak |
| $f_z$ | mm | posmak po zubu glodala |
| $v_f$ | m $min^{-1}$ | ukupna posmična brzina |
| $a_p$ | mm | dubina rezanja |
| $b$ | mm | širina rezanja |
| $h$ | mm | debljina rezanja |
| $z_g$ | --- | broj zubi glodala |

# SAŽETAK

Glodanje je postupak koji spada u obradu s odvajanjem čestica kod kojeg su glavni parametri obrade brzina rezanja, dubina obrade i posmak. Glodanje se izvodi na alatnim strojevima (glodalicama) gdje je glavno gibanje rotacijsko kontinuirano te pripada alatu, a posmično gibanje je kontinuirano proizvoljno i pripada obradku. Glodanjem se postiže visoka proizvodnost i iskoristivost u masovnoj i serijskoj proizvodnji. Potreban je stalni razvoj ovog postupka u smislu unapređenja strojeva i alata kako bi ostali konkurentni na tržištu.
U ovom radu bit će objašnjeni određeni trendovi kao što su visokobrzinska obrada glodanjem, tvrda obrada glodanjem te obrada sa SHIP-om odnosno suha brada. To su trendovi koji donose dobit, ali je bitno stalno ih razvijati. U zadnjem poglavlju opisani su glodaći centri koji vrijeme obrade skraćuju na minimum.

Ključne riječi: glodanje, visokobrzinska obrada, tvrda obrada, SHIP, suha obrada, glodaći obradni centri

## SUMMARY

Milling is a process that which belong to the treatment with particle separation in which a main processing parameters are cutting speed, depth rate and feed. Milling is performed on machine tools (milling machines) where the main movement is rotary continuous and belongs to the tool, and shear movement is continuous arbitrary and belongs to the work piece. Milling achieves high productivity and efficiency in mass and serial production. This process requires ongoing development in terms of improving the machines and tools to stay competitive in market. In this work will be explained certain trends such a high speed milling, hard milling, means with cooling and lubrication and dry machining. These are trend that bring profits, but it is important to develop them continuously. The last chapter of this work summarizes the milling centers to shorten the processing time to minimum.

Keywords: milling, high speed milling, hard milling, dry machining, milling centers

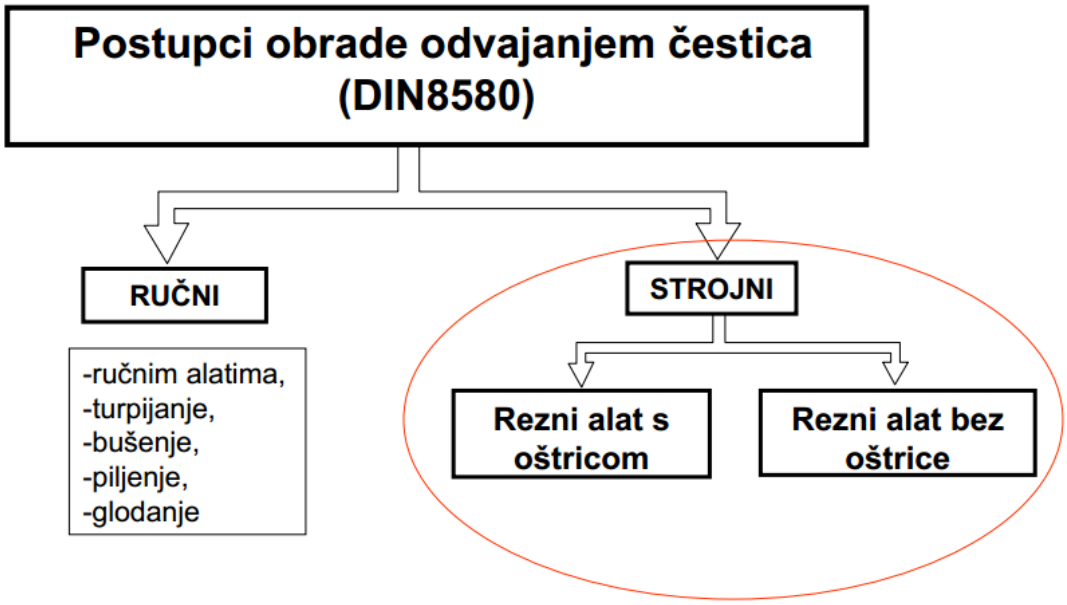
# 1. UVOD

Konkurencija na tržištu i sve brži razvoj određenih tehnologija posljedica je sve većih zahtjeva ka proizvodnji u strojarstvu. Općenito u industriji je cilj postići gotove proizvode korištenjem sirovog materijala pomoću strojeva. Zadatak industrijske proizvodnje može se definirati kroz izradu proizvoda na ekonomičan način, određenog oblika i dimenzija, zadovoljavajuće kvalitete, te njegova isporuka kupcu. Za ostvarivanje tih zadataka vrlo je bitno poznavanje strojarskih tehnologija, a posebice tehnologiju obrade s odvajanjem čestica.

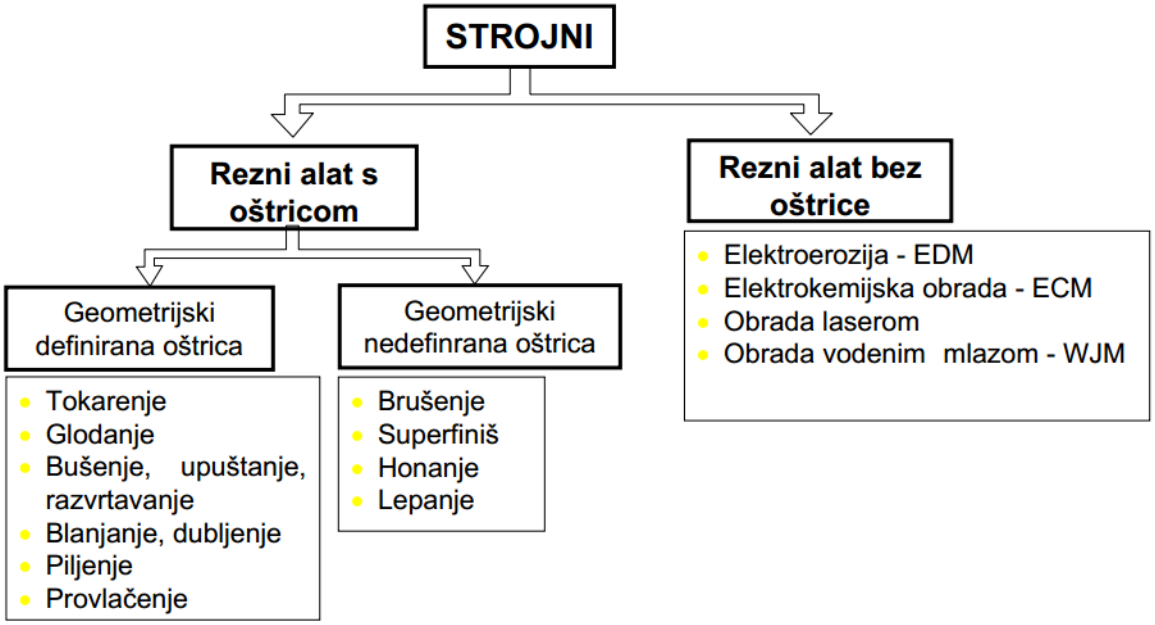
Obrada s odvajanjem čestica je jedna od najvažnijih grupa proizvodnih metoda koja objedinjuje različite postupke uslijed kojih se dobije željeni oblik metodom odvajanja. Na slici 1. objašnjena je osnovna podjela obrade s odvajanjem čestica. Ova grupa se može podijeliti na:

- Obradu rezanjem
- Obradu odvajanjem strugotine i
- Obradu odstranjivanjem viška materijala.

Obrada rezanjem općenito podrazumijeva dijeljenje određenog materijala jednim rezom te se izvodi pomoću noža ili, u određenim slučajevima, tanke žice. Prilikom ove obrade materijali su nedeformirani te nema gubitaka materijala tijekom dijeljenja materijala. Koristi se kod materijala koji se relativno lako režu.
Za razliku od obrade rezanjem, obrada odvajanjem strugotine je jedan od najvažnijih procesa u industriji. Strugotina se kod ovog postupka plastično deformira te se savija i nakon toga odvaja od predmeta. Alat je formiran tako da dobivena površina bude što manje deformirana.
Obrada odstranjivanjem viška materijala također se naziva i gruba obrada ako je najvažnija karakteristika odstranjivanje određenog „viška“ materijala. Ukoliko je važnija namjera izrada površina s točnim dimenzijama obratka naziva se fina obrada [1].




Slika 1.1. Podjela postupaka




Slika 1.2. Podjela strojnih postupaka obrade

# 2. GLODANJE

Glodanje definiramo kao postupak obrade s odvajanjem čestica kojim se obrađuju različite vrste površina.

Izvodi se pretežno na određenim alatnim strojevima, uglavnom na glodalicama te obradnim centrima, glavno gibanje je kružno kontinuirano te je pridruženo alatu. Posmično je gibanje kontinuirano te je najčešće pridruženo obratku. Kod glavnog gibanja os okretanja zadržava položaj ka alatu bez obzira na utjecaj smjera posmičnog gibanja odnosno njegove brzine.

Alat za postupak glodanja je glodalo određene geometrije reznog dijela, s više reznih oštrica na zubima tog glodala. Rezne oštrice ulaze u zahvat s predmetom te izlazi, sa osnovnim obilježjima dinamičkog opterećenja, iz njega. U zahvatu s predmetom je istovremeno nekoliko oštrica [2.1].



