

MERJENJE SIL MED POTISKANJEM IN VLEČENJEM AL-PALIC

MEASUREMENT OF FORCES DURING EXTRUSION AND DRAWING OF AL RODS

Peter Cvahte¹, Vukašin Dragojevič¹, Peter Fajfar², Tomaž Rodič²

¹Impol, Partizanska ulica 38, 2310 Slovenska Bistrica

²NTF, Univerza v Ljubljani, Aškerčeva 12, 1000 Ljubljana

Prejem rokopisa – received: 1998-11-10; sprejem za objavo – accepted for publications: 1999-03-09

Razvili smo merilno celico za merjenje lokalnih obremenitev votlice na kombiniranem potisno-vlečnem stroju O.C.N., ki omogoča izdelavo aluminijevih palic brez šiljenja konic. Za določitev normalne komponente sile in s tem tlaka v orodju smo nalepili merilne lističe tudi na obroč za prednapenjanje votlice, kar nam je omogočilo oceno koeficienta trenja, tudi kadar je kot deformacijske cone majhen. Meritve smo izvedli za palice zlitine 2030 (ASTM) s premerom 42 mm in opravili analizo stabilnosti procesa. Rezultati so pokazali, da je vlečenje palic pod pogoji dinamičnega trenja stabilen proces, potiskanje pa nestabilen.

Ključne besede: aluminij, vlečenje palic, potiskanje palic, merilni lističi

A system for measurement of local loads during a combined extrusion-drawing of aluminium rods has been developed and installed on an O.C.N. machine which allows extrusion without applying a pointing process prior to deformation. In order to measure forces in the normal direction and to estimate pressure inside the die, four additional strain gauges have been applied on the prestressing ring. This allows determination of friction factors even in the case when the angle of the deformation zone is small. Measurements were performed for rods made from 2030 (ASTM) alloy with 42 mm in diameter and stability of the process has been analysed. The results show that the drawing process during dynamic friction regime is stable and the extrusion process turned out to be unstable.

Key words: aluminium, extrusion of rods, drawing of rods, strain gauges

1 UVOD

Obvladovanje tehnološkega procesa izdelave palic na kombiniranem potisno-vlečnem stroju je mogoče le z razumevanjem vseh vplivnih parametrov. Z obvladovanjem tehnoloških parametrov, kot so: snovne lastnosti, sila, trenje, temperatura, deformacija, hitrost deformacije, lahko postavimo tehnologijo, ki bo zagotavljala stabilnost procesa, kakovostne izdelke in nizke stroške proizvodnje.

Prednost izdelave palic brez šiljenja konic je v skrajšanju tehnološkega procesa. Šiljenje konic se nadomesti z večkratnim potiskanjem palic v votlico pred vlečenjem. Za analizo vplivnih tehnoloških parametrov izdelave palic na kombiniranem potisno-vlečnem stroju O.C.N. so bile izvedene meritve naslednjih tehnoloških parametrov: sila potiskanja in vlečenja, deformacija obroča za prednapenjanje votlice, temperatura palice po potiskanju in premeri palic po dolžini.

Izdelana je bila celica za lokalno merjenje sil pri potiskanju in vlečenju. Z analizo izmerjenih sil je bila določena lokalna obremenitev votlice. Za določitev trenja na stiku palice z votlico so bile izmerjene elastične deformacije na obroču za prednapenjanje votlice. V ta namen je bilo narejenih nekaj sprememb na samem stroju, ki pa niso vplivale na tehnološki proces.

Meritve smo izvedli za palice premera 42 mm iz zlitine 2030 (ASTM)¹ na potisno-vlečnem stroju O.C.N. v Impolu – Slovenska Bistrica.

