

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentor:
Doc. dr. sc. Stephan Škorić

Student:
Marko Ivić

Zagreb, 2010.

SAŽETAK

Svrha ovog diplomskog rada je dati pregled suvremenih trendova obrade rotacijskih površina, s posebnim osvrtom na postupak ortogonalnog okretnog glodanja. Kako bi se u skladu s novom proizvodnom filozofijom povećala proizvodnost, poboljšala kvaliteta proizvoda i snizila cijena izrade, odnosno troškovi proizvodnje, moraju se uvesti novi obradni postupci koji bi te uvjete što jednostavnije i uspješnije obavili. Osnovna karakteristika tih obradnih postupaka je, da mogućnost kompletne izrade proizvoda u jednom stezanju obratka, čime se značajno skraćuju pripremno-završna vremena, smanjuje cijena proizvodnje, te zbog obrade u jednom stezanju, kvaliteta gotovog proizvoda je povećana.

Okretno glodanje razvilo se iz težnje za postizanjem efikasnije i produktivnije proizvodnje, pa je jedna rezna oštrica (tokarski nož) zamijenjena višereznim alatom (glodalom). Prema tome okretno glodanje je postupak je obrade odvajanjem čestica koji se dobiva kada se u procesu tokarenja umjesto tokarskog noža upotrijebi glodalo sa vlastitim prigonom. Ortogonalno okretno glodanje tako predstavlja kombinaciju tokarenja i glodanja, te se njime dobivaju rotacijske (okrugle i neokrugle) obradne površine.

Kako postupak ortogonalnog okretnog glodanja teži da zamijeni tokarenje svugdje gdje je to moguće, poseban je naglasak stavljen na značajke koje taj postupak čine prihvatljivim.

Također na primjeru izabranog obratka prikazan je tehnološki postupak izrade koji sadržava operaciju ortogonalnog okretnog glodanja, kao zamjenu za tokarenje.

SADRŽAJ

POPIS SLIKA.....	IV
POPIS TABLICA.....	VII
POPIS OZNAKA I MJERNIH JEDINICA.....	VIII
IZJAVA.....	X
1. UVOD.....	1
2. OSNOVNI POJMOVI.....	5
2.1. Tehnologija obrade materijala tokarenjem.....	5
2.2. Tehnologija obrade materijala glodanjem.....	8
2.3. Materijali alata za glodanje i tokarenje.....	11
3. ORTOGONALNO OKRETNNO GLODANJE.....	13
3.1. Općenito o okretnom glodanju.....	13
3.2. Podjela postupka ortogonalnog okretnog glodanja.....	15
3.3. Kinematika i dinamika procesa.....	18
3.4. Rezni alati za ortogonalno okretno glodanje	26
3.5. Geometrija obrađene površine.....	30
3.6. Odvojena čestica.....	33
3.7. Postojanost alata.....	38
3.8. Produktivnost postupka obrade.....	40
3.9. Primjena i strojevi.....	41
4. PRIMJER TEHNOLOŠKOG POSTUPKA IZRADE KOLJENASTOG VRATILA.....	49
5. ZAKLUČAK.....	74
6. LITERATURA.....	75

POPIS SLIKA:

- Slika 1. Povezanost svih čimbenika suvremene proizvodnje
- Slika 2. Nož izvodi posmično pravolinijsko, a obradak glavno kružno gibanje
- Slika 3. Prikaz uzdužnog vanjskog tokarenja na tokarilici
- Slika 4. Tokarski nož sa reznom pločicom
- Slika 5. Razni oblici i materijali reznih pločica za tokarenje
- Slika 6. CNC tokarski stroj iz 2003. godine "Spinner TC 52-MC"
- Slika 7. Čeono ravno glodanje
- Slika 8. Obodno ravno glodanje
- Slika 9. Prikaz raznih oblika i namjena glodala
- Slika 10. Razni oblici reznih pločica za tokarenje
- Slika 11. Vretenasto glodalo sa kuglastom čelnom plohom
- Slika 12. Glodala od brzoreznog čelika legiranog kobaltom
- Slika 13. Usporedba materijala alata po različitim karakteristikama
- Slika 14. Koaksijalno i ortogonalno okruglo glodanje
- Slika 15. Vanjsko koaksijalno okretno glodanje
- Slika 16. Obilazno koaksijalno okretno glodanje
- Slika 17. Ortogonalno okretno glodanje
- Slika 18. Ortogonalno okretno glodanje
- Slika 19. Pozicije (varijante) ortogonalnog okruglog glodanja
- Slika 20. Mogućnost postizanja aksijalnog posmaka u ovisnosti o poziciji postupka, odnosno ekscentricitetu
- Slika 21. Shematski prikaz brzina kod ortogonalnog okruglog glodanja
- Slika 22. Odnosi zahvata glodala i obratka kod ekscentričnog ortogonalnog okruglog glodanja
- Slika 23. Presjek odvojene čestice kod ekscentričnog okruglog glodanja
- Slika 24. Shematski prikaz glavne sile rezanja i njenih komponenti kod ekscentričnog ortogonalnog okruglog glodanja
- Slika 25. Prikaz promjene sila rezanja u ovisnosti o promjeni zahvatnog kuta
- Slika 26. Wiper rezna pločica i glodalo s istom
- Slika 27. Glodalo opće namjene sa 6 reznih oštrica od kojih je jedna "Wiper" pločica (označena strelicom)
- Slika 28. Glodalo iz standardnog programa za ortogonalno okruglo glodanje
- Slika 29. Glodalo iz specijalnog programa za finu obradu ortogonalnim okruglim glodanjem
- Slika 30. Shematski prikaz geometrije obrađene površine
- Slika 31. Teorijska visina neravnina obrađene površine u ovisnosti od parametara i uvjeta obrade, $n_g=1200 \text{ min}^{-1}$, $D_g=90 \text{ mm}$, $D_o=80 \text{ mm}$
- Slika 32. Shematski prikaz teorijske visine neravnina u poprečnom presjeku obradka kod ortogonalnog okruglog glodanja
- Slika 33. Ovisnost parametra hrapavosti obrađene površine (R_a) o posmaku i brzini rezanja kod tokarenja