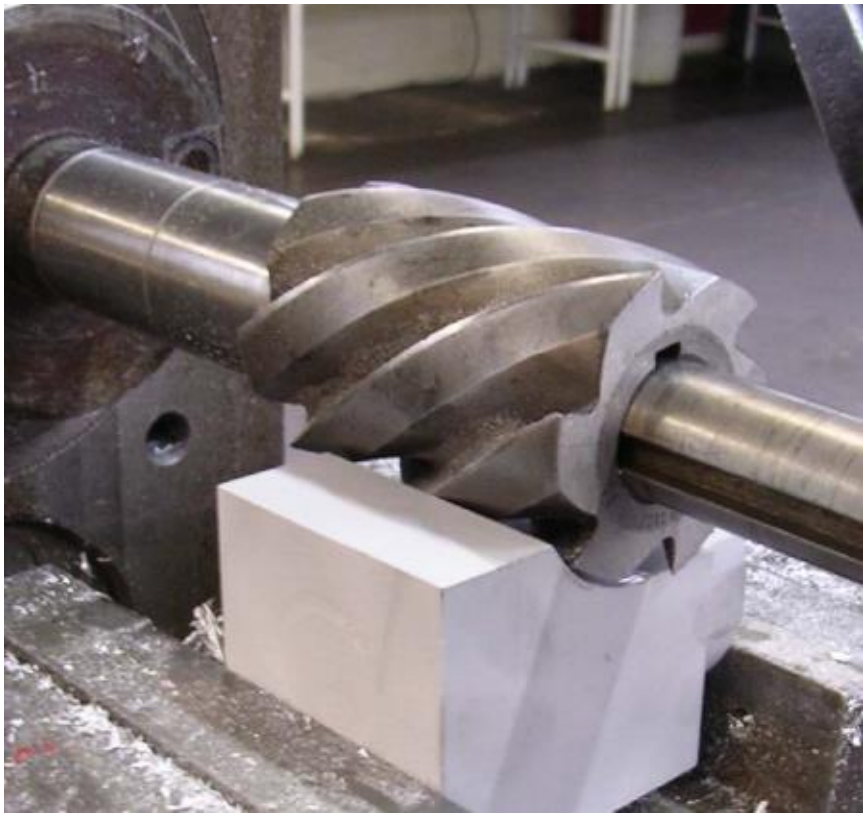

Slika 2.1. Primjer glodaćeg centra – vertikalni

## 2.1.Podjela postupaka

Glodanje možemo podijeliti na osnovi određenih kriterija podjele [2]:

a) Prema kvaliteti obrađene površine:
   - završno
   - grubo
   - fino.

b) Prema kinematici glodanja:
   - Protusmjerno (slika 2.2.)
   - istosmjerno (slika 2.3.)



Slika 2.2. Protusmjerno [2]



Slika 2.3. Istosmjerno [2]

c) Prema obliku obrađivane površine:

- okretno (okruglo ili ne okruglo)
- profilno (glodanje utora, modulno glodanje)
- ravno
- oblikovno (CNC ili kopirno)
- odvalno.

d) Prema položaju oštrica glodala:

- obodno
- čeono (slika 2.4.)



Slika 2.4. Čeono glodanje pravih kutova

## 2.2. Parametri obrade

Parametri obrade kod glodanja su brzina rezanja, dubina rezanja te posmak. Određuju se u odnosu na alat i materijal obratka, postojanost oštrice, kvalitetu površine koja je obrađena, okretaje stroja (broj i snaga okretaja). Kod fine obrade koriste se veće brzine, a manje dubine rezanja i posmaci, dok je kod grube obrade obrnuta situacija [3].

**Brzina rezanja $v_c$** označava put koji glavna oštrica prijeđe u odnosu na obrađivanu površini u određenoj jedinici vremena. Kod glodanja brzina rezanja jednaka je obodnoj brzini glodala te se izračunava po jednadžbi [3]:

$$v_C = \frac{Dg \cdot \pi \cdot ng}{1000}, \text{ [m/min]} \qquad \ldots(2.1.)$$

Gdje je:

$v_c$ – brzina rezanja [m/min]

$Dg$ – promjer glodala [mm]

$n_g$ – frekvencija vrtnje glodala [$min^{-1}$]

**Posmak $f$** označava veličinu puta, u smjeru posmičnog gibanja, alata odnosno glavne oštrice [3]. Postoje posmaci:

- po (jednom) okretaju glodala $f$ [mm/okr]
- po zubu glodala $f_z$ [mm/zub]

- posmična brzina $v_f$ [mm/min].

Dužina koja treba glodalu da se pomakne za vrijeme određenog okretaja naziva se vrijednost posmaka *f*. Hrapavost površine, sile na zubima te presjek odvojenih čestica povećavaju se porastom posmaka.

Posmaci su povezani međusobno određenim relacijama:

$$f = z_g \cdot f_z, \text{ [okr/min]} \quad \ldots(2.2)$$

$$v_f = n_g \cdot f = n_g \cdot z_g \cdot f_z, \text{ [mm/min]} \quad \ldots(2.3)$$

Gdje je:

$f$ – posmak [mm]

$z_g$ – broj zubi glodala

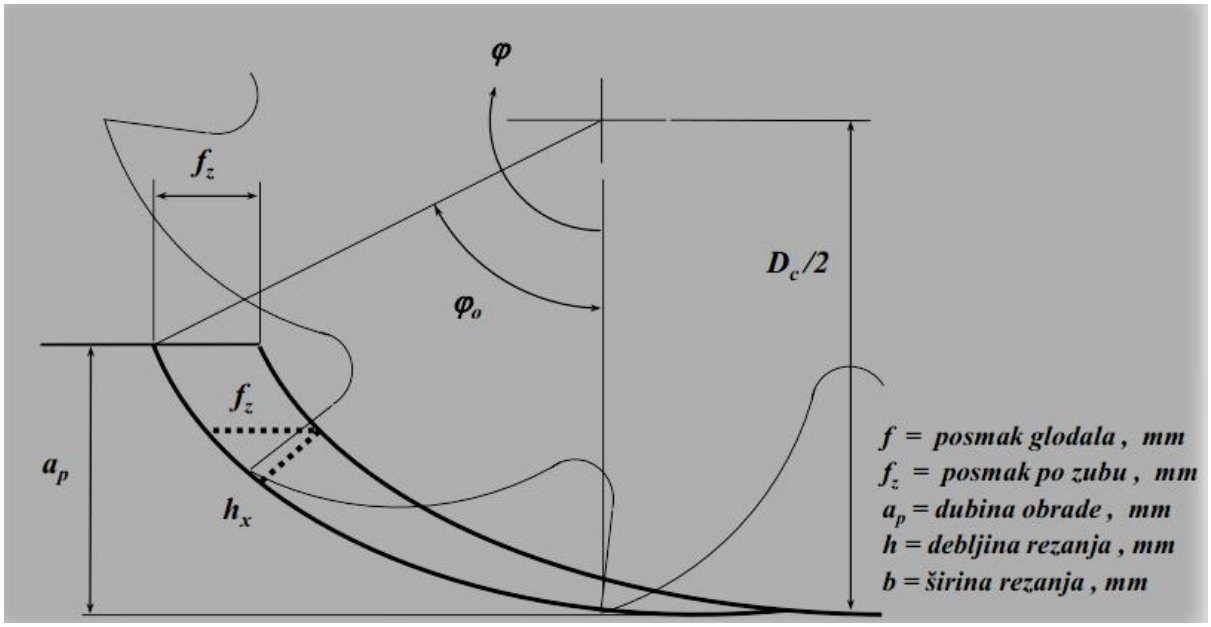
$f_z$ – posmak po zubu glodala [mm]

$v_f$ – ukupna posmična brzina [m]

**Dubina rezanja *ap*** [mm] definiramo kao veličinu sloja odvojenog od materijala, određenog razmaka između površina. Osnovna zadaća je odvojiti što je moguće veću količinu čestica, ali uz prihvatljivu točnost i kvalitetu površine koja se obrađuje, što se uglavnom ostvaruje pomoću višestrukih prolaza te se samim time za završnu obradu izabire konačni rez sa malom dubinom [2].

Treba spomenuti i ostale bitne veličine obrade [3]:

- debljina rezanja – udaljenost između uzastopnog položaja određenih površina putem jednog okretaja ili jednog prolaza alata ili obradka. Oznaka je *h*.
- širina rezanja – udaljenost između površine koja se obrađuje i površine koja je obrađena. Oznaka je *b*.




Slika 2.5. Parametri obrade [2]

### 2.3. Alati za glodanje

Svaki alat u postupku obrade odvajanjem čestica mora ispuniti dvije osnovne zadaće [2]:

- u jedinici vremena odvojiti što veću količinu određenog sloja materijala sa obratka
- uz minimalne troškove te uz određenu kvalitetu površine, osigurati geometriju oblika te potrebne dimenzije.

Alati za glodanje odnosno glodala mogu biti napravljeni od jednog komada, ali također mogu biti sa umetnutom reznom oštricom. Postoje različiti oblici glodala prvenstveno zbog široke upotrebe samog glodala. Pa ih tako razlikujemo prema:

a) Načinu izrade
   - glodala sa glodanim zubima
   - glodala sa brušenim i tokarenim zubima
   - glodala odnosno glave sa umetnutim zubima.

b) Obliku zubi
   - s ravnim zubima
   - sa zubima u križ
   - sa zubima u spirali.

c) Obliku tijela

- glodalo valjkastog oblika
- glodalo valjkastog oblika za ozubljenje
- glodalo valjkastog oblika za navoje
- profilna glodala
- modulna glodala
- vretenasta glodala
- konusna glodala.

Rezni dio glodala je izrađivan od materijala puno veće tvrdoće u odnosu na obrađivani materijal, a tu se najčešće koriste tvrdi metali, keramika, brzorezni čelici te nitrid bora. Cijelo glodalo se izrađuje od brzoreznih čelika.



