

## VEŽBA 9 - POVRŠINSKO OJAČAVANJE

Pod pojmom površinskog ojačavanja podrazumeva se poboljšavanje osobina površina radnih elemenata. To može predstavljati povećanje tvrdoće i čvrstoće površine, ali i povećanje korozione i toplotne postojanosti.

Svi pokretni industrijski elementi relativno se kreću jedan preko drugog preko svojih površina. U toku tog kretanja mogu nastati različiti vidovi površinskog oštećenja (habanja) u zavisnosti od radnih uslova. Uopšteno važi da se povećanje otpornosti na habanje postiže povećanjem tvrdoće materijala.

Ukoliko se pored otpornosti na habanje zahteva i visoka dinamička čvrstoća, pored visoke tvrdoće potrebna je i visoka žilavost. Ovakav zahtev se može ispuniti izborom čelika dovoljne čvrstoće i žilavosti i ojačavanjem površinskog sloja nekim od postupaka površinskog ojačavanja, kao što su cementacija (naugljeničavanje), nitriranje, alitriranje, površinsko kaljenje i drugi.

Kod površinskog kaljenja u tankom površinskom sloju nastaje martenzitna struktura koja stvara zaostale pritisne napone i menja mehaničke osobine površinskog sloja. Reč je o jednostavnom i lako ponovljivom postupku. Površinsko kaljenje pogodno je za vratila i osovine, kao i za komplikovane delove.

Kada se dve površine nalaze u kontaktu mogu se javiti različiti oblici habanja u zavisnosti od vrste kontakta (klizanje ili kotrljanje), tvrdoće elemenata u kontaktu, vrste sredstva za podmazivanje, hrapavosti površina, kontaktne čvrstoće itd.

Pri kotrljanju se najčešće javljaju dva vida habanja:

- **deformacija površine** - može se izbeći izborom dovoljnih dimenzija kontaktne površine i materijala dovoljno velike kontaktne čvrstoće;
- **čupanje delića** - ljuskanje ili piting.

### Deformacija površine

#### Palmgrinova metoda

Ukoliko je veličina kontaktnih napona veća od napona tečenja materijala nastaje plastična deformacija. Prema **Palmgrinu** definiše se kritični napon kao onaj koji daje tek vidljivu deformaciju posmatranu golim okom. Do deformacije neće doći ako je površinska tvrdoća po Vickersu:

$$HV \geq 7500 \cdot \sqrt[3]{\frac{K_o}{18\phi_p}} \dots\dots\dots (1)$$

gde su:

$K_o$  - površinski pritisak [MPa]

za linijski dodir	za tačkasti dodir
$K_o = F/DB$	$K_o = F/D^2$

$F$  (N) - sila pritiska,

$D$  (mm) - prečnik cilindra ili kugle,

$B$  - dužina cilindra,

$\phi_p$ - faktor kontakta prema Palmgrinu (T.O. II, str 60). Zavisí od oblika tela, vrednosti ovog faktora dati su u tabeli 1.

Tabela 1: Faktor kontakta prema Palmgrinu

Vrsta kontakta	Faktor kontakta $\varphi_p$
lopta po lopti ( $D_1 = D_2$ )	0.5
lopta po ravni ( $D_2 = \infty$ )	1
lopta po šupljoj lopti ( $D_2 = -2D_1$ )	2
lopta po šupljem žlebu kao kod kotrljajućeg ležaja sa lopticama (radijalnog) za $D_4 = -4/3D_1$	2
isto kao gore za $D_4 = -9/8D_1$	3
lopta kod aksijalnog ležaja ( $D_4 = -1.08D_1$ )	3.68
lopta kod samopodesivog ležaja ( $D_4 = D_2 = -7D_1$ )	1.16
valjak po ravnoj površini ( $D_2 = \infty$ )	1
kotrljajući ležaj sa valjcima ( $D_2 = 7D_1$ )	0.935

### Metoda Levina i Rešetova

Prethodna formula ima najveću primenu kod delova sa visokom tačnošću obrade i visokih kvaliteta površine (kotrljajni ležajevi). Za druge slučajeve pogodnija je metoda **Levina i Rešetova**.

Prema ovoj metodi potrebna tvrdoća može se odrediti na osnovu sledećeg izraza:

**Za linijski dodir:** 
$$HRC \geq \frac{18.6F}{K \cdot d \cdot B} + 41.4 \dots\dots\dots (2)$$

**Za tačkasti dodir:** 
$$HRC \geq \frac{18.65F}{K \cdot d^2} + 41.4 \dots\dots\dots (3)$$

gde su:

