

Fakultet tehničkih nauka u Čačku
Univerziteta u Kragujevcu



Primenjen istraživački rad
Tehnološki proces izrade vratila

Mentor:
Svetislav Lj. Marković, dipl. ing. maš.

Kandidat:
Obrad Obradović, str. ing. maš.

Čačak, avgust 2022. god.

1. Tehnološki proces izrade vratila

Tehnološki proces izrade vratila je propisan proizvodni proces odnosno put koji prolazi polufabrikat do gotovog proizvoda odnosno vratila. U daljem delu rada urađen je i prikazan tehnički crtež vratila, a na osnovu njega i svih zahteva koje treba da ispunjava vratilo kao gotov proizvod propisan je tehnološki proces izrade. Ovim tehnološkim procesom izvršen je: izbor materijala; dodatka za obradu; proračun dimenzija pripremljena; odabir potrebnih mašina, alata, pribora, mernih instrumenata; utvrđen redosled operacija i režima obrade; propisan način termičke obrade.

2. Izbor materijala

Izbor materijala za vratilo zavisi od karakteristika koje vratilo mora imati, a to su: opterećenost, obradivost, cena, zahtevani kvalitet i uslovi pogona.

Čelici za poboljšanje su čelici koji se upotrebljavaju posle termičke obrade (kaljenje i visoko otpuštanje). Čelici za poboljšanje posle termičke obrade moraju imati visoku vrednost napona tečenja i zatezne čvrstoće, dobru plastičnost, malu osetljivost na koncentraciju napona, a delovi koji su u eksploataciji izloženi naizmenično promenljivim opterećenjima visoku vrednost dinamičke čvrstoće i dovoljnu udarnu žilavost. Pored toga čelici za poboljšanje moraju imati dobru prokaljivost i malu osetljivost prema otpusnoj krtosti. Za poboljšanje dolaze u obzir čelici sa sadržajem ugljenika od 0,3 do 0,5%, pošto se kod njih istovremeno može postići velika čvrstoća i žilavost.

Uzimajući u obzir prethodno navedeno za materijal od kojeg će se izrađivati vratilo bira se legirani hrom-molibden čelik Č.4732 oznake po JUS standardu (42CrMo4 oznaka DIN standardu). Č.4732 (42CrMo4) - primjenjuje se za veće dimenzije do 100 mm i viša radna opterećenja kao npr. delovi vozila, poljoprivrednih mašina (kardanske vratila, kolenasta vratila, poluvratila automobila, zupčanici itd.).

Mehaničke osobine:

