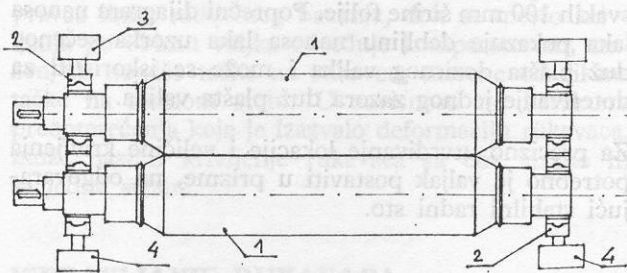




ISPRAVLJANJE RUKAVACA DOZIRNIH VALJAKA ZA LAKIRANJE CELOFANSKE FOLIJE¹⁾

UVOD

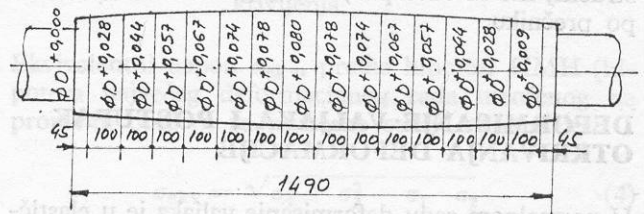
Celofanska folija posle kvašenja u kadi za lak prolazi između dva fino brušena valjka, gde se konačno određuje nanos laka. Ova dva dozirna valjka (tzv. „doktor-rolne“) imaju sposobnost mikropomeranja radi regulisanja debljine nanosa laka i razdvajanja pomoću ekscentara radi čišćenja, poliranja i drugih intervencija (slika 1).



Slika 1. Skica dozirnih valjaka u ležajevima: 1 — dozirni valjak, 2 — samopodešavajući klizni ležaj, 3 — ekscentar za razdvajanje valjaka, 4 — mikrozavrtanj za podešavanje zazora između valjaka

Klizni ležaji imaju mogućnost okretanja i podešavanja u pravcu ose rukavca, vertikalnog podizanja radi horizontalne nivelacije i radijalnog klizanja pri regulaciji zazora između valjaka. Oblik plašta dozirnih valjaka može biti cilindričan i ovalan. Ako su u sprezi dva cilindrična valjka, horizontalno nivelisana, nastaje neravnomeran nanos laka po širini folije. To je posledica deformacije valjaka koja nastupa usled kontinualnog opterećenja plašta valjka zbog istiskivanja viška laka sa folije. Neravnomeran nanos laka nepovoljno se odražava na kvalitet lakiranog celofana, a osim toga dolazi do povećane potrošnje laka. Da bi se izbegao neravnomeran nanos laka, nastao zbog elastične deformacije dozirnih valjaka, vrši se tzv. ukošavanje, pri čemu se unapred poveća razmak va-

ljaka na krajevima, ili se vrši ovalna obrada plašta valjka. U praksi su se najbolje pokazali jedan ovalan i jedan cilindričan valjak. Ovalni valjak treba da ima oblik što bliži elastičnoj liniji nastaloj zbog opterećenja valjaka usled međusobnog dejstva pri formiranju debljine nanosa laka. Zbog vrlo komplikovanog postupka iznalaženja veličine kontinualnog opterećenja, u praksi se traži najoptimalniji maksimalni ugib na sredini plašta valjka, pa se na osnovi njega definiše elastična linija, odnosno dijagram ovalne obrade. Brušenje plašta valjka po elastičnoj liniji vrlo je neekonomično, jer bi za svaki pojedinačan slučaj trebalo izraditi novi šablon. Zbog toga se elastična linija aproksimira kružnim lukom, koji ima prečnik definisan maksimalnim ugibom (bombaža). Greška pri ovoj aproksimaciji je reda veličine 0,001 mm — to zavisi od bombaže i dužine plašta valjka.



Slika 2. Dijagram brušenja po kružnom luku

Na slici 2 dat je dijagram brušenja po kružnom luku za dozirni valjak prečnika 200 mm, dužine 1490 mm i bombaže 0,080 po prečniku. Vrednost odstupanja od prečnika plašta valjka u bilo kojoj tački duž valjka može se odrediti prema slici 3, gde je $OB = r$ — poluprečnik kružnog luka koji aproksimira elastičnu liniju, $AB = L$ — dužina plašta valjka, y_{max} — bombaža (polovina maksimalnog ugiba na sredini).

Iz trougla OBC je:

$$OB^2 = OC^2 + CB^2, \text{ odnosno}$$

$$r^2 = (r - y_{max})^2 + \frac{L^2}{4}, \text{ odavde je}$$

$$r = \frac{L^2 + 4y_{max}^2}{S y_{max}} \quad (1)$$

*) Milan Rikalović, dipl. inž., „Viskoza“, OOUR „Lozofan“ — Loznica

¹⁾ Referat sa XIII MAJSKOG SKUPA JUGOSLOVEN² SKIH ODRŽAVALACA SREDSTAVA ZA RAD, Kra- gujevac, 1982.

