

## GREŠKE NA BEŠAVNIM CIJEVIMA

Received - Primljeno: 2003-04-30

Accepted - Prihvaćeno: 2004-01-20

Review Paper - Pregledni rad

U radu su sistematizirane greške na bešavnim cijevima slijedom faza tehnološkog procesa proizvodnje čeličnog uloška i bešavnih cijevi počev od klasično lijevanog uloška, (uzrokovao dominantno učešće grešaka) kontinuirano lijevanog uloška i suvremene proizvodnje čelika (zanemarivo uzrokuje greške na bešavnim cijevima). Posebno i detaljno su opisane glavne valjačke greške na cijevima u pilger valjaonici.

**Ključne riječi:** bešavne čelične cijevi, uložak, greške u čeliku, valjačke greške

**Defects on seamless tubes.** Defects on seamless tubes occurring in the sequence of technological process of the production of steel charge and seamless tubes beginning with classically cast charge (which dominantly caused participating of defects), continuously cast charge and up-to-date steel production (which causes an irrelevant amount of defects) are systemized. Separately and in detail, main tube rolling defects in pilger rolling mill are described.

**Key words:** seamless tubes, charge, defects in steels, rolling defects

### UVOD

Bešavne cijevi kao i ostali valjani proizvodi podliježu standardima i tehničkim uvjetima, kojima su propisani zahtjevi glede dimenzija, kemijskog sastava, mehaničkih svojstava, stanja površine, a ponekad i specijalnih osobina [1].

Valjani proizvod se smatra škartom ako ne odgovara svojstvima propisanim standardom i tehničkim uvjetima.

Kvaliteta čeličnih blokova i valjanih proizvoda ocjenjuje se količinom i vrstom grešaka. Ovisno o tehnologiji izrade i toploj preradi čelika javljaju se i karakteristične greške u određenoj fazi proizvodnje i prerade. Zato i razmatranje utjecajnih čimbenika primijenjenog tehnološkog postupka predstavlja osnovu za definiranje većine uzroka nastanka greške.

Intenzitet grešaka, njihov izgled i raspored po duljini i opsegu valjanih proizvoda mogu dovesti do brze identifikacije njihovog podrijetla i uzroka. Tako su na pr. greške koje su po duljini i opsegu geometrijski pravilno raspoređene valjačkog podrijetla, a greške nepravilnog rasporeda su uzrokovane nedostacima uložnih čeličnih blokova [2].

U ovom radu sistematizirane su određene greške na gotovim bešavnim cijevima prema fazama tehnološkog

razvoja proizvodnje čeličnog uloška i bešavnih cijevi sa opisom mjesta, uzroka nastanka i načina otklanjanja istih, te mogu dobro poslužiti za brzo otklanjanje nedostataka.

### GREŠKE NA ČELIČNOM ULOŠKU

Do 70-tih godina prošlog stoljeća u valjaonicama bešavnih cijevi prerađivali su se ingoti: okruglog, kvadratnog, pravokutnog i poligonalnog presjeka.

Procesi proizvodnje i lijevanje čelika praćeni su značajnim nedostacima koji su imali negativni utjecaj na kvalitetu ingota [3].

Prije uvođenja sekundarne metalurgije, greške kod proizvodnje čelika:

- značajne oscilacije kemijskog sastava prema zadanim vrijednostima,
- povišeni sadržaj štetnih elemenata kao: S, P, oligo elementi, razne nečistoće i plinovi.

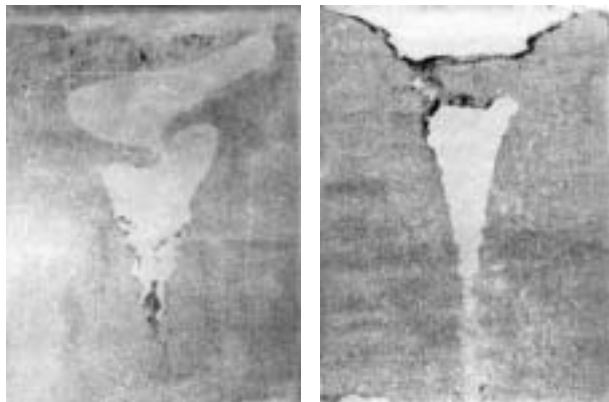
### Greške na klasično lijevanim ingotima

