

UPRAVLJANJE I NUMERIČKO MODELIRANJE U PROCESIMA OBRADE LIMA DEFORMISANJEM

CONTROL AND NUMERICAL MODELLING IN SHEET METAL FORMING

S. Aleksandrović¹, M. Stefanović², T. Vujinović³

Rezime: Plastično oblikovanje limova je veoma važan deo savremene industrije. Primenjuje se u proizvodnji automobila, aviona, robe široke potrošnje itd. U procesu dubokog izvlačenja upravljanje silom držanja utiče na obradivost, stabilnost procesa, geometrijsku tačnost, postojanost alata itd. U radu se izlaže primena pojedinih upravljačkih sistema sile držanja i numeričkih metoda za simulaciju oblikovanja lima. Za neke od pomenutih oblasti dati su rezultati istraživanja autora.

Summary: Sheet metal forming is an essential part of the modern industry. It is required in the manufacture of wide range of goods including automobiles, aircrafts, consumer products etc. In deep drawing sheet metal process, blank holder control is one of the most important element technologies affecting formability, geometrical accuracy, tool life, process stability etc. This paper discusses the application of some control systems, and numerical methods for sheet metal forming. For the some of designated researching areas, the results of proper investigation are given.

1. UVOD

U okviru opšteg napretka nauke i tehnologije poslednjih godina i oblast tehnologije plastičnog oblikovanja metala doživljava intenzivan razvoj. Podrazumevajući osnovni razvoj u oblasti novih tehnologija na bazi fundamentalnih fizičko-hemijskih istraživanja, glavni pravci razvoja u okviru obrade metala deformisanjem (OMD) mogu se uslovno podeliti na sledeće grupe:

- razvoj postupaka modeliranja, odnosno simulacija procesa oblikovanja - tečenja metala, definisanje naponsko-deformacionih polja i sl., u cilju optimizacije parametara obrade;
- primena sistema CAD/CAM za projektovanje i izradu alata;
- razvoj i primena veštačke inteligencije i ekspertnih sistema u ovladavanju procesom obrade, konstrukcijom i izradom alata;
- razvoj različitih postupaka, alata i mašina za izradu delova kojima nije potrebna naknadna dorada ili obrada (tzv. "net shape" postupci: precizno toplo i hladno kovanje, hidrooblikovanje, precizno livenje itd.).

Pri projektovanju tehnologije procesa obrade metala dubokim izvlačenjem, od suštinskog značaja je i poznavanje granične deformabilnosti, koja se može definisati kao sposobnost za ostvarivanje maksimalnih deformacija u zadatim uslovima obrade (naponsko-deformaciona shema, brzina, temperatura, tribološki uslovi i sl.). Na taj način, granična deformabilnost je jedan od ograničavajućih faktora pri definisanju obradivosti, koja uključuje i složene kriterijume za nastanak pojava nestabilnosti (nabori, lokalizacija-stanjenje, defleksija), razaranja i td. (sl. 1 [1]).

2. DEFORMACIONA ANALIZA I GRANIČNA DEFORMABILNOST

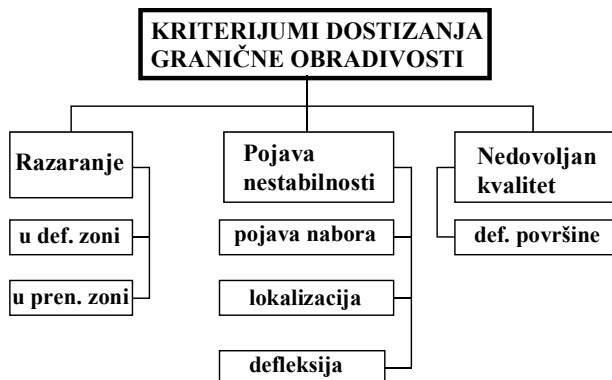
Kod izvlačenja delova složene geometrije (na pr. elementi karoserije automobila), postoje teškoće u formulisanju kriterijuma za optimalno iskorišćavanje svojstava plastičnosti materijala koji se oblikuje. Stepenn deformacija kod takvih komada različit je u pojedinim tačkama. U zavisnosti od spoljašnjih uticaja, lokacija zone nestabilnog deformisanja može se pomerati. Korišćenjem eksperimentalnih postupaka na bazi mernih mreža, ili numeričkih metoda i simulacija, moguće je odrediti ostvareni stepen deformacije na jednom mestu, u široj zoni ili po čitavoj površini komada. Dobijeni rezultati predstavljaju osnovu za tzv.

