

YUTRIB'05
9^{ta} JUGOSLIVENSKA KONFERENCIJA O TRIBOLOGIJU
JUN.15-18. 2005
Kragujevac, Srbija i Crna gora

**UTICAJ SILE DRŽANJA I STANJA POVRŠINA
NA DUBOKO IZVLAČENJE TAILORED BLANKS**

Doc. dr Živko Babić, Mašinski fakultet Banja Luka, Republika Srpska
Prof. dr Milentije Stefanović, Mašinski fakultet Kragujevac
Doc. dr Srbislav Aleksandrović, Mašinski fakultet Kragujevac

Abstract

During the deep drawing of tailored blanks, tribological conditions make an influence on a forming process in a very complex way. The blank holding force and contact surfaces state of tools and materials are important parameters, which the final parameters of a deep drawing process depend on.

In the paper the results of experimental analysis of deep drawing of tailored blanks and basic blanks they were made of, were shown. The influences of the different blank holding forces and different tribologic conditions were investigated, using the main deformations distributions and the deep drawing force change during the process.

Key words: *tailored blanks, deep drawing, blank holding force*

1. UVOD

Svaki novi model automobila mora da ispunjava povećane zahtjeve u pogledu komfora i sigurnosti, što podrazumijeva povećanje putničkog prostora sa ugradnjom bogatije unutrašnje opreme i jače noseće konstrukcije. Istovremeno su izraženi zahtjevi za smanjenje potrošnje goriva i manje zagađenje čovjekove okoline. Karoserija čini skoro trećinu ukupne mase vozila, te se poslednjih godina primjenjuju nove koncepcije u izradi i izboru materijala da bi se značajno uticalo na ukupnu redukciju mase i troškova izrade vozila. Različiti dijelovi karoserije imaju različite zahtjeve u pogledu izdržljivosti na opterećenja, različite zahtjeve u pogledu površinske zaštite i različite zahtjeve u pogledu potrebne krutosti pri eksploataciji vozila, naročito pri sudaru.

Potrebe za ispunjenjem takvih zahtjeva su posljednjih godina dovele do široke primjene tailored blanks od čelika i aluminijskih legura, zahvaljujući sadašnjem stanju tehnike laserskog zavarivanja, koje omogućava veliku brzinu zavarivanja, usku zonu uticaja toplote, te sistem automatske kontrole i otkrivanja grešaka.

Sastavni dijelovi tailored blanks mogu biti od različitih materijala, različitih debljina i različitih stanja površina.

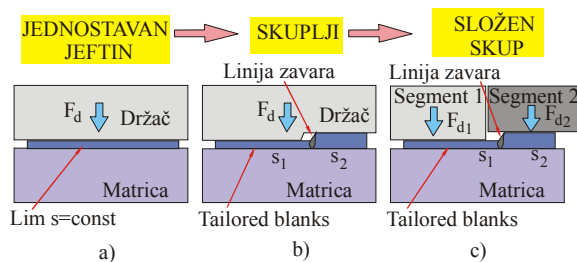
Optimalan izbor pojedinih dijelova iz kojih su formirani tailored blanks omogućava da se ispune sljedeći zahtjevi:

- odgovarajuća debljina i odgovarajući kvalitet materijala na pravom mjestu,
- smanjenje broja dijelova konstrukcije,
- veća tačnost oblika i mjera.

Iz navedenih razloga došlo je do uvođenja tailored blanks u proizvodnju i potrebe za sagledavanjem ponašanja ovakvih limova pri različitim procesima obrade. Duboko izvlačenje je najsloženiji i najčešće primjenjivan proces u obradi lima, te je značajno područje istraživanja vezano za deformabilnost pri dubokom izvlačenju tailored blanks, s obzirom na to da su ranija istraživanja vršena na limovima sa konstantnom debljinom i od istog materijala.