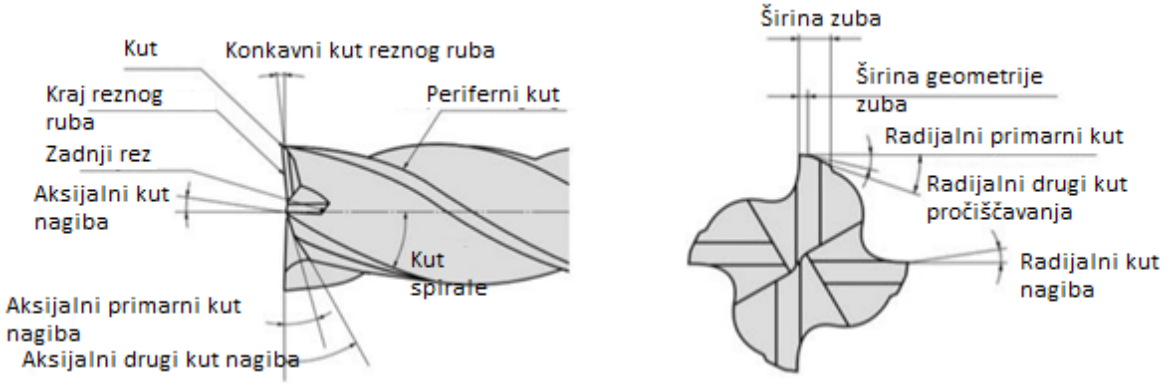
Slika 2.6. Glodala s umetnutim reznim oštricama



Slika 2.7. Glodala izrađena iz jednog komada

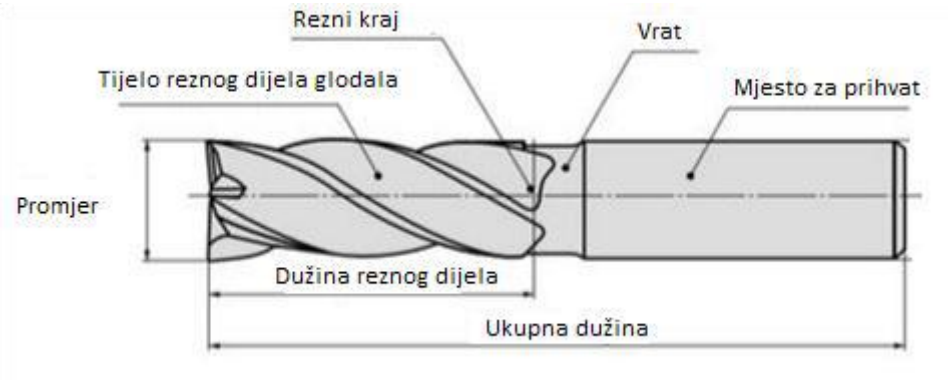
### *2.3.3. Geometrija alata*

Za obradu s odvajanjem čestica, alati većinom imaju geometrijski oblik koji je zajednički kod svih postupaka, što znači da se određeni osnovni materijali kao što su oštrica, kutovi te površina pojavljuje kod svih postupaka obrade. Zub je osnovni oblik alata sa oštricama. Kutovi alata neophodni su za položaj oštrice te stražnje i prednje površine dijela alata. Na reznoj oštrici, odnosno na određenoj točci na njoj, određuju se kutovi. Na slici 2.8. prikazana je geometrija glodala [4].




Slika 2.8. Geometrija glodala [4]

Rubovi glodala na krajevima imaju različitu geometriju, što ima utjecaj u procesu rezanja.



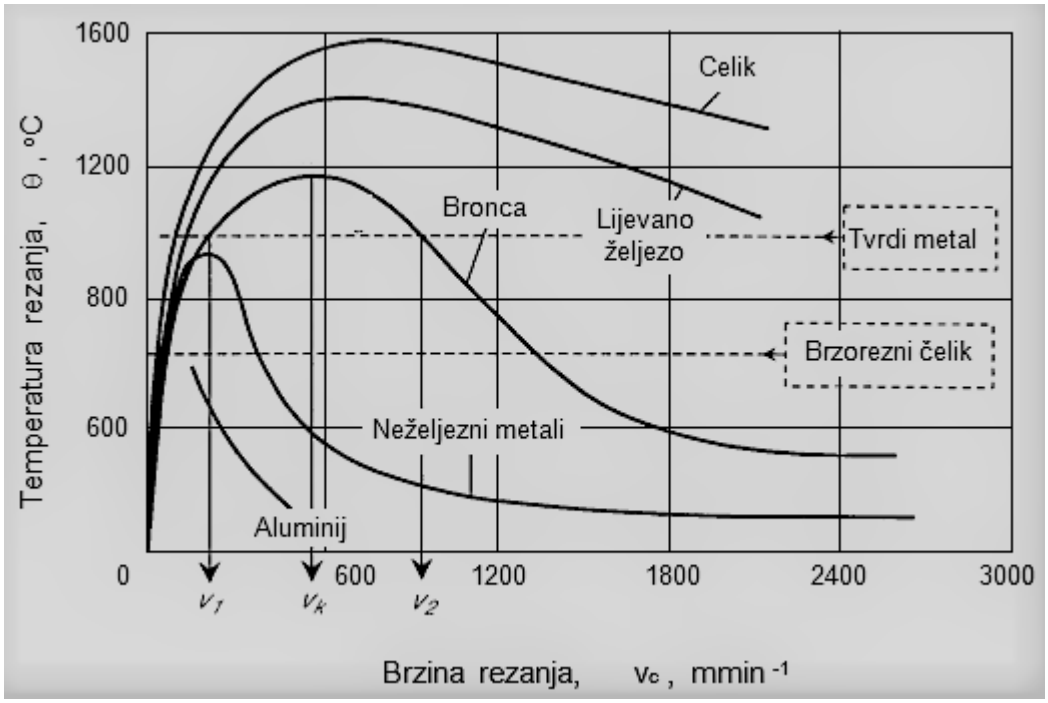

Slika 2.9. Dijelovi glodala [4]

Režimi obrade su parametri koji upravljaju procesom glodanja, odnosno kontroliraju ga. Sadrže nekoliko točaka koje treba detaljnije objasniti za bolje razumijevanje utjecaja na obradu, prilikom čega se teži što boljem omjeru kvalitete obrade, brzine i trajanju alata.

Ovisno koji se materijal obrađuje, poželjan je određeni kut na alatu. Kut zuba mora biti veliki i pozitivan kada je riječ o rastezljivim materijalima, te manji ukoliko je riječ o krhkim materijalima. Ako je kut vrha zuba veći, to pridonosi boljem odvajanju strugotine, a ukoliko je kut negativan onda strugotinu vodi prema materijalu, te povećava snage rezanja, a ponekad i trenje. S povećanjem tog negativnog kuta, zub alata dobiva na svojoj čvrstoći, a samim time i snaga oštrice raste [4].

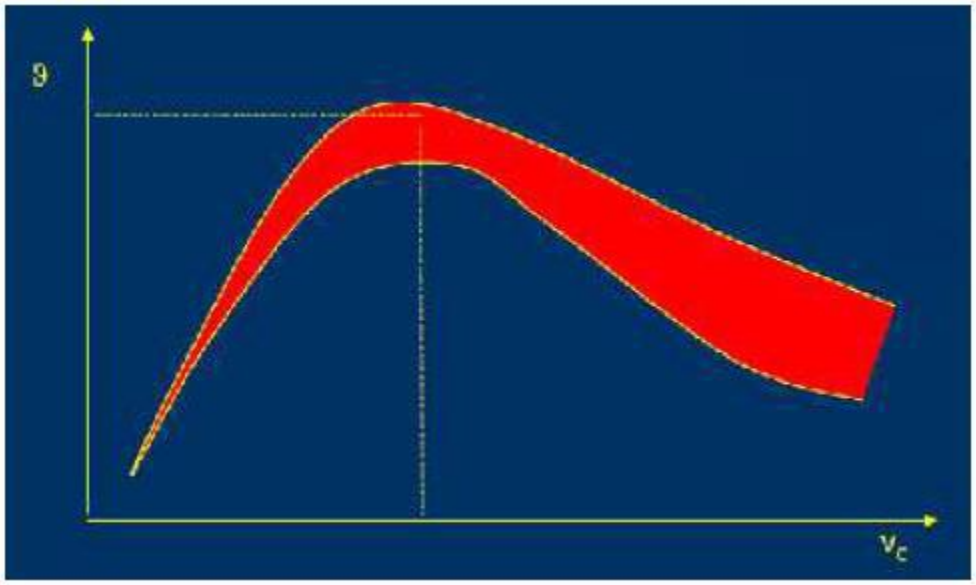
# 3. VISOKOBRZINSKA OBRADA

U spoznajama koje su prikazane na slici 3.1. mogu se pronaći osnovna svojstva visokobrzinske obrade (Carl Salomon objavio sliku 1931. godine). Carl Salomon vršio je određene eksperimente sa visokim brzinama, a rezultati tih eksperimentiranja prikazani su na slici. Do tada se mislilo, da brzina rezanja, odnosno povećanje brzine, ide do određene točke i to zbog utjecaja temperature koji je negativan. Međutim, revolucionarna spoznaja je bila u tome da se temperatura rezanja povećava prilikom porasta brzine rezanja, ali se temperatura rezanja smanjuje uslijed porasta brzine rezanja poslije neke određene kritične brzine, ovisno koji materijal se obrađuje. Ipak, prilikom uporabe visokih brzina potrebni su odgovarajući strojevi koji sadrže visoku krutost te rezni alati od materijala koji su postojani pri visokim temperaturama prilikom rezanja [5].




Slika 3.1. Ovisnost brzine o temperaturi [5]

Također, Carl Salomon tvrdio je da visokobrzinska obrada započinje onda kada počinje opadati temperatura rezanja što je prikazano na slici 3.2.




Slika 3.2. Ovisnost temperature o brzini [6]

Iako visokobrzinska obrada (VBO) nije svrstana među najnovija istraživanja, tek nedavni učinci su polučeni primjenom visokobrzinske obrade dali poticaj primjeni te budućim istraživanjima u tom području. U posljednjih dvadesetak godina visokobrzinska obrada postala je među važnijim tehnologiji kada se govori o obradi odvajanjem za dobivanje većeg profita. U području istraživanja VBO utjecale su na većinu komponenti i procesa za uspješno i kvalitetno rukovođenje strojeva u ovoj obradi. Danas, a i u budućnosti, VBO je stvar nužnosti i potrebe [6].

