

MOGUĆNOSTI ZA UPRAVLJANJE PROCESOM DUBOKOG IZVLAČENJA

Srbislav Aleksandrović¹, Milentije Stefanović², Tomislav Vujinović³

Rezime: *Upravljanje procesom dubokog izvlačenja tankih limova podrazumeva ostvarenje skupa dejstava u okviru jedinstvenog sistema sa ciljem autonomnog odvijanja procesa deformisanja, automatskog reagovanja na poremećaje i promenljive ulazne faktore i dobijanja oblikovanog komada optimalnih karakteristika.*

U radu se analizira koncepcija sistema i njegovi delovi prema prethodnoj definiciji. Daju se detalji realizovanih sistema u poznatim istraživačkim centrima i komentarišu ostvareni rezultati. Podvlači se izuzetno velika složenost, nerešeni problemi i visoka cena, što dovodi u pitanje širu praktičnu primenu.

U drugom delu rada predlaže se pojednostavljeni sistem upravljanja, daje njegova koncepcija i delovi. Naglašava se delovanje zateznih rebara promenljive visine i sile držanja. Daju se primeri konkretnih rezultata i naglašava relativna jednostavnost i niža cena uz zapažene efekte u rezultatima oblikovanja.

Ključne riječi: *lim, duboko izvlačenje, upravljanje procesom*

POSSIBILITIES OF DEEP DRAWING PROCESS CONTROL

Abstract: *Deep drawing process control means realization of control system able to generate proper action independently during the forming process and in that way make necessary correction of process course which give optimal properties of final work piece.*

Presented in the paper are analysis of system conception and structure according to previous definition. Given are details of realized systems in foreign research centers with comments. Stressed are complexity and very high price of such a systems.

In second part of the paper suggested are simplified system with analysis and elements. Significance is given to blank holding force and variable heights draw beads. Stressed is relatively simple structure, lower price with satisfied effects in forming results.

Keywords: *sheet metal, deep drawing, process control*

¹ Dr Srbislav Aleksandrović, vanr. prof., Mašinski Fakultet-Kragujevac, srba@kg.ac.yu

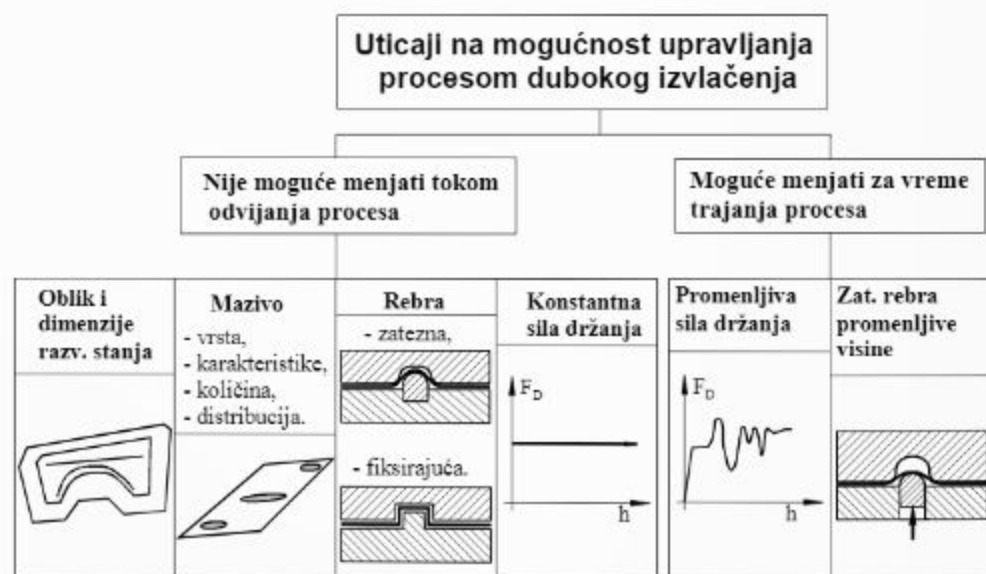
² Dr Milentije Stefanović, red. prof., Mašinski Fakultet-Kragujevac, stefan@kg.ac.yu