**2. KONCEPCIJA I PROBLEMATIKA
ALATA ZA DUBOKO IZVLAČENJE
TAILORED BLANKS**

Razvojem tehnologije tailored blanks alata. Primjenjuju se alati sa mnogo većim gabaritima koji zamjenjuju više manjih alata, jer se novom koncepcijom izrade jednim alatom oblikuje složeni komad koji je ranije nastajao prostornim spajanjem komada manjih dimenzija pomoću tačkastog zavarivanja. Pored toga, u postojećim konvencionalnim alatima se ne može jednostavno primijeniti nova tehnologija dubokog izvlačenja tailored blanks. U samo nekim jednostavnijim slučajevima se može intervencijom na držaču lima postojećih alata primijeniti oblikovanje tailored blanks. Za složenije slučajeve mora se primijeniti potpuno nova koncepcija izrade alata za duboko izvlačenje koja usložnjava i poskupljuje alat i njegovu eksploataciju i zahtijeva moderniju ostalu opremu. Razlike u načinima primjene tehnologije oblikovanja lima i koncepcije alata za duboko izvlačenje s obzirom na držanje lima date su na slici 1.

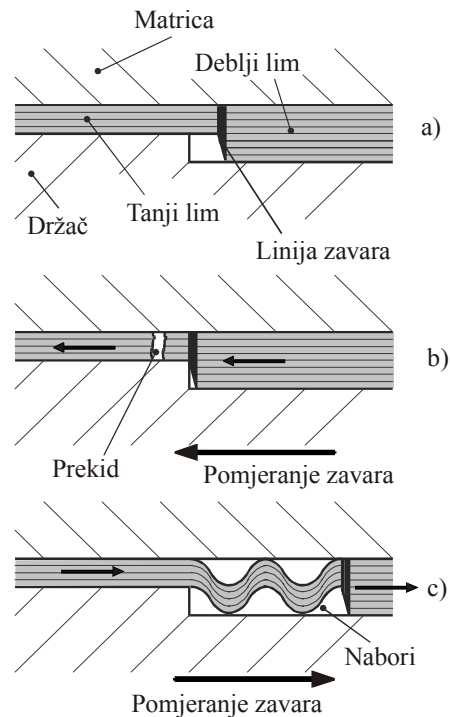


Slika 1: Prikaz razlika između alata za duboko izvlačenje

Kod dubokog izvlačenja tailored blanks sa različitim debljinama lima s_1-s_2 , i različitim karakteristikama osnovnih materijala mora se uzeti u obzir stepenasti prelaz na liniji zavora, kao i različiti zakoni tečenja slabijeg i jačeg materijala. Usljed klizanja materijala u toku procesa oblikovanja između površina radnih elemenata alata, zavisno od zone u kojoj se nalazi, dolazi do pomjeranja zavora i stepenice kod tailored blanks različite debljine. To pomjeranje se mora sagledati i utvrditi prije izrade alata kako bi se u držaču obezbijedilo dovoljno prostora za pomjeranje zavora. U suprotnom, moguće su pojave pucanja ili stvaranja nabora u tanjem ili debljem materijalu.

Na slici 2 prikazana je problematika koja nastupa kod tečenja materijala u pravcu poprečnom na zavar i kada stepenica zavora i alata može prouzrokovati pucanje ili stvaranje nabora. Na slici 2a prikazan je optimalan položaj zavora kada stepenica na držaču

dolazi do redizajniranja postojećih proizvoda i odgovara različiti debljina limova. U slučaju pomjeranja zavora ka stepenici držača može nastupiti ometanje tečenja materijala (slika 2b) i prekid u tanjem materijalu u pravcu paralelnom liniji zavora. U slučaju pomjeranja tanjeg lima prema nižem dijelu držača u zoni debljeg lima i udaljavanja linije zavora od stepenice držača (slika 2c) može doći do stvaranja nabora na tanjem limu.



Slika 2: Moguće greške kod pomjeranja linije zavora u poprečnom pravcu

Na naponsko-deformaciono stanje, a time i na graničnu deformabilnost utiče niz faktora, kao što su:

- uslovi kontaktnog trenja (vrsta i količina maziva, način podmazivanja, stanje kontaktnih površina, površinski pritisci, itd.),
- koncepcija alata i njegove geometrijske karakteristike,
- raspored sila na držaču lima,
- debljina lima,
- složenost oblika pripremljenog i gotovog komada.

3. EKSPERIMENTALNA ISPITIVANJA I REZULTATI

Do pojave tailored blanks istraživanja u području obrade dubokim izvlačenjem odnosila su se na preoblikovanje komada iz lima iste

debljine i iz materijala istih mehaničkih karakteristika.

