

Mr Stevan Živanović^{*})

UOPŠTENA ANALIZA DEFORMACIJA U PROCESIMA

OBLIKOVANJA TANKOZIDNIH ELEMENATA

1. Uvod

Mjesto i značaj tehnološkog procesa oblikovanja tankozidnih elemenata u industrijskoj proizvodnji, koji su opštepriznati, podstiču istraživače na dalja uočavanja, razmišljanja i uključivanje se u razjašnjavanje same suštine ovog procesa obrade deformisanjem u cilju povećanja stepena pouzdanosti tehnološkog poduhvata. Ekonomski razlozi nameću neophodnost sagledavanja faktora od kojih zavisi taj stepen pouzdanosti. Stoga razjašnjavanje tih faktora predstavlja osnovnu težnju mnogih naučnih radova.

Veći stepen pouzdanosti može se postići kroz upoznavanje zakona promjenljivosti unutrašnje i spoljašnje strukture obradivanog elementa. Granične vrijednosti tih struktura određuju mogućnosti dotičnog tehnološkog procesa.

Najznačajniji faktor unutrašnje strukture je naponsko stanje u kome se nalazi element /4/. Spoljašnju strukturu determi-

^{*}) Mr Stevan Živanović, dipl.ing., vanr. profesor
Mašinskog fakulteta Univerziteta u Banjaluci

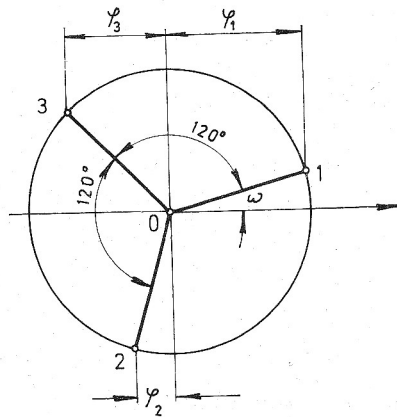
niše deformaciono stanje elementa, koje će odlučiti o geometriji obratka.

U ovom radu analizirano je deformaciono stanje svih procesa preoblikovanja deformisanjem tankozidnih elemenata. Analiza posjeduje uopšteni karakter i teži da kroz prikaz deformacija u čitavom tehnološkom području stvori jasnu predstavu o zakonu promjenljivosti spoljašnje strukture elementa u procesu njegovog oblikovanja.

2. Deformaciono stanje elementa

O geometriji obratka odlučuje njegovo deformaciono stanje. Stoga jasna predstava deformacionog stanja pruža mogućnost da se unaprijed sagleda gotovi oblik obradjivanog predmeta, i to onaj realni, koji se ne mora podudarati sa željenim.

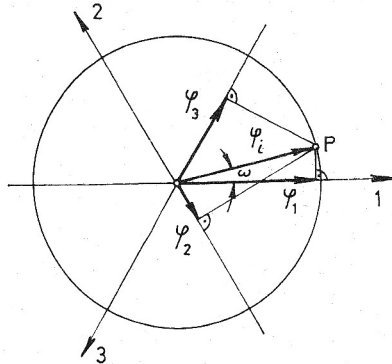
Deformaciono stanje može biti prikazano preko deformacione zvijezde Pelčinjskog /3/, kao što se to vidi na sl.1.



Sl. 1. Deformaciona zvijezda Pelčinjskog

Zvijezda daje tačne odnose apsolutnih vrijednosti deformacija. Ovaj način prikaza deformacionog stanja podstakao je interpretiranje ovog stanja u oktaedarskoj ravni. Tako je za analizu

deformacionog stanja mnogo podobniji kosougli koordinatni sistem dobijen u oktaedarskoj ravni, naročito je podesan u razmatranju proporcionalnog toka deformacije, to jest u slučajevima kada su priraštaji glavnih deformacija proporcionalni odgovarajućim normalnim komponentama naponskog devijatora. Deformaciono stanje u kosougloj koordinatnom sistemu prikazuje se pomoću tačke (sl.2.).



