



S. Aleksandrović^{*)}

GRANIČNA DEFORMABILNOST NERĐAJUĆIH TANKIH LIMOVA U USLOVIMA NEMONOTONOG POSTUPKA DEFORMISANJA

REZIME

U radu se prikazuje eksperimentalno istraživanje granične deformabilnosti tankog lima od Č4580 (X5CrNi18 9 po DIN-u). Primenjen je specifični dvofazni nemonotoni postupak. U prvoj fazi realizuje se jednoosno zatezanje široke trake lima (120 mm), a u drugoj seriji razvlačenja polusfernim izvlačačem za dobijanje dijagrama granične deformabilnosti (DGD). Specifičnost postupka se sastoji u zameni pravca glavnih deformacija druge u odnosu na prvu fazu. Formirani dijagram se upoređuje sa DGD pri monotonom deformisanju. Takođe, uporedo se daju distribucije deformacija i analiziraju efekti primenjenog postupka.

1. UVOD

Dijagrami granične deformabilnosti (DGD) tankih limova dobijaju se najčešće u uslovima monotonog deformisanja (svaka tačka dijagrama dobija se po jednoj deformacionoj šemi uz konstantnu brzinu deformacije). Višefazni postupci sa promenom naponskih šema, brzina deformacije i sl. u pojedinim fazama, uzrokuju nemonotonost koja se odražava na graničnu deformabilnost materijala, odnosno na položaj krivih DGD [1]. Realni tehnološki procesi obrade lima uglavnom su višefazni (nemonotoni) i u tome je značaj ovakvih istraživanja.

U brojnim radovima (od kojih su neki ovde navedeni - [1] do [6]) tretirani su teorijski i eksperimentalni aspekti uticaja nemonotonosti deformisanja na graničnu deformabilnost klasičnih niskougleničnih čeličnih limova sa raznim antikorozionim prevlakama i bez njih. U ovom radu je ispitivan nerđajući čelični lim Č4580. To je materijal sa izrazitim antikorozionim osobinama koje ga čine vrlo zanimljivim za niz industrija. U razvojnim projekcijama predviđa se porast učešća ovog, i sličnih materijala u raznim granama metalne industrije.

2. METODOLOGIJA ISPITIVANJA

Da bi se prešlo na koncipiranje istraživanja i sagledavanje efekata nemonotonosti procesa treba razmotriti osnovne karakteristike ispitivanog materijala. To je hladno valjani lim od visokolegiranog čelika Č4580 (X5CrNi18 9 po DIN-u, klasa 304 po AISI-u). U hemijskom sastavu dominiraju hrom (oko 18%) i nikl (između 8 i 9%). Spada u grupu austenitnih čeličnih limova namenjenih dubokom izvlačenju. Tabela 1 daje osnovne mehaničke i karakteristike obradivosti, i to s obzirom na ravansku anizotropiju, za tri pravca u odnosu na pravac valjanja.

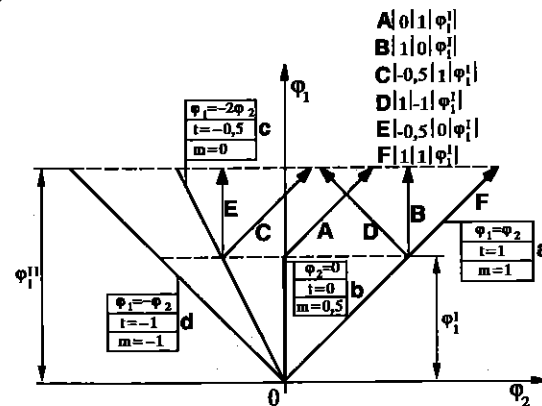
^{*)} Mr Srđislav Aleksandrović, asistent, Mašinski fakultet Kragujevac

Tabela 1

Karakteristike lima Č4580 (X5CrNi18 9 po DIN-u) debljine $s_0=0,7$ mm						
Ugao prema pravcu valjanja lima, °	R_p MPa	R_M MPa	A_{80} %	r	n	R_p/R_M
0	303,2	660,2	30,6	0,824	0,361	0,46
45	308,1	666,4	37,15	1,147	0,35	0,462
90	317,3	630,1	29,5	0,949	0,343	0,5
srednja vrednost	309,2	655,8	33,6	1,017	0,351	0,471