¹ Dr Srbslav Aleksandrović, docent, Mašinski fakultet Kragujevac, srb@knez.uis.kg.ac.yu

² Dr Milentije Stefanović, red. prof., Mašinski fakultet Kragujevac, stefan@knez.uis.kg.ac.yu

³ Mr Tomislav Vujinović, dipl. ing., Čajavec Mega, Banja Luka, Republika Srpska

lokalnu ili inegralnu deformacionu analizu. Uvid u ostvarenu raspodelu deformacija kompletnog dela, odnosno složenog proizvoda, omogućava znatno složenije analize koje imaju i direktan praktični značaj.

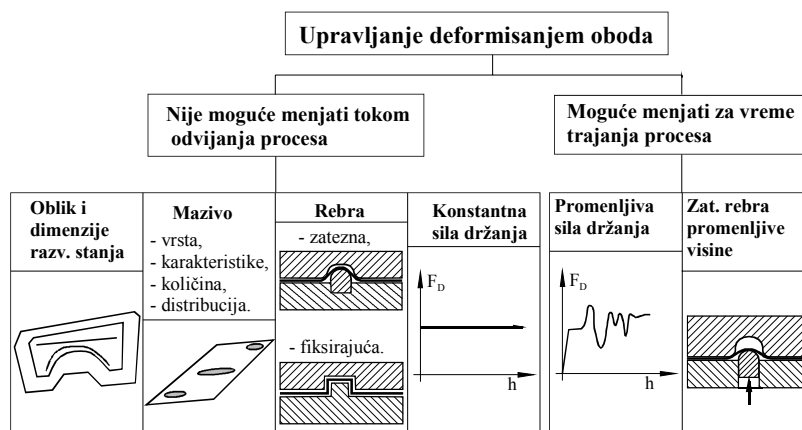


Sl. 1. Osnovni kriterijumi dostizanja granične deformabilnosti

3. NOVE MOGUĆNOSTI U OBLASTI UPRAVLJANJA PROCESOM DUBOKOG IZVLAČENJA

Duboko izvlačenje je najvažnija tehnologija u okviru plastičnog oblikovanja lima. Njen razvoj ide u pravcu potpunije kontrole procesa, odnosno upravljanja najvažnijim parametrima, sve u cilju smanjenja procenta delova sa defektima i poboljšanja kvaliteta. Važno mesto u ovom trenutku razvoja sistema upravljanja zauzima plastično deformisanje oboda, pre svega zbog mogućnosti spoljašnjeg uticaja na proces.

Sl. 2 [2] ilustrativno prikazuje na koje je činioce i parametre procesa moguće uticati tokom samog njegovog odvijanja, što čini osnovu upravljanja. Jasno se zapaža da vrlo bitnu ulogu ima sila držanja koju je moguće na razne načine varirati tokom procesa. To prouzrokuje promenu triboloških uslova na obodu, a time i značajan uticaj na proces i njegove rezultate. Artikulacija ovih uticaja je centralni zadatak razvoja u ovoj oblasti.