³ Mr Tomislav Vujinović, dipl. ing., Banja Luka

1. UVOD

Duboko izvlačenje kao tehnološki proces, bez sumnje, dominira u okviru obrade lima. S druge strane lim kao polufabrikat ima istaknuto mesto kako među čeličnim tako i među aluminijumskim poluproizvodima. Veliki zamah stalnom razvoju novih vrsta limova, ali i tehnologijama prerade daje pre svega automobilska i njoj srodne industrije. Zato je proces dubokoh izvlačenja predmet stalnih istraživanja sa ciljem dobijanja boljih rezultata naročito pri oblikovanju novih generacija limova (Al legure, nerđajući čelici, čelici povišene čvrstoće, tailored limovi itd.) čija je generalna karakteristika znatno lošija obradivost u odnosu na klasični niskougljenični čelični lim.

Zadnjih par decenija intezivno se proučava mogućnost upravljanja procesom dubokog izvlačenja u smislu koncipiranja i ostvarenja upravljačkog sistema sposobnog da po sistemu povratne sprege regulje na poremećaje i autonomno vodi proces do kraja. U koncepcijskom smislu vrlo je bitna identifikacija odgovarajućih parametara. S jedne strane to su upravljane veličine (na koje se deluje i koje su bitne za pravilno odvijanje procesa) a sa druge, to su upravljajuće veličine uz pomoć kojih se izvode korektivna dejstva i proces održava stabilnim. Izbor upravljajućih dejstava je veoma uzak. Uglavnom, to su samo dva: sila držanja i visina zateznih rebara. I jedna i druga veličina zadovoljavaju neophodan uslov da ih je moguće menjati tokom trajanja procesa oblikovanja (sl. 1) [1].