Jasno se uočavaju osnovne osobine ovog materijala: vrlo visoka vrednost čvrstoće, izduženja pri razaranju i n-faktora uz nisku vrednost r-faktora koji varira s obzirom na ravansku anizotropiju. Sve to ovaj lim čini znatno teže obradivim dubokim izvlačenjem u odnosu na klasične niskouglenične limove. Zahteva znatno veće deformacione sile, sile držanja i sl., što proces podiže na viši režim, sa većom nestabilnošću i značajnim uticajem mnogih faktora (stanje alata i mašine, tribološki efekti i sl.). Ima sklonost ka stanjenju i pojavi nabora što takođe otežava obradivost.

Koncepcija ispitivanja je zasnovana na realizaciji eksperimenta sa dvofaznim nemonotonom procesom. Sl.1 daje prikaze različitih mogućnosti ostvarenja pojedinih naponsko-deformacionih šema ([1], [2]). Svakoj varijanti odgovara prava linija u sistemu glavnih deformacija u ravni lima, označena malim slovima a, b, c i d. Polazi se od toga da su unutar svake faze zadovoljeni uslovi monotonosti.



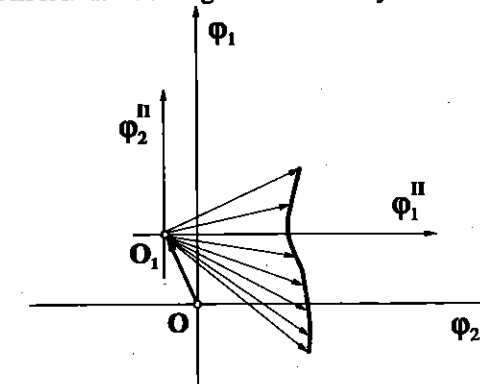
Sl.1 Prikaz najčešće realizovanih putanja deformisanja

Horizontalne isprekidane linije označavaju kraj faze. Velikim slovima su označeni dvofazni procesi sa kombinacijom od po jedne putanje u svakoj fazi. Simboličke oznake procesa su date po [3]. U njima se daju deformacioni faktori t za prvu i drugu fazu i vrednost intenziteta deformacije ϕ_1 na kraju prve faze.

U konkretnom slučaju u prvoj fazi se vrši jednoosno zatezanje trake lima širine 120 mm, početne merne dužine 200 mm, brzinom deformacije $0,00083 \text{ s}^{-1}$ (brzina deformisanja je

10 mm/min) na mehaničkoj kidalici (maksimalna sila 100 kN). Ostvareno je homogeno deformaciono polje sa deformacijom $\phi_1^I = 0,1178$ i deformacionim koeficijentom $t = -0,361$. Iz tako deformisane trake isecane su (u poprečnom pravcu) epruvete za drugu fazu. To je serija epruveta različitih širina (30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 i 120 mm) koje se deformišu razvlačenjem sa ciljem dobijanja DGD. Za detalje postupka videti [1], [2], [4], [5].

Razvlačenje se vrši na laboratorijskoj mašini ERICHSEN 142/12 (maksimalna sila 130 kN, brzina deformisanja 0-250 mm/min) polusfernim izvlačaćem prečnika 50 mm, pri brzini 10 mm/min u uslovima podmazivanja tankim slojem ulja za duboko izvlačenje. Primenjenim postupkom se realizuje lepeza od 9 naponsko-deformacionih šema (putanja deformisanja) u rasponu od približno c do a (sl.1). Simbolična oznaka procesa je $t = -0,361 / -0,361$ do $t = 1 / 0,1178$. Ako se kao referentni koordinatni sistem glavnih deformacija u ravni uzme sistem za prvu fazu