2 TEHNOLOŠKE MERITVE

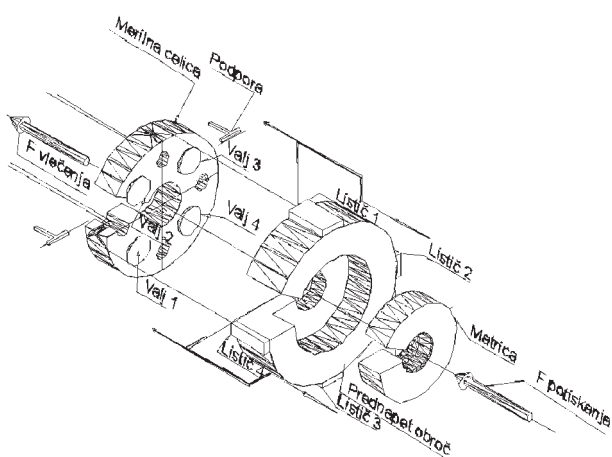
Sile in deformacije so bile izmerjene pri izdelavi 76 palic. Signali so bili registrirani z hitrostjo 10 odčitkov na sekundo. Prikaz merjenja sil in deformacij ter sestavni deli merilnega sistema so prikazani na **sliki 1**. Meritve temperature, površine palic po potiskanju, ter premeri palic so bili izvedeni le pri posameznih palicah.

2.1 Celica za lokalno merjenje sil

Celica za lokalno merjenje sil ima premer 176 mm in omogoča merjenje palic do premera 55 mm ter profilov z diagonalo do 55 mm. Merilno območje celice je 1000 kN. Glavni elementi celice (**slika 2**) so štirje med seboj neodvisni valjčki premera 35 mm in višine 42 mm, W.Nr.1.4028², ki omogočajo lokalno merjenje sil. Pritrjeni so v ohišju celice, ki ima pet glavnih delov:

- dno celice - pločevina debeline 0,5 mm, W. Nr. 1.0333.6
- pokrov celice - pločevina debeline 0,5 mm, W. Nr. 1.0333.6
- zunanji obroč celice $\phi 176$ mm, W. Nr. 1.7225
- notranji obroč celice $\phi 57$ mm, W. Nr. 1.7225
- 4 cevi za kable $\phi 20$ mm, W. Nr. 1.7225.

Konstrukcija celice omogoča naleganje valjčkov v smeri potiskanja, medtem ko je njihovo gibanje v prečni smeri omejeno.



Slika 1: Sestavni deli sistema za merjenja sil in deformacij
Figure 1: Components of the system for measurements of forces and strains

Celica deluje po principu merilnih lističev, kjer preko elastičnih deformacij valjčkov določimo lokalne in celotne sile, ki deluje v smeri potiskanja oz. vlečenja.

2.2 Merjenje deformacij prednapetega obroča

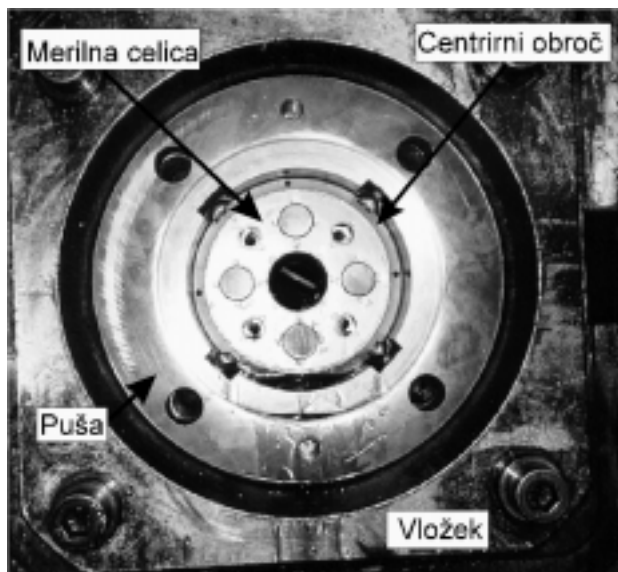
Deformacije prednapetega obroča so bile izmerjene na štirih mestih, kjer so bili nalepljeni merilni lističi³ in povezani v polovični Wheatstonov mostiček (sliki 1 in 3).