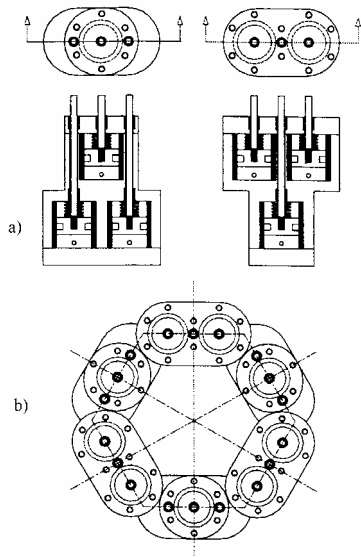


Sl. 2. Načini za upravljanje oblikovanjem oboda

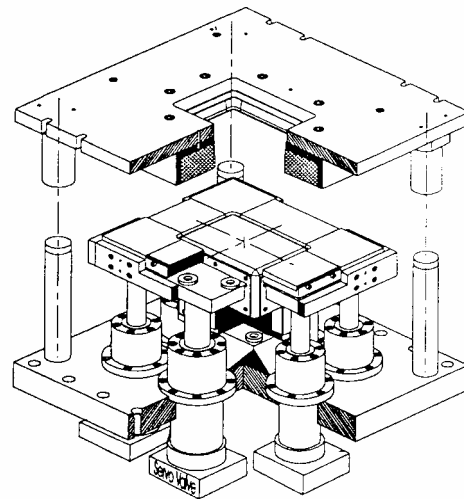
Jedan od načina korišćenja sile držanja kao upravljajuće veličine je tzv „multi point” sistem. Na više „tačaka” raspoređenih po površini držača deluje se silom odgovarajućih hidro cilindara. Svaki od njih može imati drugačiju zavisnost sile držanja od hoda izvlakača tokom procesa. Takođe, moguće je sinhronizovano usklađivati grupe pojedinih cilindara. Sl. 3 pokazuje način izvođenja tipskih hidro-aktuatora za delovanje preko elastičnog jednodelnog držača i mogućnost njihovog slaganja [2].

Više mogućnosti pruža segmentno izvođenje držača (sl. 4, [2]). Segmenti se formiraju prema osobenostima pojedinih zona oboda (naročito kod delova prizmatičnog i složenog oblika). Svaki segment ima sopstveno, nezavisno upravljanje.

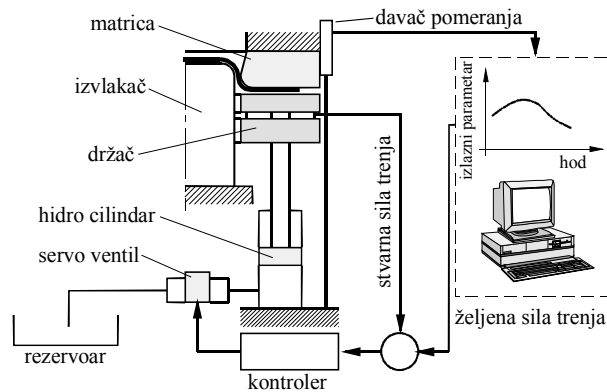
U okviru razmatranja različitih sistema upravljanja važno mesto zauzima realizacija tzv. „closed loop” sistema. Reč je o pokušaju da se iskoristi sila držanja kao upravljajuća veličina koja utiče na odabranu upravljajuću veličinu (recimo sila trenja na obodu, visina nabora itd.). Željeni zakon promene upravljane veličine se prethodno zadaje. Sistem automatizovano povratnom spregom reaguje na svako odstupanje od zadatog zakona (sl. 5, [2]). Konačni cilj bi bio realizovanje takvog upravljačkog sistema koji bi autonomno bio u stanju da reaguje na sve promene tokom procesa i privede ga uspešno kraju. Iako su postignuti pozitivni rezultati ipak je potrebno prethodno (empirijski, na osnovu simulacije, eksperimenta itd.) definisati potrebne zakonitosti promene upravljanih veličina. Daleko je jednostavnije i, čini se, opravdanije, ostvariti tzv. „open loop” sisteme gde se prethodno definiše zakonitost upravljajuće veličine.