Sl. 2. Prikaz deformacionog stanja u oktaedarskoj ravni

Položaj tačke P određen je radijus vektorom φ_i , koji nosi naziv intenzivnost deformacije i pokazateljem deformacione sheme ω , koji je za proporcionalni tok deformacije jednak pokazatelju naponske sheme.

Deformaciono stanje može biti prikazano i preko komponenti glavnih logaritamskih deformacija, pri čemu važi uslov nepromjenljivosti zapremine obradivanog elementa, koji se ogleda kroz izraz

$$\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 = 0 \quad (1)$$

U obimnom pravcu je deformacija φ_1 , u meridijanskom φ_2 i u pravcu debljine elementa φ_3 .

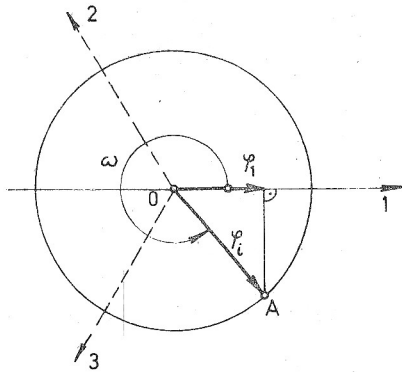
Intenzivnost deformacije određena je odnosom

$$\varphi_i = \sqrt{\frac{2}{3}} \sqrt{\varphi_1^2 + \varphi_2^2 + \varphi_3^2} \quad (2)$$

U određivanju pokazatelja deformacione sheme polazi se od jednačina ravnoteže tankozidnog elementa, koji se nalazi u procesu plastičnog preoblikovanja i uslova plastičnog tečenja /5/. Analiza sadržana u ovom radu zasniva se na uslovu plastičnog tečenja Huber-Mises. Uporedjenja radi neki elemnti su prikazani na bazi Treskinog uslova plastičnog tečenja.

Pri Huber-Misesovom uslovu komponenta φ_1 određena je kao funkcija intenzivnosti deformacije φ_i i pokazatelja deformacione sheme ω (sl.3.)

$$\varphi_1 = \varphi_i \cos \omega \quad (3)$$



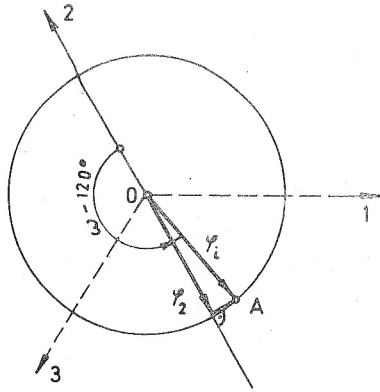
Sl.3. Prikaz obimne logaritamske deformacije

Shodno sl.4. komponenta φ_2 određena je izrazom

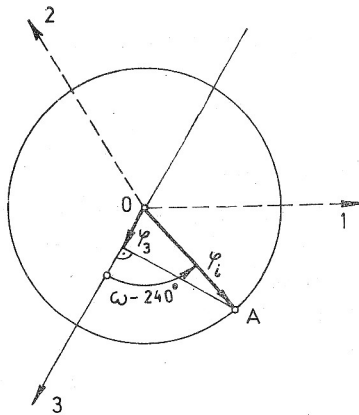
$$\varphi_2 = \varphi_i \cos (\omega - 120^\circ) \quad (4)$$

Treću, debljinsku komponentu (sl.5) određujemo po obrascu

$$\varphi_3 = \varphi_i \cos (\omega - 240^\circ) \quad (5)$$



Sl. 4. Prikaz meridijanske logaritamske deformacije



Sl. 5. Prikaz debljinske logaritamske deformacije

3. Raspored deformacija

Koristeći obrasce (3), (4) i (5) možemo odrediti za svaki pokazatelj deformacione sheme ω odgovarajuće vrijednosti logaritamskih deformacija φ_1 , φ_2 i φ_3 . Rezultati proračuna su prikazani u tabeli 1.