Zatezna čvrstoća $R_m = 772 - 1185 N / mm^2$

Granica plastičnosti $R_{es} = 750 N / mm^2$

Modul elastičnosti $E = 2,1 * 10^5 N / mm^2$

Izduženje $A_{min} = 13\%$

Kontraktcija - suženje $Z_{min} = 50\%$

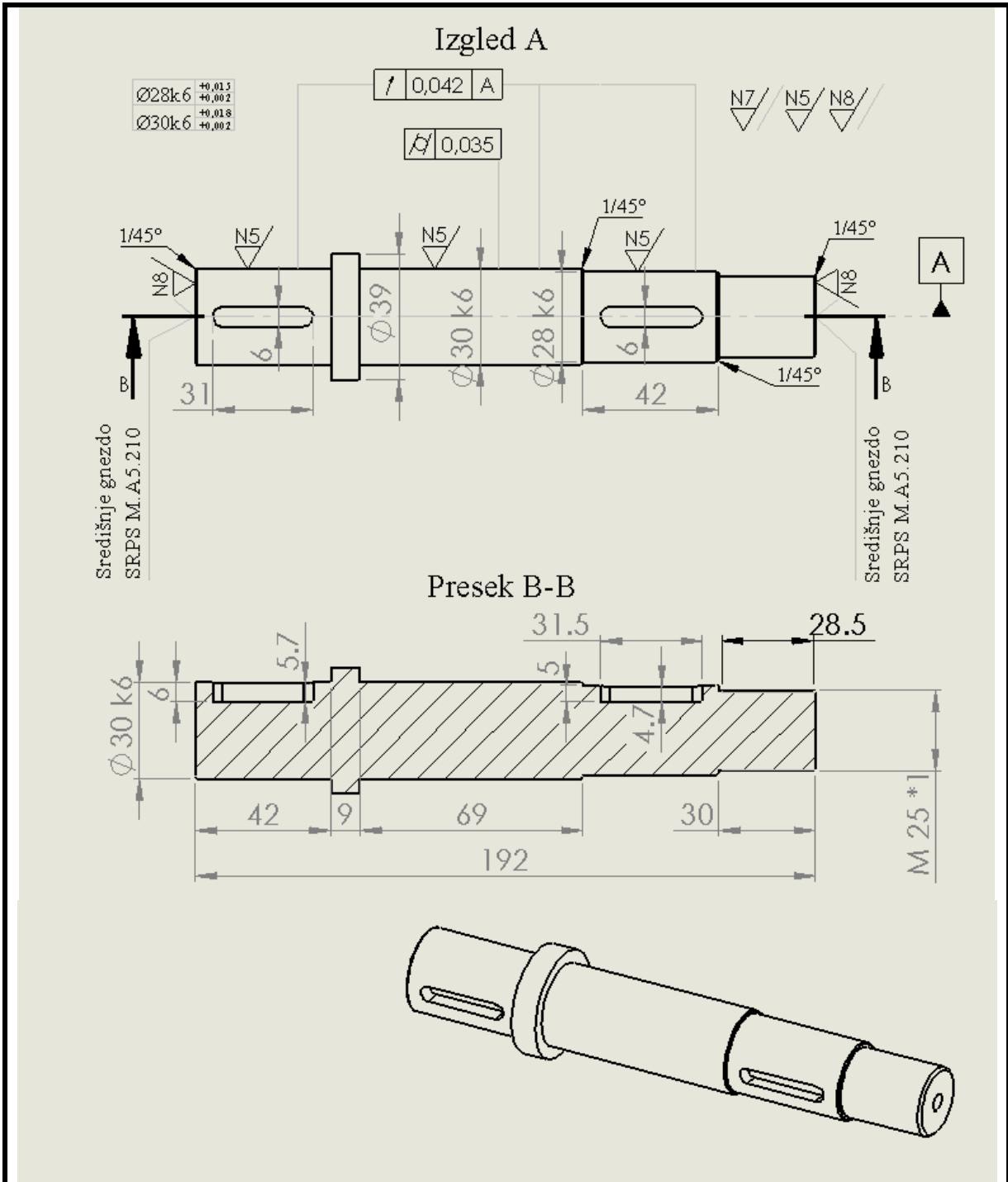
Energija udara $KV_{min} = 35J$

Tvrdoća po Brinelu 197-321 HB

Tvrdoća po Vikersu 240-367 HV (prilog – tablica 1.1.3)

Tabela 1. Hemijski sastav materijala

Materijal	C	Cr	Mo	Mn	Si	P	S
	%	%	%	%	%	%	%
Č.4732	0,4	1,0	0,2	0,9	0,25	0,03	0,1



	Ime i prezime	Datum:	Broj crteža:	Materijal:
Crtao	Obradović Obrad		3.001.123	Č.4732 (42CrMo4)
Konstruisao	Obradović Obrad		Tolerancije slobodnih mera	Termička obrada: 35 – 40 HRC
Pregledao	Marković Svetislav	Veza 23354-1	Naziv: Vratilo	Razmera: 1:1

3. Izbor dodataka za obradu

Dodaci za obradu se biraju primenom preporučenih vrednosti koji su određeni na bazi statističke obrade iskustvenih podataka iz proizvodne prakse. Ova metodologija se primenjuje u pojedinačnoj, maloserijskoj, srednjoserijskoj i masovnoj proizvodnji.

