

Zavisnost stepena sigurnosti vratila od faktora ojačanja površinskog sloja Kv

Srđan Pelkić, Aleksija Đurić, Biljana Marković

Mašinski fakultet Istočno Sarajevo

Univerzitet u Istočnom Sarajevu

Istočno Sarajevo, RS, BiH

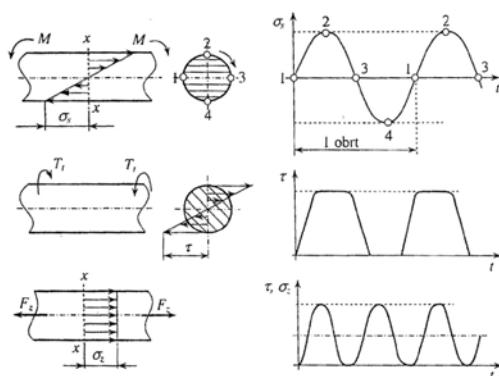
pelka1109@hotmail.com; aleksijadjuric@gmail.com; biljamarkovic@yahoo.com

Sadržaj—U ovom radu predstavljena je zavisnost stepena sigurnosti vratila S od faktora ojačanja površinskog sloja Kv. Vratila su nosači mašinskih dijelova koji se veoma često sreću u mašinstvu, gdje se pri dimenzionisanju ispituje njihova nosivost. Najčešće su cilindričnog oblika, sa veoma čestim mjestima izvora koncentracije napona kao što su žlijeb za klin, žlijeb za elastične prstenove i prelaz sa jednog prečnika vratila na drugi. U ovom radu zavisnost Kv i S prikazana je za izvore koncentracije napona na mjestima žlijeba za klin i elastični prsten. (Abstract)

Ključne riječi— stepen sigurnosti vratila; faktor ojačanja površinskog sloja; koncentracija napona; (key words)

I. UVOD

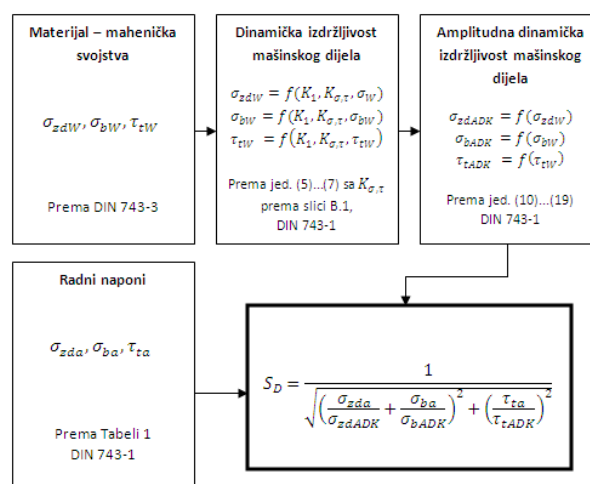
Poznato je da su vratila izložena složenim dinamičkim opterećenjima od kojih dominiraju savijanje i uvijanje. Vratila moraju biti tako dimenzionisana da bez pojave kritičnih stanja mogu da prenesu spoljašnja opterećenja u toku rada. Proračun može biti izveden prema različitim kriterijumima, mada se u praksi najčešće koristi proračun po kriterijumu čvrstoće [1]. Shodno tome naučnici sa Instituta za mašinstvo pri Njemačkom Institutu za standardizaciju i Instituta za mašinske elemente i mašinske konstrukcije pri Tehničkom univerzitetu u Drezdenu razvili su 2000. godine standard DIN 743 pod nazivom „Proračun nosivosti vratila i osovinu“. Ovaj standard definiše jedinstvenu proceduru proračuna stepena sigurnosti na statičku i dinamičku izdržljivost [2]-[4]. U ovom radu razmatran je samo dinamički stepen sigurnosti. U osnovi, stepen sigurnosti predstavlja odnos kritičnog i radnog napona na vratilu. Radni naponi u poprečnim presjecima glatkih vratila, bez izvora koncentracije napona, prikazani su na sl.1.



Slika 1: Radni naponi u presjecima glatkih vratila [5]

Vratila su najčešće opterećena naizmjeničnom promjenom momenta savijanja i jednosmjernom promjenom momenta uvijanja (sl. 1.). Ovo znači da je amplituda momenta savijanja jednaka ukupnoj vrijednosti momenta savijanja, dok je srednja vrijednost momenta savijanja jednaka nuli. S druge strane, amplituda momenta uvijanja jednaka je srednjoj vrijednosti momenta uvijanja i one su jednake polovini obrtnog momenta na vratilu.