### 3.1. Osnovni pojmovi visokobrzinske obrade

U cilju definiranja visokobrzinske obrade postoji više kriterija koje većinom koristimo:

- broj okretaja vretena (više od 8000 $\mathrm{min}^{-1}$)
- vrijednost brzine rezanja (više od 600 m/min)
- preko DN broja (umnožak broja okretaja glavnog vretena N i promjera vretena D, oko $2 \cdot 10^6$) [2]

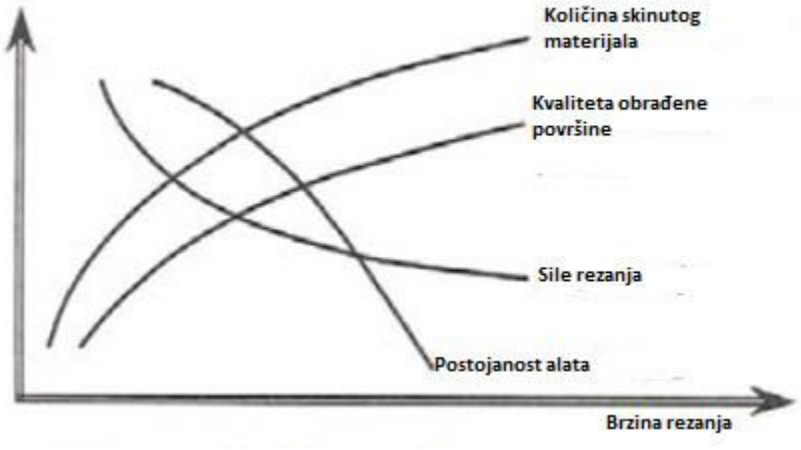
Različite su brzine rezanja prilikom padanja temperature rezanja, što ovisi o obrađivanom materijalu. Kod visokobrzinske i konvencionalne obrade brzine rezanja koje ovise o materijalu koji se obrađuje prikazane su na slici 3.3. Crvena boja prikazuje brzine rezanja prilikom visokobrzinske obrade, dok plava boja prikazuje konvencionalne obrade.




Slika 3.3. Ovisnost brzine rezanja o materijalu

Visokobrzinska obrada posjeduje mnoge prednosti. Jedna od značajnijih mogućnosti obrada je kaljenih čelika, što je od velikog značenja jer su se prije kaljeni čelici obrađivali samo brušenjem. Moguća je i obrada materijala koji su osjetljivi na toplinu, prvenstveno zbog smanjenih temperatura rezanja. Također, moguća je i obrada tankostjenih obradaka. S porastom brzine rezanja, sile rezanja opadaju do minimuma koji je u ovisnosti s materijalom koji se obrađuje, ali nakon toga polagano rastu. Do smanjenja sila rezanja dolazi smanjenjem posmaka i dubine, što omogućuje i obradu samih tankostjenih obradaka. Moguće je koristiti alate veće duljine ali manjeg promjera prvenstveno zbog manjih sila [2].

Vjerojatno najveća prednost same visokobrzinske obrade očitava se u smanjenju troškova i vremena obrade, što samim time povećava produktivnost. Kod VBO govori se o većem volumenu odvojenih čestica, većim brzinama rezanja, većim posmičnim brzinama, boljem iskorištenju alata i većoj vremenskoj iskoristivosti stroja te kraćim komadnim i pomoćnim vremenima. Glavni problem ove obrade je pad postojanosti samog reznog alata kao što je prikazano na slici 3.4. [2].




Slika 3.4. Osnovne značajke visokobrzinske obrade

Do navedenog pada postojanosti dolazi zbog rasta temperature, s porastom brzine rezanja, na sučelju reznog alata, približavajući se tako temperaturi taljenja samog materijala. Dakle, zbog rada reznog alata pri visokim temperaturama automatski mu je smanjen vijek izdržljivosti odnosno trajanja, dok je sam obradak, zbog odvođenja topline, relativno hladan.

### *3.1.1. Prednosti i nedostaci visokobrzinske obrade*

Najveća prednost visokobrzinske obrade, kako je već spomenuto, je povećanje produktivnosti. Ostale prednosti visokobrzinske obrade su [5]:

- hrapavost površine se poboljšava porastom brzine rezanja
- smanjeno vrijeme obrade, zbog posmaka i porasta brzina rezanja dolazi do povećanja produktivnosti
- fina obrada izvodi se gotovo bez vibracija, zbog toga što je frekvencija vrtnje prilikom fine obrade iznad kritične frekvencije alatnog stroja, tj. njegovih rotirajućih elemenata
- mogućnost obrade bez SHIP-a, što pridonosi smanjenju troškova i zaštiti okoliša
- nepotreban postupak brušenja jer se obrađuju i tvrdi materijali
- mogućnost obrade materijala koji su osjetljivi pri povišenim temperaturama zbog toga što se toplina, koja nastaje prilikom rezanja, odnosi na odvojenu česticu.

Nedostaci visokobrzinske obrade [1]:

- posebna cijena za pasivnu i aktivnu sigurnost
- značajan utrošak električne energije

- troškovi održavanja povećani zbog velikog trošenja prilikom velikih brzina (visokobrzinska vretena posebno)
- iako visokobrzinska obrada može i bez SHIP-a prilikom grubih obrada, potrebna je velika količina SHIP-a, a samim time i troškovi se povećavaju
- potreba za kvalitetnijim reznim alatima jer se porastom brzine rezanja troše alati.

### *3.1.2. Područje primjene visokobrzinske obrade*

Jedan od važnijih razloga primjene visokobrzinske obrade je povećanje produktivnosti rezanjem troškova same proizvodnje. Visokobrzinska obrada je tražena metoda zbog točnosti i brzine. Moguće je postići određenu hrapavost te točniju i zahtjevniju hrapavost. Na slici 16. prikazana je usporedba procesa te broj koraka do željenog proizvoda [6].

Primjer A sastoji se:

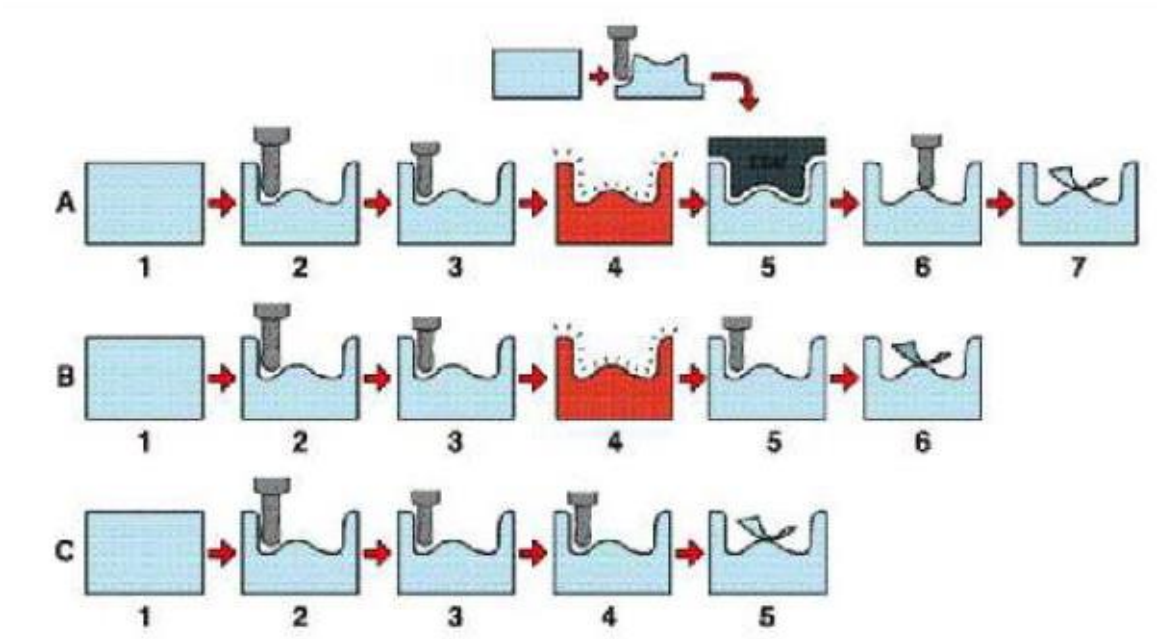
- 2 – grube obrade
- 3 – fine obrade
- 4 – toplinske obrade
- 5 – elektroerozijske obrade žigom
- 6 – završne obrade
- 7 – ručne obrade poliranjem

Primjer B sastoji se od:

- 2 – grube obrade
- 3 – fine obrade
- 4 – toplinske obrade
- 5 – završne visokobrzinske obrade
- 6 – ručne obrade poliranjem

Primjer C sastoji se od:

- 1 – grube obrade
- 2 – fine obrade
- 3 – završne visokobrzinske obrade
- 4 – ručne obrade poliranjem




Slika 3.5. Prikaz procesa obrade [6]

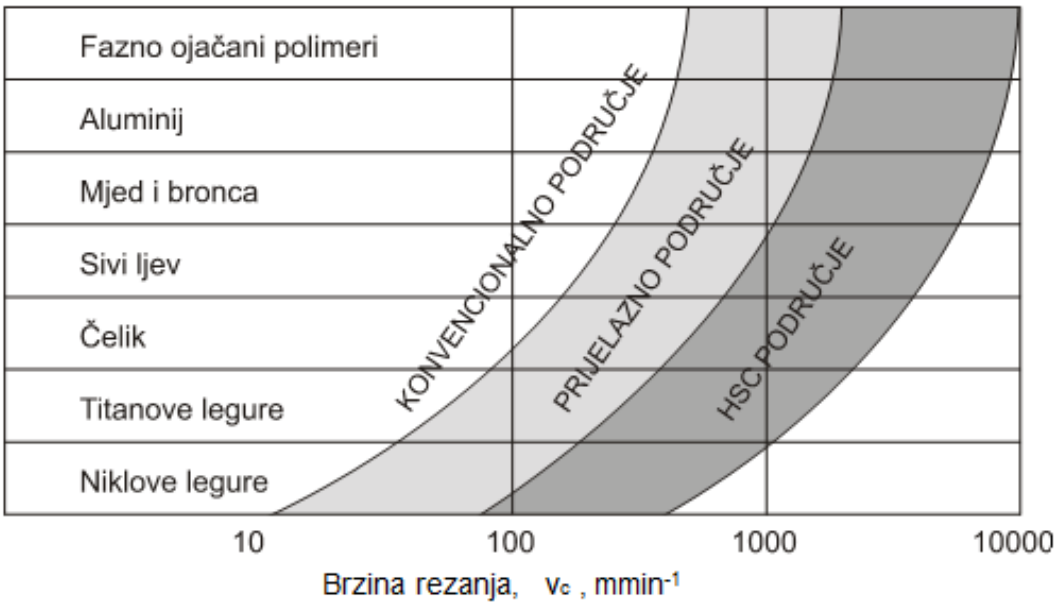
Kao što se vidi, u svakom primjeru proces obrade se za jedan postupak smanjio, tako što jedan korak zamijenio postupkom VBO. Rezultat toga je velika ušteda vremena (do 50%) u odnosu na obradu primjera A, što se smatra jako dobrim rezultatom.