T a b e l a 1.

| ω | φ_1/φ_i | φ_2/φ_i | φ_3/φ_i | ω | φ_1/φ_i | φ_2/φ_i | φ_3/φ_i |
|-------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 0° | 1 | -0,5 | -0,5 | 210° | -0,866 | 0 | 0,866 |
| 30° | 0,866 | 0 | -0,866 | 240° | -0,5 | -0,5 | 1 |
| 60° | 0,5 | 0,5 | -1 | 270° | 0 | -0,866 | 0,866 |
| 90° | 0 | 0,866 | -0,866 | 300° | 0,5 | -1 | 0,5 |
| 120° | -0,5 | 1 | -0,5 | 330° | 0,866 | -0,866 | 0 |
| 150° | -0,866 | 0,866 | 0 | 360° | 1 | -0,5 | -0,5 |
| 180° | -1 | 0,5 | 0,5 | | | | |

Grafička obrada podataka sadržanih u tabeli 1. prikazana je na sl.6.

Za Treskin uslov plastičnosti raspored deformacija prikazan je na sl.7.

4. Obogaćeni krug plastičnosti

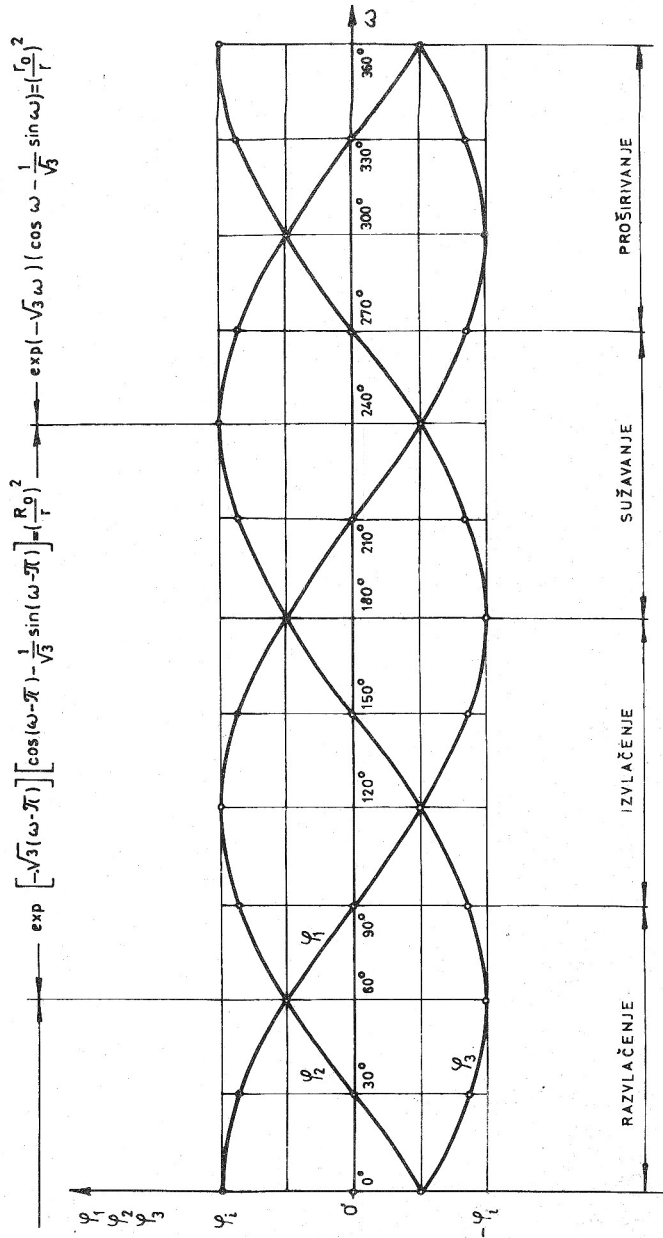
Posmatrajući promjenljivost obimne deformacije (sl.6.) dolazi se do zaključka da bi ona mogla da posluži kao kriterij za klasifikaciju procesa oblikovanja tankozidnih elemenata deformisanjem. U ovo nas takodje uvjerava analiza promjenljivosti meridijanskog napona /5/.

Promjenljivost φ_1 i \mathcal{G}_2 zavisno od pokazatelja sheme ω prikazana je na sl.8.