Duboko izvlačenje tailored blanks se odvija po mnogo složenijim zakonima nego duboko izvlačenje osnovnih limova iz kojih su tailored blanks sastavljeni.

Glavni dio istraživanja se odnosi na tailored blanks koji su dobijeni laserskim zavarivanjem limova različite debljine. Cilj ispitivanja je da se dobiju rezultati koji će obuhvatiti tzv. "spoljašnje" i "unutrašnje" pokazatelje procesa dubokog izvlačenja. Od spoljašnjih pokazatelja naročito su istraživani maksimalna sila procesa, promjena sile tokom procesa deformisanja, sila držača lima, najveća dubina izvlačenja do pojave pukotina na komadu. Ispitivanje unutrašnjih pokazatelja procesa trebalo je da odredi distribuciju deformacija na komadu i vrijednosti u kritičnim zonama, dijagrame granične deformabilnosti tailored blanks i upoređenje sa graničnom deformabilnošću osnovnih materijala.

Istraživanja su omogućila da se utvrdi uticaj položaja linije zavaara na parametre procesa, te pomjeranje linije zavaara zavisno od uslova procesa i njenog položaja prije procesa deformisanja.

Ostvarivanje efekata na proces određivano je deformacionom analizom, a granična stanja su utvrđivana registrovanjem pukotina usljed lokalnog razaranja.

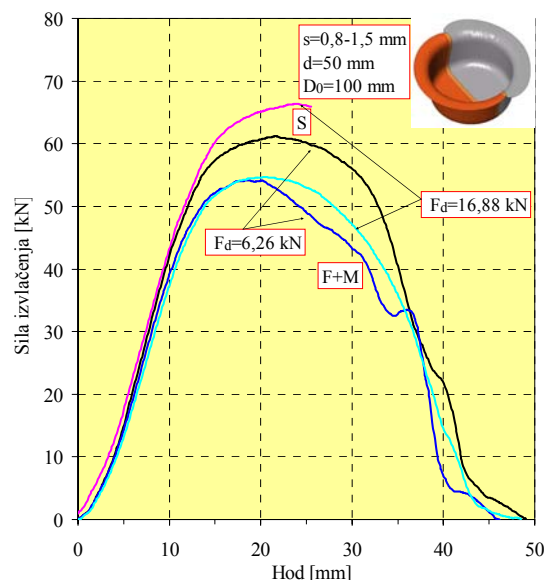
Veličine koje su se mijenjale tokom procesa (sila, hod) mjerene su primjenom kompjuterskog sistema na mašini za ispitivanje limova ERICHSEN 142/12. Za duboko izvlačenje tailored blanks izrađeni su alati čiji presjek otvora ima kružni i kvadratni oblik, a držač lima stepenasti prelaz.

U eksperimentu su korišćene table tailored blanks debljine 0,8-1,5 mm inostranog proizvođača. Limovi iz kojih su spojeni tailored blanks tehnologijom laserskog zavarivanja su oznaka CKLS ZStE 180 BH03ZE. To znači da je riječ o limovima oznaka prema standardu DIN (odgovara brojnoj oznaci 1.0395) sa BH efektom čije su površine sa obe strane zaštićene prevlakom cinka. Rezultati ispitivanja su obuhvatili analizu promjena unutrašnjih i vanjskih parametara procesa praćenu prikazima:

- dijagramska zavisnost sile procesa i hoda,
- karakteristike razvlačenja i dubokog izvlačenja izražene u vrijednostima maksimalne dubine, odnosno visine komada, pojavi lokalizacije deformacije i stvaranja nabora,

- dijagrami granične deformabilnosti osnovnih materijala i tailored blanks,
- distribucija stepena deformacija u ravni lima na pojedinim lokacijama komada,
- geometrijske karakteristike izvučenih komada u zoni tanjeg i debljeg materijala,
- promjena debljine lima u određenom presjeku komada.

Sila držanja pripada tribološkoj grupi faktora koja značajno utiče na proces dubokog izvlačenja, direktno utiče na veličinu sile trenja pri klizanju lima između površina matrice i držača i treba da bude u određenim granicama, da bi se izbjegle moguće greške na komadu - pojava nabora i pojava razaranja materijala. Odabrana su dva nivoa sile držanja: minimalna sila $F_{d1}=6,26$ kN i maksimalna sila držanja $F_{d2}=16,88$ kN, pri kojima su uspješno izvučeni komadi iz osnovnih limova, iz kojih su formirani tailored blanks.