Visokobrzinska obrada je kao takva našla primjenu širom moderne industrije, pa je kao takvu koristimo u automobilskoj industriji, zrakoplovnoj industriji, za medicinsku opremu i dijelove računala, za proizvodnju dijelova pomoću lakih metala, sivog lijeva ili aluminija, i dr [6].

### 3.2. Visokobrzinsko glodanje

U posljednje vrijeme oko 95% istraživanja same visokobrzinske obrade posvećeno je glodanju iz jedinstvenog razloga zbog toga što se kod glodanja koriste visokobrzinska vretena. Prilikom visokobrzinske obrade nisu preporučljivi alati promjera većeg od 40 mm, prvenstveno zbog vibracija i centrifugalnih sila, dok radijalni udar odnosno ekscentričnost ne smije prelaziti 0,1 µm [5].

PTW institut u Darmstadtu spada u jednu od vodećih institucija na svijetu kada je u pitanju područje visokobrzinske obrade. Istraživanja o podjeli brzina rezanja na prijelazno, visokobrzinsko i konvencionalno područje, za određene materijala obratka, prezentirana i prikazana su na slici 3.6.




Slika 3.6. Područja brzine rezanja kod visokobrzinskog glodanja, prema PTW institutu [5]

### *3.2.1. Alati u visokobrzinskom glodanju*

Materijali koji se koriste za rezne alate u visokobrzinskom glodanju su: cerment, tvrdi metal, rezna keramika te polikristalni dijamant. [5].

Pri visokobrzinskom glodanju cerment sadrži mnoge prednosti, jer zbog relativno malog trošenja, te zbog mogućnosti postizanja oštre oštrice, omogućava obrađenoj površini visoku kakvoću. Ipak, mora se voditi računa kako postoje razlike između kakvoća cermenta, što uvelike ovisi o proizvođaču. Zbog relativno visoke krutosti preporučljivo je cerment koristiti za obradu manjih presjeka odvojenih čestica, što je slučaj kod visokobrzinske obrade.
Tvrdi metal (tipa P) preporučuje se prvenstveno zbog toga što sadrži veću količinu tantal karbida i titana u usporedbi sa volframovim karbidom, te zbog smanjene agresivnosti prema određenom čeliku, ima veću toplinsku otpornost na trošenje. Neke od prevlaka koje se koriste su titan-karbid (TiC) koji smanjuje trošenje odnosno omogućava otpornost trošenja stražnjeg dijela površine alata, te titan-nitrid (TiN) koji smanjuje trošenje prednje strane alata. Pokazalo se da jednoslojne prevlake postižu lošiju postojanost alata nego višeslojne kombinacije mekih i tvrdih prevlaka.
Prilikom obrade legura silicija i aluminija te obrade sivog lijeva sa neoksidnom keramikom, najbolji rezultat pokazala je visokobrzinska obrada sa reznom keramikom. Međutim, u obzir treba uzeti izrazito visoku cijenu.

U obradi legura silicija i aluminija najčešće se upotrebljava polikristalni dijamant. Visoka kakvoća i kvaliteta obrađene površine omogućena je zbog relativno malog trošenja alata [6].

# 4. TVRDA OBRADA GLODANJEM

Tvrda obrada glodanjem općenito se izvodi pri velikom brzinama, prvenstveno kod glodanja. Prilikom tvrdog glodanja radijalna i aksijalna dubina obrade drže se u području obično do 0,2 mm. Pod tvrdu obradu spadaju obrade materijala koji imaju tvrdoću od 58 do 66 HRC (Rockwell). Keramika, kubični bor nitrid, te cerment u nešto manjoj mjeri, najčešći su alati ove obrade. Svakako, materijal koji se izabire ovisi o materijalu kojeg obrađujemo, kvaliteti obrade i postupku obrade. Kod tvrde obrade glodanjem koriste se razne tehnologije kao što su CAD/CAM sustav, tehnologije kod kojih su glavne komponente držači alata, strojevi za obradu te rezni alati [7].

## 4.1. Alat za obradu

Iako su sve komponente važne, komponenta alatnog stroja daleko je najznačajnija. Stroj mora biti konstruiran za tvrdo glodanje te sadržavati iste karakteristike kao i kod visokobrzinske obrade. Konstrukcija i određeni pojedinačni dijelovi stroja moraju biti pripremljeni za sve zahtjeve tvrdog glodanja. Osnovna konstrukcija mora imati visoku razinu prigušivanja te visoku krutost. Ove svojstva općenito se mogu pronaći u strojevima izrađenim od polimernog betona, što je prikazano slikom 4.1. [7].



Slika 4.1. Konstrukcija stroja od polimernog betona

Strojevi izrađeni od polimernog betona imaju od šest do deset puta veća svojstva prigušivanja u odnosu na strojeve izrađene od lijevanog željeza. Također, polimerni beton sadrži izvrsne

toplinske i mehaničke karakteristike. Najčešći alat kod ovog glodanja sadrži najmanje četiri rezne oštice. Ova tehnologija omogućuje CNC kontrolu s mogućnosti velike točnosti putanje alata po konturi, a samim time i smanjuje trošenje alata [7].

### *4.1.1. Alati za rezanje*

Iako se u tvrdom glodanju koriste mnogi oblici visokobrzinske obrade, odabir odgovarajućeg alata za rezanje je od velike važnosti. Alati za rezanje zauzimaju veliki dio troškova u samom postupku tvrdog glodanja, pa tako sam izbor određenog alata može uštedjeti novac. Mnoge tvrtke pokušavaju uštedjeti na kvaliteti reznih alata, te to predstavlja jedan od glavnih faktora neuspjeha tvrde obrade glodanjem. Kompanija OEM (Original Equipment Manufacturer) jedna je od najboljih proizvođača kvalitetnih alata za tvrdu obradu. OEM posjeduje osoblje koji su zaduženi za pomoć pri odabiru alata za određeni materijal i strategiju rezanja.
Tvrda obrada stvara veliki zamor na alatu zbog zagrijavanja i trošenja. Kako bi se to izbjeglo, na alat se nanose prevlake. Prevlake nanose zaštitni sloj na alate te mu tako produžuju vijek trajanja [7].
Najčešće prevlake su:

- titan nitrid (TiN)
- titan karbon-nitrid (TiCN)
- titan aluminij-nitrid (TiAlN)
- titan aluminij karbon-nitrid (TiAlCN).

Svaka prevlaka ima svoje prednosti kao što je prikazano na slici 4.2.




Slika 4.2. Svojstva prevlaka [6]

Slojevi tvrdih metala na bazi titana kao što su TiAlN i TiCN najčešće su korišteni zaštitni slojevi za rezne alate kod tvrdog glodanja. Najvažnije svojstvo TiAlN je otpornost na oksidaciju i toplinu, dok je TiCN najviše otporan na trošenje [7].

### *4.1.2. Držači za alat*

Držači za alat moraju biti kruti, a alat u njima precizno balansiran prvenstveno zbog toga što se kod tvrdog glodanja susrećemo s velikim ubrzanjima i usporavanjima vrtnji glavnog vretena. To se omogućuje korištenjem HSK držača.

U odnosu na ostale držače, HSK držači (slika 4.3.) imaju sljedeće prednosti [7]:

- velika dinamička i statička krutost
- prilagodljivost obradi s visokim brzinama
- velika radijalna i aksijalna preciznost držanja alata
- relativno mala masa



Slika 4.3. HSK držač

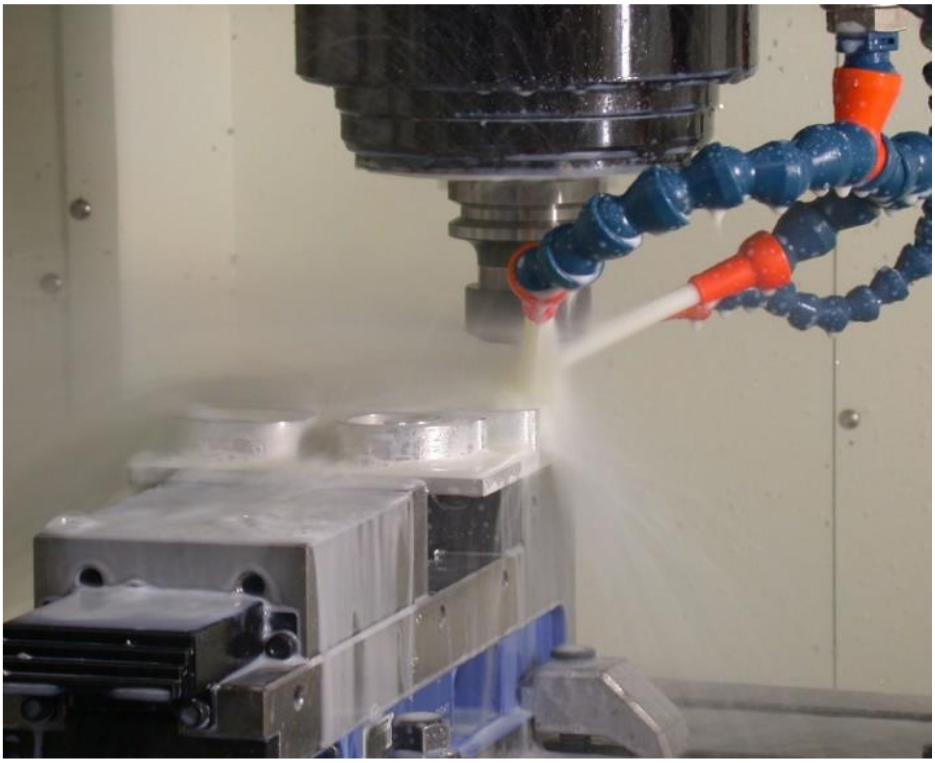
### 4.2. CAD/CAM

CAD/CAM sustav je jedna od jednako važnih svojstava tvrde obrade. CAD/CAM sustavi tijekom posljednjih godina znatno su napredovali, pružajući širok raspon alata i mogućnosti samog sustava. Međutim, nisu svi sustavi jednaki te je važno prihvatiti da postoje sustavi koji nemaju ugrađene alate odnosno strategije za kreiranje alata za tvrdu glodanje. Jedan od uobičajenih problema povezan s CAD/CAM sustavom je model. Mnoge tvrtke uvoze podatke iz drugih sustava koristeći različite alate za uvoz. Konkretno, prodavači se mogu baviti raznim klijentima koji koriste različite CAD sustave. U tom slučaju potrebno je definirati prijenos datoteka za prijenos podataka o geometriji s klijentskog CAD sustava u CAM sustav. Loše razvijeni problemi također su čest problem. Ako se tijekom razvoja modela ne razmatraju strategije strojne obrade, programer ne može koristiti određene strategije alata [7].