Greške nastale tijekom lijevanja:

- pukotine,
- preljevi,
- naljepci troske i vatrostalnog materijala,
- podpovršinski mjehuri,
- rupice po površini,

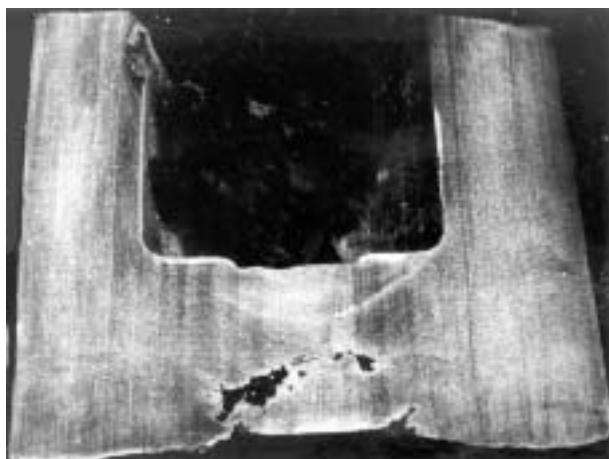
N. Devčić, Sisak, Hrvatska, I. Mamuzić, Metalurški fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Sisak, Hrvatska, K. Terzić, Mechel - Željezara d.o.o., Sisak, Hrvatska

- kraste po površini,
- hrapavost površine,
- lunker,
- središnja poroznost (slika 1.).



Slika 1. Presjek ingota  
Figure 1. Cross-section of ingot

Greške su odstranjivane u čeličani, ali je i pored toga dio grešaka ostao na ulošku za bešavnu valjaonicu. Navedeni nedostaci uzrokovali su greške na vanjskoj i unutrašnjoj površini bešavnih cijevi u vidu ljusaka i pukotina različitih veličina, oblika i usmjerenja u odnosu na uzdužnu i poprečnu os cijevi. Dio grešaka, posebice uključci, otkrivan je prilikom strojne obrade kod potrošača. Nedostaci kemijskog sastava čelika uključujući različita onečišćenja značajno su smanjivali plastična svojstva čelika.



Slika 2. Presjek dna čaše iz ingota - sabijen lunker  
Figure 2. Cross-section of the bottom of shell from ingot - baled cavity

Zbog navedenih nedostataka kvalitete čelika u proizvodnji bešavnih cijevi bio je značajan izbor tehnološkog postupka proizvodnje, naročito faze bušenja ingota. Izravno bušenje okruglih ingota nije bilo prikladno zbog uvjeta kosog valjanja nedovoljno plastičnog materijala, kontakta bušaće glave sa nečistim i nehomogenim središnjim dijelom

ingota i deformacije reljefne i nečiste površine ingota. Djelomično su nedostaci čelika za potrebe valjaonica sa kosim bušenjem za cijevi manjih promjera, poboljšavani prevlađivanjem ingota. Ovakvom čeliku bolje je pogodovalo bušenje na preši. To je bio razlog da su 50-tih godina prošlog stoljeća širom svijeta građene mnoge valjaonice po Calmesovom konceptu, gdje se osnovna prerada kvadratnih ili poligonalnih ingota odvija bušenjem ingota u preši, egaliziranjem i pilgerovanjem [3].

Preša je omogućavala homogenizaciju čelika, poboljšanje kvalitete vanjske površine čaše u odnosu na ingot, a posebice je značajno što je bušaća glava sabijala središnji nečisti i nehomogeni dio i usahlinu u dno čaše (slika 2.) koje nakon pilgerovanja ostaje u peti sirove cijevi koja se odrezuje.



