

**IDENTIFIKACIJA I ANALIZA UTICAJNIH PARAMETARA NA
KVALITET IZRADAKA U PROCESU HLADNOG ROTACIONOG
ISTISKIVANJA (HRI) PRIMJENOM ISHIKAWA METODE**

**IDENTIFICATION AND ANALYSIS OF SIGNIFICANT PARAMETERS
ON THE QUALITY OF THE WORKPIECES THAT ARE MADE BY
COLD FLOW FORMING AIDED BY ISHIKAWA METHOD**

**Sabahudin Ekinović
Ibrahim Plančić
Edin Begović
Mašinski fakultet Univerziteta u Zenici
Zenica, BiH**

**Himzo Đukić
Fakultet strojarstva i računarstva
Sveučilišta u Mostaru
Mostar, BiH**

REZIME

Postupak obrade deformisanjem u hladnom stanju se odlikuje brojnim prednostima koje su uglavnom vezane za poboljšanje mehaničkih karakteristika, tačnost dimenzija i glatkost površine dobijenih izradaka. Navedene prednosti se pojednostavljeno mogu tretirati pojmom kvaliteta proizvoda. Ovo je često odlučujući faktor za izbor varijante izrade određenog proizvoda. Zbog toga je jako značajno sistematski identificirati brojne faktore koji utiču na kvalitet izradaka u procesu hladnog deformisanja. Kompleksnost cjelokupnog procesa plastičnog deformisanja znatno usložnjava identifikaciju i analizu uticajnih parametara na kvalitet finalnog proizvoda. Kao efikasno sredstvo za cjelovito sagledavanje uticajnih parametara mogu da posluže različite metode, a jedna od jednostavnijih je pravljenje dijagrama uzroka i posljedica kao jednog od sedam osnovnih alata kvaliteta. U radu se, na primjeru procesa istosmjernog hladnog rotacionog istiskivanja (IHRI) kao specifičnog postupka izrade cilindričnih rotacionih izradaka daje analiza uticajnih parametara na kvalitet izradaka korištenjem uzročno posljedičnog dijagrama ili Ishikawa metode.

Ključne riječi: obrada deformisanjem, hladno rotaciono istiskivanje, kvalitet izradaka, Ishikawa metoda

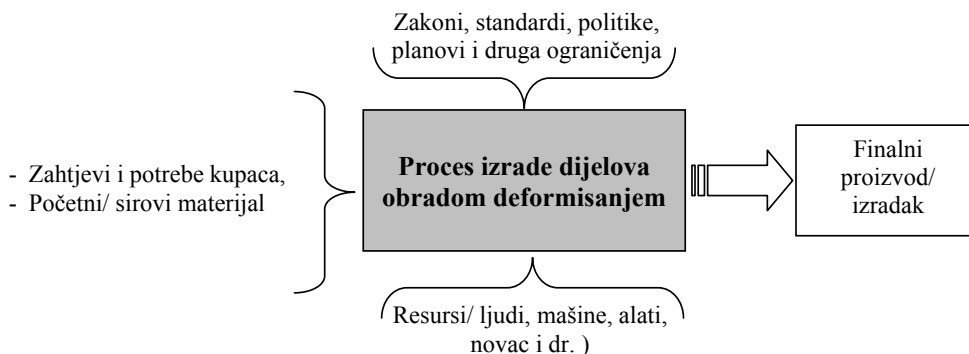
SUMMARY

The processing of cold deformation is characterized by numerous advantages which are mainly related to the improvement of mechanical properties, accuracy of dimensions and surface roughness obtained workpieces. These benefits can be treated in a simplified notion of product quality. This is often the deciding factor for the selection of variants of a particular product. Therefore it is very important systematically identify major factors that affect the quality of workpieces in the process of cold deformation. The complexity of the overall process of plastic deformation significantly complicates the identification and analysis of influential parameters on the quality of the final product. As an efficient means to complete overview of the influential parameters can be used different methods, and one of the simplest is to make a cause and effect diagram as one of the seven basic quality tools. In this paper through example of the process of cold flow forming as a specific production of rotating cylindrical workpieces presents the analysis of influential parameters on the quality of final products using a cause-and-effect diagram or methods Ishikawa.