Sl. 3. Tipski hidro aktuatori

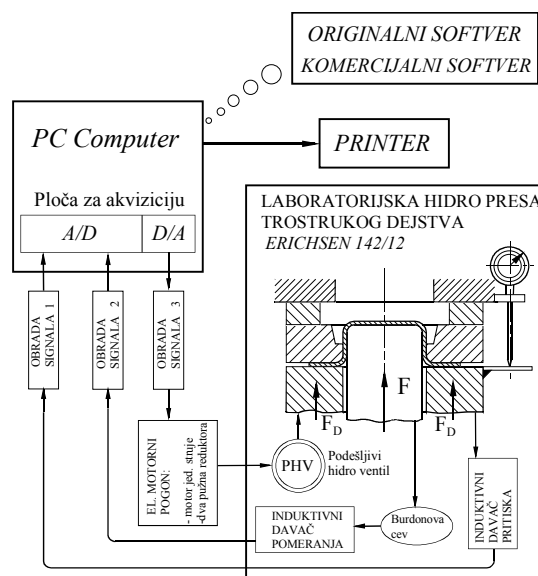


Sl. 4. Segmentno izvođenje držača



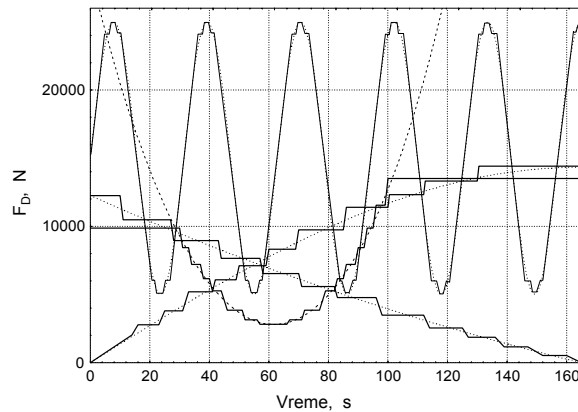
Sl. 5. Shema upravljačkog uređaja za upravljanje preko sile trenja

Na Mašinskom fakultetu u Kragujevcu razvijen je kompjuterski merno-upravljački laboratorijski sistem za izučavanje uticaja promenljive sile držanja (sl. 6, [2]). Njegova glavna osobina je mogućnost zadavanja proizvoljne zavisnosti sile držanja od hoda tokom procesa („open loop”) i ostvarivanje regulacije sile izvlačenja (upravljana veličina) promenom sile držanja (upravljajuća veličina) čime se dobija varijanta „closed loop” sistema. Kontinualno se meri sila držanja i sila izvlačenja odgovarajućim davačima uz mogućnost mehaničkog identifikovanja nabora na obodu.



Sl. 6. Shema eksperimentalnog sistema za upravljanje silom držanja

Opsežno istraživanje [2] je pokazalo značajne efekte optimiziranih zavisnosti promenljive sile držanja (sl. 7, [2]) čak i na malim geometrijama cilindričnog i prizmatičnog kvadratnog komada od niskougleničnog (sa i bez prevlaka na površini) i aluminijumskog lima.



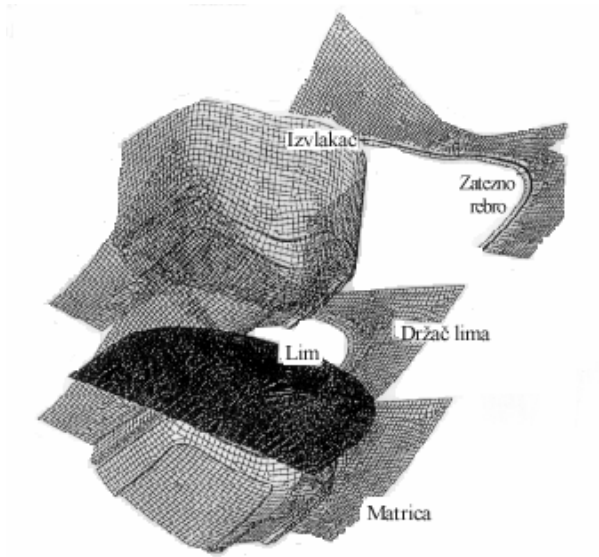
Sl. 7. Primer optimiranih zavisnosti sile držanja