Sasvim je razumljivo da se ispravljanje izvodi plastičnom deformacijom na savijanje, pa je:

$$\sigma = \frac{M}{I_x} \cdot y \quad (8)$$

$$\tau = \frac{T \cdot S_c}{I_x \cdot \xi} \quad (9)$$

gde je:

M (kN/cm) — moment savijanja na kritičnom mestu,

I_x (cm⁴) — moment inercije kritičnog preseka,

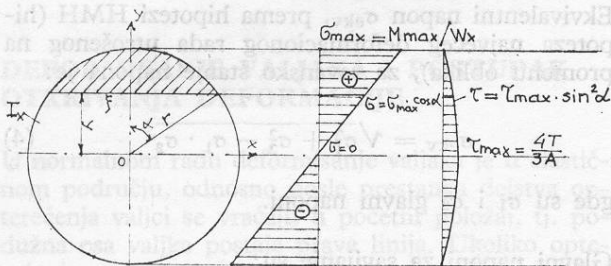
y (cm) — rastojanje od ose x posmatranih vlakana u preseku,

T (kN) — transversalna sila u kritičnom preseku,

S_c (cm³) — statički moment površine u preseku posmatranih vlakana,

ξ (cm) — širina u preseku.

Na slici 6 prikazano je naponsko stanje po kružnom preseku usled savijanja, pri čemu je maksimalna vrednost normalnog napona u najudaljenijim vlaknima od ose simetrije (neutralna linija) $\sigma_{\max} = M/W_x$, a maksimalna vrednost tangencijalnog napona u središnjim vlaknima $\tau_{\max} = 4T/3A$, gde je A (cm²) površina poprečnog preseka.



Slika 6. Naponsko stanje u kružnom kritičnom preseku

Ekvivalentni napon u proizvoljnoj tački kritičnog preseka postaje:

$$\sigma_{\text{ekv}} = \sqrt{\left(\frac{M}{W_x}\right)^2 \cos^2 \alpha + 3 \left(\frac{4T}{3A}\right)^2 \sin^4 \alpha} \quad (10)$$

Funkcija (10) ima maksimum, minimum i prevojnu tačku. Pri savijanju normalni naponi su znatno veći od tangencijalnih, pa se za slučaj $\sigma^2 > 3\tau^2$ može pokazati da ekvivalentni napon postiže svoju maksimalnu vrednost za $\alpha = 0$, odnosno jednak je samo normalnom naponu u kritičnom preseku. Zato se može zapisati:

$$\sigma_{\text{ekv}} = \sigma_{\max} = \frac{M}{W_x} \quad (11)$$

Ovde je W_x (cm³) otporni moment kritičnog preseka. Međutim, u teoriji opterećenja, konstrukcija iznad granice elastičnosti dokazuje da postoji dodatni stepen sigurnosti na plastičnu deformaciju, zbog unutrašnje nehomogenosti napregnutog stanja, koji iznosi:

$$v_u = \frac{(W_x) \text{ pl}}{W_x} = \frac{2S}{W_x} \quad (12)$$

gde je:

$(W_x) \text{ pl}$ (cm³) — otporni moment na savijanje u području plastičnih deformacija,

S (cm³) — statički moment površine preseka iznad neutralne linije.

Za kružni presek važi:

$$v_u = \frac{2 \cdot \frac{2}{3} r^3}{\pi \cdot r^3} = \frac{16}{3\pi} \approx 1,7$$

Prema tome, umesto izraza (11) mora biti:

$$\sigma_{\text{ekv}} = \sigma_{\max} = \frac{M}{(W_x) \text{ pl}} = \frac{M}{v_u \cdot W_x} = \frac{3\pi \cdot M}{16 \cdot W_x} \quad (13)$$

Oдавde se dobija:

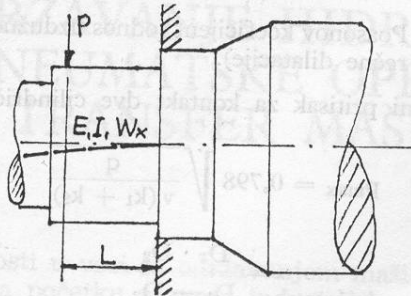
$$M = \sigma_{\text{ekv}} \cdot \frac{16}{3\pi} \cdot W_x = \frac{16 \cdot \sigma_R}{3\pi \cdot \alpha_K} W_x \quad (14)$$

Moment savijanja u kritičnom preseku zavisi samo od vrednosti i rasporeda opterećenja, kao i od tipa oslanjanja. Opterećenje može biti statičko i dinamičko, koncentrisana sila ili kontinualno duž rukavca. Jasno je da statička sila za veće prečnike rukavaca postaje vrlo velika i, kao takva, ograničavajući faktor rada. Kontinualni raspored opterećenja je nepovoljan, zato što ublažava veličinu momenta savijanja u odnosu na moment koncentrisane sile istog intenziteta.

