

ORIGINALNI NAUČNI RAD

R. Kovač*

ANALIZA UZROKA POJAVE PUKOTINA U SLOJU EMAJLA
NA ODLIVCIMA OD SIVOG LIVA

Rezime

U radu su na osnovu teorijskih analiza deformacionog stanja elemenata odlivka i praktičnih opažanja, pri emajliranju, analizirani uzroci nastajanja pukotina u sloju emajla, na odlivcima od sivog liva.

THE ANALYSIS OF CAUSES OF CRACKS APPEARANCE ON
ENAMEL COAT AT GRAY IRON CASTINGS

Summary

In this paper is given the analysis of causes of cracks appearance on enamel coat at gray iron casting, based on theoretical analysis of stress condition at gray iron casting and practical observation during the enameling.

1. UVOD

U raznim oblastima tehnike kao i u oblasti robe široke potrošnje koriste se materijali koji imaju visoku hemijsku postojanost, ili zaštitne pokrivke. Visok stepen zaštite metala od korozije, uz istovremeno postizanje dekorativnog izgleda dela, postiže se emajliranjem. Emajliranju se podvrgavaju delovi za potrebe hemijske naftaprerađivačke i drugih vidova industrije, sanitarno-tehnički

*) Kovač dr Risto, dipl.ing., vanr.prof., Fakultet tehničkih nauka, Institut za proizvodno mašinstvo, 21000 Novi Sad, V. Perića valtera 2.

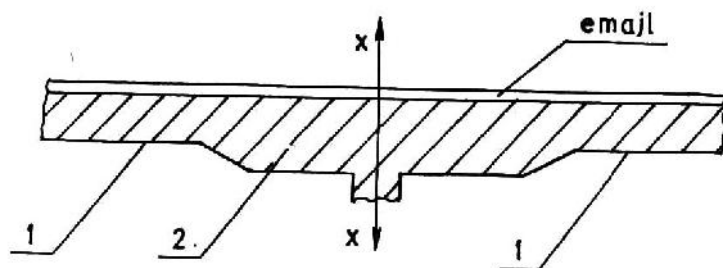
delovi, i dr. Svi ti delovi rade se od relativno jeftinih materijala: sivog liva i čelika, a u nekim slučajevima od aluminijuma, magnezijuma i titana.

Eksploataciona svojstva emajliranih delova određena su svojstvima emajla, kao što su: termičko širenje, toploprovodnost, termopostojanost i dr. Koeficijent termičkog širenja emajla treba da se nalazi u određenom odnosu sa koeficijentom širenja emajliranog metala.

No i pored uskladjenosti koeficijenta termičkog širenja emajla i metalnog materijala mogu se javiti pukotine u emajliranom sloju, što emajlirani deo čini neupotrebivim. U radu se razmatra uzrok nastajanja pukotina u sloju emajla na odlivcima od sivog liva.

2. KARAKTERISTIKE ODLIVAKA

Masa odlivaka kreće se do 90 kg, a rade se od nelegiranog sivog liva sastava: 3,3-3,5%C; 2,5-2,8%Si do 0,7%Mn; 0,3-0,6%P do 0,1%S. Pukotine u sloju emajla javljaju se samo na jednom delu odlivka, koji prikazuje slika br.1. i to na zidu odlivka označenim sa 2. Tanji zid odlivka označen sa 1 ima debljinu $2x_1=4$ mm, a deblji zid označen sa 2 ima debljinu $2x_2>4$ mm. Dužina dela odlivka čiji je presek prikazan na slici br.1. kreće se do 600 mm, što zavisi od tipa odlivka. Konstrukcija odlivka je takva da je deblji zid 2 okružen tanjim zidom 1. Oba zida imaju oblik ploče karakterističnih dimenzija x_1 i x_2 , pri čemu je $x_1 < x_2$. Odlivak se lije u



Sl.1.

peščanim kalupima, te u izvesnoj meri dolazi do odstupanja u debljini zida 2. Na ovom zidu nalazi se ulivni sistem, te pri prosecanju ulivnog sistema dolazi do odrona mešavine usled čega zid 2

na pojedinim mestima ima zadebljanja.