- Slika 34. Ovisnost parametra hrapavosti obrađene površine (R_a) o posmaku (f_g) i brzini rezanja (v_c) kod ortogonalnog okretnog glodanja
- Slika 35. Oblici odvojenih čestica kod tokarenja
- Slika 36. Oblici odvojene čestice kod ortogonalnog okretnog glodanja:
a) pozicija centar, b) pozicija ekscentar
- Slika 37. Istrošenje alata pri obradi tokaranjem i ortogonalnim okruglim glodanjem, pozicija ekscentar, pri istim uvjetima obrade
- Slika 38. Ovisnost istrošenja stražnje površine alata o duljini obrade jedne oštice u smjeru glavnog gibanja za:
a) - tokarenje, b) - ortogonalno okretno glodanje
- Slika 39. Smanjenje vremena obrade kod ležajnih rukavaca koljenastih osovina primjenom klasičnog i HSC okruglog glodanja
- Slika 40. Pogodnosti primjene ortogonalnog okretnog glodanja
- Slika 41. Primjena ortogonalnog okretnog glodanja
- Slika 42. Ortogonalno okretno glodanje koljenastog vratila velikih dimenzija
- Slika 43. Obrada koljenaste osovine ortogonalnim okruglim glodanjem
- Slika 44. Gruba obrada tlačnog cilindra ortogonalnim okruglim glodanjem
- Slika 45. Tokarski stroj preuređen za ortogonalno okretno glodanje
- Slika 46. Ortogonalno okretno glodanje na CNC glodalici
- Slika 47. CNC obradni centar za kompletnu obradu velikih osovina
- Slika 48. CNC obradni centar "Weingärtner Maschinenbau GmbH" za obradu velikih osovina
- Slika 49. Primjer obrade na CNC obradnom centru "Weingärtner Maschinenbau"
- Slika 50. Primjer kompletne obrade na CNC obradnom centru
- Slika 51. Primjer obrade elipsoida na CNC obradnom centru
- Slika 52. Koljenasto vratilo
- Slika 53. Nacrt koljenastog vratila
- Slika 54. 5-osni obradni centar Mazak Integrex 200-IV S
- Slika 55. Prihvati alata obradnog centra Mazak Integrex
- Slika 56. Mogućnosti motorvretena alata
- Slika 57. Koordinatni sustav CNC obradnog centra Mazak Integrex
- Slika 58. Prikaz obratka kroz faze obrade
- Slika 59. Operacija 10 – uzdužno tokarenje
- Slika 60. 2 D prikaz obrađene površine operacijom 10, sa označenim prihvatom
- Slika 61. Tokarski nož Iscar PWLNR 3232P-08
- Slika 62. Rezna pločica Iscar WNMG 080408-NF
- Slika 63. Operacija 20 – tokarenje glavnih ležajeva
- Slika 64. 2 D prikaz obrađene površine operacijom 20
- Slika 65. Alat za poprečno tokarenje Sandvik Coromant N123F55-25A2
- Slika 66. Rezna pločica za poprečno tokarenje Sandvik Coromant N123F2-0380-0002-BG H10F
- Slika 67. Prihvat alata za poprečno tokarenje Sandvik Capto C6-APBR-37147-25
- Slika 68. Operacija 30 – glodanje kvadrata za ležište klipnjača