Keywords: plastic deformation, cold flow forming, the quality of workpieces, Ishikawa method

1. UVOD

Osnovni zadatak izrade dijelova postupcima obrade plastičnim deformisanjem s ciljem ispunjavanja zahtjeva i potreba kupaca izraženih kroz tehničke i funkcionalne zahtjeve finalnih proizvoda/izradaka je transformacija sirovog/početnog materijala (priprema) angažovanjem ljudi, mašina, alata i drugih resursa u gotov proizvod (izradak) uz očuvanje neprekidnosti strukture oblikovanog materijala, konstantnost zapremine i poboljšanje mehaničkih/ čvrstoćnih karakteristika dobijenih dijelova. Pri tome je neophodno zadovoljiti zakonske norme, propisane standarde, planove i politike kompanije, okolinske i druge uslove okruženja, kao što je prikazano na slici 1. Pri tome je cilj da se sa minimalnim brojem radnih operacija i sa najmanjim mogućim gubitkom materijala dobiju gotovi proizvodi, koji se uz minimalnu doradu drugim postupcima obrade, prije svega skidanjem strugotine ili bez nje mogu upotrijebiti ili ugraditi u odgovarajući sklop, kao njegov sastavni element.



Slika 1. Šematski prikaz dobijanja proizvoda obradom deformisanjem (dorađeno prema [5])

Ovo je osnovni moto većine proizvodnih postupaka izrade dijelova jer je opšte poznato da u današnjim tržišno ekonomskim uslovima uopšte nije umijeće izraditi proizvod, nego je uspješnost izraditi proizvod uz nisku cijenu, dovoljno kvalitetno i na vrijeme. S obzirom da obrada deformisanjem obuhvata široko tehnološko područje izbor optimalnog postupka izrade dijelova nije nimalo lagan zadatak jer se isti proizvod može izraditi na različite načine, uz različit kvalitet, vrijeme izrade i troškove. S obzirom na današnji stepen tehničko tehnološkog razvoja, primjenu brojnih tehnoloških mogućnosti izrade i savremeni koncept sagledavanja kvaliteta ključni zahtjev za izbor optimalne varijante izrade dijelova je njegov optimalni, tržišno priznati kvalitet za određenu količinu proizvoda. U direktoj vezi sa kvalitetom je i cijena, a oblik i zahtjevana svojstva proizvoda određuju tehnološku varijantu izrade s obzirom na njihova ograničenja i mogućnosti. Stoga je opravdano da se kvalitet izradaka tretira kao jedan od najznačajnijih faktora za zadovoljavanje zahtjeva kupaca kome se mora posvetiti posebna pažnja. S druge strane, kompleksnost uticajnih faktora na kvalitet izradaka i/ili procesa pri bilo kojem postupku izrade proizvoda ili realizacije procesa nameće potrebu za upotrebom brojnih alata i tehnika kojima se na odgovarajući i što jednostavniji način oni mogu identificirati. Njihova identifikacija je neophodna u smislu otkrivanja grešaka i otklanjanja njihovih uzroka, a to u konačnici predstavlja značajno sredstvo za dostizanje odgovarajućeg nivoa, praćenje i unapređivanje, odnosno poboljšanje kvaliteta proizvoda i/ili procesa. Jedan od takvih alata je i Ishikawa dijagram (dijagram uzrok-posljedica, riblja kost ili korjenska analiza uzroka), koji je prikladan za raščlanjivanje temeljnih uzroka nekog problema unutar mnoštva uzroka i posljedica. Ovaj dijagram je poznat kao jedan od sedam osnovnih alata kvaliteta koji na jednostavan, logičan i sažet način identifikuje i prikazuje uzroke koji doprinose lošijem kvalitetu. Primjena ovog dijagrama kao alata kvaliteta je univerzalna, to jest, skoro da ne postoji oblast ili grana u kojoj nije moguće poslužiti se ovim

alatom: u industriji, zdravstvu, obrazovanju, i mnogim drugim oblastima U nastavku rada Ishikawa metoda je primjenjena na identifikaciju uticajnih parametara na kvalitet izradaka u postupku hladnog rotacionog istiskivanja.