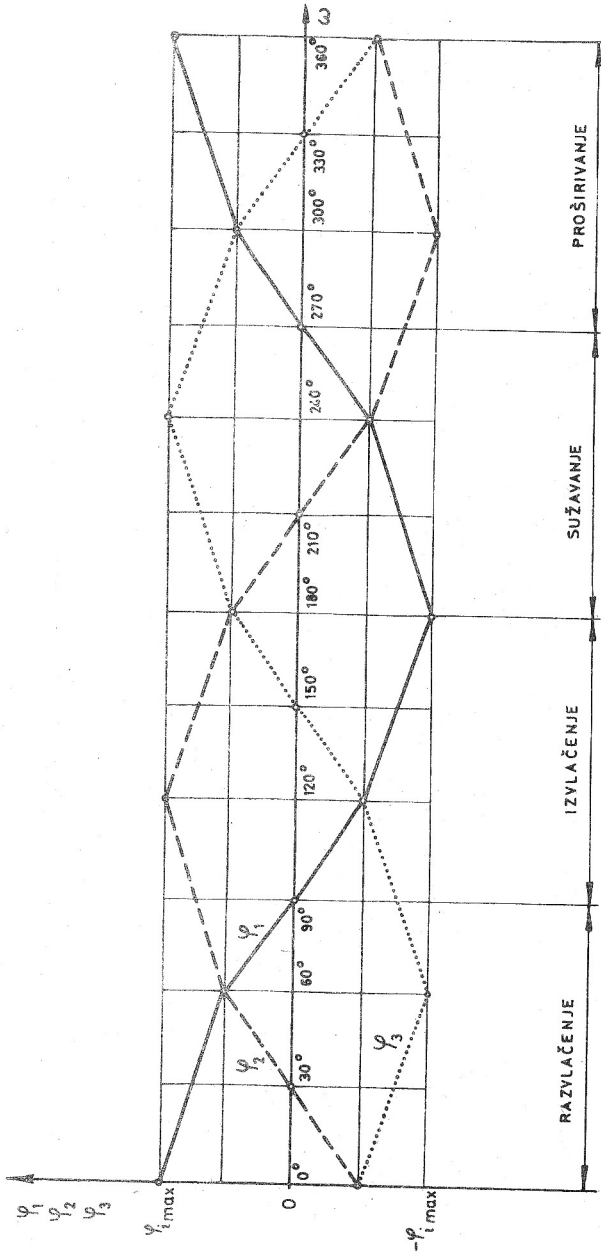
Ovakav karakter promjenljivosti φ_1 i \mathcal{G}_2 motivisao je klasifikaciju procesa zasnovanog na takozvanom krugu plastičnosti/1/.

U cilju dobijanja većeg broja bazičnih informacija o procesima, prije svega o kompletnoj promjeni spoljašnje strukture /geometrije/ uvodi se obogaćeni krug plastičnosti.