U procesu emajliranja odlivak se više puta zagreva u komornoj peći na temperaturu od 920°C, a zatim nanosi temeljni i pokrovni emajl.

Šematski prikaz preseka dela odlivka, odnosno zidova 1 i 2 sa slojem emajla dat je na slici br.1.

3. TEMPERATURE ZIDOVA ODLIVKA

Pri hladenju zidova 1 i 2 odlivka toplota se iz unutrašnjih slojeva odvodi u pravcu ose x i sa površine odaje u okolnu sredinu. Kako deblji zid u tom periodu ima veću temperaturu to će jedan deo toplote iz debljeg zida preći u tanji i posredstvom istog biti odveden u okolnu sredinu. Ako bi se zidovi odlivka, koji imaju oblik ploče, odvojili i pri tom uvelo uprošćenje da se toplota odvodi kroz površine na koje je normalna osa x , tada se temperaturno polje zidova 1 i 2 odlivka opisuje parcijalnom diferencijalnom jednačinom

$$\frac{\partial T(x, \tau)}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 T(x, \tau)}{\partial x^2} \quad (1)$$

uz odgovarajuće početne i granične uslove.

Kako su karakteristične dimenzije zidova 1 i 2 odlivka relativno male $x_1 = 2$ mm i $x_2 > 2$ mm, to se pri maloj vrednosti kriterija Bio pad temperature po preseku zidova 1 i 2 odlivka može zanemariti, jer je $T(0, \tau) \approx T(x, \tau) \approx T(X, \tau) = T(\tau)$. Pri navedenim uslovima parcijalna diferencijalna jednačina (1) može se prevesti u običnu diferencijalnu jednačinu oblika:

$$q(\tau) = -c_p X \frac{dT(\tau)}{d\tau} \quad (2)$$

Količina toplote $q(\tau)$ odvedeno s površine odlivka u okolnu sredinu opisuje se zakonom Njutna

$$q(\tau) = (T(X, \tau) - T_S) \quad (3)$$

gde je α - koeficijent prelaza toplote sa površine odlivaka u okolnu sredinu

$T(X, \tau)$ - temperatura površine odlivka

T_S - temperatura okolne sredine ($T_S = 20^\circ\text{C}$)

Pri uslovu $T(x, \tau) = T(X, \tau) = T(\tau)$ u jednačini (3) $T(X, \tau)$ može se zameniti sa $T(\tau)$. Nakon te zamene i množenja jednačine (2) sa površinom S , jednačina (2) dobija oblik:

$$\frac{dQ}{d\tau} = -c_p X \cdot S \frac{dT}{d\tau} \quad (4)$$

Rešenje jednačine glasi

$$T = (T_p - T_S) \cdot \exp\left(-\frac{\alpha \cdot a}{\lambda X} \cdot \tau\right) + T_S \quad (5)$$

gde je: T_p - početna temperatura hlađenja odlivka. (Pri emajli-ranju $T_p = 920^\circ\text{C}$)

a - temperaturna provodljivost materijala odlivka

λ - toplotna provodljivost materijala odlivka

X - karakteristična dimenzija zida odlivka

τ - vreme hlađenja.

Uvodjenjem oznake

$$\beta_1 = \frac{\alpha_1 a}{\lambda X_1} ; \quad \beta_2 = \frac{\alpha_2 a}{\lambda X_2}$$

iz (5) se dobijaju jednačine koje definišu temperature zidova 1 i 2 odlivka, tj.

$$T_1 = (T_p - T_S) \exp(-\beta_1 \tau) + T_S \quad (6)$$

$$T_2 = (T_p - T_S) \exp(-\beta_2 \tau) + T_S \quad (7)$$

pri tom je uzeto da su temperaturna provodljivost i toplotna provodljivost materijala odlivka iste za zidove 1 i 2. Kako je $\beta_1 > \beta_2$, to će u celom periodu hlađenja zidova 1 i 2 biti $T_1 < T_2$. Na početku hlađenja pri $\tau = 0$, $T_1 = T_2 = T_p$, a na završetku hlađenja do sobne temperature pri τ_3 , $T_1 = T_2 = T_S$.