Slika 3: Sila izvlačenja cilindričnih komada iz tailored blanks

Tailored blanks se zavaruju tako da je površina sa jedne strane ravna, a sa druge strane je stepenica, ako se radi o limovima različite debljine. Stepenasti prelaz debljine lima postavljan je na stranu izvlačka, jer se u takvom položaju obično vrši izvlačenje u praksi, zato što vanjska površina na komadima najčešće ne smije imati stepenasti prelaz iz funkcionalnih i estetskih razloga. U ovom slučaju, odnos debljina $s_2/s_1=1,5/0,8=1,89$ je relativno velik, što dovodi do značajnih razlika u tečenju materijala pojedinih zona izvučenog komada.

Da bi se pojačalo dejstvo parametara procesa, pripremak je odabran tako da

vrijednosti stepena izvlačenja budu blizu graničnih vrijednosti. Kod pripreme eksperimenta i probnih izvlačenja cilindričnih komada, ustanovljeno je da se sa stepenom izvlačenja $\beta=2,2$ ($D_0=110$ mm) ne može bez podmazivanja izvući ni lim debljine 1,5 mm, a pogotovo tanji lim. Usvojen je prečnik priprema $D_0=100$ mm, što odgovara $\beta=2,0$ za cilindrične komade.

Promjena sile izvlačenja tokom procesa dubokog izvlačenja za dva ekstremna slučaja stanja kontaktnih površina na držaču i obodu komada iz tailored blanks (S -odmašćene površine bez podmazivanja i F+M -sa podmazivanjem uz korišćenje polietilenske folije) prikazana je na slici 3. Pri većoj sili držanja i lošem podmazivanju dolazi do pucanja materijala u tanjem limu, dok kod manje sile držanja i dobrom podmazivanju stvaraju se veliki nabori.

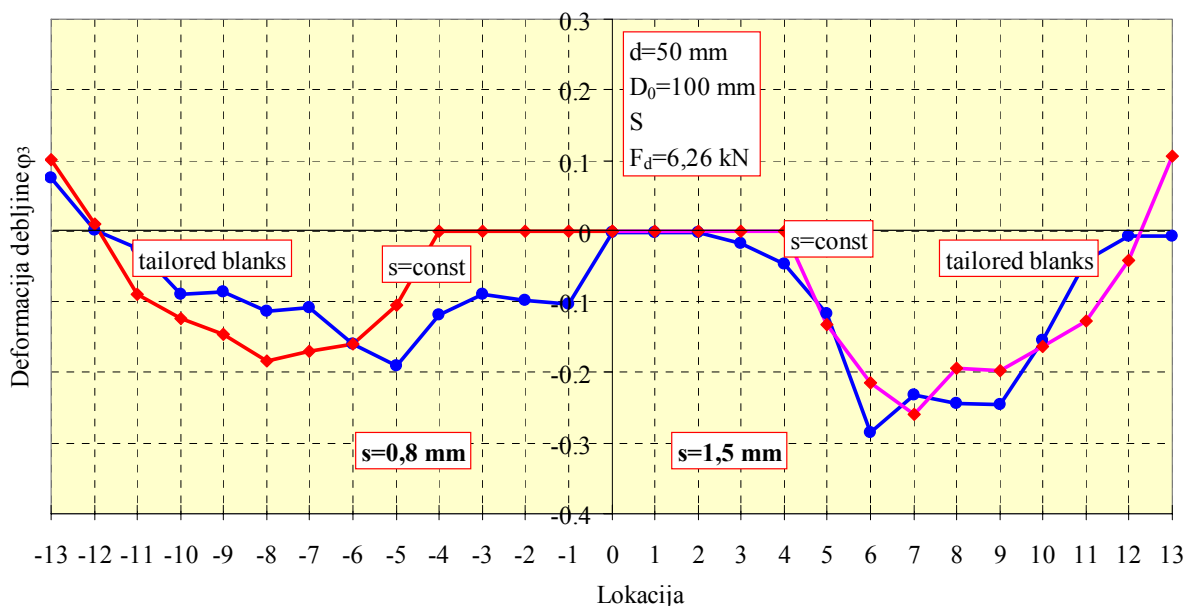
Na svim pripremcima za duboko izvlačenje nanešena je mjerna mreža koja se zadržavala na vanjskim površinama izvučenih komada. Mjerenjem deformisanih elemenata mjerne mreže mogu se izračunati i prikazati

distribucije deformacija u različitim zonama komada.