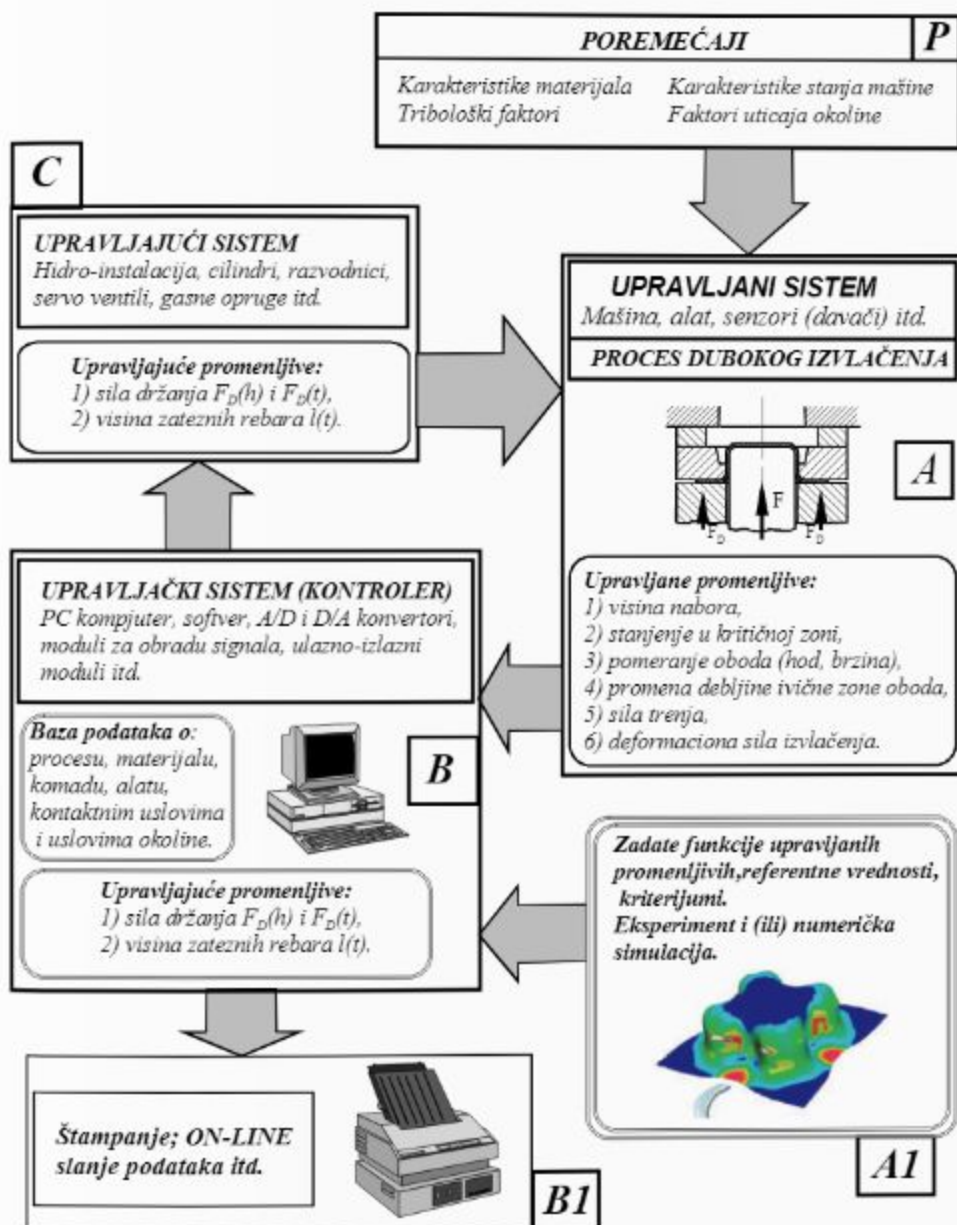


Sl. 1 Utjecaji na proces dubokog izvlačenja

Složenija situacija je sa upravljanim promenljivim koje treba da predstavljaju bitne veličine za stabilnost procesa. Poznato je da proces uglavnom ograničavaju dva defekta: nabori na obodu i razaranje u kritičnom preseku. Stoga bi najbolje bilo koristiti visinu nabora i stanjenje lima u kritičnoj zoni. Međutim, postoje praktične teškoće. Merenje nabora je, istina, relativno lako, ali sve ima smisla samo ako je pojava nabora u elastičnoj oblasti. Ako se formiraju nabori kao trajna deformacija oboda, njihovo ispravljanje predstavlja praktično teško rešiv problem jer zahteva nagli porast sile

držanja što veoma lako dovodi do preopterećenja, kritičnog stanjenja i razaranja. Stanjenje kao suštinski bitno za opasnost od razaranja je veoma teško meriti tokom trajanja procesa, a još je teže locirati kritičnu zonu na komadu. Praktično, svi do sada realizovani sistemi upravljanja koriste umesto stanjenja posredne promenljive (pomeranje ivice oboda, brzina klizanja oboda, zadebljanje ivice oboda, sila trenja na obodu, sila izvlačenja i sl.). I pored velikih ulaganja i veoma složenih aparatura rezultati još nisu u skladu sa troškovima istraživanja (na pr. [2]).