Sl.2 Prikaz realizovanog postupka

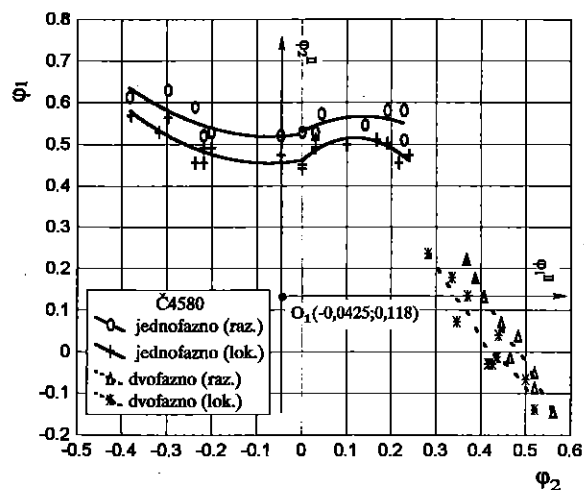
proces šematski može da se predstavi kao na sl.2. Ovakav izbor koordinatnog sistema ima opravdanja, ali može se diskutovati i sistem u kome se za drugu fazu ne vrši rotacija osa za 90° . Naime, u drugoj fazi, pravac druge (manje) glavne deformacije za prvu fazu (ϕ_2^I) postaje pravac prve (veće) glavne deformacije ϕ_1^II , koja je i konačna. Na osnovu toga, ima smisla prema stanju na kraju eksperimenta definisati pravce glavnih deformacija odnosno osa koordinatnog sistema, ali prema tom stanju nije moguće otkriti istoriju deformisanja.

Deformaciona polja identifikovana su grafometrijskim postupkom mernih mreža sa primenom kružne merne mreže početnog prečnika 3 mm ([1], [2], [4]). Praćene su deformacije po fazama, kao i ukupne deformacije na kraju procesa.

3. REZULTATI EKSPERIMENTA

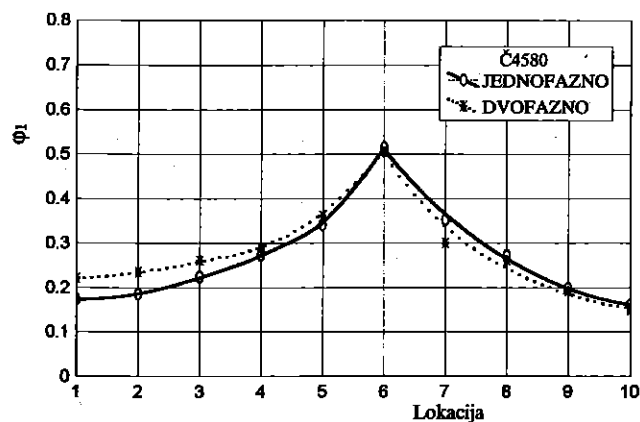
Sl.3 daje položaj krivih granične deformabilnosti. Za monotoni postupak to su krive prikazane punim, a za nemonotoni isprekidanim linijama. U prvom slučaju donja kriva označava početak lokalizovanog deformisanja, a gornja razaranje. Zapaža se relativno mala razlika između graničnih deformacija pri jednoosnom zatezanju i razvlačenju (levi i desni deo dijagrama). Polazni koordinatni sistem je referentni za krive ostvarenog dvofaznog nemonotonom postupka. Leva kriva predstavlja krivu lokalizacije, a desna krivu razaranja. Dat je i položaj koordinatnog sistema za drugu fazu, iz koga se zaključuje zašto kriva ima prikazan položaj (deformacija ϕ_1 u drugoj fazi deluje u pravcu povećanja ϕ_2 za prvu fazu; deformacija

φ_2 u drugoj fazi deluje u pravcu smanjenja φ_1 za prvu fazu.



SI.3 DGD pri ostvarenom monotonom i nemonotonom deformisanju

SI.4 daje uporedno distribuciju φ_1 na epruvetama 120x120 mm, gde se ostvaruje naponsko-deformaciona šema najpribližnija čistom razvlačenju. Intenziteti deformacije φ_1 naneti su po istoj osi za prvu i drugu fazu bez obzira na to što se fizički na komadu (kao što je prethodno već naglašeno) pravci razlikuju za 90°. Krive distribucija i iznosi deformacija ne pokazuju bitnu razliku za nemonotoni i monotoni postupak.