Saglasno zadatim klasama za kvalitet površina (tablica 2.1.3) određuju se potrebni dodaci za obradu vratila i to:

- dodatak za spoljašnju poprečnu grubu obradu čeone površine $\phi 42$ - $\delta_{1p} = 0,9mm$
- dodatak za spoljašnju uzdužnu grubu obradu $\phi 39$ - $\delta_1 = 3mm$
- dodatak za spoljašnje uzdužno brušenje $\phi 30$ - $\delta_3 = 0,4mm$
- dodatak za spoljašnje uzdužno brušenje $\phi 28$ - $\delta_3 = 0,4mm$
- dodatak noža za odsecanje – širina noža za odsecanje $B = 4mm$

4. Dimenzije pripremk

Računski prečnik sirovog komada

$$D_s = D + \delta_1 = 39 + 3 = 42mm$$

D_s - prečnik sirovog komada

D - prečnik gotovog komada

Dužina sirovog komada

$$L_s = L + \delta_{1p} + B = 192 + 0,9 + 4 = 196,9mm$$

L_s - dužina sirovog komada

L - dužina gotovog komada

Računskim putem su dobijene dimenzije pripremk i to prečnika 42 mm i dužine 196,9 mm. S obzirom da će se vratilo proizvoditi u jednoj seriji od 5200 kom. za polufabrikat **se usvaja šipka 42*3000 mm.**

5. Izbor mašina

S obzirom da je prečnik pripremk $D_s = 42mm$ unutrašnji prečnik vretena struga, stezni uređaj glodalice i bušilice mora da bude veći od 42 mm. Takođe i s obzirom da je dužina pripremk $L_s = 196,9mm$ maksimalni raspon šiljaka mašine za brušenje mora da bude veći od 196,9 mm.

Mašine koje se koriste za izradu vratila su:

- automatski cnc strug Tajmac mori-say tmz867 za obradu struganjem,
- radijalna bušilica K – 3 “Livnica Kikinda” za obradu bušenjem,
- univerzalna glodalica " Prvomajska " tip ALG 100 za obradu glodanjem i
- mašina za obradu brušenjem “Livnica Kikinda” tip A11.

Tabela 2. Operacijski postupak

FTN		OPERACIJSKI POSTUPAK		Pog. tehnologija								
- ČAČAK -		- SPISAK OPERACIJA I NORMATIV RADA -		POGONA								
Vrsta i kvalitet		Č. 4732		Artikal:								
Tehnički uslovi		SRPS EN 10027-1		Sklop: Reduktor								
Sirove dimenzije		φ42*3000 mm		Naziv: Vratilo								
Tehnički uslovi		Trgovačka dimenzija		Crtež br.: 3.001.123								
Količina za 1000 kom.		196,9 m		Šifra: 100.100.33								
OPERACIJE		R A D I		Isporuka skladištu:								
Broj	Naziv	Reg broj operacijskog postupka	R J	Mašina, uređaj	Vreme za izradu 1 kom.	Kapacitet za 7,5 č.	Grupa posla	Broj rad.	Vreme za 1 kom. u min.			
					Osnovno u min.	Dopunsko u %	Ukupno u min.		Vreme za 1 kom. u min.			
1	Operacija struganje		115	Tajmac mori-say tmz842	4,372	15	5,027	90	IV-2	1	4,372	4,372
2	Operacija zabušivanje		115	Bušilica K-3 "Livnica Kikinda"	0,102	15	0,117	5133	IV-2	1	0,117	4,489
3	Operacija glodanje		115	"Prvomajska" ALG 100	0,277	15	0,319	1261	V-2	1	0,319	4,808
4	Termička obrada		113	Komorna peć kp 90, Deusa peć.	383	3	394,5	240	V-2	2	394,5	399,308
5	Kontrola termičke obrade		111	Wolpert aparat	0,45	15	0,517	870	II-2	1	0,517	399,825
6	Operacija brušenje		115	"Livnica Kikinda" A11	23,85	15	27,43	16	IV-2	1	27,43	427,255
7	Međuoperacijski transport		115	Radionička kolica	-	-	-	10000	II-1	1	-	-
Postavio:		Kontrol:		Odobrio:		Zam-je		List br.		1		
Datum:		Datum:		Datum:		Zam-sa:		Ima lista		1		

6. Operacija struganje

Operacija struganje se izvodi na izabranom automatskom cnc strugu Tajmac mori-say tmz867 i sastoji se od sledećih zahvata:

- spoljašnja poprečna obrada (poravnanje sa čela);
- spoljašnja uzdužna obrada $\phi 39 \times 192$ mm;
- spoljašnja uzdužna obrada $\phi 30,4 \times 141$ mm;
- spoljašnja uzdužna obrada $\phi 30,4 \times 42$ mm i obaranje ivice $1/45^\circ$;
- spoljašnja uzdužna obrada $\phi 28,4 \times 72$ mm;
- spoljašnja uzdužna obrada $\phi 25 \times 30$ mm;
- obaranje ivice $1/45$;
- izrada spoljašnjeg navoja M25*1 mm;
- izrada središnjeg gnezda (na strani do navoja);
- odsecanje na prečniku $\phi 30,4$ mm.

6.2 Spoljašnja uzdužna obrada $\phi 39 \times 192$ mm

$$D = 42\text{mm}$$

$$d = 39\text{mm}$$

$$a = (D - d) / 2 = (42 - 39) / 2 = 1,5\text{mm}$$

Držać pločica tipa PSDN sa poprečnim presekom drške 25*25 mm (tablica 5.3.2o).

Pločica od tvrdog metala oznake SNMA (tablica 5.2.1).

Geometrija alata: $k = 45^\circ$; $k_1 = 45^\circ$; $\alpha = 0^\circ$; $\gamma = -7^\circ$; $\lambda = 0^\circ$; $r = 0,8\text{mm}$ (tablica 5.12.1a).

Izbor koraka – za klasu kvaliteta N7 prema tablici 2.1.3 $R_a = 1,6\mu\text{m}$; pa iz tablice 2.3.5 za ovu hrapavost; $r = 0,8\text{mm}$; $k = 45^\circ$ i $k_1 = 45^\circ$ sledi $R_z = 6,27\mu\text{m}$ i $s = 0,2\text{mm}/o$.

Izbor brzine rezanja - za dubinu rezanja $a = 1 \div 4\text{mm}$ i korak $s = 0,2 \div 0,4\text{mm}/o$; bira se pločica TM P20 i $V_n = 120\text{m}/\text{min}$ (tablica 8.1.1).

$$T = 30\text{min} \text{ (tablica 5.12.2a)}$$

$$k_T = 1 \text{ (tablica 5.12.2b)}$$

Brzina rezanja je:

$$V = V_n \cdot k_T = 120 \cdot 1 = 120\text{m}/\text{min} .$$

Broj obrtaja je:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 120}{3,14 \cdot 42} = 910\text{o}/\text{min} .$$

Glavno vreme obrade je:

$$tg_2 = \frac{L_n}{n \cdot s} = \frac{192 + 5}{910 \cdot 0,2} = 1,0824\text{min} .$$

6.8 Izrada spoljašnjeg navoja M25 x 1 mm

$$D = 25\text{mm}$$

Korak navoja $s = 1\text{mm}/o$

Brzina rezanja $V = 18 \div 60\text{m}/\text{min}$. (tablica 8.1.4a).

Držač pločica tipa S66S sa poprečnim presekom drške 25*25 mm (tablica 5.6.3a)

Pločica od tvrdog metala oznake RS66 S (tablica 5.6.3a).

Oznaka materijala pločice TM P10 (tablica 8.1.4a).

Broj prolaza za $s = 1\text{mm}/o$ je $i = 5$ (tablica 8.1.4b), sa dubinama rezanja (mm):

$$a_1 = 0,19;$$

$$a_2 = 0,16;$$

$$a_3 = 0,13;$$

$$a_4 = 0,11;$$

$$a_5 = 0,08;$$

a ukupna dubina rezanja je $a = 0,67\text{mm}$.

Usvaja se da su prva tri prolaza – gruba, a četvrti i peti – fini.