3 REZULTATI IN DISKUSIJA

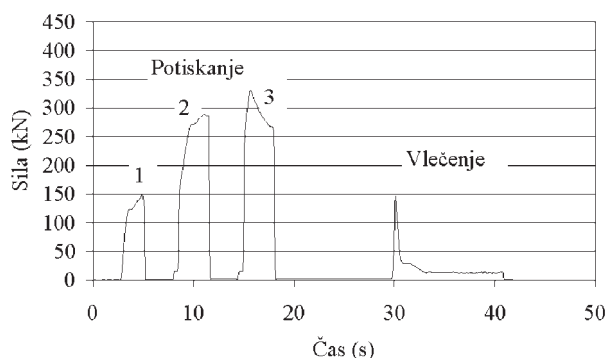
Meritve so bile izvedene na kombiniranem potisno-vlečnem stroju za izdelavo Al-palic. Tehnološki



Slika 2: Merilna celica
Figure 2: Measurement cell



Slika 3: Namestitev merilne celice v ohišju
Figure 3: Positioning of measurement cell in the housing



Slika 4: Tehnologija izdelave palic
Figure 4: Technology of rods production

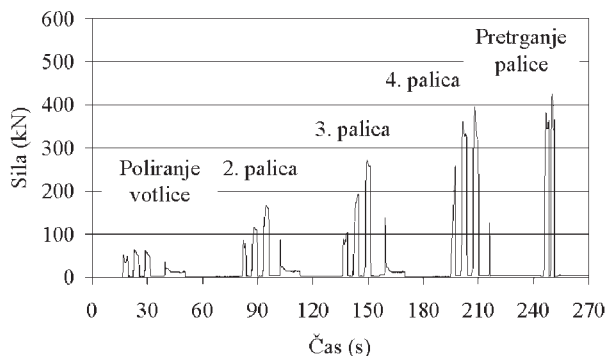
proces je bil sestavljen iz treh potiskov in vlečenja, kot je prikazano na **sliki 4**.

3.1 Sile potiskanja

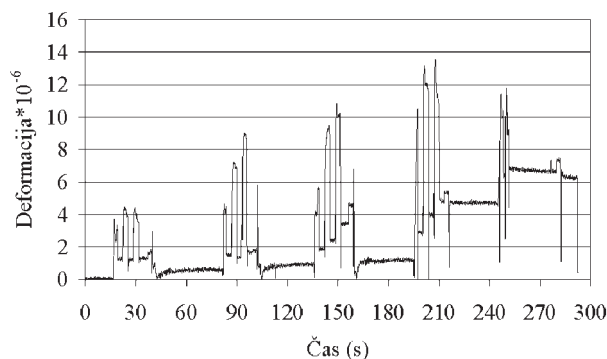
Sile potiskanja so najmanjše, ko je votlica nova ali spolirana. Takrat operater ročno nameže votlico z oljem po vsej delovni površini. Z rastočim številom izvlečenih palic sile potiskanja občutno rastejo. Rast se ustavi pri četrty palici, kjer sile dosežejo vrednosti med 350 in 400 kN. Pri silah potiskanja, ki so bile večje od 410 kN, so se palice pri vlečenju pretrgale (**slika 5**).

Pri potiskanju palica izpodriva olje iz votlice. Največje sile so bile izmerjene pri premagovanju statičnega trenja. Ko so te sile presežene, spravimo palico v gibanje. Pri tem palica vleče tanko oljno plast v votlico. Posledica tega je zmanjšanje sil potiskanja.

Poleg trenja vplivajo na spreminjanje sil potiskanja tudi centriranje, ukrivljenost ter oblika čelne ploskve palice. Posledica tega je spreminjanje sil od 50 do 200 kN (**slika 6**).



Slika 5: Spreminjanje sil potiskanja neposredno po poliranju votlice
Figure 5: Changes of extrusion forces after polishing of the die



Slika 7: Deformacija obroča za prednapenjanje votlice
Figure 7: Deformation of the prestressing ring

3.2 Sile vlečenja

Največje sile nastopijo na začetku vleka, ko je treba preseči silo statičnega trenja, ki je od 80 do 180 kN, in so v sorazmerju s silo potiskanja. Sile vlečenja so pri dinamičnega trenja med 10 in 12 kN, ne glede na število izvlečenih palic in površino votlice. Spreminjanje sile je do 2 kN in je posledica spreminjanja preseka palice po njeni dolžini ter po vsej verjetnosti tudi zaradi trganja oljne plasti (slike 4, 5, 6).