Kritični napon vratila zavisi od izbora materijala za izradu vratila i njegove geometrije. Dijagram toka proračuna dinamičkog stepena sigurnosti vratila prikazan je na sl. 2.



Slika 2: Dijagram toka proračuna dinamičkog stepena sigurnosti vratila

Prema standardu DIN 743 minimalni dinamički stepen sigurnosti mora da bude veći od 1,25 [2].

II. FAKTOR OJAČANJA POVRŠINSKOG SLOJA Kv

Faktor ojačanja površinskog sloja vratila Kv zavisi od načina ojačanja površine na kojoj se ispituje stepen sigurnosti, a prvenstveno od dubine otvrdnjavanja ojačanog sloja. Kod dijelova prečnika preko 25 mm ovaj faktor naglo opada. Uticaj je veći kod dijelova sa zarezima (izvorima koncentracije napona), nego kod dijelova bez zarez. Površine mogu biti ojačane hemijsko-termičkim, mehaničkim i termičkim putem, u cilju povećanja nosivosti dijela, odnosno povećanja dinamičke čvrstoće. Pored pomenutog, vrijednost ovog faktora zavisi i od veličine prečnika na kome se ispituje stepen sigurnosti.

Vrijednosti faktora K_v za hemijsko termičke postupke obrade prikazane su u Tabeli I, dok su u Tabeli II prikazane vrijednosti K_v za mehaničke i termičke postupke obrade.

TABELA I. VRIJEDNOSTI FAKTORA OJAČANJA POVRŠINSKOG SLOJA K_v ZA HEMIJSKO-TERMIČKE POSTUPKE [6], [7]

Postupak	Faktor koncentracije napona	d [mm]	K_v
Hemijsko-termički postupci			
Nitriranje: dubina nitriranja 0,1 do 0,2 mm Površinska tvrdoća 700-1000 HV10	- $\beta_{\sigma,T} = \alpha/n$, prema DIN 743-2 - $\beta_{\sigma,T}$ - eksperimentalno dobijen za nitriranje čelike - Bez koncentracije napona	8...25	1,15...1,25
		25...40	1,1 ... 1,15
	- $\beta_{\sigma,T}$ - eksperimentalno dobijen prema DIN 743-2 (bez nitriranja)	8...25	1,5 ... 2,5
		25...40	1,2 ... 2,0
Cementacija: dubina cementacije 0,2 do 0,8 mm Površinska tvrdoća 670-750 HV	- $\beta_{\sigma,T} = \alpha/n$, prema DIN 743-2 - $\beta_{\sigma,T}$ - eksperimentalno dobijen za cementirane čelike - Bez koncentracije napona	8...25	1,2 ... 2,1
		25...40	1,1 ... 1,5
	- $\beta_{\sigma,T}$ - eksperimentalno dobijen prema DIN 743-2 (bez cementacije)	8...25	1,5 ... 2,5
		25...40	1,2 ... 2,0
Karbonitriranje: dubina karbonit. 0,2 do 0,4 mm Površinska tvrdoća srednje 670 HV	- $\beta_{\sigma,T} = \alpha/n$, prema DIN 743-2 - $\beta_{\sigma,T}$ - eksperimentalno dobijen za cementirane čelike - Bez koncentracije napona	8...25	1,1 ... 1,9
		25...40	1 ... 1,4
	- $\beta_{\sigma,T}$ - eksperimentalno dobijen prema DIN 743-2 (bez cementacije)	8...25	1,4 ... 2,25
		25...40	1,1 ... 1,8

TABELA II. VRIJEDNOSTI FAKTORA OJAČANJA POVRŠINSKOG SLOJA K_v ZA MEHANIČKE I TERMIČKE POSTUPKE [6], [7]