Kako su tailored blanks koji su korišćeni u ovom radu sastavljeni iz kombinacije limova debljina 0,8 mm i 1,5 mm, provedena su ispitivanja dubokim izvlačenjem pri istim tribološkim uslovima i osnovnih limova i tailored blanks. Time su se mogla vršiti kompariranja parametara i izvesti poređenja i zaključci o ponašanju tailored blanks.

Lokacija mjesta određivanja deformacija označena je brojevima, računajući od tačke 0, koja pripada sredini dna komada kod konstantne debljine komada bez zavora, odnosno 0 pripada liniji zavora kod komada iz tailored blanks. Lokacije su određene sa centrima početnih mjernih krugova kroz koje prolaze linije mreže.

Na slikama 4-7, na istom dijagramu, prikazana je raspodjela debljine komada za centralni presjek kod izvlačenja cilindričnog komada iz lima debljine 0,8 mm i 1,5 mm (oznaka $s=const$) i kod izvlačenja iz tailored blanks 0,8-1,5 mm. Iz prikaza se može uočiti uticaj zavora i pojedinih faktora procesa dubokog izvlačenja na distribuciju debljine lima u pojedinim lokacijama.



Slika 4: Distribucija debljine kod cilindričnih komada (suvo-S, manja sila držača)

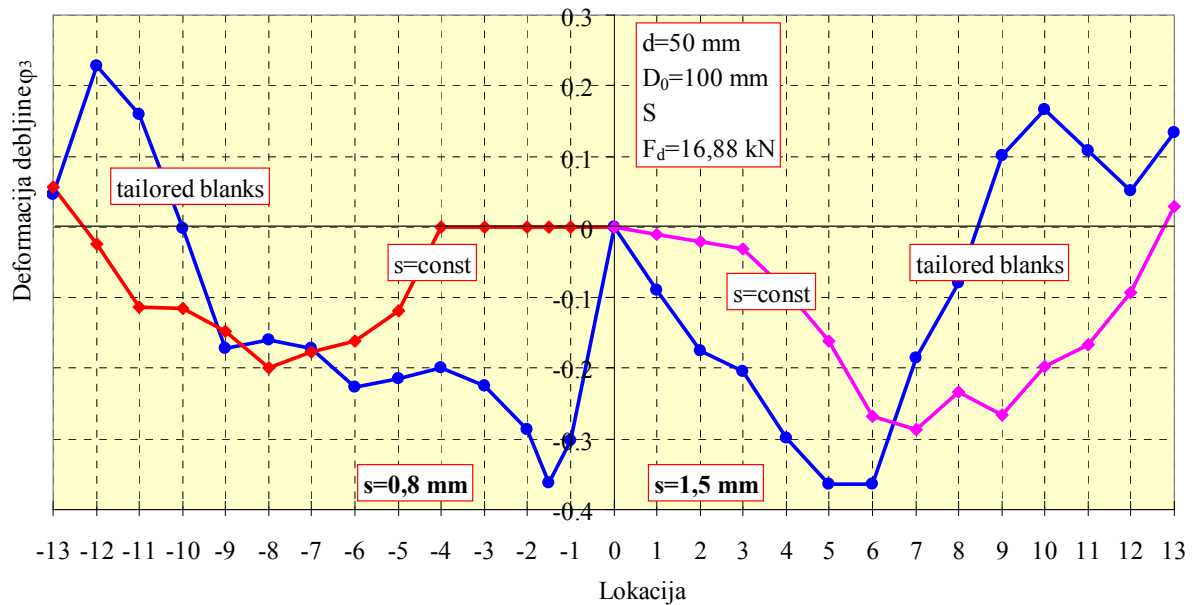
Kod uzorka koji je izvlačen sa manjom silom držanja ($F_{d1}=6,26$ kN) i bez podmazivanja (S) pri vrhu posude u zoni tanjeg materijala, pojavili su se nabori zbog nedovoljne sile držanja. Kada je izvlačeno sa većom silom držanja, došlo je do razaranja na dnu. Iako su komadi iz oba lima bez zavora uspješno izvučeni bez podmazivanja,