3.3 Deformacije prednapetega obroča

Za določitev normalne komponente sile in s tem tlaka v orodju smo nalepili merilne lističe tudi na obroč za prednapenjanje votlice, kar nam je omogočilo oceno koeficienta trenja tudi, kadar je kot deformacijske cone majhen. Deformacije prednapetega obroča votlice so bile sorazmerne z velikostjo sil potiskanja in vlečenja. Na sliki 7 je prikazana zaradi boljše preglednosti le meritev deformacije za merilno mesto 1 (slika 8). Druge deformacije so imele enako usmerjenost. Zaradi ukrivljenosti konic palic obremenitev obroča ni bila enakomerna. Zato so bile tudi razlike med posameznimi deformacijami, ki so v povprečju $2 \cdot 10^{-6}$, največje pri

prvih dveh potiskih. Pri tretjem potisku, ko je bila palica že centrirana, ni bilo večjih razlik med posameznimi deformacijami.

3.4 Simetričnost obremenitve orodja

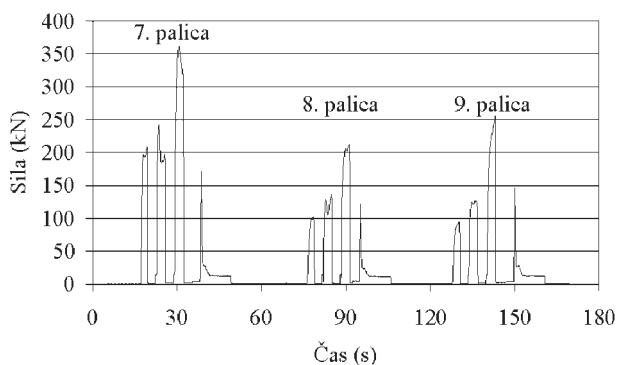
Celica za lokalno določitev sil potiskanja oz. vlečenja je bila izdelana z namenom preveriti simetričnost obremenitve orodja. Meritve so pokazale, da je orodje obremenjeno neenakomerno, tako pri potiskanju kot tudi pri vlečenju.

Enaka usmerjenost (gibanje) občutljivosti na obremenitev orodja je bila izmerjena tudi pri drugih meritvah. Iz tega je razvidno, da je bila merilna celica bolj obremenjena v smeri, ki je razvidna s slike 8.

3.5 Temperatura površine palic

Temperature površin palic po potiskanju (pred vlečenjem) so bile izmerjene le pri posameznih palicah s kontaktnim termometrom.

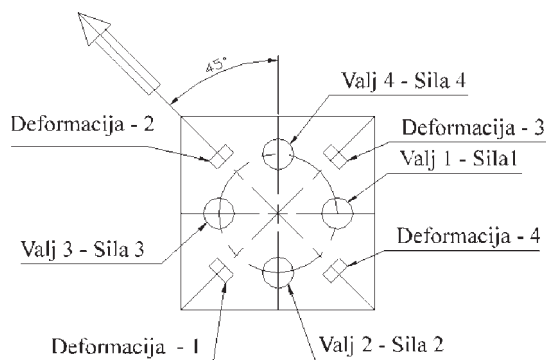
V tabeli 1 so podane izmerjene temperature v odvisnosti od zaporednega števila izdelanih palic in največjih sil pri zadnjem potiskanju. Iz meritev ni razvidna odvisnost med temperaturami in silami. Opazna



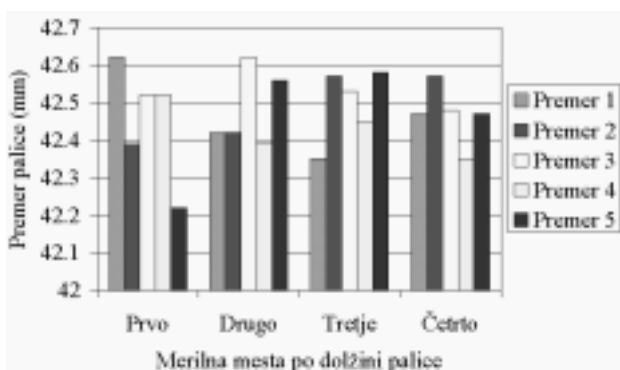
Slika 6: Spreminjanje sil potiskanja pri ustaljenih triboloških razmerah