Za grubu obradu brzina rezanja je:

$$V_1 = 18\text{m}/\text{min} .$$

Za finu obradu brzina rezanja je:

$$V_2 = 60\text{m}/\text{min} .$$

Broj obrtaja je:

$$n_1 = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 18}{3,14 \cdot 25} = 230\text{o}/\text{min} \quad \text{i} \quad n_2 = 765\text{o}/\text{min} .$$

Glavno vreme obrade je:

$$tg_{8,1} = i \cdot \frac{L_h}{n \cdot s} = 3 \cdot \frac{28,5 + 5}{230 \cdot 1} = 0,437 \text{ min} \quad \text{i} \quad tg_{8,2} = 0,0876 \text{ min}$$
$$tg_8 = tg_{8,1} + tg_{8,2} = 0,5245 \text{ min} .$$

7. Operacija zabušivanje

Operacija zabušivanje odnosno izrada središnjeg gnezda na strani suprotnoj od navoja se izvodi na radijalnoj bušilici K – 3 “Livnica Kikinda”.

Alat – zabušivač za središnja gnezda $\phi 6,3$ (tablica 5.7.1a)

$d_1 = 2,5\text{mm}$ - prečnik manjeg dela zabušivača sa uglom koji grade rezne ivice 120°

$d_2 = 6,3\text{mm}$ - prečnik većeg dela zabušivača sa uglom koji grade rezne ivice 60°

Klasa kvaliteta obrade N8

Izbor koraka – za dati materijal (tablica 8.3.1) bira se korak $s = 0,1 \div 0,14\text{mm}/o$ i zabušivač od brzoreznog čelika oznake materijala S2. Usvaja se korak $s = 0,12\text{mm}/o$.

Izbor nominalne brzine rezanja je (tablica 8.3.1):

$$V_n = 19m / \text{min} .$$

$T = 15 \text{ min}$. (tablica 5.12.2c)

$k_T = 1,22$ (tablica 5.12.2b)

Konačna brzina rezanja je:

$$V = V_n \cdot k_T = 19 \cdot 1,22 = 23m / \text{min} .$$

Broj obrtaja je:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 23}{3,14 \cdot 6,3} = 960o / \text{min} .$$

Glavno vreme obrade je:

$$tg_9 = \frac{L_h + l}{n \cdot s} = \frac{9 + 2,75}{960 \cdot 0,12} = 0,102 \text{ min} .$$

Gde je:

l - potrebna dužina radnog hoda za ulaz alata;

$$l = \frac{d_1}{2} \cdot ctg\varphi + e = \frac{2,5}{2} \cdot ctg60^\circ + 2 = 2,75 ;$$

$e = 0,5 \div 2mm$ - prilaz alata.

8. Operacija glodanje

Operacije glodanje se izvodi na izabranoj glodalici " Prvomajska " ALG 100 i to:

- stezanje 1
 - o čeono glodanje žljeba 6 x 31 mm i
- stezanje 2
 - o čeono glodanje žljeba 5 x 31,5 mm.

8.1 Čeono glodanje žljeba 6 x 31 mm – stezanje 1

Alat vretenasto glodalo prečnika 6 mm.

Napomena: Na crtežu je prikazana dubina žljeba 6 mm, ali pošto se glodanje izvodi pre brušenja (dodatak za brušenje 0,4 mm) potrebno je na dubinu izrade žljeba dodati i dodatak za brušenje posle čega konačna dubina glodanja žljeba iznosi 6,4 mm.

Za dubinu razanja $a = 6,4mm$; usvaja se broj prolaza $i = 2$.

$$a' = \frac{a}{i} = \frac{6,4}{2} = 3,2mm$$

Izbor koraka za vretenasto glodalo usvaja se prema tablici 8.4.1 za dubina razanja $a' = 3,2mm$; tvrdoću materijala 175-225 HB maksimalni preporučeni korak $s_z = 0,2 \div 0,3mm / \text{zubu}$.

Izbor brzine rezanja i određivanje broja obrtaja. Prema tablici 8.4.1 za dubinu razanja $a = 1 \div 4mm$; tvrdoću materijala 175-225 HB i korak $s_z = 0,2 \div 0,3mm / \text{zubu}$; bira se material alata brzorezni čelik oznake S4 i brzina rezanja $V = 40m / \text{min}$.

Broj obrtaja je:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 40}{3,14 \cdot 6} = 21230 / \text{min} .$$

ali kako je za izabranu mašinu $n_{\text{max}} = 20000 / \text{min}$. ta vrednost se usvaja.