- Slika 69. 2 D prikaz detalja kvadrata i volumena odvojenog materijala (žuta boja) kod operacije 30
- Slika 70. Izgled obratka poslije operacije 30
- Slika 71. Ravno glodalo Iscar HM90 E90A-D25-4-M12
- Slika 72. Rezna pločica Iscar HM90 APKT 1003PDR
- Slika 73. Prihvat alata Iscar HSK E 40 ODP12X103
- Slika 74. Ravno glodanje stranica koljenaste osovine
- Slika 75. 3 D prikaz obrađenih površina i volumena odvojenog materijala (žuto) pri operaciji 40
- Slika 76. 2 D prikaz obrađenih površina i volumena operacijom 40
- Slika 77. Okretno glodanje stranica koljenaste osovine – ulaz u zahvat
- Slika 78. Prikaz okretnog glodanja stranica usred zahvata
- Slika 79. 3 D prikaz obrađenih površina i volumena operacijom 50
- Slika 80. 2 D prikaz obrađenih površina i volumena operacijom 50
- Slika 81. Nacrt i tlocrt presjeka A-A (Slika 80.) s alatom u zahvatu
- Slika 82. Alat za operaciju 50 Iscar HM90 E90AD-D25-2-M12
- Slika 83. Rezna pločica Iscar HM90 ADKT 1505PDR
- Slika 84. Rezna (Wiper) pločica Iscar HM90 ADKT 1505PD-W
- Slika 85. Prihvat alata Iscar HSK E 40 ODP12X103
- Slika 86. Operacija 60 – glodanje ležajeva klipnjače
- Slika 87. Prikaz operacije 60 usred zahvata
- Slika 88. Prikaz obrađene površine operacijom 60
- Slika 89. 2 D prikaz alata u zahvatu ekscentar
- Slika 90. 2 D prikaz alata u zahvatu centar
- Slika 91. Nacrt alata za operaciju 60
- Slika 92. Bušenje kanala za podmazivanje
- Slika 93. Nacrt koljenastog vratila s provrtima
- Slika 94. Specijalno svrdlo za koljenasta vratila Iscar SCD 060-120-060ACP-CS
- Slika 95. Operacija 80 – završno tokarenje
- Slika 96. Tokarski nož Iscar MVJNL 2020K-16
- Slika 97. Rezna pločica za finu obradu Iscar VNMG 160404-NF

POPIS TABLICA:

Tablica 1. Istrošenje alata pri obradi tokarenjem i ortogonalnim okretnim glodanjem, pozicija ekscentar, pri istim uvjetima obrade

POPIS OZNAKA I MJERNIH JEDINICA:

Oznaka, jedinica, značenje

A	mm ²	presjek odvojene čestice
A _{ob}	mm ²	presjek obodnog odreska odvojene čestice
A _{če}	mm ²	presjek čeonog odreska odvojene čestice
D _g	mm	promjer glodala
D _o	mm	promjer obratka
ΔQ	μm	odstupanje od kružnosti
E	mm	razmak osi alata i obratka (ekscentar)
P	mm	prepust glodala preko osi obratka
P _c	kW	snaga rezanja
P _{c,sr}	kW	srednja snaga rezanja
R _a	μm	srednje aritmetičko odstupanje profila hrapavosti
R _g	mm	radijus glodala
R _o	mm	radijus obratka
R _s	mm	radijus neobrađene površine obratka
R _y	μm	najveća visina neravnina profila hrapavosti
R _T	μm	teorijska visina neravnina, teorijska hrapavost
R _t	μm	maksimalno rastojanje između najvišeg brijega i najnižeg dola profila hrapavosti
R _z	μm	visina neravnina profila hrapavosti u deset točaka
V _M	mm ³	volumen materijala pretvoren u odvojenu česticu
V _{oč}	mm ³	volumen koji zauzimaju odvojene čestice
W _T	μm	teorijska valovitost

a_e	mm	širina zahvata glodala i obratka
$a(\varphi)$	mm	visina obodnog odreska, trenutna dubina obrade
a_p	mm	dubina obrade
α	°	kut stražnje površine alata
$\Delta\psi$	°	središnji kut poligona
η	°	kut zavojnice (između obodne i posmične brzine)
γ	°	kut prednje površine alata
f_{ax}	mm	aksijalni posmak po okretaju obratka, kod OOG
f_g	mm	posmak po okretaju glodala
f_z	mm	posmak po zubu glodala
f_{zo}	mm	posmak po zubu glodala u smjeru obodne posmične brzine
f_w	mm	posmak po "Wiper" reznoj pločici
φ	°	zahvatni kut glodala (kut rotacije glodala)
i_n		omjer frekvencija vrtnje glodala i obratka
κ_r	°	kut namještanja oštrice alata
l_s	mm	duljina oštrice alata
n_g	min ⁻¹	frekvencija vrtnje glodala
n_o	min ⁻¹	frekvencija vrtnje obratka
ψ	°	kut rotacije obratka
r_ε	mm	radijus vrha alata
r_s	mm	radijus zakrivljenja čeone oštrice
v_c	m min ⁻¹	brzina rezanja
v_e	m min ⁻¹	ukupna brzina rezanja
v_f	m min ⁻¹	ukupna posmična brzina
v_{fo}	m min ⁻¹	obodna posmična brzina
v_{fax}	m min ⁻¹	aksijalna posmična brzina
Z_g		broj zubi glodala
Z_w		broj wiper pločica u glodalu

IZJAVA

Diplomski rad izradio sam potpuno samostalno uz korištenje navedene literature i uz konzultacije sa mentorom.

Zahvaljujem se mentoru doc. dr. sc. Stephanu Škoriću na stručnoj pomoći, posebno iskazanom zalaganju, te savjetima koji su mi bili od velike koristi prilikom izrade ovog rada.