2. STRUKTURA SISTEMA I KRITERIJUMI UPRAVLJANJA

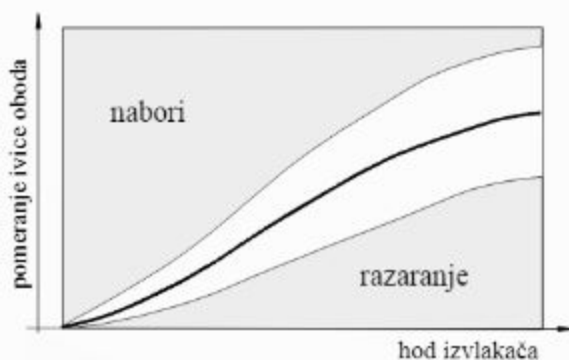


Sl. 2 Struktura sistema upravljanja procesom dubokog izvlačenja

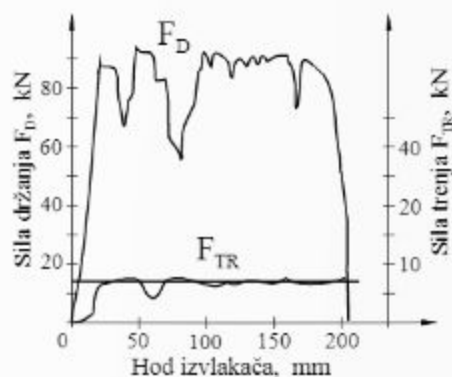
Najvažniji delovi sistema prikazani su na sl. 2 sa definisanim odgovarajućim promenljivim veličinama.

Kod ovakvih sistema upravljanja, i pored njihove složenosti, nama naročitih problema oko mehaničkih, hidrauličnih i sličnih komponenti (mašine, alati, gasne opruge itd.), oko pratećih elektronskih sistema (davači, obrada signala, A/D i D/A konvertori itd.), takođe ni oko potrebnih softvera svih nivoa (sve do velikih paketa za numeričku simulaciju procesa). Dilema se javlja oko toga kako pouzdano definisati funkcionalnu zavisnost (tokom procesa) odgovarajuće promenljive (jedne ili više) za koju softver sistema zna da je ona zadata, ciljna, odnosno da od nje direktno zavisi stabilnost procesa. To je naročito bitno jer praktično je nemoguće tokom procesa pratiti stanjenje lima u jednoj ili više kritičnih zona i tu promenljivu veličinu direktno uzeti kao upravljaju. Praktično, treba definisati etalon krive odabranih upravljanih veličina koje predstavljaju referentne vrednosti upravljanja u svakom trenutku procesa. Kod najnovijih sistema koji imaju predznak inteligentni (na pr. [2]) osnovu čine veliki softveri za numeričku simulaciju koji generišu takve etalon zavisnosti (obično dve vrste za jednu ili više zona na obodu komada). Naravno, etalon zavisnosti moguće je dobiti i na osnovu eksperimentalnih istraživanja u uslovima stabilnog odvijanja procesa.

Kao prvi primer date su etalon zavisnosti pomeranja ivice oboda od hoda izvlačka (sl. 3) i zavisnost sile trenja od hoda (sl. 4). Primenjene su na jednom od prvih velikih sistema upravljanja [3].



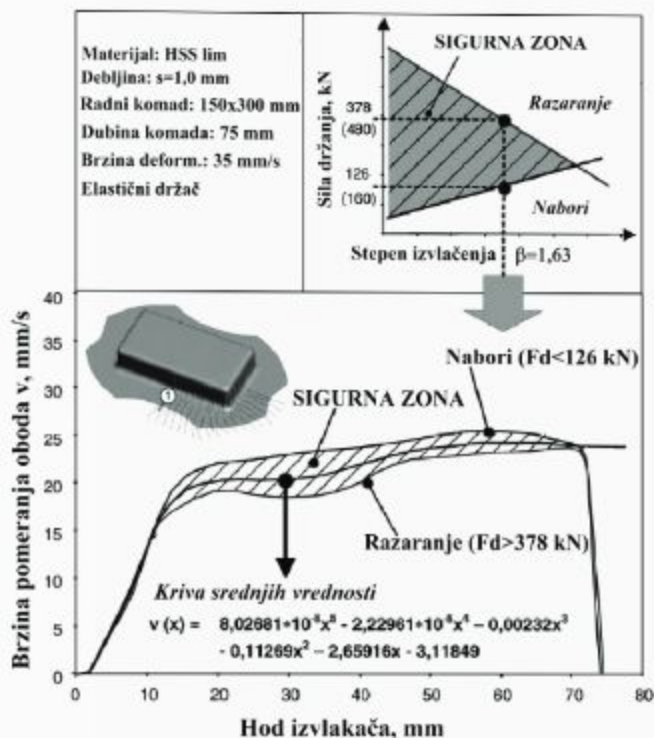
Sl. 3 Etalon zavisnost pomeranja oboda od hoda izvlačka