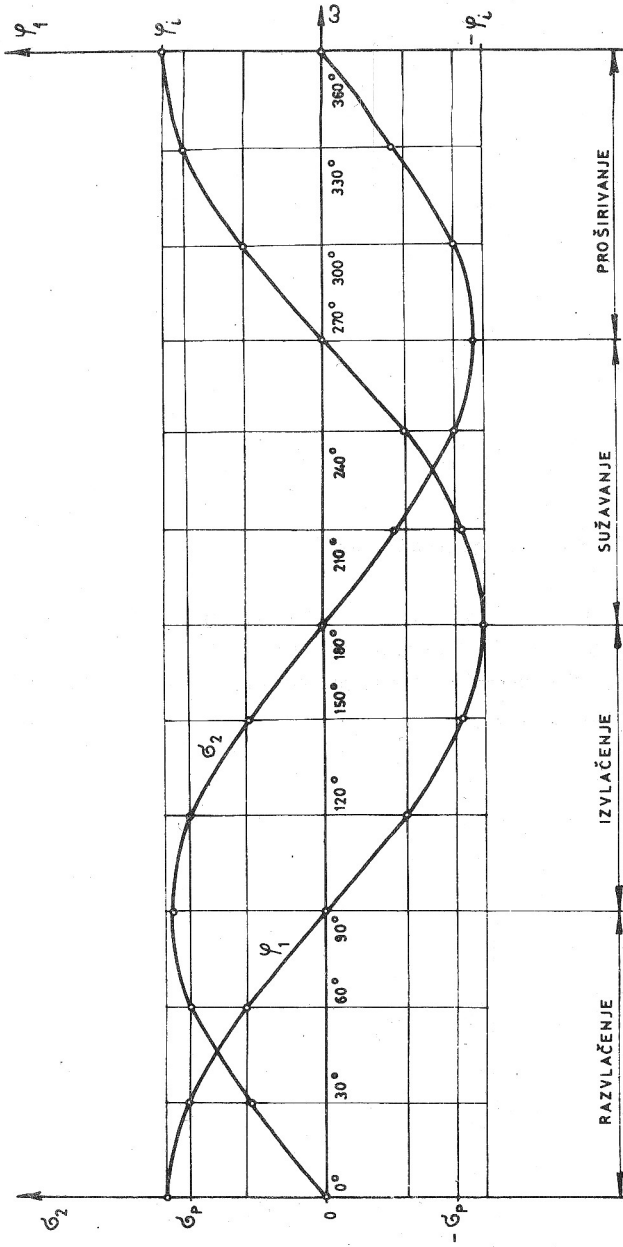
Ako na krug plastičnosti dogradimo oktaedarski kosougli koordinatni sistem, s tim da oba sistema polaze iz jedne tačke (tj. pravougli i kosougli koordinatni sistem), i da ose koso-



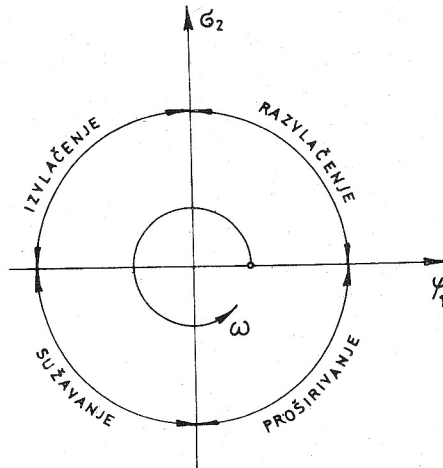
Sl. 6. Raspored deformacija po Huber-Misesovom uslovu plastičnosti



Sl. 7. Raspored deformacija po Treskinom uslovu plastičnosti

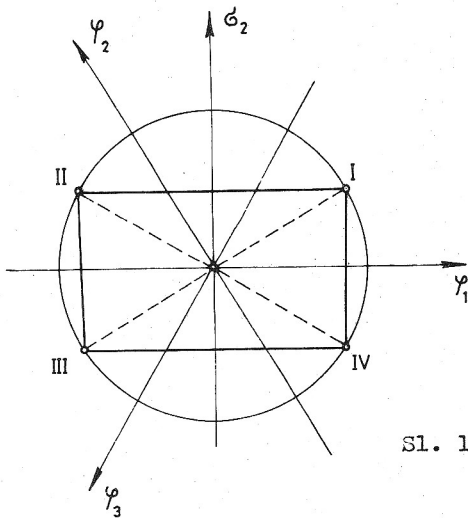


Sl. 8. Zavisnost φ_1 i φ_2 od ω



Sl. 9. Krug plastičnosti

uglōg sistema prikazuju tri osnovne logaritamske deformacije, tako da je osa φ_1 zajednička za oba sistema, onda na ovako obogaćenom krugu plastičnosti možemo mnogo detaljnije razmatrati svojstva pojedinih vrsta procesa.



Sl. 10. Obogaćeni krug plastičnosti

Neki autori /2/ su ranije primjenili sistem $\sigma_1 - \sigma_2$ za klasifikaciju procesa preoblikovanja lima. Taj sistem pruža nam izvjesnu sliku naponskih stanja, tj. informiše nas o jednom osnovnom parametru unutrašnje strukture. Međutim zanemaruje u potpunosti promjene oblika obradivanog predmeta, tj. njegovu spoljašnju strukturu, zanemarujući deformaciono stanje. Uvodjenjem obogaćenog kruga plastičnosti postignut je kompleksni komparativni pregled procesa troosnog preoblikovanja tankozidnih elemenata.