Brzina pomoćnog kretanja:

$$V_p = s_z \cdot z \cdot n = 0,2 \cdot 2 \cdot 2000 = 800 \text{mm} / \text{min} .$$

gde je z broj zuba glodala, ali kako je maksimalna brzina pomoćnog kretanja izabrane mašine 450 mm/min. ta vrednost se usvaja.

Glavno vreme obrade je:

$$t_{g_1} = i \cdot \frac{L_h}{V_p} = 2 \cdot \frac{31}{450} = 0,1377 \text{min} .$$

9. Proces poboljšanja vratila

Za proces poboljšanja vratila koriste se:

- komorna peć kp 90 za zagrevanja vratila,
- kada sa uljem za hlađenje,
- kada sa industrijskim deterdžentom za pranje,
- Degusa peć za otpuštanje.

U pripremljeni šaržer poređati vratila u vertikalni položaj sa navojem naviše u žleb korpe. Šaržere sa složenim vratilima ubaciti u komornu peć na zagrevanje za kaljenje na temperaturu od $840^\circ C$. Vreme zadržavanja na toj temperaturi je 40 minuta. Vreme zadržavanja se određuje u odnosu na najveći prečnik vratila i preporučeno je jedan minut po milimetru prečnika elementa koji se zagreva. Vreme zadržavanja treba da obezbedi progrevanje vratila po celom preseku.

Nakon isteka vremena zagrevanja i progrevanja izvršiti brzo hlađenje u ulje zagrejanom na temperaturu od 40 do $50^\circ C$, uz umereno i neprekidno mešanje ulja. Vreme hlađenja vratila u ulju je 40 minuta. Vreme hlađenja se određuje u odnosu na najveći prečnik vratila i preporučeno je jedan minut po milimetru prečnika elementa koji se hladi.

Po završetku procesa hlađenja izvršiti pranje vratila u toploj vodi sa industrijskim deterdžentom i isprati.

Otpuštanje vratila se izvodi u Degusa peći. Temperatura otpuštanja je $480^\circ C$, a vreme zadržavanja na toj temperaturi je 1 čas. Po završenom procesu otpuštanja šaržere sa vratilom izvaditi iz peći i ostaviti da se hlade na mirnom vazduhu.

10. Kontrola termičke obrade

Kontrola termičke obrade izvodi se na Wolpert aparatu po Rockwel-ovoj metodi.

Uslovi ispitivanja:

- odstojanje između 2 susedna centra otiska i odstojanje od sredine otiska do ivice treba da je veće od 3 mm,
- površina uzorka mora da bude brušena i čista,
- utiskivač mora biti upravan na površinu uzorka,
- izvodi se najmanje tri utiskivanja i
- temperatura ispitivanja treba da bude u granicama od 10°C do 35°C, a u kontrolisanim uslovima 23±5°C.

Tvrdoća vratila mora da bude od minimum 35 do maksimalno 40 HRC. Tvrdoća vratila se meri na dva mesta – jedno nasuprot drugom (zakrenuto za 180). Razlika izmerenih vrednosti jednog vratila nesme da bude veća od 2 HRC. Za merenje tvrdoće vratila kao bazno sredstvo koristiti prizmu koja je namenjena za merenje cilindričnih delova.

11. Operacija brušenje

Operacija brušenje se izvodi izabranom mašini za brušenje "Livnica Kikinda" A11 i to:

- spoljašnje kružno brušenje $\phi 30k6 \times 69$ mm,
- spoljašnje kružno brušenje $\phi 30k6 \times 42$ mm,
- spoljašnje kružno brušenje $\phi 28k6 \times 42$ mm.

11.1 Spoljašnje kružno brušenje $\phi 30k6 \times 69$ mm

$$D_o = 30,4mm$$

Alat - bire se brusna ploča oznake A60LV (tablica 8.6.3) standardne širine $B_t = 32mm$ i prečnika $D_t = 300mm$ (tablica 6.1.13).

Tolerancijsko polje $\phi 30k6$ iznosi od 0,002 do 0,015 mm.