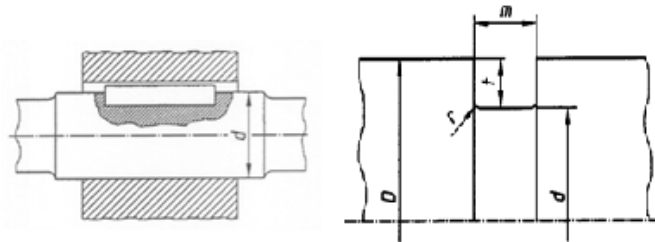
Postupak	Faktor koncentracije napona	d [mm]	K_v
Mehanički postupci			
Obrada valjcima	- $\beta_{\sigma,T}$ - eksperimentalno dobijen sa mehaničkim ojačanjem - Bez koncentracije napona	7...25	1,2 ... 1,4
		25...40	1,1 ... 1,25
	- $\beta_{\sigma,T}$ - eksperimentalno dobijen prema DIN 743-2 bez mehaničkog ojačanja - $\beta_{\sigma,T} = \alpha/n$, prema DIN 743-2	8...25	1,5 ... 2,2
		25...40	1,3 ... 1,8
Obrada snopom kuglica	- $\beta_{\sigma,T}$ - eksperimentalno dobijen sa mehaničkim ojačanjem - Bez koncentracije napona	7...25	1,1 ... 1,3
		25...40	1,1 ... 1,2
	- $\beta_{\sigma,T}$ - eksperimentalno dobijen prema DIN 743-2 bez mehaničkog ojačanja - $\beta_{\sigma,T} = \alpha/n$, prema DIN 743-2	7...25	1,4 ... 2,5
		25...40	1,1 ... 1,5
Termički postupci			
Induktivno i plameno kaljenje dubina kaljenja 0,9 do 1,5 mm Površinska tvrdoća 61-64 HRC	- $\beta_{\sigma,T} = \alpha/n$, prema DIN 743-2 - $\beta_{\sigma,T}$ - eksperimentalno dobijen za termičke čelike - Bez koncentracije napona	8...25	1,2 ... 1,6
		25...40	1,1 ... 1,4
	- $\beta_{\sigma,T}$ - eksperimentalno dobijen prema DIN 743-2 (bez termičkog ojačanja)	8...25	1,4 ... 2,25
		25...40	1,1 ... 1,8
- Za prečnike veće od 40 do 100 mm $K_v=1,1$, a za prečnike veće od 100 mm $K_v=1$			

Tabele I i II [6], [7] omogućavaju određivanje faktora K_v za konkretnu vrijednost prečnika, postupak ojačanja i faktor koncentracije napona.

III. METODE PROVJERE ZAVISNOSTI STEPENA SIGURNOSTI VRATILA OD FAKTORA K_v

Standard DIN 743 definiše jedinstvenu proceduru proračuna nosivosti vratila, koju je moguće jednostavno razviti u programskom paketu Microsoft Office Excel. Tako razvijena procedura proračuna omogućava brzu provjeru zavisnosti stepena sigurnosti vratila od ulaznih podataka [8], od kojih su, pored materijala, opterećenja, geometrije i faktori ojačanja površinskog sloja i srednja visina neravnina Rz.

Pomenuta zavisnost ispitivana je samo za kritična mjesta, žlijeb za klin i elastični prsten, koji su prikazani na sl. 3.



Slika 3: Izvori koncentracije napona na vratilu, (1) žlijeb za klin (2) žlijeb za elastični prsten

Zavisnost stepena sigurnosti S od faktora ojačanja površinskog sloja K_v razmatrana je za sledeće slučajeve:

- Visina neravnina $Rz=16\mu m$
- Prečnici vratila za oba kritična mjesta uzeti su u rasponu od 10 mm do 40 mm, jer je za prečnik veći od 40 mm $K_v=1,1$, što je prikazano u Tabeli II.
- Materijali vratila: E295, E350, C10E, 20MnCr5, C45, 34CrMo4
- Opterećenja vratila uzimana su nasumično, i tu u rasponu od 10 Nm do 1000 Nm

Teorijski posmatrano, vrijednost faktora K_v za mjesta koncentracije napona, žlijeb za klin i elastični prsten, može da se kreće su sledećim granicama (na osnovu Tabela I i II):

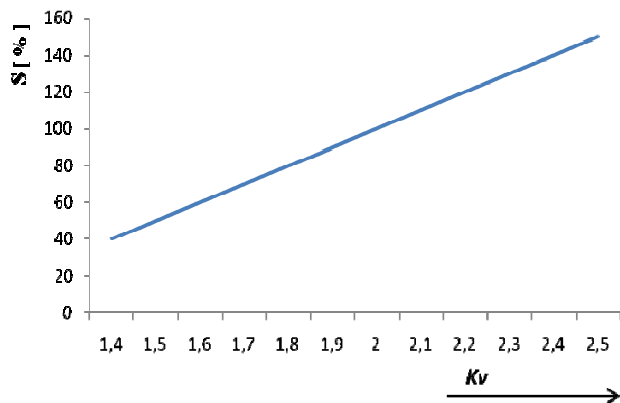
- Za prečnik vratila od 10 mm do 25 mm vrijednost faktora je $K_v=1,4 ... 2,5$
- Za prečnik vratila od 25 mm do 40 mm vrijednost faktora je $K_v=1,1 ... 2,0$