2. ANALIZA PROCESA HLADNOG ROTACIONOG ISTISKIVANJA I IDENTIFIKACIJA KLJUČNIH PARAMETARA NA KVALITET IZRADAKA

2.1. Specifičnosti i analiza procesa istosmjernog hladnog rotacionog istiskivanja

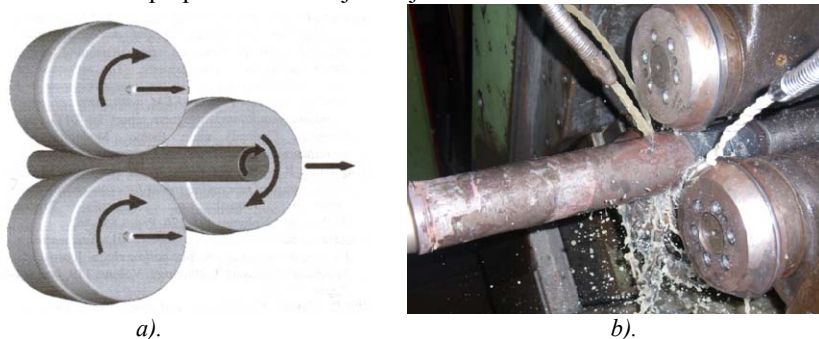
Rotaciono istiskivanje je postupak obrade deformisanjem kojim se primjenom alata u obliku kuglica, valjčića ili rollica na specijalnim trnovima dobijaju šuplji cilindrični i konični dijelovi, kao i njihove razne manje ili više složene geometrijske kombinacije. Iako je princip na kome se zasniva ovaj postupak poznat još od davnina njegova industrijska primjena dolazi do izražaja tek početkom pedesetih godina i intenzivnije se razvija u posljednjih nekoliko decenija uporedo sa primjenom novih materijala u raznim granama industrije. Danas se ovaj postupak prerade metala smatra modernim nekonvencionalnim postupkom deformisanja koji se uglavnom izvodi u hladnom stanju. U širokoj lepezi postupaka obrade deformisanjem rotacionim istiskivanjem značajno mjesto zauzima postupak izrade cilindričnih dijelova (primjer izrađenih dijelova na slici 2.) od kojih se zahtijeva veća preciznost i povećanje mehaničkih karakteristika materijala primjenom alata u obliku profiliranih rollica.



Slika 2. Primjer dijelova dobijenih postupkom rotacionim istiskivanjem u tvornici BNT-Novi Travnik

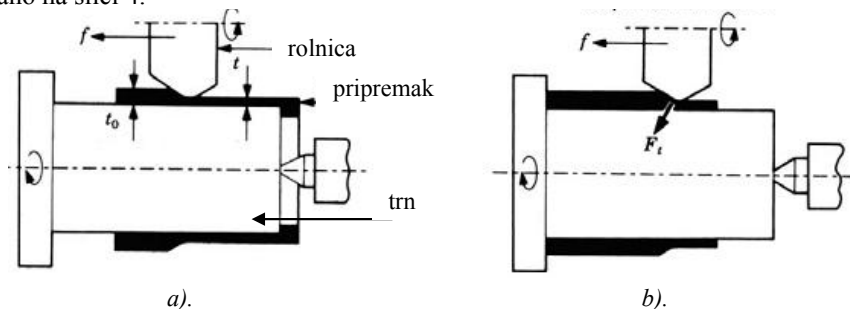
Time se stvaraju preduslovi za primjenu ekonomičnijih materijala i elemenata sa tanjim stijenka što je za složene uslove eksploatacije takvih elemenata (cilindri pod pritiskom, municija i drugi slični dijelovi u raznim industrijskim granama) jako značajno. Postupci rotacionog istiskivanja alatom u obliku rollica se mogu podijeliti na nekoliko karakterističnih načina, a uslovljeni su temperaturom na kojoj se postupak obavlja, iznosom (stepenom) deformacije, debljinom stijenke, oblikom izratka, karakteristikama mašine i opreme, načinom formiranja oblika izradka i sl. S obzirom na brojne prednosti obrade deformisanjem u hladnom stanju ovaj postupak obrade je češće u primjeni, a danas se u svakodnevnoj praksi i dostupnoj prilično oskudnoj literaturi ovaj postupak obrade naziva hladnim rotacionim istiskivanjem ili skraćeno HRI. Suština ovog postupka izrade cilindričnih rotacionih dijelova je da se od priprema sa unutrašnjim prečnikom koji je jednak unutrašnjem prečniku izradka njegovim postavljanjem na trn vrši deformisanje po stijenci pod pritiskom rollica. Zbog dobijanja preciznijih dijelova rollice su postavljene u zajedničkom nosaču, a za najčešće primjenjivanu varijantu izrade pomoću tri rollice one su na međusobnoj udaljenosti pod 120° posmatrano u radijalnom presjeku. Na slici 3. predstavljen je princip formiranja izratka hladnim rotacionim istiskivanjem primjenom alata u obliku tri rollice i njihov položaj u kućištu mašine na kojoj se postupak izvodi. U toku samog postupka pod dejstvom sile mašine rollice prodiru u metal uz njihovo obrtanje i posmak. Između rollica i trna nastaje istiskivanje-tečenje metala uz efekte smanjenja debljine stijenke i povećanja dužine. Preduslov za tečenje metala je postizanje odgovarajućeg stepena deformacije čija vrijednost