Sl. 4 Promena sile trenja i sile držanja

Etalon zavisnost na sl. 3 dobijena je eksperimentalno u uslovima stabilnog toka procesa. Etalon zavisnost sile trenja (sl. 4) takođe je formirana na osnovu eksperimentalnih istraživanja i to kao konstantna vrednost od 7 kN u konkretnom slučaju. Zanimljiva je reakcija sistema (delovanjem sile držanja na obodu) (sl. 4) zbog veoma skokovite promene sile držanja kao upravljajuće veličine. Vidi se zadata i realno ostvarena sila trenja. Kriterijum upravljanja (održavanje sile trenja datog konstantnog intenziteta) je uglavnom zadovoljen, ali nije šireg značaja, jer uvek treba definisati nove vrednosti sa bilo kakvom promenom faktora procesa oblikovanja.

Na sl. 5 dato je formiranje zavisnosti brzine pomeranja oboda od hoda kao referentne (etalon) upravljane veličine i sigurnosne margine oko granične krive (slično sl. 3). Izveden je eksperiment izvlačenja pravougaonog komada sa segmentnim držačem. Za svaku od 8 zona definisane su zavisnosti slične sl. 5 [4].



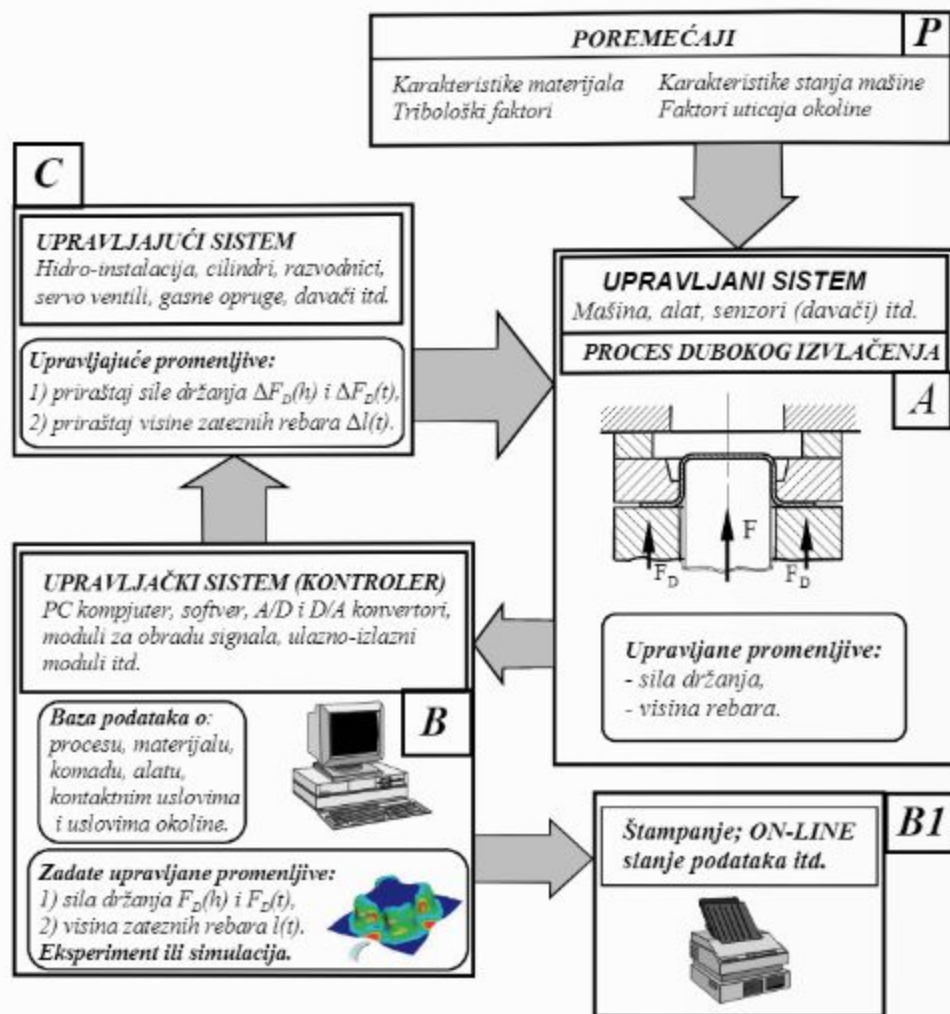
Sl. 5 Referentna zavisnost brzine pomeranja oboda od hoda