IV. REZULTATI I DISKUSIJA

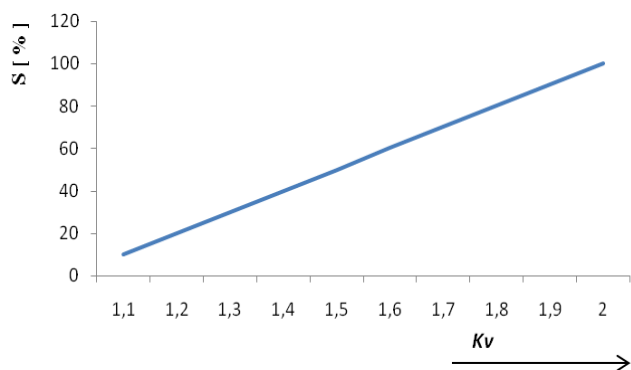
Kombinovanjem ulaznih podataka koji su prethodno navedeni, dobijeni su rezultati koji pokazuju zavisnost stepena sigurnosti S od faktora ojačanja površinskog sloja K_v . Prije same analize očekivalo se da će uticaj faktora K_v na S biti velika, odnosno da će se značajno mijenjati stepen sigurnosti S promjenom K_v faktora. Tako očekivanje bilo je opravdano zbog činjenice da su kod vratila naponi vrlo veliki u blizini površinskog sloja, a u sredini presjeka bliski nuli [9].

Dijagram zavisnosti promjene stepena sigurnosti S , sa promjenom uticajnog faktora K_v , za prečnike vratila od 10 mm do 25 mm prikazan je na sl. 4., dok je za prečnike vratila od 25 mm do 40 mm prikazan na sl. 5. Treba napomenuti da je na oba dijagrama zavisnost promjene stepena sigurnosti S , sa promjenom faktora K_v definisana procentima, poređenjem vrijednosti stepena sigurnosti dobijenih proračunom sa i bez K_v faktora, odnosno sa i bez uticaja ojačanja površinskog sloja ($K_v=1$). Slični dijagrami, sa maksimalnom razlikom do 0,5% dobijeni su i pri ispitivanju zavisnosti S od K_v i za sve materijale i prečnike koji su prethodno navedeni, te za 15 različitih naizmjenično odabranih vrijednosti momenata savijanja i uvijanja.

Ovim istraživanjem pokazalo se da za prethodno pomenuta dva mjesta koncentracije napona, uticaj faktora ojačanja površinskog sloja na stepen sigurnosti vratila neće biti promjenjen izmjenom veličine opterećenja, prečnika i materijala vratila, što govori da će se za bilo koje uslove rada, za bilo koje vratilo, uticaj zavisnosti Kv faktora na stepen sigurnosti vratila, pod datim uslovima, ostati ista.



Slika 4: Dijagram zavisnosti stepena sigurnosti vratila od faktora ojačanja površinskog sloja Kv, za prečnike od 10 mm do 25 mm, u %



Slika 5: Dijagram zavisnosti stepena sigurnosti vratila od faktora ojačanja površinskog sloja Kv, za prečnike od 25 mm do 40 mm, u %

Procentualna zavisnost prikazana na prethodnim dijagramima dobijena je prema obrascu (1) i to tako što su poređene vrjednosti stepena sigurnosti za Kv=1,1 ... 2,5, tj. sa ojačanjem površinskog sloja sa vrijednostima stepena sigurnosti za Kv=1, tj bez ojačanja površinskog sloja.

$$S[\%] = \frac{S_{Kv=1,1...2,5} - S_{Kv=1}}{S_{Kv=1}} \cdot 100\% \quad (1)$$

Prethodna dva dijagrama jasno pokazuju linearnu zavisnost stepena sigurnosti od faktora ojačanja površinskog sloja, u odnosu na prethodno neojačane površine vratila. Može se reći da se za pojedine slučajeve stepen sigurnosti može povećati i do 150 % u odnosu na neojačanu površinu.

Takođe, sa dijagrama se može vidjeti da sa povećanjem Kv faktora za 0,1 dolazi do povećanja stepena sigurnosti za približno 10 %, što se pokazalo na svim ispitanim slučajevima, za oba mjesta koncentracije napona. Faktor Kv direktno utiče na ukupni faktor konstrukcije $K_{\sigma, \tau}$, koji figuriše u izrazu za dinamičku izdržljivost mašinskog dijela, koja pak preko amplitudne dinamičke izdržljivosti mašinskog dijela utiče na stepen sigurnosti.