4. KOMPJUTERSKE SIMULACIJE PROCESA PLASTIČNOG OBLIKOVANJA LIMA

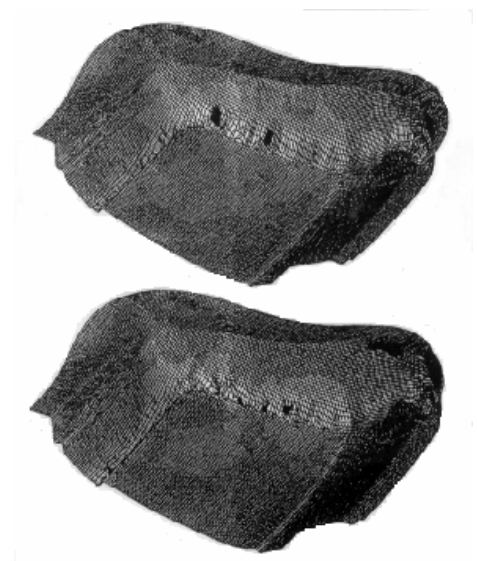
Osnovna ideja je da se primenom matematičke teorije plastičnosti, numeričkih metoda (najčešće MKE) i snažnih kompjutera dobije virtuelni prikaz (simulacija) čitavog procesa oblikovanja. To pruža mogućnost korekcija, t.j. optimizacije, pre realizacije realnog procesa. Takođe, moguće je smanjiti, a ponekad i izbeći skupe eksperimentalne probe.

Tokom zadnje decenije usavršeno je nekoliko velikih programskih paketa za simulaciju plastičnog oblikovanja lima, od kojih treba pomenuti: PAM STAMP, LS-DYNA3D, OPTRIS, AUTO FORM i MTLFRM. Hardversko okruženje pružaju različite platforme (Unix i Linux radne stanice i Windows PC). Proces realizacije simulacije ide po sledećem redosledu ([3]):

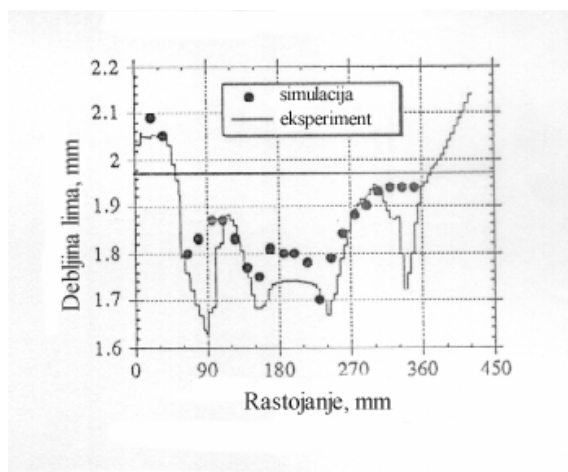
1. definisanje geometrije alata (izvlakač, matrica, držač) i razvijenog stanja (sl. 8 [4]),
2. definisanje mreže konačnih elemenata (sl. 9 [4]),
3. unos karakteristika materijala (kriva tečenja, r i n faktor, kriva granične deformabilnosti, uticaj anizotropije u ravni lima, modul elastičnosti, Poisson-ov koeficijent itd.),
4. određivanje kinematike procesa i graničnih uslova na kontaktnim površinama,
5. definisanje tehnološkog postupka (broj i redosled operacija),
6. postprocesiranje rezultata (vizuelni prikaz geometrije, sl. 9, distribucije napona i deformacija, sl. 10 [4], parametara procesa, površinskih defekata, sl. 11 [4] itd.).