Sledi proračun srednje mere na koju treba brusiti vrtilo:

$$\frac{30 + 0,002 + 30 + 0,018}{2} = 30,01mm.$$

Ukupni dodatak za brušenje iznosi:

$$\delta = 30,4 - 30,0085 = 0,3915mm.$$

Dubinu brušenja $a = 0,05mm/hod$ (tablica 8.6.3)

Aksijalni korak $s_a = 0,08mm/obrtu - obratka$

Broj prolaza za brušenje:

$$i = \frac{\delta}{2 \cdot a} = \frac{0,39}{2 \cdot 0,05} \approx 4$$

Obimna brzina točila je:

$$V_t = 28 \div 33m/min \text{ (tablica 8.6.3), usvaja se da je } V_t = 30m/min .$$

Broj obrtaja točila je:

$$n_t = \frac{1000 \cdot V_t}{\pi \cdot D_t} = \frac{1000 \cdot 30}{3,14 \cdot 300} = 2610 / \text{min}$$

Obimna brzina obratka je:

$$V_o = 21 \div 30 \text{ m/min} . \text{ (tablica 8.6.3), usvaja se da je } V_o = 30 \text{ m/min} .$$

Broj obrtaja obratka je:

$$n_o = \frac{1000 \cdot V_o}{\pi \cdot D_o} = \frac{1000 \cdot 30}{3,14 \cdot 30,4} = 3150 / \text{min} .$$

Glavno vreme obrade je:

$$t_{g1} = i \cdot \frac{L_h}{n_o \cdot s_a} = 4 \cdot \frac{69}{315 \cdot 0,08} = 10,9523 \text{ min} .$$

12. Zaključak

U ovom radu je prikazan tehnološki proces izrade vratila u skraćenom obliku sa datim opisom pojedinih operacija i zahvata. Tehnološki proces izrade vratila nastaje kao rezultat istraživanja sprovedenih u određenim oblastima.

Na osnovu istraživanja u oblasti primene materijala odabran je materijal koji će biti korišćen za izradu vratila. Istraživanjem i upoređivanjem više vrsta materijala i sagledavanjem njihovih mehaničkih, fizičkih, hemijskih, tehnoloških osobina odabran je čelik Č.4732 kao materijal koji bi trebalo da zadovolji sve zahteve koji se postavljaju tokom obrade i što je najvažnije u toku same eksploatacije vratila. Pored navedenih osobina, pri odabiru materijala u obzir se mora uzeti cena kao nezaobilazan faktor.

Istraživanja u oblasti tehnologija obrade izdvajaju obradu rezanjem kao postupak koji obezbeđuje određene prednosti u odnosu na druge vrste obrade, kao što su kvalitet obrađene površine, tačnost i produktivnost. Dalje je projektovan tehnološki proces izrade vratila uz: izbor mašina, izbor alata, propisivanje redosleda operacija i zahvata, izbor i proračun režima obrade, uz izbor odgovarajućih mernih i kontrolnih instrumentima.

Termička obrada se bazira na izboru peći za zagrevanje, sredstva za hlađenje, sredstva za pranje, peći za otpuštanje uz propisivanje temperatura i vremenskog perioda operacija.

Sve navedeno ukazuje da tehnološki proces mora da obezbedi tačnost, preciznost i zadovoljavajući kvalitet izrade vratila, u što kraćem vremenskom periodu uz najmanje troškove proizvodnje i utrošenu energiju.

13. Literatura:

1. M. Kalajdžić, Lj. Tanović, B. Babić, M. Glavonjić, Z. Miljković, R. Puzović, B. Kokotović, M. Popović, S. Živanović, D. Tošić, I. Vasić, Tehnologija obrade rezanjem - priručnik, *Mašinski fakultet, Beograd 2021.*
2. R. Ćirić, Poznavanje i primena materijala, *Viša tehnička skola, Čačak 2005.*
3. M. Lazić, B. Nedić, S. Mitrović, Tehnologija obrade rezanjem, *Mašinski fakultet, Kragujevac 2002.*
4. B. Nedić, M. Lazić, Proizvodne tehnologije, *Mašinski fakultet, Kragujevac 2007.*
5. Tehnološki postupci izrade zupčanika sa pravim zupcima
<https://pdfcoffee.com/tehnologija-izrade-zupcanika-pdf-free.html>