Istraživanja sprovedena na analizi zavisnosti stepena sigurnosti od Kv faktora pokazuju da je ovaj faktor jedini koji dinamičku izdržljivost mašinskog dijela povećava, u odnosu na dinamičku izdržljivost ispitivane epruvete. Razlog za to je što za određene vrijednosti Kv faktora, ukupni faktor konstrukcije $K_{\sigma, \tau}$ manji od jedan.

V. ZAKLJUČAK

Istraživanje sprovedeno na analizi zavisnosti stepena sigurnosti S od faktora ojačanja površinskog sloja Kv predstavljeno u ovom radu, zasnovano je na numeričko-analičkoj metodi, tj. zavisnost je dobijena na osnovu procedura proračuna nosivosti vratila. Prikazani rezultati pokazali su da je zavisnost vrlo velika, odnosno da je uticaj ojačanja površinskog sloja vratila na stepen sigurnosti veliki, u odnosu na vratila koja nisu prethodno ojačana (Kv=1), tj. pri proračunu nosivosti vratila na kritičnim mjestima, koji predstavljaju izvore koncentracije napona, nemoguće je izostaviti Kv faktor. Dobijeni rezultati mogu pomoći konstruktorima vratila, pri donošenju odluke tokom izbora materijala i dimenzija vratila, odnosno pri proračunu nosivosti, da li raditi ojačanje površinskog sloja ili promjeniti materijal i prečnik vratila, u cilju povećanja stepena sigurnosti vratila. Pri tome, treba uzeti u obzir i raspoložive uslove rada sa ekonomskog aspekta, kakve materijale konstruktor ima na raspolaganju i koje tehnološke procese.

Način određivanja vrijednosti Kv faktora kao i način ojačanja površinskog sloja nije razmatran u ovom radu, jer je definisan standardom. Ovim radom ne prestaje istraživanje uticaja faktora Kv na stepen sigurnosti vratila, na mjestima izvora koncentracije napona, jer je ovdje predstavljena zavisnost samo nekih. Prelaz sa jednog prečnika vratila na drugi, kao izvor koncentracije napona na vratilu, daje potpuno drugačije vrijednosti zavisnosti stepena sigurnosti S od Kv faktora, jer je njegova zavisnost u vezi sa promjenom opterećenja, materijala i prečnika vratila, što će biti predmet daljeg izučavanja.

LITERATURA

- [1] Miltenović, V.: Mašinski elementi – oblici, proračun i primjena. Mašinski fakultet Niš, Niš, 2009.
- [2] DIN 743-1. Tragfähigkeitsberechnung von Wellen und Achsen; T1: Einführung, Gru-ndlage. Beuth, Berlin. Oktober 2000.
- [3] DIN 743-2. Tragfähigkeitsberechnung von Wellen und Achsen; T2: Formzahlen und Kerbwirkungszahlen. Beuth, Berlin. Oktober 2000.
- [4] DIN 743-2. Tragfähigkeitsberechnung von Wellen und Achsen; T3: Werkstoff – Festigkeitswerte. Beuth, Berlin. Oktober 2000.
- [5] Ognjanović, M.: Mašinski elementi. Mašinski fakultet Beograd, Beograd, 2006.

- [6] Đurić, A.: Proračun vratila i osovina prema standardu DIN 743. Završni rad, Mašinski fakultet Istočno Sarajevo, Istočno Sarajevo 2013.
- [7] Miltenović, V.: Mašinski elementi – tabele i dijagrami. Mašinski fakultet Niš, Niš, 2009.
- [8] Đurić, A., Marković, B.: Calculation of the shaft safety factor using standard DIN 743 and KISSsoft software, III International Conference Industrial Engineering and Environmental Protection (IIEEP 2013), 30th, October 2013., Zrenjanin, Serbia.
- [9] Ognjanović, M.: Razvoj i dizajn mašina. Mašinski fakultet Beograd, Beograd, 2007.

ABSTRACT

This paper presents study on dependence of shaft safety factor S on surface hardening factor K_v . Shafts are carriers of machined parts that are often encountered in mechanical engineering, where their load capacity is tested during dimensioning process. The most common shape of shaft is cylindrical with a often areas of stress concentration, such are keyway, ducts fuse and change of shaft diameter. In this paper, this dependence is shown only for critical sections of the keyway and ducts fuse.

THE DEPENDANCE OF SHAFT SAFETY FACTOR ON SURFACE HARDENING FACTOR K_v

Srdjan Pelkic, Aleksija Djuric, Biljana Markovic