Međutim, pri velikim intenzitetima koncentrisane sile raste opasnost od smicanja i od površinskog oštećenja rukavca. Zbog toga se dejstvo koncentrisane sile raspoređuje duž ose rukavca na kritičnom mestu na sigurnosnu površinu radi površinske zaštite. Udarim opterećenjem postižu se, s malim težinama bata, velike kontaktne sile, uz vrlo jednostavne aparature za njihovo ostvarenje. Prema tome, najuputnije je ispravljanje vršiti udarnim dinamičkim silama koncentrisanog dejstva. Pri tome, kontra-efekti postupka moraju se posebno analizirati, zbog mogućnosti površinske deformacije na mestu udara u osloncima.

Razmotrićemo dva osnovna slučaja savijanja grede usled udarnog opterećenja od pada tereta s visine h.

1. **SLUČAJ:** konzolno postavljen rukavac (slika 7)



Slika 7. Konzolno ispravljanje rukavca

Sila P (kN) je sila nastala u trenutku udara, pri padu tereta Q sa visine h. Ugib po elastičnoj liniji na rastojanju L od oslonca iznosi:

$$y_p = \frac{P \cdot L^3}{6 EI}, \text{ odnosno sila P je: } P = \frac{6 EI}{L^3} y_p \quad (15)$$

Dakle, teg Q, padajući s visine h, izazove na mestu udara ugib y_p , pa prema tome, raspolaže potencijalnom energijom u trenutku udara $E_p = Q(h + y_p)$.

Ako pretpostavimo da se sva potencijalna energija pretvara u deformacioni rad $A_p = P \cdot y_p/2$, može se zapisati:

$$Q(h + y_p) = \frac{P \cdot y_p}{2} \quad (16)$$

Uvrštenjem u ovu jednačinu sile P iz jednačine (15), dobija se kvadratna jednačina po y_p , čije je pozitivno rešenje:

$$y_p = \frac{L^3}{6 EI} \left(Q + \sqrt{Q^2 + \frac{12 EI Q h}{L^3}} \right) \quad (17)$$

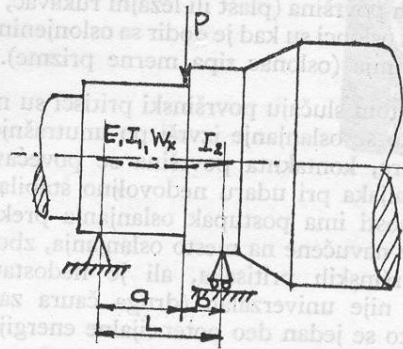
Sada, po jednačini (15), intenzitet sile udara iznosi:

$$P = Q + \sqrt{Q^2 + \frac{12 EI Q h}{L^3}} \quad (18)$$

Moment savijanja na mestu uklještenja iznosi $M = P \cdot L$. Kada se u ovu relaciju uvrsti moment iz jednačine (14) i sila iz izraza (18) i jednačina reši po h, dobija se:

$$h = \frac{64 \cdot \sigma_r^2 \cdot W_x^2 \cdot L}{27 EI \alpha_k^2 \cdot \pi^2} \cdot \frac{1}{Q} - \frac{8 \sigma_r \cdot W_x \cdot L^2}{9 EI \cdot \alpha_k \cdot \pi} \quad (19)$$

2. **SLUČAJ:** rukavac postavljen kao greda sa dva oslonca (slika 8)



Slika 8. Ispravljanje rukavca kao grede s dva oslonca

Analognim postupkom, kao u prvom slučaju, dobija se:

$$\text{udarna sila P: } P = \frac{3 EL^2}{a^2 b^2 k} y_p \quad (20)$$

gde je $k = a/I_1 + b/I_2$

Ugib y_p na mestu udara sile P:

$$y_p = \frac{a^2 b^2 k}{3 EL^3} \left(Q + \sqrt{Q^2 + \frac{6 EL^2 Q h}{a^2 b^2 k}} \right) \quad (21)$$

Intenzitet sile udara P iznosi:

$$P = Q + \sqrt{Q^2 + \frac{6 EL^2 Q h}{a^2 b^2 k}} \quad (22)$$

Moment na mestu udara iznosi $M = P \cdot a \cdot b/L$ pa se dobija:

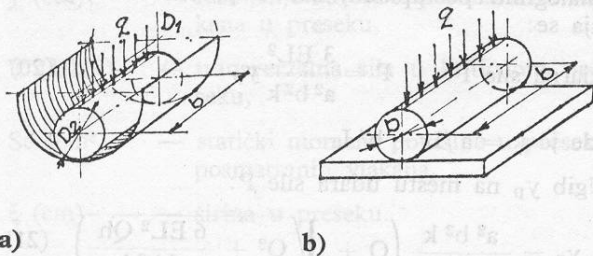
$$h = \frac{128 \sigma_r^2 \cdot W_x^2 \cdot k}{27 E \alpha_k^2 \cdot \pi^2} \cdot \frac{1}{Q} - \frac{16 \sigma_r \cdot W_x \cdot a \cdot b \cdot k}{9 E \cdot L \cdot \alpha_k \cdot \pi} \quad (23)$$

Jednačine (19) i (23) predstavljaju zavisnost visine s koje treba pustiti teg težine Q da bi se izazvala plastična deformacija na savijanje na mestu uklještenja kod prvog slučaja, odnosno na mestu udara kod drugog slučaja. Težinu tega treba konstruktivno izabrati u zavisnosti od dimenzija aparature za ispravljanje i obično se uzima 5—10 kN, i to tako da visina slobodnog pada h ne pređe 100 cm. Jasno je da izvedena teorijska razmatranja ne garantuju uspeh u radu, zbog niza pretpostavki, a i zbog nepouzdanosti karakteristika materijala rukavca. Teorijski rezultati su samo putokaz za stvarno određivanje vrednosti Q i h.

Potrebno je računске rezultate umanjiti za oko 25% i posle svakog udarca meriti eventualno nastalu plastičnu deformaciju preko radijalnog bacanja. Ukoliko se plastična deformacija ne pojavljuje postepeno, treba povećavati visinu slobodnog pada tega sve dok se ne uoči minimalna plastična deformacija, koja za dalji rad predstavlja jediničnu deformaciju.

Izbor i konstrukcija oslonca je značajna faza postupka, zbog opasnosti površinskog deformisanja, naročito funkcionalnih površina (plašt ili ležajni rukavac, npr.). Najprecizniji oslonci su kad je dodir sa oslonjenim valjkom prava linija (oslonac tipa merne prizme).

Međutim, u tom slučaju površinski pritisci su najveći (slika 9). Ako se oslanjanje izvrši po unutrašnjoj površini cilindra, kontaktna površina se povećava, ali je položaj valjaka pri udaru nedovoljno stabilan. Izvesne prednosti ima postupak oslanjanja preko distantne čaure navučene na mesto oslanjanja, zbog najmanjih površinskih pritisaka, ali je nedostatak to što oslonac nije univerzalan (druga čaura za svaki prečnik) i što se jedan deo potencijalne energije troši na deformisanje distantne čaure.



a) b)
Slika 9. Oslonci: a — kontakt cilindra i ravne površine
b — kontakt dve cilindrične površine

Provera kontaktnog pritiska može se izvršiti prema Hercovim obrascima u teoriji kontaktnog naprezanja.

Maksimalni kontaktni pritisak za slučaj a, prema slici 9, iznosi:

$$P_{\max} = 0,798 \sqrt{\frac{q}{D(k_1 + k_2)}} \quad (24)$$

gde je:
 $q = F/b$ (kN/cm) — raspored dejstva otpora oslonca po površini dodira,
 D (cm) — prečnik valjka koji se oslanja

$$k_1 = \frac{1 - \mu_1^2}{E_1} \quad k_2 = \frac{1 - \mu_2^2}{E_2}$$

μ_1, μ_2 — Poasonov koeficijent (odnos uzdužne i poprečne dilatacije).

Maksimalni pritisak za kontakt dve cilindrične površine:

$$P_{\max} = 0,798 \sqrt{\frac{q}{v(k_1 + k_2)}} \quad (25)$$

gde je:

$$v = \frac{D_1 \cdot D_2}{D_1 - D_2}$$

Kontaktni pritisak u kliznom ležaju

$$P_{\max} = \frac{F}{b \cdot D} \quad (26)$$

gde je F (kN) otpor oslonca, b (cm) dužina ležišne čaure, a D (cm) prečnik valjka. Tolerancijski sklop čaure i valjka skoro redovno je $H7/g6$.

Ispravljanje iskrivljenih mesta na rukavcu dozirnih valjaka za lakiranje moguće je i na mašini za lakiranje. Ovaj postupak je preporučljiv u krajnjoj nuždi, kad vreme ne dozvoljava skidanje valjaka i njihovo ispravljanje u odgovarajućoj radionici. Naravno da pre ispravljanja treba proveriti opasnost od plastične deformacije ležaja i izdržljivost noseće konstrukcije valjka na dejstvo udarne sile. Isto tako je neophodno osloboditi ležaj za kretanje u pravcu udarne sile, a međusobni kontakt spregnutih dozirnih valjaka obezbediti nekim deformabilnim materijalom.