Prije primjene alata, mora postojati cjelovita analiza dijela. Nisu svi dijelovi prikladni za tvrdu obradu glodanjem. Treba jasno definirati specifična područja koja treba obraditi, pomoću određivanja najmanjeg unutarnjeg polumjera i najveće radne dubine.
Pogreške pri programiranju mogu biti velike kada se koriste konvencionalne tehnike obrade. kod tvrdog i visokobrzinskog glodanja, ako se pogreška ne primijeti na vrijeme, može doći do ozbiljnih posljedica. Alati za rezanje se mogu lako slomiti, držači alata, pa čak i stroj, mogu biti oštećeni. Da bi se to spriječilo, većina CAD/CAM sustava koristi neki tip alata za kontrolu samog alata. Zato su pravilno znanje i obuka ključni za uspjeh u tvrdoj obradi glodanjem [7].

# 5. SREDSTVA ZA HLAĐENJE I PODMAZIVANJE

U sredstva za hlađenje i podmazivanje (SHIP) spadaju tekućine kojima je prvenstve na zadaća podmazivanje i hlađenje alata odnosno obratka u dijelu gdje je povećana koncentracija topline. Ostali zadaci kao što su odvođenje odvojene čestice, te čestica koje su nastale trošenjem alata, čišćenje samog radnom mjesta, zaštita od korozije te odvođenje malih čestica, imaju jednaku važnost. Na slici 5.1. nalazi se glodanje sa vanjskom primjenom sredstva za hlađenje i podmazivanje [8].



Slika 5.1. Vanjska primjena SHIP-a [8]

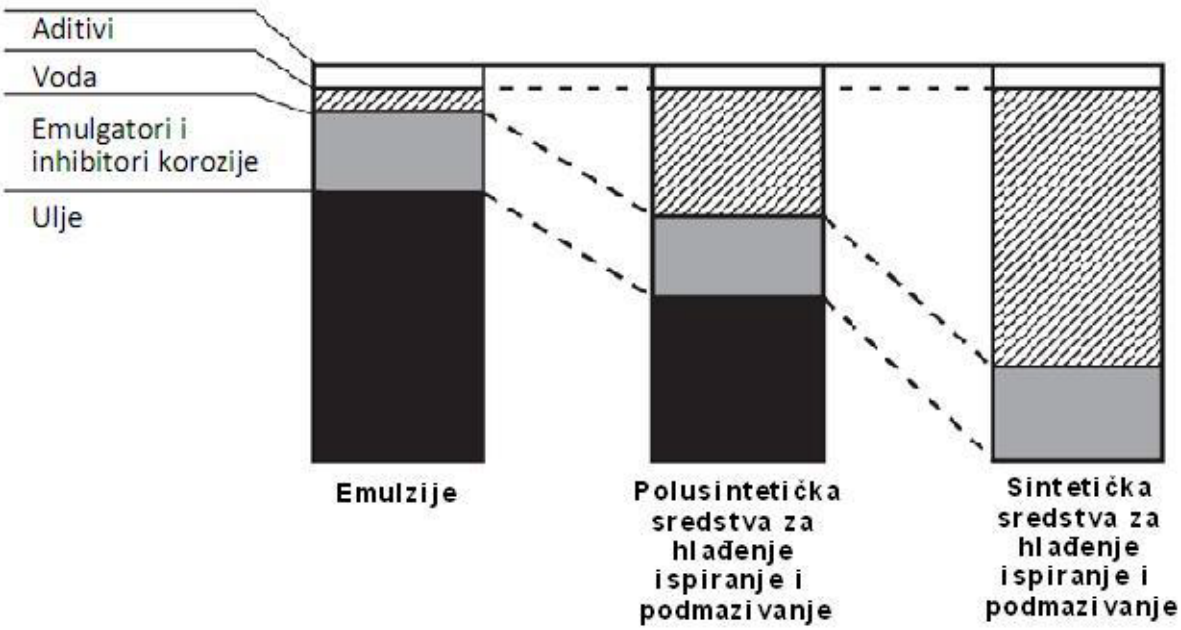
## 5.1. Obrada sa SHIP-om

SHIP mora sadržavati dobra podmazujuća i/ili rashladna svojstva. Mala viskoznost, toplinska providnost te visoka specifična toplina, osim hlađenja, moraju biti sadržane u rashladnim svojstvima. Kod podmazujućih svojstava cilj je primjenom SHIP-a dodavanje uljnog filma između alata i obratka te tako smanjiti trenje. Ipak, uljnom filmu se dodaju različiti aditivi zbog visokih temperatura i tlakova na površini koji uzrokuje kidanje samog uljnog filma. Osim toga ne smiju utjecati na čovjekovo zdravlje, moraju biti antikorozivni i razgradivi, te otporni na starenje i neugodne mirise.

Koriste se četiri vrste sredstva za hlađenje i podmazivanje [8]:

1. Emulzije – sastoje se od ulja , emulgatora, vode te ostalih aditiva. Bitno je održati ulje u sitnim kapljicama vode, a to je uloga emulgatora. Zbog velike količine vode odlični su toplinski prijenosnici, te se koriste pri obradi s visokim brzinama.
2. Ulja – tu spadaju životinjska i biljna ulja, njihove mješavine, sintetička te mineralna ulja. Primjena kod manjih brzina rezanja gdje nema prevelikog porasta temperature. Smanjuju abraziju i adheziju.
3. Sintetička sredstva za hlađenje i podmazivanje – sredstva sintetičke osnove s dodatkom aditiva, promiješane u vodi bez ulja
4. Polusintetička sredstva za hlađenje i podmazivanje – kemijske emulzije sa malom količinom mineralnih ulja koje su razrijeđene u vodi i obogaćene raznim aditivima.

Neki aditivi koji mogu poboljšati svojstva sredstava za hlađenje i podmazivanje su emulgatori koji ostvaruju miješanje vode s mineralnim uljem te u emulziji smanjuju površinske napone, EP aditivi SHIP-u daju svojstva za podnošenje visokih tlakova, te dodaci kojima se sprječavaju procesi kvarenja i starenja svojstava, magla i pjena u emulziji. Određene vrste i udjeli sastojaka sredstva za hlađenje i podmazivanje prikazani su na slici 5.2. [8].




Slika 5.2. Udjeli supstrata u određenim vrstama SHIP-a [8]

Dovođenje SHIP-a u područje rezanja izvodi se na četiri načina [9]:

1. Pod niskim tlakom – koriste se određene vrste SHIP-a orijentirane na vodi (sintetička i polusitetička sredstva te emulzije) pod tlakovima od 0.6 – 6 bar-a. Tekućina i zrak pri tlaku od 2 – 4 bar-a dovode se u komore za miješanje te stvaraju rasplinutu emulziju. Tekućina iz komore izlazi brzinom od 200 – 300 m/s. Hlađenje ovog načina nije pretjerano efikasno, ali para dolazi do nepristupačnih dijelova obrade. Postoji opasnost za zdravlje čovjeka upotrebom ovakve metode zbog udisanja čestica.

2. Slobodni mlaz – najrašireniji i najčešći postupak dobave SHIP-a prilikom hlađenja alata, konkretno prednje površine. Količina tekućine kod glodanja, pri obradi gdje je više oštrica istovremeno u zahvatu, kreće s do 22 l/min. Korištenjem ovog postupka, trajanje alata je gotovo dvostruko duže. Korišteni tlakovi kod glodanja i općenito obrade s odvajanjem čestica su od 7 – 140 bar-a. Karakteristike ovog načina su veća točnost obrađene površine, smanjena sila rezanja te smanjena potrebna snaga.

3. Dovođenje SHIP-a kroz alat – sve češće se koriste posebni otvori da dovod rashladne tekućine neposredno u područje rezanja. Tekućina se dovodi kroz gumene, ojačane plastične i metalne cijevi iz spremnika do područja obrade pomoću posebni fleksibilnih crijeva.

4. Visokotlačni sustavi – prvenstveno treba osigurati radni prostor prilikom hlađenja tekućinom pod visokim tlakom. Tlakovi kod ovakvog načina, u područje rezanja prilikom dovođenja SHIP-a, kreću se od 55 – 350 bar-a. Ovaj način najveću učinkovitost pokazuje kod teško obrađivanih materijala.

### *5.1.1. Utjecaj SHIP-a na čovjeka i okoliš*

Prilikom zaštite okoliša sve se više pažnje obraća na SHIP. Sredinom prošlog stoljeća počela je zabrinutost za zdravlje radnika te okoliš zbog štetnih kemikalija samog SHIP-a, što je pokrenulo dovođenju novih zakona po tom pitanju. Potaknuti time sredstva sa dodacima klora izbačena su iz upotrebe zbog kancerogenog djelovanja na samog čovjeka [8].

Neki od ekoloških problema koje sa sobom pridonose konvencionalne emulzije su:

- povišene temperature razgrađuju SHIP u štetne plinove za okoliš
- potrošeni SHIP opasan je za tlo i vode, te je problem njegovog zbrinjavanja
- opasnost po radnike zbog nastalih bakterija u SHIP-u.

Da sredstva za hlađenje i podmazivanje ne bi štetno utjecala na okoliš, potrebno je poduzeti nekoliko točaka:

- kontinuirano pratiti SHIP te obradne okoline uz pomoć senzora
- sredstva ne smiju negativno utjecati na zdravlje čovjeka ili okoliša
- korištenje SHIP-a mora se minimizirati što je moguće više
- ne smiju se proizvoditi nečistoće tijekom uporabe SHIP-a.