u slučaju izvlačenja tailored blanks (stanje suvo) pojavile su se greške pri oba nivoa sile držanja. To znači da je tečenje materijala kod izvlačenja tailored blanks nepovoljnije u odnosu na duboko izvlačenje osnovnih materijala. Kod izvlačenja uzorka sa većom silom držača i bez podmazivanja, pojavile se značajne razlike u

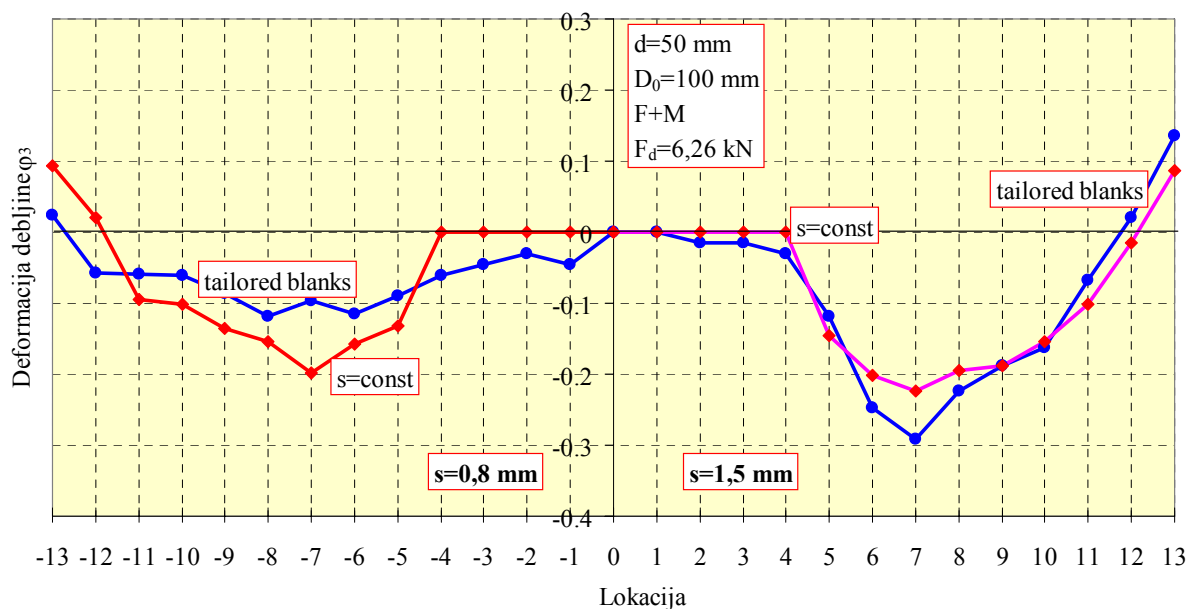
tečenju oboda sa debljim limom, u odnosu na tanji lim. Zbog otežanog tečenja lima usljed suvog stanja i veće sile držanja, došlo je do većeg pomjeranja zavara u smjeru debljeg materijala.

Kod korišćenja folije sa podmazivanjem nije dolazilo do razaranja, ali je kod vrijednosti