5. Raspored odnosa deformacija

U cilju određivanja rasporeda odnosa deformacija, tj.

φ_3/φ_1 i φ_2/φ_1 koristimo obrasce (3), (4) i (5). U tabeli 2 prikazana je zavisnost od pokazatelja deformacione sheme ω odnosa deformacija φ_3/φ_1 , a u tabeli 3 odnosa deformacija φ_2/φ_1

T a b e l a 2

| ω | φ_3 | φ_1 | φ_3/φ_1 | ω | φ_3 | φ_1 | φ_3/φ_1 |
|----------|-------------|-------------|-----------------------|----------|-------------|-------------|-----------------------|
| 0° | -0,5 | 1 | -0,5 | 210° | 0,866 | -0,866 | -1 |
| 30° | -0,866 | 0,866 | -1 | 240° | 1 | -0,5 | -2 |
| 60° | -1 | 0,5 | -2 | 260° | 0,94 | -0,174 | -5,4 |
| 80° | -0,94 | 0,174 | -5,4 | 265° | 0,906 | -0,087 | -10,4 |
| 85° | -0,906 | 0,087 | -10,4 | 268° | 0,883 | -0,035 | -25,3 |
| 88° | -0,883 | 0,035 | -25,3 | 270° | 0,866 | 0 | ∞ |
| 90° | -0,866 | 0 | ∞ | 272° | 0,848 | 0,035 | 24,3 |
| 92° | -0,848 | -0,035 | 24,3 | 275° | 0,819 | 0,087 | 9,4 |
| 95° | -0,819 | -0,087 | 9,4 | 280° | 0,766 | 0,174 | 4,4 |
| 100° | -0,766 | -0,174 | 4,4 | 300° | 0,5 | 0,5 | 1 |
| 120° | -0,5 | -0,5 | 1 | 330° | 0 | 0,866 | 0 |
| 140° | -0,174 | -0,766 | 0,23 | 360° | -0,5 | 1 | -0,5 |
| 150° | 0 | -0,866 | 0 | | | | |
| 160° | 0,174 | -0,94 | -0,18 | | | | |
| 180° | 0,5 | -1 | -0,5 | | | | |