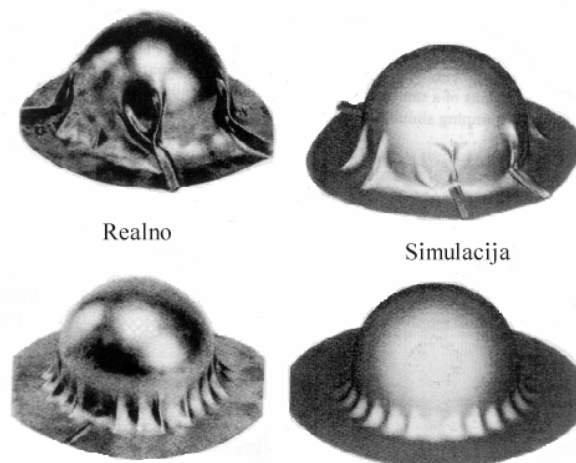
Sl.8. Geometrija elemenata alata i razvijenog stanja



Sl. 9. Geometrija izvučenog komada iz alata sa sl. 8



Sl. 10. Promena debljine lima po jednom preseku komada



Sl. 11. Poređenje izgleda komada (stvarno i simulacija)

Najosetljivije i kritično mesto kod bilo kog softverskog paketa za simulaciju je mogućnost predikcije pojedinih defekata (nabori, stanjenje i lom, površinski defekti, devijacije oblika posle povlačenja elastičnih deformacija). Nijedan od aktuelnih softverskih paketa, i pored manje ili više, spektakularnih rezultata ne može u potpunosti da predvidi sve pomenute defekte.

U cilju vrednovanja i unapređenja postojećih softverskih rešenja pokrenut je veliki međunarodni projekat 3DS (Digital Die Design Systems) [5], čiji rezultati treba da budu pouzdani eksperimentalni podaci uz minimalno rasipanje rezultata. Oformiće se opsežna baza podataka univerzalnog internacionalnog značaja, koji će pomoći da nove verzije softverskih paketa budu u stanju da pouzdanije definišu geometriju delova od lima tokom procesa i geometriju alata sa parametrima procesa da bi se u realnom izvođenju tačno ostvario željeni oblik. Preduslov za to su jasne definicije svih mogućih defekata i parametara koji ih određuju.

5. ZAKLJUČAK

Savremeni trendovi u industriji idu u pravcu podizanja nivoa svih standarda. Od kvaliteta proizvoda do zaštite okoline. To zahteva potpunije razumevanje procesa i pouzdanije i kvalitetnije ovladavanje njihovim tokom. Kod postupaka plastičnog oblikovanja limova kompjuterski sistemi za upravljanje preko sile držanja na obodu imaju veliki značaj i već daju rezultate naročito u uslovima primene teže obradivih materijala (aluminijumske legure, nerđajući čelici, čelici povećane čvrstoće itd.).

Posebno mesto zauzima numeričko modeliranje, t.j. kompjuterska simulacija procesa oblikovanja. Dominira komercijalni softver nekoliko velikih softverskih kuća koji iz godine u godinu daje sve bolje rezultate, ali uz teškoće pri oblikovanju složenih komada dubokim izvlačenjem i pri predikciji različitih defekata na limu. Glavni nedostatak predstavlja vrlo visoka cena, tako da je uglavnom rezervisan za velike proizvođače (na pr. automobilske firme), bogate univerzitete i razvojne institute.

6. LITERATURA

- [1] Stefanović M. Tribologija dubokog izvlačenja, Monografija, Jugoslovensko društvo za tribologiju, Kragujevac, 1994.
- [2] Aleksandrović S. Duboko izvlačenje tankih limova pri nemonotonom deformisanju sa promenljivim tribološkim uslovima, doktorska disertacija, Mašinski fakultet Kragujevac, 2000.
- [3] Gantar G. Računalniške simulacije procesov preoblik. pločevine, Tecos Nov., 1998, IV, 4, 1-4.
- [4] El Mouatassim M. et al. The simulation of multi-operation deep-drawing process at RENAULT with PAM STAMP, J. Mater. Process. Technol., 45, 1994., 317-322.
- [5] Makinouchi A., Teodosiu C. Numerical methods for prediction and evaluation of geometrical defects in sheet metal forming, Computational Fluid and Solid Mechanics, 2001, pp. 21-25.