Sredstva za hlađenje i podmazivanje kao što je ranije spomenuto mogu biti opasni po ljudsko zdravlje. Njihovo rukovanje i korištenje mora biti nadzirano zbog mogućnosti od teških oboljenja i raznih alergijskih reakcija opasnih po život čovjeka. Postoje mnogo štetnih utjecaja po čovjekovo zdravlje, a neki od njih su nitrozamin koji posjeduje kancerogena svojstva, utjecaj uljnih para, bolesti kože zbog kontakta sa sredstvima za hlađenje, utjecaj bakterija vezan uz aditive u sredstvima, prisutnost čestica određenih teških metala u aditivima i drugi. Određenu opasnost predstavlja i lužnatost SHIP-a, opasnost od gljivičnih i bakterijskih infekcija te zaraza uzrokovane aditivima. Način rukovanja ovakvim sredstvima te sve opasnosti

moraju se navesti u tehničkom listu. Neke od kožnih bolesti izazvane SHIP-om prikazane su na slici 5.3. [8].



Slika 5.3. Kožne bolesti uzrokovanje SHIP-om [8]

### 5.2. Obrada bez upotrebe SHIP-a

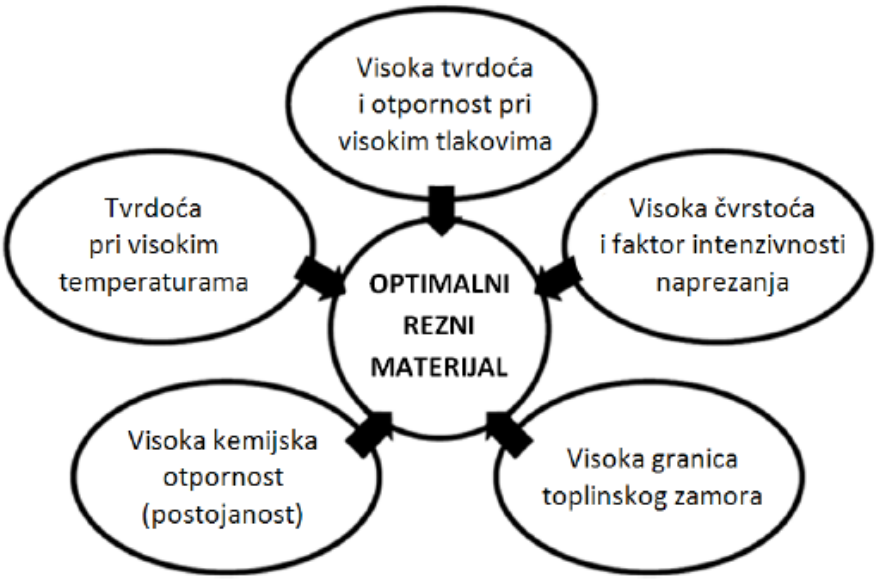
Suha obrada ili obrada bez upotrebe SHIP-a na neki način je trend pri obradi s odvajanjem čestica. Briga o čovjekovom zdravlju te briga oko očuvanja okoliša, kao i strogi zakoni, pridonose sve manjoj upotrebi sredstava za hlađenje i podmazivanje.
Suha obrada ima mnoge prednosti, a osnovne su [8]:

- smanjenje zagađenja okoliša odnosno atmosfere, a samim time i sigurnost za čovjekovo zdravlje
- smanjenje troškova koji su postojali kod uporabe SHIP-a
- smanjenje troška čišćenja stroja
- smanjenje troška zbrinjavanja (odlaganja).

U nekim uporabama suhe obrade, prilikom korištenja novih naprednih materijala i prevlaka najčešće od čelika ili aluminija, testovi pokazuju iznimno pozitivne rezultate. Alati napravljeni od određenih materijala moraju zadovoljavati određene uvjete da bi se izvedba obrade bila dobra te otporna na trošenje. Alati moraju biti specijalno dizajnirani kako bi omogućili malo trenje u području kontakta obratka i alata te toplinsku otpornost. Proces obrade mora bitii dizajniran kako bi reducirao toplinu zadržanu na obratku. To je moguće postići minimiziranjem sila rezanja te, povećanjem brzine rezanja, utjecati na prijenos topline [10].

Svakako da bi uporaba suhe obrade bilo produktivnije i prihvatljivije ekološki, ali treba reći kako se eliminacijom SHIP-a gube potrebne i pozitivne funkcije kao što su hlađenje i podmazivanje. Kao posljedica toga dolazi do efekata abrazije, difuzije, adhezije i oksidacije u samoj suhoj obradi. Sredstva za hlađenje i podmazivanje nisu efikasna kod visokobrzinske obrade, pa se može reći da su visokobrzinska obrada i suha obrada povezane [10].

Određeni rezni alati prate razvoj proizvodnje u suhoj obradi. Savršeni materijal za alat imao bi visoku čvrstoću s visokom tvrdoćom i kemijsku stabilnost prilikom visokih temperatura (slika 5.4.). Nažalost, ne postoji materijal koji ispunjava ova tri zahtjeva zbog toga što čvrstoća i tvrdoća sadrže suprotne karakteristike. Prilikom odabira materijala treba obratiti pozornost na njegove mehanička svojstva kao i njihovo ponašanje [11].




Slika 5.4. Optimalan rezni materijal za suhu obradu [6]

### *5.2.1. Suvremeni rezni alati*

Kod suhe obrade za alate koriste s materijali koji sadrže dobra gore prikazana svojstva. To su cerment, tvrdi metal, rezna keramika, kubični bornitrid te dijamant [12].

1) Cerment – definira se kao keramika u metalnoj vezivnoj fazi. Dobiva se procesom sintetiziranja te je kemijski stabilan, visoke toplinske čvrstoće, sa otpornošću na trošenje te sa stabilnošću rezne oštrice. Zbog relativno dobre žilavosti primakli su se tvrdim metalima.

2) Rezna keramika – nema metalnu vezivnu fazu, temperatura rada je 1400 stupnjeva celzija. Osnovna karakteristika je krhkost što čini alat lomljivim. Stoga se radi na poboljšanju žilavosti kod reznih keramika. Pri obradi se ne koristi SHIP.
3) Kubični bornitrid (CBN) – kemijski spoj bora i dušika (BN) naziva se bornitrid te njegova heksagonalna modifikacija služi kao osnovni materijal pri dobivanju CBN-a. Drugi materijal po tvrdoći u svijetu, iza dijamanta. Specifičnosti su visoka tvrdoća, provodljivost topline, kemijska postojanost te toplinska stabilnost do otprilike 1550 stupnjeva. Uporaba kao abrazivni materijal.
4) Dijamant – sastoji se od ugljika (C) te je najtvrđi materijal na svijetu. Velika većina prirodnih dijamanata koriste se u industrijske svrhe jer su slabije čistoće zbog čega se ne koriste pri izradi nakita. Dijamanti mogu biti polikristalni (PCD) i monokristalni (MCD) (može biti i prirodni te umjetni).

### 5.3. Obrada s minimalnom upotrebom SHIP-a

Obrada kod koje se u područje rezanja dovode male količine SHIP-a. sredstva se mogu podijeliti na [6]:

- MQL – minimalna količina podmazivanja (engl. Minimum Quantity Lubrication)
- MQCL – minimalna količina hlađenja i podmazivanja (engl. Minimum Quantity Cooling Lubrication)

Primjenom MQL tehnike koriste se esteri ili biljna ulja. Lako su razgradivi te im je funkcija podmazivanja izvrsna, manja potrošnja energije i ulja, ne štete okolišu te je postojanost alata veća. Protok kod MQL tehnike je od 50 – 500 ml/h. prednosti MQL-a u odnosu na obradu sa SHIP-om su sigurnost, čistoća okoliša, duži životni vijek alata te produktivnost [8]. tehnika MQL-a definira se kao kombinirana alternativa korištenju SHIP-a i suhe obrade, što je omogućeno zbog stroge regulacije u vidu zaštite okoliša. Trošenje alata kod MQL tehnike u prosjeku je manje u odnosu na druge obrade prvenstveno radi niže temperature koja smanjuje difuzijsko i adhezijsko trošenje te zadržava tvrdoću samog alata.
Kod MQCL tehnike većinom se koristi čisto ulje (u nekim slučajevima i voda ili emulzija) koje se dovodi na alat ili mjesto obrade u vrlo malim količinama. Ovisno o funkciji može se, između minimalnog hlađenja (MQC) i minimalnog podmazivanja (MQL), napraviti distinkcija.

Prilikom primjene ulja (MQL) zadaća je smanjiti adheziju i trenje između obratka, alata i čestice pri čemu se generira osjetno manje topline nego primjenom suhe obrade [6].