zavisi od vrste i stanja metala. Ukoliko se ne postigne zadovoljavajući stepen deformacije dolazi do lokalizacije deformisanja samo na površinske slojeve stijenke što dovodi do naprezanja među tim slojevima i pojave pukotina, raslojavanja i odstupanja dimenzionih karakteristika izradaka po prečniku i debljini stijenke.



Slika 3. Postupak HRI (a. šema postupka [2] i b. prikaz radnih elemenata na mašini u tvornici BNT)

U zoni deformisanja dolazi do pojave toplote od dijela uložene energije, te se proces uglavnom izvodi uz intenzivno hlađenje kako bi se sačuvali pozitivni efekti hladnog deformisanja. U zavisnosti od smjera toka materijala i smjera kretanja–posmaka rolnice razlikuju se dvije osnovne vrste tehnološkog postupka HRI i to: istosmjerno (IHRI) i suprotnosmjerno (SHRI). One se uglavnom razlikuju prema načinu tečenja materijala u odnosu na pravac kretanja rolnica, dok je deformisanje metala u obje varijante lokalizovano na usku dodirnu zonu kontakta alata (rolnice) i materijala obradka. Pri istosmjernom HRI tečenje materijala pripremk a i kretanje rolnica je u istom smjeru, dok kod suprotnosmjernog HRI materijal pripremk a teče u suprotnom smjeru od smjera kretanja rolnica, kako je prikazano na slici 4.



Slika 4: Šematski prikaz postupka HRI (a. istosmjerno i b. suprotnosmjerno) [1]

Pri tome trn dobija rotaciono kretanje od glavnog vretena mašine, dok se profilirane rolnice zaokreću silom trenja koja nastaje između njih i radnog predmeta. Aksijalni posmak rolnica ostvaruje njihov nosač koji ima zasebno pomoćno kretanje. Pripremk a je sa prednje strane pritisnut uz trn pritiskivačem koji se okreće zajedno sa trnom i radnim predmetom. Uska dodirna zona rolnice i njen pritisak na materijal, kao i dejstvo pritiskivača u materijalu uzrokuju visoke pritiske koji dostižu vrijednosti i do 3000 N/mm^2 .

Visoki pritisci u zoni deformisanja omogućavaju hladnu deformaciju koja uzrokuje snažnu promjenu strukture i poboljšanje mehaničkih karakteristika deformisanog materijala. Ono se ogleda u znatnom povećanju parametara očvršćavanja (zatezna čvrstoća, granica razvlačenja, tvrdoća) i otpora na zamor materijala. Navedena poboljšana svojstva izradaka dobijenih postupkom HRI, ekonomski efekti i niz drugih prednosti koje karakterišu ovaj postupak razlozi su za njegovu primjenu kod izrade najodgovornijih dijelova od različitih materijala u

vojnoj i drugim granama industrije (komore raketnih motora, dijelovi oružja i municije, plinske boce, cilindri i sl.).

Sa aspekta sigurnosti i zaštite upotreba izradaka koji se dobijaju ovim postupkom nalaže potrebu za detaljnije sagledavanje svih uticajnih parametara na kvalitet izradaka u procesu HRI. Njihovo cjelovito sagledavanje i mogućnost njihovog kontrolisanja i upravljanja daje potpuno novu sliku o ovom postupku, ali i načinu poboljšanja kvaliteta finalnih izradaka.