4.0. DEFORMACIJE ZIDOVA ODLIVKA

U periodu hladjenja zidova odlivka protiče proces skupljanja i javljaju se temperaturne deformacije. Ako bi se zidovi 1 i 2 odlivka, u periodu hladjenja, odvojili njihove slobodne relativne temperaturne deformacije bi bile:

$$\varepsilon_1 = \alpha_0 (T_P - T_S) \exp(-\beta_1 \tau) + T_S \quad (8)$$

$$\varepsilon_2 = \alpha_0 (T_P - T_S) \exp(-\beta_2 \tau) + T_S \quad (9)$$

gde je α_0 - termički koeficijent linearnog širenja materijala zidova odlivka. U Daljim razmatranjima vrednost ovog koeficijenta uzeće se kao konstantna veličina, nezavisna od temperature i jednaka za zidove 1 i 2 odlivka,

Ceo period hladjenja zidova odlivka od $\tau=0$ do $\tau=\tau_3$, s obzirom na plastična i elastična svojstva materijala odlivka uslovno se može podeliti u dva karakteristična perioda: hladjenje u oblasti plastičnih i hladjenje u oblasti elastičnih deformacija.

Prema E.Gejnu /1/ pri dovoljno visokoj temperaturi T a pri $T > T_{kr}$, gde je T_{kr} - kritična temperatura materijala odlivka, materijal odlivka se nalazi u apsolutno plastičnom stanju. Pri temperaturi $T < T_{kr}$ materijal odlivka se nalazi u apsolutno elastičnom stanju. U trenutku kada materijal odlivka dostigne kritičnu temperaturu dolazi do trenutnog prelaza materijala iz plastičnog u elastično stanje. U stvari, pretpostavka o apsolutno plastičnom i apsolutno elastičnom stanju metala nije sasvim tačna. Svi realni metali i legure imaju elastična svojstva pri visokim temperaturama i plastična svojstva pri niskim temperaturama. Sem toga ne postoji kritična temperatura prelaska iz plastičnog u elastično stanje, već temperaturni interval, pri čem njegove granice zavise od brzine hladjenja i veličine vremenskih napona. Ipak, uprošćenja koja je dao E.Gejn omogućavaju s dovoljnim stepenom tačnosti objasniti pojave koje prate proces hladjenja odlivka /1/.

Imajući u vidu napred izloženo, vreme prelaska materijala zidova 1 i 2 odliva iz oblasti plastičnih u oblast elastičnih deformacija odrediće se iz izraza (6) i (7). Zamenom u navedenim izrazima T_1 i T_2 sa T_{kr} i razvijanjem u red, zadržavajući se na

prvom članu reda, dobije se:

$$\tau_1 = \frac{1}{\beta_1} \left(1 - \frac{T_{kr} - T_S}{T_P - T_S} \right) \quad (10)$$

$$\tau_2 = \frac{1}{\beta_2} \left(1 - \frac{T_{kr} - T_S}{T_P - T_S} \right) \quad (11)$$

Kao što je napred navedeno zid 2 odlivka okružen je zidom 1, te će se ovaj deo odlivka posmatrati kao tehnološka proba na kojoj se razmatra mehanizam nastajanja toplotnih napona na odlivku /3/.

U prvoj etapi hladjenja od $\tau=0$ do $\tau=\tau_1$, $T_1 > T_{kr}$ i $T_2 > T_{kr}$, te se materijal oba zida odlivka nalazi u oblasti plastičnih deformacija. Kako zidovi 1 i 2 odlivka čine celinu to u ovom periodu zid 1 ima deformaciju na istezanje a zid 2 deformaciju na pritisak.

U drugoj etapi hladjenja od τ_1 do τ_2 temperatura zida 1 odlivka $T_1 < T_{kr}$, te se materijal ovog zida nalazi u oblasti elastičnih deformacija. Temperatura zida 2 je $T_2 > T_{kr}$ te se materijal zida 2 nalazi u oblasti plastičnih deformacija. U trenutku τ_2 zid 1 je deformisan na istezanje a zid 2 na pritisak.