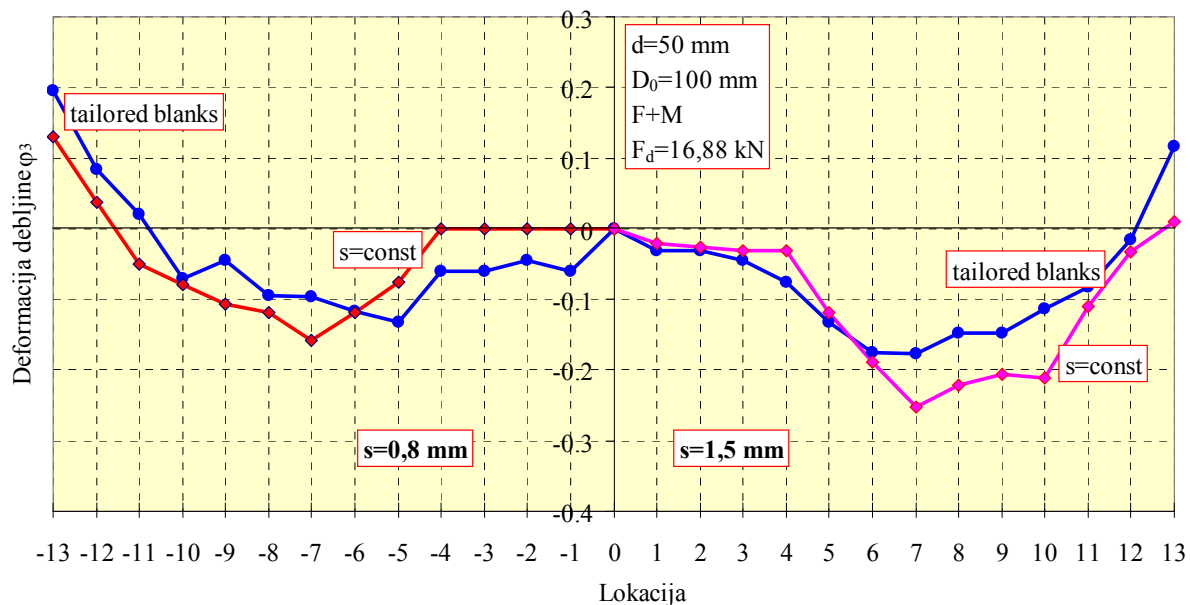
sile držanja od $F_{d1}=6,26$ kN došlo do stvaranja velikih nabora koji su se peglali tokom izvlačenja, što se odrazilo i na karakter promjene sile izvlačenja (slika 3). Komad je uspješno izvučen pri većoj sili držanja i dobrim uslovima podmazivanja.



Slika 5: Distribucija debljine kod cilindričnih komada (suvo-S, veća sila držača)



Slika 6: Distribucija debljine kod cilindričnih komada (podmazivanje-M+F, manja sila držača)



Slika 7: Distribucija debljine kod cilindričnih komada (podmazivanje-M+F, veća sila držača)

4. ZAKLJUČAK

Može se zaključiti da su uslovi tečenja materijala kod izvlačenja tailored blanks mnogo složeniji nego u slučaju izvlačenja limova osnovnih materijala. Zbog razlike u kvalitetu materijala i debljini lima, uslovi za stvaranje nabora i pojavu razaranja različiti su u zonama jednog u odnosu na drugi materijal koji su u sastavu tailored blanks.

Kod pojačanog trenja, tj. kada su uslovi suvo, izrazit je uticaj sile držanja na promjenu sile izvlačenja. Kod uslova podmazivanja promjena sile držanja utiče značajno na pojavu nabora, a na zavisnost sile u toku procesa beznačajno, osim kod pojave većih nabora. Kod dubokog izvlačenja cilindričnih komada veliki uticaj na parametre procesa pokazali su stanje kontaktnih površina i vrijednosti sile držanja. Zbog razlike u debljini lima i karakteristikama ojačavanja materijala dolazi do značajnih razlika u tečenju materijala pri dubokom izvlačenju tailored blanks u odnosu na izvlačenje osnovnih materijala pri istim uslovima izvlačenja. Linija zavara se pomjera u pravcu zone debljeg lima.

Na osnovu eksperimentalnih ispitivanja dubokog izvlačenja došlo se do zaključka da tribološki uslovi imaju presudan uticaj na pojavu razaranja i stvaranje nabora.

5. LITERATURA

- [1] Aleksandrović S., Duboko izvlačenje tankih limova pri nemonotonom deformisanju sa promenljivim tribološkim uslovima, doktorska disertacija, Mašinski fakultet Kragujevac, 2000.
- [2] Babić Ž., Šljivić M., Application of tailored blanks in the automotive industry, Journal for technology of plasticity, Vol. 27, Novi Sad, 2002.
- [3] Babić Ž., Deformabilnost tailored blanks pri dubokom izvlačenju, doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Banja Luka, 2004.
- [4] Stefanović M., Tribologija dubokog izvlačenja, Jugoslovensko društvo za tribologiju i Mašinski fakultet u Kragujevcu, monografija, 1994.