T a b e l a 3

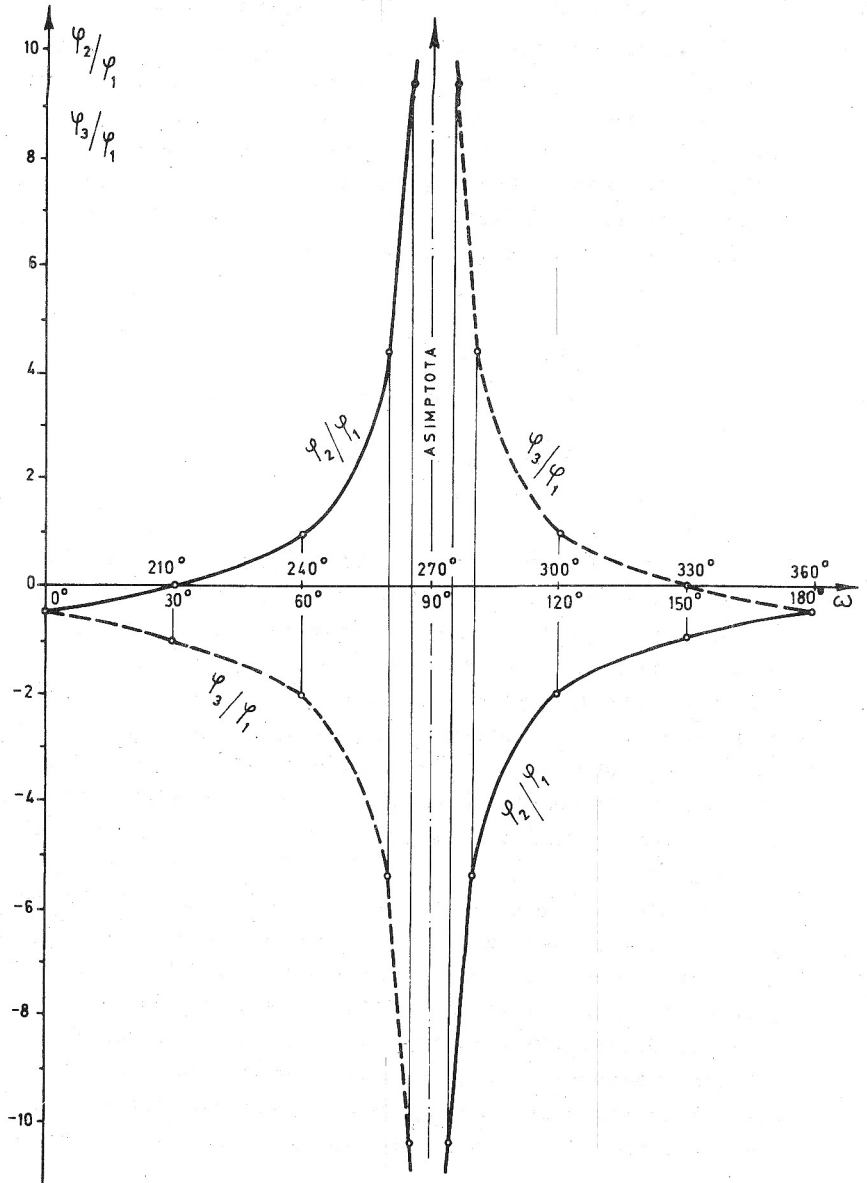
| ω | φ_2 | φ_1 | φ_2/φ_1 | ω | φ_2 | φ_1 | φ_2/φ_1 |
|----------|-------------|-------------|-----------------------|----------|-------------|-------------|-----------------------|
| 0° | -0,5 | 1 | -0,5 | 200° | 0,174 | -0,934 | -0,18 |
| 20° | -0,174 | 0,94 | -0,18 | 210° | 0 | -0,866 | 0 |
| 30° | 0 | 0,866 | 0 | 220° | -0,174 | -0,766 | 0,23 |
| 40° | 0,174 | 0,766 | 0,23 | 240° | -0,5 | -0,5 | 1 |
| 60° | 0,5 | 0,5 | 1 | 260° | -0,766 | -0,174 | 4,4 |
| 80° | 0,766 | 0,174 | 4,4 | 270° | -0,866 | 0 | ∞ |
| 85° | 0,82 | 0,087 | 9,4 | 280° | -0,94 | 0,174 | -5,4 |
| 88° | 0,848 | 0,035 | 24,3 | 300° | -1 | 0,5 | -2 |
| 90° | 0,866 | 0 | ∞ | 330° | -0,866 | 0,866 | -1 |
| 92° | 0,883 | -0,035 | -25,3 | 360° | -0,5 | 1 | -0,5 |
| 95° | 0,906 | -0,087 | -10,4 | | | | |
| 100° | 0,94 | -0,174 | -5,4 | | | | |
| 120° | 1 | -0,5 | -2 | | | | |
| 150° | 0,866 | -0,866 | -1 | | | | |
| 180° | 0,5 | -1 | -0,5 | | | | |

Grafička interpretacija podataka sadržanih u tabelama 2 i 3 prikazana je na sl.11.

Zavisnosti φ_3/φ_1 i φ_2/φ_1 od pokazatelja deformacione sheme mogu biti izražene u trigonometrijskom obliku

$$\varphi_3/\varphi_1 = -\frac{1}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2} \operatorname{tg} \omega \quad (6)$$

$$\varphi_2/\varphi_1 = -\frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2} \operatorname{tg} \omega \quad (7)$$



Sl.11. Raspored odnosa deformacija po Huber-Misesovom uslovu plastičnosti

6. Interpretacija rasporeda odnosa deformacija

U većini slučajeva procesa oblikovanja tankozidnih elemenata deformisanjem poznat nam je stepen promjene obima obratka, tj. njegov početni i krajnji prečnik, što znači da možemo odrediti i obimnu logaritamsku deformaciju φ_1 . Takodje nam je (bar približno) poznat pokazatelj deformacione sheme. Posjedujući ove poznate veličine možemo, koristeći obrasce (6) i (7), odrediti i dvije ostale logaritamske deformacije: meridijansku i debljinsku.