U trećoj etapi hladjenja od τ_2 do τ_3 , materijal oba zida odlivka nalazi se u oblasti elastičnih deformacija. Od trenutka τ_2 i materijal zida 2 odlivka nalazi se u oblasti preovladjujućih elastičnih deformacija jer je i $T_2 < T_{kr}$. Ako bi se u trenutku τ_2 zidovi 1 i 2 odlivka odvojili, tako da se omogući njihovo slobodno skupljanje, deformacije ϵ_1 i ϵ_2 odrediće se unošenjem (11) u (7) i (8) te je:

$$\epsilon_1 = \alpha_0 \left| (T_P - T_S) \exp(-\beta_1 \tau_2) + T_S \right| \quad (12)$$

$$\epsilon_2 = \alpha_0 \left| (T_P - T_S) \exp(-\beta_2 \tau_2) + T_S \right| \quad (13)$$

Razlika deformacija u trenutku τ_2 je

$$\epsilon_2 - \epsilon_1 = \alpha_c (T_p - T_s) |\exp(-\beta_2 \tau_2) - \exp(-\beta_1 \tau_2)| \quad (14)$$

Kako zidovi 1 i 2 odlivka čine celinu to će oni u trenutku τ_2 imati istu dužinu, a različite temperature $T_2 > T_1$, te se može napisati:

$$\epsilon_1 + \acute{\epsilon}_1 = \epsilon_2 - \acute{\epsilon}_2 \quad (15)$$

gde je $\acute{\epsilon}_1$ deformacija na istezanje zida 1, a $\acute{\epsilon}_2$ deformacija na pritisak zida 2 odlivka. Deformacije $+\acute{\epsilon}_1$ i $-\acute{\epsilon}_2$ imaće zidovi 1 i 2 odlivka u trenutku τ_3 , tj. nakon potpunog hladjenja, s tim što će im se znak promeniti. Odavde sledi da će zid 1 nakon potpunog hladjenja imati deformaciju na pritisak $-\acute{\epsilon}_1$ a zid 2 deformaciju na istezanje $+\acute{\epsilon}_2$.

Iz napred izloženog sledi da je ukupna deformacija zidova 1 i 2 odlivka jednaka zbiru deformacija $\acute{\epsilon}_1$ i $\acute{\epsilon}_2$ odnosno razlici deformacija $\epsilon_2 - \epsilon_1$ u trenutku τ_2 , što iskazuje jednakost (15). Iz (15) i (14) sledi:

$$\acute{\epsilon}_1 + \acute{\epsilon}_2 = \alpha_o (T_p - T_s) \exp |(-\beta_2 \tau_2) - \exp(-\beta_1 \tau)| = \frac{\sigma_2}{E_2} - \frac{\sigma_1}{E_1} \quad (16)$$

gde su σ_1 i σ_2 napori, a E_1 i E_2 moduli elastičnosti zidova 1 i 2 odlivka. U daljem razmatranju će se uzeti $E_1 = E_2$. Korišćenjem uslova ravnoteže sila $\Sigma P = 0$ i momenata $\Sigma P \cdot z = 0$ iz jednačine (16) se dobije izraz za deformaciju zida 2 odlivka u obliku:

$$\acute{\epsilon}_2 = \frac{A_1}{A_1 - A_2} \alpha_o (T_p - T_s) |\exp(-\beta_2 \tau_2) - \exp(-\beta_1 \tau_2)| \quad (17)$$

gde su A_1 i A_2 površine preseka zidova 1 i 2 odlivka.

Jednačina (17) izvedena je pod uslovom da svaki elementarni deo po dužini zidova 1 i 2 odlivka u svakom trenutku τ , perioda hladjenja, ima temperature određene jednačinama (6) i (7). Pod ovim uslovom svaki element po dužini zida bi imao istu deformaciju. U realnim uslovima to se ne ostvaruje. Zid 2 odlivka je neravan, menja debljinu po dužini, a na pojedinim mestima nalazi se više ili manje izraslina oblika kalote. Jasno je da na ovim mestima zid ima povišenu temperaturu.