Figure 6: Changes of extrusion forces during relative stable tribological conditions

Smer največjih obremenitev



Slika 8: Odziv sistema med meritvami
Figure 8: Response of the system during measurements



Slika 9: Odmik premerov palice

Figure 9: Variation of rods diameters

je razlika temperatur glede na ritem izdelave palic. Do palice št. 11 je bil ritem tekoč, brez prekinitev. Pri drugih palicah je bil ritem moten zaradi pogostega poliranja votlice. Izmerjene temperature pri drugih pogojih so bile približno za 10°C nižje.

Največja temperatura je bila izmerjena pri palici št. 33, ki se je pretrgala. Visoka temperatura je bila posledica razvite toplote pri pretrgu.

Tabela 1: Temperature površine palic

Table 1: Surface temperature of rods

| Palica | Sila (kN) | Temperatura °C |
|--------|-----------|----------------|
| 8 | 250 | 80 |
| 9 | 275 | 73 |
| 10 | 175 | 73 |
| 11 | 190 | 75 |
| 26 | 325 | 62 |
| 27 | 350 | 63 |
| 28 | 330 | 66 |
| 33 | 410 | 108 |
| 36 | 375 | 59 |
| 37 | 125 | 60 |
| 38 | 220 | 53 |

3.5 Premeri palic

Premeri so bili izmerjeni le pri dveh vzorčnih palicah. Na vsaki palici je bil na štirih merilnih mestih

po petkrat izmerjen premer po obodu. Razlika premerov palic je bila v predpisani toleranci (slika 9).

4 SKLEPI

Meritve tehnoloških parametrov pri izdelavi palic so pokazale nestabilnost procesa med potiskanjem. Sile potiskanja postopoma naraščajo po poliranju orodja do pete palice, ko dosežejo vrednosti med 350 in 400 kN. Vzroki za porast sil je v spremembi trenjskih razmer v votlici zaradi delcev aluminijskega prahu, ki se sprimejo s površino votlice. Ta pojav je posledica premagovanja velikih strižnih sil v stiku palice z votlico. Na spremembe sil vplivajo tudi ukrivljenosti palic, kar je posledica nezadostne predhodne poravnave ter neosnosti vpetja palic v potisni čeljusti.

Meritve sil potiskanja so pokazale pomanjkljivosti sedanjega načina mazanja, ker je votlica premalo mazana in hlajena. Hkrati se viskoznost olja močno spreminja s temperaturo in s tem tudi trenje. Z načinom mazanja, ki bi usmerjalo olje v votlico po vsem njenem obsegu, bi dosegli boljši učinek mazanja in hlajenja ter s tem tudi manjše sile.

Meritve sil so pokazale vpliv centriranja palic glede na aksialno os votlice. Odmiki od aksialne osnove so nastali zaradi ne dovolj poravnanih palic, upogiba le-teh pod lastno težo, posledica tega pa so bile neosno vpete palice v potisni čeljusti. Te nepravilnosti se izražajo v sili potiskanja, ki se pri stacionarnih razmerah spreminja od 50 do 200 kN.

Zaradi velikih sil, ki nastopijo pri premagovanju statičnega trenja, bi bilo smotno zmanjšati število potiskov. To je mogoče doseči samo ob zagotovljenem osnem vpetju ravne palice in ustreznem mazanju.

5 LITERATURA

¹ Davis, J., R. *ASTM Speciality Handbook, Aluminum and Aluminum Alloys*, ASTM International, **1994**

² *Slovenska jekla*, Standardizacija in dokumentacija Ravne, Ljubljana, **1994**

³ Hoffmann, K., *Eine Einführung in die Technik des Messens mit Dehnungsmessstreifen*, HBM GmbH, **1987**