$$\varphi_2 = \left(-\frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2} \operatorname{tg} \omega \right) \varphi_1 \quad (8)$$

$$\varphi_3 = - \left(\frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2} \operatorname{tg} \omega \right) \varphi_1 \quad (9)$$

Interesantno je da odnos deformacija φ_2/φ_1 i φ_3/φ_1 posjeduje periodičan karakter, tj. da se ponavlja posle 180° . Ovo bi moglo da pričinjava izvjesnu smetnju u odredjivanju predznaka komponenti φ_2 i φ_3 ako ne bismo poznavali suštinu kosouglog koordinatnog sistema i deformaciono stanje razmatranog procesa deformacionog oblikovanja tankozidnog elementa. Uopštena analiza napona u ovim procesima /5/ omogućuje nam da kroz naponsko stanje sagledamo pokazatelj sheme ω , a samim tim da izbjegnemo dilemu u odredjivanju predznaka meridijanske i debljinske deformacije.

Praktični značaj saznanja do kojih se dolazi interpretacijom odnosa deformacija je u tome što nam to omogućuje da za svaki razmatrani proces možemo prognozirati, tj. prije obavljanja procesa predvidjeti sa velikim stepenom vjerovatnoće, ne samo odnose deformacija, već i veličine pojedinih deformacija. Posjedovanje ovih podataka omogućuje nam dalju analizu procesa, a u ovom slučaju to treba da bude analiza stepena pouzdanosti procesa, tj. prognoziranje stepena uspješnosti tehnološkog poduhvata.

L i t e r a t u r a

- /1/ MARCINIAK Z., Mechanika procesów tłoczenia blach,
Warszawa, 1961.
- /2/ STROSCHER M.W., Grundlagen der Umformtechnik,
POPOW E.A. Berlin, 1968.
- /3/ PELCZYŃSKI T., Zagadnienie wyteżenia i peknięcia materiałów,
Warszawa, 1971.
- /4/ ŽIVANOVIĆ S., Analiza procesa razvlačenja na bazi bez-
momentne teorije ljuste, Banjaluka, 1976.
- /5/ ŽIVANOVIĆ S., Uopštena analiza napona u procesima
oblikovanja tankozidnih elemenata, časopis
Obrada deformisanjem u mašinstvu, br.3.,
Niš, 1977.

ŽIVANOVIĆ M.S.

UOPŠTENÁ ANALIZA DEFORMACIJA U PROCESIMA

OBLIKOVANJA TANKOZIDNIH ELEMENATA

R e z i m e

U radu je obradjen raspored deformacija u procesima troosnog preoblikovanja deformisanjem tankozidnih elemenata. Analiza teži da kroz prikaz deformacija u čitavom tehnološkom području stvori jasnu predstavu o zakonu promjenljivosti spoljašnje strukture elementa u procesu njegovog preoblikovanja.

Praktični značaj saznanja do kojih se dolazi u ovom radu omogućuje da se za svaki razmatrani proces mogu prognozirati sa velikim stepenom vjerovatnoće veličine i predznaci pojedinih deformacija.

ALGEMEINE ANALYSE DER DEFORMATIONEN

IM UMFORMUNGSVERFAHREN BEI DÜNNWÄNDIGEN ELEMENTEN

Z u s a m m e n f a s s u n g

In der Arbeit ist die Einteilung der Deformationen beim Verfahren der dreiachsigen Umformung durch Deformation der dünnwändigen Elemente bearbeitet. Die Analyse ist bestrebt, durch Darstellung der Deformationen im ganzen technologischen Gebiet eine klare Vorstellung über das Veränderlichkeitsgesetz der äusseren Elementenstruktur im Verfahren seiner Umformung zu schaffen.

Die praktische Bedeutung der Erkenntnisse, zu denen man bei dieser Arbeit kommt, ermöglicht, dass man für jedes betrachtete Verfahren mit einem grossen Grad der Wahrscheinlichkeit die Grössen und Vorzeichen einzelner Deformationen prognostizieren kann.