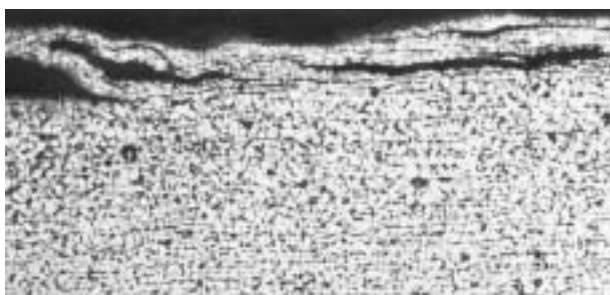
Slika 3. Mrežaste pukotine na površini uloška uzrokovane povišenim sadržajem oligo elemenata  
Figure 3. Net-like cracks on the surface of the charge caused by increased amount of accompanying elements

U slučaju velikih usahlina nije ostvareno potpuno sabijanje nečistoća pa je prerada takvog ingota imala za posljedicu izraženu ljuskavost, naročito na unutarnjoj površini cijevi (zadnji dio). U vrijeme prerade čelika loše kvalitete na bešavnim cijevima dominirale su greške čeličanskog porijekla (slika 3., 4., i 5.).



Slika 4. Pukotine na vanjskoj površini cijevi uzrokovane nečistoćama čelika  
Figure 4. Cracks on the external tube surface caused by steel impurities

Navedeni nedostaci čelika pokrenuli su tehnološka poboljšanja proizvodnje ingota: smanjenjem nepoželjnih elemenata, uključaka, poboljšanjem glatkoće površine, smanjenjem primarne i sekundarne usahline i poboljšanjem makro strukture. Time su smanjene greške na vanjskoj i unutrašnjoj površini cijevi.



Slika 5. Greške na unutarnjoj površini cijevi uzrokovane nečistoćama čelika

Figure 5. Defects on the internal tube surface caused by steel impurities

Veliko smanjenje troškova proizvodnje i poboljšanje kvalitete čelika ostvareno je krajem 60-tih godina prošlog stoljeća uvođenjem kontinuiranog lijevanja čelika. Već u prvim godinama proizvodnje potvrđena su očekivanja da je kvaliteta površine konti lijevanih gredica znatno bolja od površine klasično lijevanih ingota. Makro struktura nije u potpunosti zadovoljila, posebice središnja zona zbog poroznosti i pojave segregacija sumpora i ostalih nečistoća (slika 6.).



Slika 6. Konti gredica - uzdužni presjek  
Figure 6. Longitudinal section of continuous cast billet

### Greške na konti lijevanim gredicama

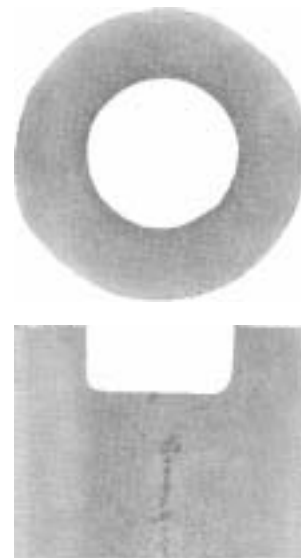
- pukotine,
- preljevi,
- naljepci troske,
- prelom žile,
- središnja poroznost.

Primjena ovakvog uložka u proizvodnji bešavnih cijevi ovisila je o proizvodnom postupku. Tako je ocjenjeno da valjaonice koje za bušenje uložka koriste prešu (slika 7.) uglavnom imaju riješen kvalitetan uložak (navodi: Engelmann, Vossa i Kolba).

Konti pruge za bušenje okruglog uložka koriste kose stanove i utvrđeno je da konti uložak moraju predvaljivati. Prema navodima stručnjaka firme Mannesmann bio je potreban minimalni stupanj prerade 3,5 puta.