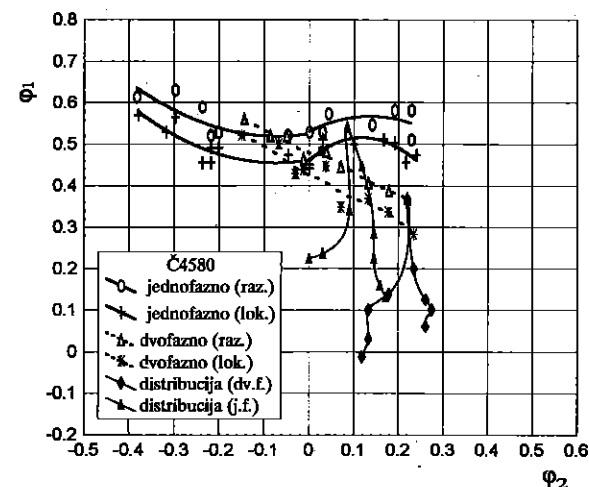


SI.4 Distribucija deformacija

Prethodni prikaz nije pogodno upoređivati sa sl.3 i sl.5 jer on daje fiktivnu sliku ukupne deformacije (zbir prvih glavnih deformacija iz obe faze) za dvofazni postupak, koju realno nije moguće izmeriti na kraju druge faze, zbog promene pravaca glavnih osa.

Na sl.5 date su distribucije pri razvlačenju. Petlja za monotono (jednofazno) deformisanje

je znatno šira. Izrazito suženje petlje pri dvofaznom deformisanju govori o većem gradijentu deformacije u zoni razaranja.



SI.5 DGD sa distribucijama deformacija

Na sl. 5 prikaz graničnih krivih deluje ilustrativnije u odnosu na sl.3. Na tom prikazu je zbog jasnoće i upoređenja sa krivama za monotono deformisanje, dato da se poklapaju odgovarajuće ose koordinatnog sistema za prvu i drugu fazu, odnosno da se vrednosti φ_1 za drugu fazu nanose po osi φ_1 za prvu fazu. Analogno važi i za φ_2 . Pri ovakvom prikazu, praktično, referentni sistem je sistem druge faze deformisanja. Zapaža se da u drugoj fazi lim ima manje granične deformacije u oblasti razvlačenja (desno od ordinatne ose) u odnosu na jednofazni (monotoni) postupak. Iako su ovo prvi rezultati, na osnovu kojih nije moguće doneti konačne zaključke, čini se da lim Č4580 i u oblasti granične deformabilnosti ima značajno drugačije ponašanje u odnosu na niskouglenične čelične limove.

4. ZAKLJUČAK

Ponašanje lima od Č4580 u uslovima realizovanog dvofaznog nemonotonog postupka pokazuje zanimljive efekte u oblasti granične deformabilnosti. Naredna ispitivanja, sa ostvarenjem i drugih naponsko-deformacionih šema složene istorije deformisanja [1] treba da pruže dopunske podatke o uticajima na DGD čime će slika ponašanja ovakvih limova biti kompletnija.

Postupci sa složenom istorijom deformisanja na nivou mikrostrukture uzrokuju kompleksne procese koji se na makro nivou reflektuju kao specifični efekti promene osobina deformabilnosti.

Primenjena metodologija i navedeni rezultati predstavljaju dobru osnovu za nastavak istraživanja i sistematizaciju rezultata u ovoj oblasti.

FORMING LIMIT OF STAINLESS THIN SHEETS UNDER NON-MONOTONOUS DEFORMATION PROCESS CONDITIONS

ABSTRACT

Presented in the paper is experimental investigation of forming limit of thin sheet made from Č.4580 (X5CrNi18 9, after DIN). The specific two-phase non-monotonous procedure is applied. In the first phase the axial tension of 120 mm wide sheet stripe is applied, while in the second phase, the series of stretching by semi-spherical punch is performed. Forming limit diagram is formed and compared with forming limit diagram related to monotonous forming. Also, strain distribution and analysis of applied strain procedure effects is given.