Pri tome se kvalitetom podrazumijeva poboljšanje mehaničkih karakteristika, tačnost dimenzija i glatkost površine dobijenih izradaka u postupku HRI.

2.2.Primjena Ishikawa metode za identifikaciju uticajnih parametara na kvalitet izradaka u postupku HRI

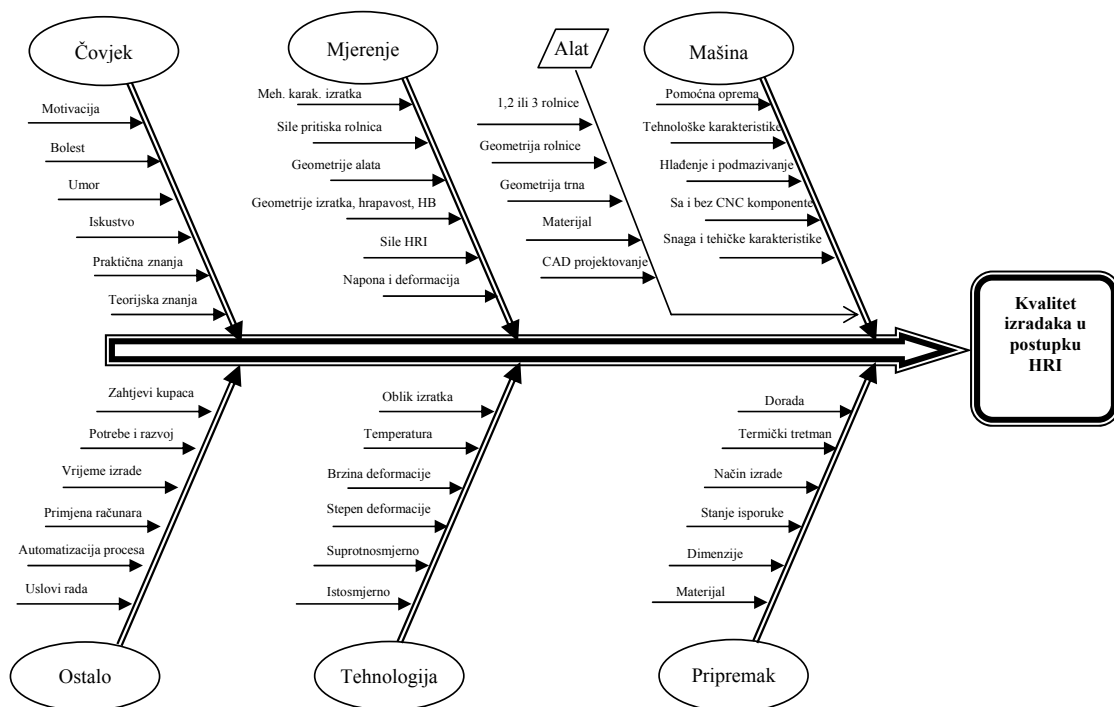
Kao što je ranije naglašeno Ishikawa je opšte poznata metoda za grafičku sistematizaciju znanja kroz pravljenje dijagrama uzroka i posljedica. Pripisuje se Kaoru Ishikawi, koji ju je još 50-tih godina primjenio u japanskoj industriji čelika, a omogućava cjelovito, jednostavno, dijagramsko-grafičko sagledavanje svih uticajnih parametara na predmet razmatranja/ istraživanja putem prikupljanja informacija o uzrocima koji na njega utiču. Ovakvo predstavljanje omogućava njihovo sistemsko analiziranje na najnižem nivou. Na taj način se svi mogući uzroci razmatraju i organizuju u kategorije i podkategorije, shodno međusobnim hijerarhijskim odnosima. U kasnijoj fazi to omogućava utvrđivanje eventualnih novih zakonitosti i veza koje otvaraju puteve za dublje i temeljitije analize uticajnih faktora. Grafičkim predstavljanjem navedenih uzroka, dobija se karakteristična riblja kost, pa otuda i drugi naziv "dijagram riblje kosti".

Na isti način ova metoda se može upotrijebiti za utvrđivanje uzročno posljedičnih odnosa između uticajnih tehničko-tehnoloških parametara određenog postupka izrade i kvaliteta izratka/proizvoda.