F (N) - veličina pritisne sile,

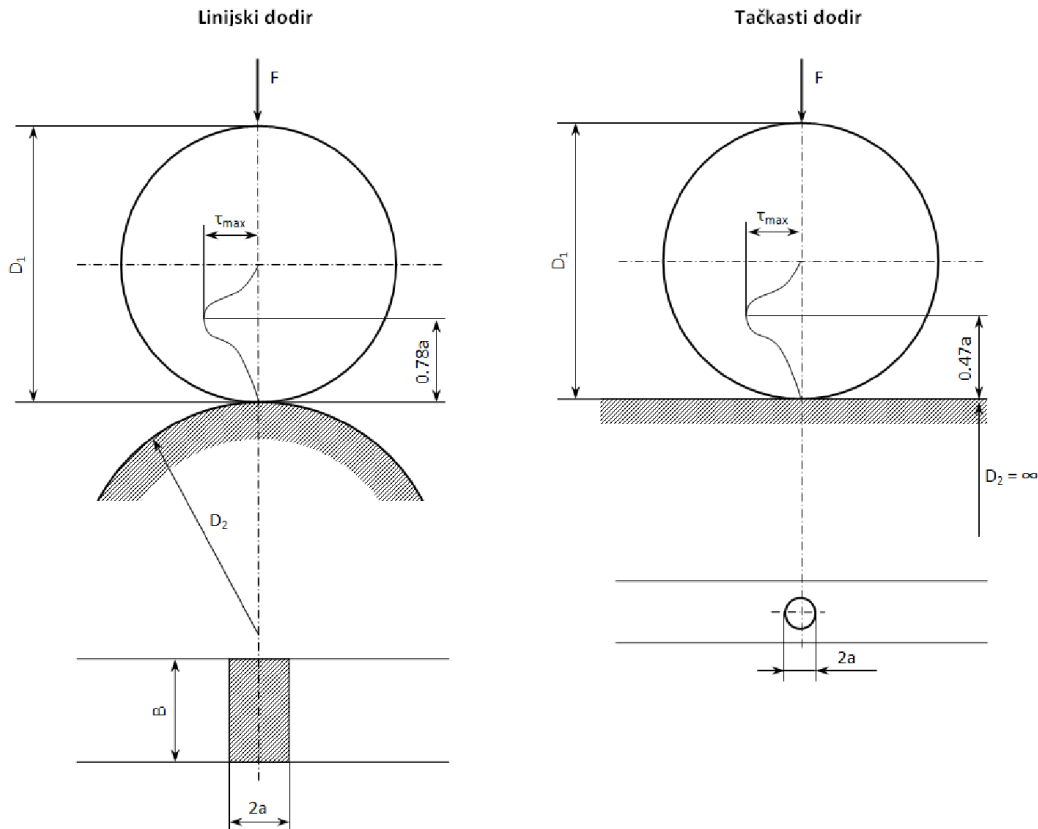
d, B (m) - prečnik cilindra (kugle), tj. dužina cilindra

K (Pa) - dozvoljeno kontaktno opterećenje

Vrsta tretmana	$K \times 10^5$ [Pa]		
	Lopta	Kratak valjak	Dugi valjak
potpuno kaljen ili cementiran pa kaljen	6	200	150
indukciono kaljen	5	180	130
nitriran	4	150	100

**Ljuskanje**

U slučaju ljuskanja ili pitinga dolazi do odvaljivanja površinskih slojeva kao posledica zamora materijala. Pod dejstvom promenljivog kontaktnog opterećenja dolazi do pojave promenljivog napona smicanja u površinskom sloju koji ima maksimalnu vrednost na određenoj dubini ispod površine. Na toj dubini dolazi najpre do pojave zamora i prve pukotine paralelne sa površinom koja se postepeno razvija u ljuskanje površinskog sloja.



Slika 1: Raspored kontaktnog napona po dubini pri linijskom i tačkastom dodiru

Pri linijskom dodiru maksimalni napon javlja se na dubini  $0.78a$ , a kod tačkastog na dubini od  $0.47a$  (slika 1). Parametar  $a$  definiše širinu kontakta, a zavisi od vrste dodira. U slučaju linijskog dodira linija se deformiše u traku širine  $2a$ , a pri tačkastom dodiru tačka se deformiše u krug poluprečinka  $a$ . U nastavku su prikazani izrazi za određivanje veličine kontakta, kao i najvećih napona.

**Za linijski dodir:**

$$a = 1.075D_1\phi\sqrt{\frac{K}{E}} \dots\dots\dots (4)$$

$$\tau_{MAX} = 0.18\sqrt{KE} \dots\dots\dots (5)$$

**Za tačkasti dodir:**

$$a = 0.88D_1\sqrt[3]{\frac{K}{E}} \dots\dots\dots (6)$$

$$\tau_{MAX} = 0.17\sqrt[3]{KE^2} \dots\dots\dots (7)$$

gde su:

$\varphi$ – faktor kontakta	E – modul elastičnosti	K – dozvoljeno kontaktno opterećenje	$D_1, D_2$ – prečnik radnog i osnovnog tela	F – sila pritiska
$\varphi = \frac{1}{1 + \frac{D_1}{D_2}}$	$E = \frac{2E_1E_2}{E_1 + E_2}$	Za linijski: $K = F/\varphi D_1 B$ Za tačkasti: $K = F/D_1^2$	-	-

Postupak površinskog ojačavanja treba sa sigurnošću da obuhvati dubinu na kojoj se pojavljuje maksimalni napon smicanja, ato će biti ako je dubina ojačavanja:

- **S = a** - za linijski dodir
- **S = 0.6a** - za tačkasti dodir

Parametri površinskog ojačavanja:

- najmanja površinska tvrdoća i
- dubina ojačavanja.