LITERATURA

- [1] Aleksandrović S., Granična deformabilnost tankih limova u uslovima nemonotonog procesa plastičnog deformisanja, mag. rad., Mašinski fakultet Kragujevac, 1993.
- [2] Stefanović M., Aleksandrović S., Influence of strain path and tribo conditions on limiting relations in deep drawing, Journal of Techn. of plasticity, Novi Sad, 19 (1994), 47-55.
- [3] Rasmussen S. N., Theoretical Prediction of Strain Path Dependence of Limit Strains in Sheet Materials, Annals of the CIRP Vol. 30/1/1991, 179-184.
- [4] Devedžić B., Aleksandrović S., Uticaj nemonotonosti dvofaznih procesa deformisanja na graničnu deformabilnost tankih limova, XXV SPMJ, 1994, Beograd, Zbornik rad., 95-101.
- [5] Devedžić B., Granična deformabilnost limova pri različitim istorijama deformisanja, XXIV SPMJ, Novi Sad, 1992, Zbornik rad. 1-11 do 1-19.
- [6] Gronostajski J., Ali W.J., Ghattas M.S., Analysis of the limit strains of coated sheets steel for different strain paths, Journal of Mat. Proc. Techn., 22, 1990, 137-145.



26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE
26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION ENGINEERING

S. Aleksandrović, M. Stefanović^{*)}

INTEGRALNI PRISTUP PRI ANALIZI DEFORMABILNOSTI TANKIH LIMOVA

REZIME

Rad sadrži sveobuhvatan pristup analizi i rešavanju problema deformabilnosti pri dubokom izvlačenju. Prva faza obuhvata kompletno ispitivanje materijala (mehaničke karakteristike, pokazatelje obradivosti, krive granične deformabilnosti, tribološke karakteristike, struktura i eventualno hemijski sastav). Sledi identifikacija kritičnih zona, tipova defekata, određivanje deformacionih polja i definisanje putanja deformisanja u dijagramu granične deformabilnosti. Naredna faza je ispitivanje maziva i uočenih triboloških efekata ("galing" i sl.). Konačan rezultat daje potrebne karakteristike procesa, alata, mašine i materijala.

1. UVOD

Duboko izvlačenje tankih limova, zbog svoje složenosti i često nepoznavanja pojedinih uticajnih faktora može da rezultira neuspešno oblikovanim predmetima obrade. U onoj meri kojom se ovlada tim faktorima moguće je upravljati procesom i usmeravati ga ka konačnom cilju - kvalitetnom otpresku. Prema sagledavanju kompleksa ove obrade u [1] najvažniji su sledeći faktori: predmet obrade sa svojim karakteristikama uključujući materijal, alat, mašina, tribološki uslovi i okruženje. Kad dođe do pojave proizvoda sa defektima potrebno je odrediti uzroke problema i dati kvalitetna rešenja. U ovom radu se daje jedan pristup zasnovan na kompleksnoj deformacionoj analizi dobijanja otpreska, analizi materijala i triboloških uslova. Naročito je važna pravilna analiza komada sa defektima jer se na njemu direktno reflektuju svi povoljni i nepovoljni uticaji koji postoje u procesu obrade. Koristi se konkretan primer otpreska necilindrične forme od nerđajućeg čeličnog lima Č4580 (X5CrNi18 9 po DIN-u). Bitno je naglasiti da je to vrlo značajan materijal za savremenu industriju jer se svojim antikorozijskim svojstvima uklapa u važne tendencije razvoja sve više usmerene ka produženju veka proizvoda i zaštite prirodne okoline [2].

2. METODOLOGIJA ISPITIVANJA

2.1 Ispitivanje materijala

Potrebno je što detaljnije ispitati materijal i to je prvi korak na prikupljanju potrebnih podataka o konkretnom komadu. Od mehaničkih karakteristika određuju se: zatezna čvrstoća (R_M), granica tečenja (R_P), izduženje pri prekidu (A_{80}). Odnos R_P/R_M , "r" faktor i "n" faktor su potrebne osnovne karakteristike obradivosti. Pomenuti materijal je hladno valjani lim sa manje

^{*)} Mr Sbrislav Aleksandrović, asistent, Mašinski fakultet u Kragujevcu
Dr Milentije Stefanović, red. prof., Mašinski fakultet u Kragujevcu