Jednačina (17) napisati se u obliku:

$$\dot{\epsilon}_2 = \frac{A_1}{A_1 - A_2} \left(1 - \frac{\exp(-\beta_1 \tau_2)}{\exp(-\beta_2 \tau_2)} \right) \alpha_0 (T_p - T_s) \exp(-\beta_2 \tau_2) \quad (18)$$

gde je:

$$\frac{A_1}{A_1 - A_2} \left(1 - \frac{\exp(-\beta_1 \tau_2)}{\exp(-\beta_2 \tau_2)} \right) = K_0 \quad (19)$$

i

$$\alpha_0 (T_p - T_s) \exp(-\beta_2 \tau_2) = \epsilon_2 \quad (20)$$

te jednačina (18) glasi

$$\dot{\epsilon}_2 = K_0 \cdot \epsilon_2 \quad (21)$$

gde je $\dot{\epsilon}_2$ - stvarna deformacija a ϵ_2 - slobodna deformacija, u nekom preseku, pri ravnomernom rasporedu temperatura u trenutku τ_2 . Veličina K_0 određena izrazom (19) predstavlja koeficijent proporcionalnosti između stvarne i slobodne deformacije. Kako zid 2 menja debljinu u pojedinim presecima to će i jednačine (19) (20 i (21) imati u raznim presecima različite vrednosti.

Kada u nekom preseku zida 2 odlivka napon u sloju emajla, izazvan naponima zida odlivka, dostigne čvrstoću na istezanje u sloju emajla će se javiti pukotine. Neka je čvrstoća emajla $\sigma_{Me} = \epsilon_p \cdot E$, gde je ϵ_p - deformacija na istezanje pri kojoj u sloju emajla nastaju pukotine, a E modul elastičnosti sloja emajla. Deformaciju ϵ_p u sloju emajla, pri kojoj nastaju pukotine, može izazvati neka deformacija $\dot{\epsilon}_2$ nastala u zidu odlivka. Uslov nastajanja pukotine u sloju emajla će se uzeti:

$$\epsilon_p < \dot{\epsilon}_2 \quad (22)$$

ili

$$\epsilon_p < K_0 \cdot \epsilon_2 \quad (23)$$

Iz (19) se vidi da vrednost koeficijenta K_0 raste sa porastom temperature u trenutku τ_2 i pri porastu A_2 ukoliko je $A_1 > A_2$. Najveću vrednost koeficijenta K_0 imaće preseci zida 2 odlivka sa najvećom temperaturom, odnosno sa najvećom površinom preseka. U preseku gde je ispunjen uslov (23) u sloju emajla će se javiti

pukotina. Što desna strana jednačine (23) ima veću vrednost od leve, tim su pukotine u sloju emajla veće. U presecima zida 2 odlivka gde je ispunjen uslov

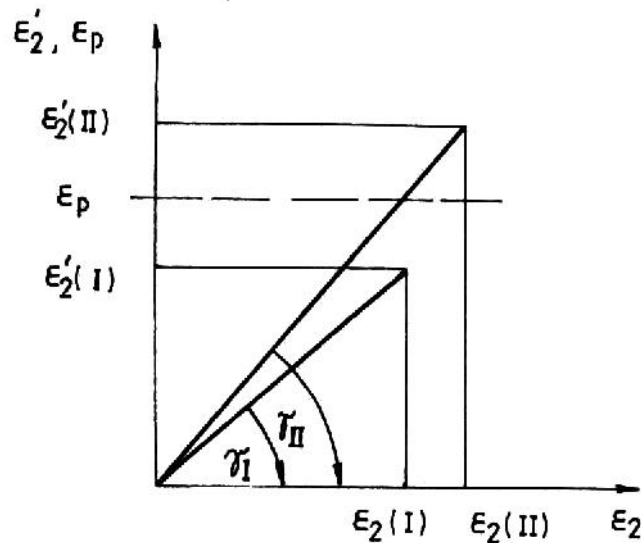
$$\epsilon_p > K_0 \cdot \epsilon_2 \quad (24)$$

u sloju emajla se neće javiti pukotine.