**Minimalna količina sredstva za hlađenje i podmazivanje (MQCL)**
normalna potrošnja po satu obrade:
10 - 50 ml MQCL medija

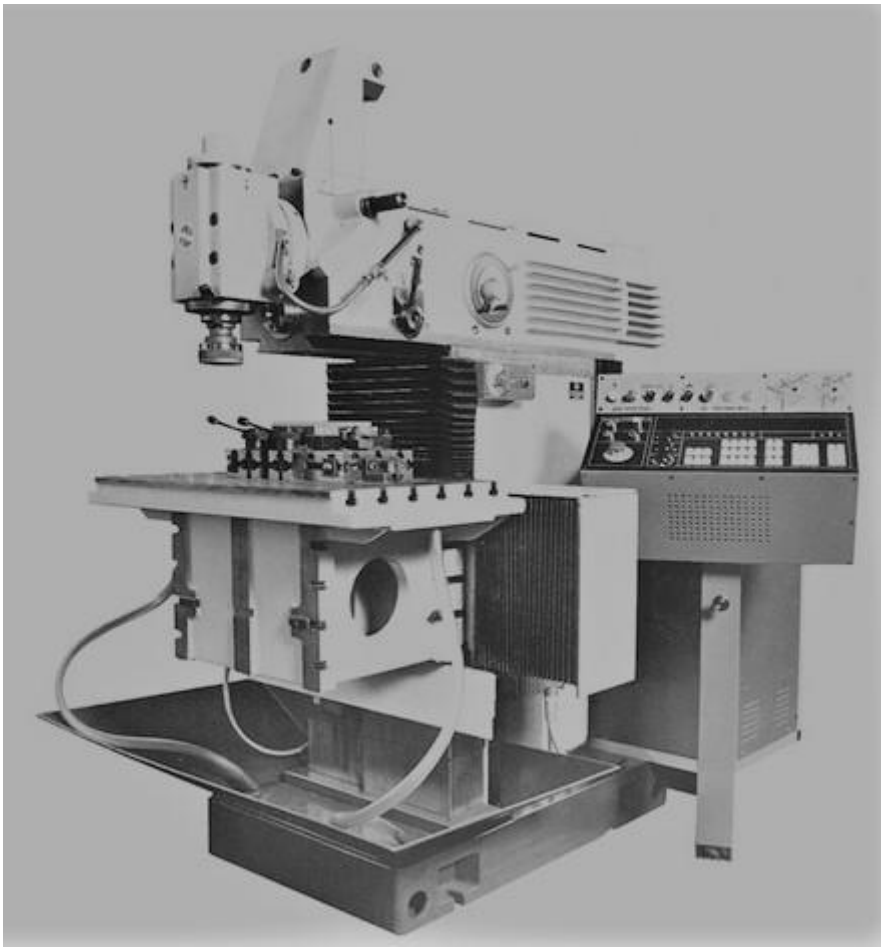
| **Minimalna količina sredstva za hlađenje (MQC)** | **Minimalna količina sredstva za podmazivanje (MQL)** |
|---|---|
| Emulzija (Voda + Ulje)<br>Voda $c_{p,voda} = 4.18$ kJ/kgK<br>Zrak $c_{p,zrak} = 1.04$ kJ/kgK | Ulje $c_{p,ulje} = 1.92$ kJ/kgK |

| **Medij** | **Hlađenje** | **Podmazivanje** | **Uklanjanje odv. čestice** |
|---|---|---|---|
| **Emulzija** | odlično | dobro | odlično |
| **Ulje** | dobro | odlično | dobro |
| **Stlačeni zrak** | slabo | nema | slabo |

Slika 5.5. Svojstva MQCL obrade [6]

# 6. GLODALICE

Numerički upravljane glodalice spadaju u alatne strojeve koji sadrže glavno rotacijsko gibanje alata te tri numerički pravocrtna upravljanja posmična gibanja definirana u osima X, Y i Z. Rezni alat, obradak ili najčešće njihova kombinacija, ovisno o konstrukciji glodalice, mogu obaviti posmična gibanja. S obzirom na položaj glavnog vretena, odnosno njegove osi, u kojem se nalazi rezni alat, numerički upravljana glodalica može biti vertikalna ili horizontalna. Rezni alat na stroju se mijenjao ručno od strane operatera iako su se obrade izvodile preko programa koji je bio u upravljačkoj jedinici numerički upravljanoj glodalici. Znači, operater je bio zadužen za promjenu alata te njegovo stavljanje i učvršćivanje u samo vreteno glodalice. Iskoristivost takve numerički upravljane glodalice nije bila značajna, što je i glavni razlog zbog čega se numerički upravljana glodalica automatizirala te je napravljen glodaći obradni centar. Na slici 6.1. prikazana je numerički upravljana glodalica [13].



Slika 6.1. Numerički upravljana glodalica iz 1980. godine

## 6.1. Glodaći obradni centri

Glodaći obradni centar je alatni stoj napravljen od numerički upravljane glodalice kojoj je pridodano spremište i automatska izmjena samog alata. Osim glavnog gibanja alata, u početku je bilo 3D upravljanje odnosno posmično gibanje po osima X, Y i Z. Glodaći obradni centri najbolji su za obradu složenih izradaka u srednjim i malim serijama kao i spomenute numerički upravljane glodalice [13].

Glodaći obradni centri imaju mogućnost obavljanja različitih operacija kao što su [13]:

- glodanje
- bušenje
- upuštanje
- razvrtanje
- urezivanje navoja
- brušenje.

Gledajući položaj, u koji ulazi rezni alat, glavnog vretena, glodaće obradne centre možemo podijeliti na vertikalne i horizontalne. Na slici 6.2. nalazi se vertikalni glodaći obradni centar, a na slici 6.3. se nalazi horizontalni glodaći obradni centar [13].




Slika 6.2. Vertikalni glodaći obradni centar



Slika 6.3. Horizontalni glodaći obradni centar

Razvoj obradnog glodaćeg centra je tekao tako da se nakon 3D upravljanja (tri pravocrtne upravljive osi) prvo gradio centar s 4D upravljanjem, a nakon toga sa 5D upravljanjem. 4D upravljanje se temelji na dodavanju rotacijske posmične osi, uz tri osnovne osi, koja može značiti zakretanje glavnog vretena ili zakretanje obradka uz pomoć okretnog stola.

U današnje vrijeme glodaći obradni centri sadržavaju 5D upravljanje (5 osi) što znači da se dodaju još dvije rotacijske numerički upravljane osi uz tri osnovne osi. Tako da danas velika većina tvrtki koja sa bavi proizvodnjom obradnih centara, zbog brojnih prednosti 5-osne obrade, preporučuje 5D obradne centre. Jedna od glavnih prednosti 5D u odnosu n 3D obradu je izbjegavanje same obrade na mjestu gdje je brzina rezanja nula, a to je na području gdje je središnja os samog glodala, jer je promjer glodala jednak nuli. Dakle, potreban je nagib obradka ili alata što na kraju ispada povoljnije. Također, i taj nagib automatski olakšava pristup alata samom obradku što produžuje životni vijek alata. Posljedica takvog alata je kratkotrajna obrada te mogućnost korištenja većih režima što povećava iskoristivost obradnog centra. Na slici 6.4. nalazi se 5D obradni centar [13].



Slika 6.4. 5 - osni glodaći obradni centar

# 7. ZAKLJUČAK

Konkurencija je sve jača, a svjetsko tržište sve zahtjevnije. Da bi se uspjelo u takvim uvjetima, potrebo je na tržište plasirati jeftinije i kvalitetnije proizvode. To je moguće samo istovremenim sniženjem troškova proizvodnje te povećanjem produktivnosti. Preduvjet svemu tome je korištenje trendova obrade s odvajanjem čestica. Jedan od trendova je svakako i visokobrzinska obrada koja je nužna za opstanak tržišta. Ona najviše ovisi o samom materijalu obradka, a prednosti obrade su mogućnost obrade tvrdih odnosno teško obrađivanih materijala te visoka kvaliteta površine nakon obrađivanja. Trošenje rezne oštrice relativno brzo je glavni nedostatak ove obrade. Kako bi se produžio vijek trajanja oštrice, koriste se razne prevlake koje pridonose visokoj tvrdoći i otpornosti na trošenje. Visokobrzinska obrada povezana je sa tvrdom i suhom obradom. Kod tvrde obrade glodanjem važnu ulogu ima CAD/CAM sustav koji sa reznim alatom i držačem alata spada u glavne komponente same obrade. Važna je i konstrukcija strojeva za tvrdo glodanje koja mora biti od polimernog betona kako bi se prigušivale vibracije te postigla visoka krutost. Sredstva za hlađenje i podmazivanje, bez obzira što imaju brojne prednosti, predstavljaju određenu opasnost za okoliš, ali i za čovjekovo zdravlje, stoga ih se nastoji zamijeniti novim metodama ili ih svesti na minimum. Razvojem drugih vrsta hlađenja, kao što je minimalna primjena SHIP-a, nastoji se odustati od korištenja SHIP-a u budućnosti. Glavni cilj im je sigurnost te smanjene troškova. Na alatnim strojevima automatska izmjena alata pridonosi jako puno u vremenskom skraćenju procesa i izradi obradka, što je uz kvalitetu obrade i krajnji cilj obrade s odvajanjem čestica. Zbog toga se upotrebljavaju glodaći obradni centri. I samim time što je vrijeme obrade važan segment u obradi odvajanja čestica, bitno je ulagati i usavršavati takve strojeve te biti konkurentan na tržištu.

# 8. LITERATURA

[1] TMO – obrada odvajanjem čestica

https://www.scribd.com/document/171627497/TMO-Obrada-Odvajanjem-cestica

Pristupio: 07.07.2018.

[2] Zavod za tehnologiju, Katedra za alatne strojeve : dr. sc. S. Škorić

http://www.fsb.unizg.hr/kas/ODIOO/Glodanje%20ooc.pdf

Pristupio: 07.07.2018.

[3] GLODANJE

http://sr.scribd.com/doc/64821380/GLODANJE

Pristupio: 08.07.2018.

[4] Milling in hardened steel – a study of tool wear in convencional and dynamic milling: E. Ersvik, R. Khalid, 2015.

https://uu.diva-portal.org/smash/get/diva2:823009/FULLTEXT02

Pristupio: 09.07.2018.

[5] Škorić, S.: „Istraživanje pogodnosti obrade ortogonalnim okruglim glodanjem“, Doktorska disertacija, FSB, Zagreb, 2002.

[6] Mlinarić, M.: „Suvremeni postupci glodanja“ – završni rad, Zagreb, 2014.

[7] The Secrets to Hard Milling Success

https://www.moldmakingtechnology.com/articles/the-secrets-to-hard-milling-success

Pristupio: 10.07.2018.

[8] Župan, L.: „Primjena rashladnih sredstava kao postupka obrade odvajanjem“ – završni rad, Zagreb, 2017.
[9] Šavar, Š.: „Obrada odvajanjem čestica 1 dio“, Zagreb, 1977.
[10] Weinert, K. i dr.: „Dry Machining and Minimum Quantity Lubrication“, CIRP – Anals, Manufacturing Technology Vol. 53, 2004.
[11] Celent, L.: „Održivost strojne obrade uz korištenje alternativnih vrsta hlađenja“, FESB, Split, 2012.
[12] Pavić, A.: „Tehnologija obrada odvajanjem čestica“, Karlovac, 2013.
[13] Uremović, M.: “Automatska izmjena alata na alatnim strojevima“ – završni rad, Zagreb, 2012.
[14] Dudzinski, D. i dr.: „A review of developments towards dry and high speed machining of Inconel 718 alloy“, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 2004.