Za potrebe identifikacije i analize parametara kvaliteta izradaka dobijenih HRI za cilj ili posljedicu samog procesa unosi se na desni kraj osnovne vodoravne linije upravo kvalitet gotovog dijela /izratka dobijenog postupkom HRI, kako je prikazano na slici 5. Više potencijalnih uzroka se grupiše u glavne kategorije (čovjek, alat, mašina i ostalo) kreirajući opšti oblik riblje kosti. Istražujući navedeni proces putem pretraživanja dostupne literature i primjenjujući tehniku "brainstorminga" uz učešće stručnjaka kojima je ova problematika bliska¹ identificirani su kao glavni uzroci: materijal priprema, čovjek, mašina, metoda, mjerenje (tzv. princip 5M), dok su svi drugi svrstani u kategoriju ostalo (uslovi rada, primjena računara pri projektovanju i simulaciji procesa, potrebe i zahtjevi kupaca za proizvodima čija svojstva je moguće dobiti tehnologijom HRI i sl). Uticaji pojedinačnih parametara definisani su unutar podkategorija koje se nalaze na horizontalnim strelicama dijagrama formirajući na taj način u potpunosti oblik riblje kosti. Ovako kreiran dijagram je "živi alat" koji se u narednom periodu može doradivati i dalje razvijati dopunjavajući uzroke koji za posljedicu imaju bolji ili lošiji kvalitet izradaka sticanjem novog znanja i spoznaja putem vlastitih istraživanja i sistematizovanjem iskustava drugih predstavljenim u dostupnim literaturnim izvorima.

Na taj način omogućava se cjelovito prikazivanje uzročno-posljedičnih odnosa i njihovo praćenje u dužem vremenskom periodu s ciljem ispitivanja, lakše analize, potvrđivanja ili odbacivanja eventualno mogućih uzroka i usmjeravanja na definisanje mjera za rješavanje brojnih dilema i problema pri izradi dijelova različitog geometrijskog oblika, materijala i zahtijevanih mehaničkih karakteristika.

¹ Uglavnom sa stručnjacima u tvornici BNT Novi Travnik koji već dugi niz godina primjenjuju ovu specifičnu tehnologiju



Slika 5. Ishikawa dijagram za identifikaciju primarnih parametara na kvalitet izradaka pri HRI (dorađeno prema [4])

3. ZAKLJUČAK

U radu je primjenom jednostavne Ishikawa metode na grafički način dokumentovana kompleksnost uticajnih parametara na kvalitet izradaka u postupku HRI. S obzirom na složenost tehnološkog postupka izrade dijelova hladnim rotacionim istiskivanjem upotrijebljena Ishikawa metoda poslužila je za jednostavnu i brzu identifikaciju većeg broja uticajnih parametara na kvalitet izradaka. Razumljivo je da je njihov međusobni interaktivni uticaj jako složen i da zahtjeva dublju i sistematičniju analizu. Stoga, naredni korak u sagledavanju ove problematike može da bude komparativni Ishikawa dijagram, planirani eksperiment i drugi alati kvaliteta koji omogućavaju da se navedenim uticajnim faktorima pridruže i težinski koeficijenti koji u konačnom daju detaljniju i jasniju sliku o primarnim uzrocima boljeg kvaliteta izradaka.

4. LITERATURA

- [1]. Vinko Pavelić, Specifične tehnologije u proizvodnji oružja, Novi Travnik-Zagreb, MORH-TP-4/95 1995.
- [2]. Jiří Malina, Optimization Of Technological Parameters Of Flow Forming Process, Proceedings of the 19th International DAAAM Symposium, 783-784, Vienna, Austria, 2008.
- [3]. Edhem Seferović, Derviš Čengić, Alati za upravljanje kvalitetom u primjeni na primjeru vanjske mehaničke obrade (struganje) čeličnog cilindričnog dijela na kotu $F 104,7 \pm 0,04$ mm, Mašinstvo 4(2), 193-204, 1998.
- [4]. V. Stoiljković, D. Jevremović, S. Randelović, Analiza procesa izvlačenja primenom Ishikawa metode, Mašinski fakultet u Nišu, 1996.
- [5]. Nikhil R. Dhar, Manufacturing Processes, Department Of Industrial & Production Engineering Buet Bangladesh, 2009.