2. STRUKTURA POJEDNOSTAVLJENOG UPRAVLJAČKOG SISTEMA

U prethodnom poglavlju naglašena je struktura i neki aspekti definisanja kriterijuma upavljanja u složenim sistemima upavljanja pri dubokom izvlačenju. Zbog njihove velike složenosti razmatraju se jednostavniji upravljački sistemi i ovde će biti prikazana koncepcija jednog od njih.

Osnovna ideja pojednostavljenja je odsustvo upravljane promenljive i njene referentne (etalon) zavisnosti kao i kompletne povratne sprege između upravljajućih dejstava (najčešće inkrementalna promena sile držanja tokom procesa). Prethodnom pripremom (teorijsko-eksperimentalna istraživanja i numeričke simulacije) definiše se referentna funkcija sile držanja (ili eventualno visine rebara na obodu) koja sada u sistemu postaje upravljana veličina dok u procesu ostaje upravljajuća (sl. 6). U konačnom izvođenju ceo sistem je znatno jednostavniji, a rezultati mogu da budu veoma zapaženi. Na Mašinskom fakultetu u Kragujevcu formiran je laboratorijski kompjuterizovani sistem za upavljanje silom držanja po koncepcijskoj shemi na sl. 6. sa značajnim rezultatima na manjim geometrijama cilindričnog i prizmatičnog oblika od čeličnih limova sa i bez prevlaka i limova od Al legura.

Na primeru datom u [1] za izvlačenje cilindričnog komada sa stepenom izvlačenja 2,2 od galvanski pocinkovanog čeličnog lima povećanje dubine uz primenu jednog tipa promenljive sile držanja iznosi oko 40% u odnosu na primenu empirijske konstantne sile držanja. Istovremeno značajno je poboljšana distribucija deformacija u smislu homogenosti, kao i rezerva plastičnosti na dijagramu granične deformabilnosti.



Sl. 6 Struktura predloženog upravljačkog sistema

3. ZAKLJUČAK

Složeni upravljački sistemi nemaju širu primenu van istraživačkih laboratorija zbog nesklada između troškova i rezultata. Predloženi pojednostavljeni sistem otklanja taj nedostatak ali će naredna istraživanja doneti nova rešenja.

LITERATURA

- [1] S. Aleksandrović, M. Stefanović: Značaj sile držanja u realizaciji upravljanja procesom dubokog izvlačenja, 31. Sav.pr. maš., Krag., 2006., Zb. str. 139-146.
- [2] Yagami T., et al.: Intelligent sheet stamping process using segment blankholder modules, J. of Mat. Proc. Tech., 155-156 (2004): pp. 2099-2105.
- [3] Siegert K., Ziegler M., Wagner S.: Closed loop control of the friction force. Deep drawing process, J. of Mat. Proc. Tech., 71 (1997): pp. 205-208.
- [4] Doege E., Seidel H. J., Griesbach B., Yun J. W.: Contactless on-line measurement of material flow for closed loop control of deep drawing, J. of Mat. Proc. Tech., 130-131 (2002): pp. 95-99.