Na slici br.2. grafički je prikazana jednačina (23) za presek I i II ($A_{(II)} > A_{(I)}$) zida 2 odlivka. U jednačini (23) K_0 predstavlja tangens ugla γ . Na ordinatnu osu nanese su vrednosti stvarne deformacije ϵ'_2 i deformacije ϵ_p , a na apscisnu osu nanese su slobodne deformacije ϵ_2 u presecima I i II. Deformacije ϵ_2 u ovim presecima su:

$$\epsilon_{2(I)} = \alpha_0 |(T_p - T_s) \exp(-\beta_{2(I)} \tau_2) + T_s| \quad (25)$$

$$\epsilon_{2(II)} = \alpha_0 |(T_p - T_s) \exp(-\beta_{2(II)} \tau_2) + T_s|$$



S1.2.

Kako je $\beta_{2(I)} > \beta_{2(II)}$ to je u trenutku τ_2 $\epsilon_{2(I)} < \epsilon_{2(II)}$. Koeficijent proporcionalnosti $K_{0(I)} < K_{0(II)}$ te prema (21):

$$\epsilon'_2(I) < \epsilon'_2(II) \quad (26)$$

ili prema (23) i slici br.2.

$$\epsilon_p < \epsilon_2'(II) \quad (27)$$

te će se u preseku II zida 2 odlivka javiti pukotine u sloju emajla. Dok je u preseku I (prema 24) i slici br. 2.

$$\epsilon_p > \epsilon_2'(I) \quad (28)$$

te se u ovom preseku neće javiti pukotine u sloju emajla.

Na osnovu izvedene analize nameće se zaključak da se pukotine u sloju emajla zida 2 odlivka javljaju na mestima sa najvećom temperaturom u trenutku τ_2 i daljem procesu hladjenja. Najveću temperaturu imaju mesta sa izraslinama na zidu odlivka, a naročito oblika kalote čija masa akumulira toplotu i sporije se hladi, nego drugi delovi zida odlivka. Ova mesta predstavljaju "topla" mesta i na kraju hladjenja odlivka imaju najveću deformaciju na istezanje. Kako emajl ima vrlo malu čvrstoću na istezanje $\sigma_{Me} = (40-80)\text{MPa}$ i vrlo je krto, te se i pri vrlo malim lokalnim deformacijama u sloju emajla javljaju pukotine. Ukoliko na zidu odlivka ima više mesta gde je $\epsilon_2' > \epsilon_p$ to će se pojaviti veći broj pukotina.

Različiti tipovi emajla imaju različite koeficijente termičkog širenja α_e , te će u daljoj analizi biti razmatran uticaj veličine ovog koeficijenta na mogućnost pojave pukotina u sloju emajla. Analogno izrazu (23) i za sloj emajla će se uvesti pojam koeficijenta proporcionalnosti slobodne ϵ_e i stvarne deformacije ϵ_e' .

$$\epsilon_e' = K_e \cdot \epsilon_e \quad (29)$$

gde je K_e - koeficijent proporcionalnosti.

Radi uspostavljanja veze između fizičkih veličina odlivka i emajla uvešće se faktor proporcionalnosti f između koeficijenta K_e i K_0 u obliku $K_e = f \cdot K_0$, te se iz (21) i (29) dobije:

$$\epsilon_e' = f \cdot \frac{\epsilon_e}{\epsilon_2} \cdot \epsilon_2' \quad (30)$$

Pri istoj vrednosti temperature slobodne deformacije emajla i materijala zida odlivka odnose se kao njihovi koeficijenti termičkog širenja, tj.

$$\frac{\epsilon_e}{\epsilon_2} = \frac{\alpha_e}{\alpha_0} \quad (31)$$

Veličine α_e i α_0 određuju se pri temperaturama nižim od temperatura prelaska emajla iz tečnog u čvrsto stanje.

Unošenjem u (30) izraza (31) i (18) dobije se izraz za stvarnu deformaciju u sloju emajla u nekom preseku.

$$\epsilon_e^r = f \frac{\alpha_e}{1 - A_2/A_1} \left(1 - \frac{\exp(-\beta_1 \tau_2)}{\exp(-\beta_2 \tau_2)} \right) (T_P - T_S) \exp(-\beta_2 \tau_2) \quad (32)$$

U prethodnim analizama, koeficijent termičkog širenja materijala odlivka α_0 uzet je kao konstantna veličina u celom temperaturnom intervalu. Iz tog razloga se α_0 ne pojavljuje u izrazu (32). Ukoliko se u (18) α_0 zameni sa α_{kr} - koeficijentom termičkog širenja materijala zida odlivka, koji odgovara temperaturi prelaska zida odlivka iz oblasti plastičnih u oblast elastičnih deformacija, na desnoj strani jednačine (32) pojavio bi se odnos α_{kr}/α_0 . U tom slučaju jednačina (32) glasi:

$$\epsilon_e^r = f \frac{\alpha_e}{\alpha_0} \frac{1}{1 - A_2/A_1} \left(1 - \frac{\exp(-\beta_1 \tau_2)}{\exp(-\beta_2 \tau_2)} \right) \alpha_{kr} (T_P - T_S) \exp(-\beta_2 \tau_2) \quad (33)$$

Jednačine (32) i (33) pokazuju da će stvarna deformacija u sloju emajla ϵ_e^r biti manja što je vrednost termičkog koeficijenta širenja emajla ϵ_e manja. Koeficijent termičkog širenja materijala odlivka α_0 pri istom hemijskom sastavu i uslovima hlađenja odlivka može se uzeti kao konstantna veličina. Kako se isti odlivci emajliraju različitim tipovima emajla koji imaju različite koeficijente termičkog širenja to pri istim ostalim uslovima na jednom tipu emajla se može pojaviti veći broj pukotina nego na drugom. Ukoliko je razlika $\alpha_0 - \alpha_e$ veća to je mogućnost pojave pukotina u sloju emajla manja i obratno.

Obavljena teorijska analiza uzroka pojave pukotina u sloju emajla potvrđena je u proizvodnim uslovima. Naime, u sloju emajla na zidu 2 odlivka javljale su se pukotine, s tim što je učes-

talost pojave različita kod raznih tipova emajla i ako je u svim slučajevima $\alpha_0 > \alpha_e$. Radi provere napred izloženih teorijskih razmatranja, zid 2 odlivka je grubo brušen pre emajliranja radi skidanja lokalnih zadebljanja, koja predstavljaju "topla" mesta. Nakon uklanjanja "toplih" mesta broj pukotina u sloju emajla sveo se na minimum. Preduzimanjem tehnoloških mera, u procesu proizvodnje odlivka, radi eliminisanja "toplih" mesta i smanjenja debljine zida 2 približno debljini zida 1 pukotine su nestale kod svih tipova emajla.

6. ZAKLJUČAK

Na osnovu izloženog može se izvesti zaključak:

1. Osnovni razlog pojave pukotina u sloju emajla, zida 2 odlivka, je postojanje na zidu 2 odlivka lokalnih zadebljanja koja predstavljaju "topla" mesta.
2. Razlike u debljini zidova 1 i 2 odlivka treba svesti na minimum.
3. Ukoliko je razlika $\alpha_0 - \alpha_e$ manja, pri ostalim istim uslovima, mogućnost pojave pukotina u sloju emajla je veća.

Literatura

- 1 | Kocjubinskij O.Ju.: Stabilizacija razmerov čugunnih otlivok, Mašinstroenie, Moskva, 1974.
- 2 | Nehendzi, Ju.A.: Stalnoe lite, Metargizdat, Moskva, 1948.
- 3 | Guljaev, B.B.: Teorija litejnyh processov, Mašinstroenie, Leningradskoe otdelenie, Leningrad, 1976.
- 4 | Balandin, G.F.: Osnovy teorii formirovanija otlivki, Mašinstroenie, Moskva, 1979.
- 5 | Spravočnik po čugunomu litju, Mašinstroenie, Leningrad, 1978.