Nakon uvođenja kontinuiranog lijevanja čelika naglo je počela napredovati tehnologija proizvodnje i lijevanja čelika: uvođenjem sekundarne metalurgije, automatske

kontrole, kompjuterskim vođenjem ukupnog procesa od ulaganja do završnog hlađenja. Rezultat toga je čist čelik sa niskim vrijednostima štetnih elemenata ( $s < 0,01 \%$ ), kemijskog sastava u uskim granica, dobrom kvalitetom površine i homogenom strukturom. Takav čelik posjeduje i dobra plastična svojstva. Ova sveobuhvatna poboljšanja u proizvodnji čelika završena su kod konkurentnih svjetskih proizvođača čelika 80-tih godina prošlog stoljeća. Ova kvaliteta čelika je omogućila da se kontinuirano lijevane okrugle gredice bez predvaljanja direktno buše na kosim stanovima u svim postupcima proizvodnje bešavnih cijevi. Tako da su pilger valjaonice sa prešom i valjaonice sa potisnom klupom prešle ili prelaze na direktno bušenje konti lijevanog uložka na kosim valjcima i time smanjuju troškove prerade i poboljšavaju kvalitetu proizvoda. Ovako kvalitetan čelik omogućio je svođenje grešaka na bešavnim cijevima čeličanskog porijekla na minimum.



Slika 7. Presjek čaše djelomično bušenje iz konti gredice

Figure 7. Cross-section of glass - partially drilling from continuously cast billet

Pilger valjaonice za cijevi promjera iznad 14" nemaju mogućnost direktnog bušenja jer se u praksi ne lijevaju okrugle gredice iznad promjera 420 (450) mm. Uobičajene dimenzije konti lijevanih gredica su promjera 140 do 420 mm. Čeličane koje nakon uvođenja kontinuiranog lijevanja čelika nisu izvele modernizaciju proizvodnje i lijevanja čelika i dalje ne osiguravaju kvalitetan uložak za bešavne cijevi što je slučaj sa Željezarnom Sisak.

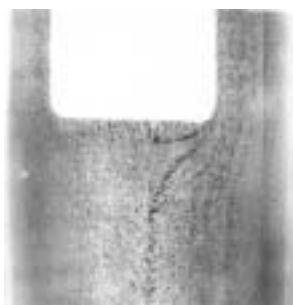
Polazeći od toga da su na bešavnim cijevima do 70-tih godina prošlog stoljeća dominirale greške čeličanskog podrijetla, a nakon uvođenja konti lijevanih gredica i modernizacije čeličana iste svedene na minimum, to je razlog da će u daljnjem tekstu biti razmatrane samo greške valjaoničkog podrijetla pilger valjaonice gdje je malo zastupljeno automatsko upravljanje pa su značajne informacije upravljačima strojeva od kojih u svakom trenutku ovisi kvaliteta proizvoda.

### VALJAČKE GREŠKE NA CIJEVIMA U PILGER VALJAONICI

#### Dimenzionalna odstupanja

### **Ekscentričnost**

Obično je uzrokovana neprogrijanosti materijala i nedovoljnom centričnom podešenosti pribora za bušenje na preši (slika 8.) ili kosom stanu. Ekscentričnost se djelomično poboljšava na kosom valjanju, ali se zadržava na gotovoj cijevi.



Slika 8. **Ekscentričnost čaše iz konti gredice djelomično bušena**  
 Figure 8. **Eccentricity of shell from partially pierced continuously cast billet**

### **Raznostjenost**

Pored ekscentriciteta glavna odstupanja nastaju na pilgeru zbog: neujednačenog posmaka valjanja, dimenzionalnog odstupanja trnova i valjaka, neispravnosti i nepodešenosti postrojenja, nepravilnosti rukovanja i nepravovremenih informacija o odstupanju stijenke, nesinhroniziranog odsijecanja krajeva sirovih i gotovih cijevi na toplom dijelu i adustaži, što mora biti precizno određeno za svaku dimenziju cijevi jer suviše odsijecanje smanjuje izvadak. U dimenziju krajeva ulaze i zadebljani krajevi cijevi koji nastaju kod većih redukcija promjera.

### **Odstupanja promjera**

Moguća su u plusu, minusu i ovalnosti. Lokacija uzroka je jednostavna uz napomenu da je teže održavanje promjera na duo stanovima. Popravak se vrši dodatnim kalibriranjem ili ravnanjem ovisno o veličini odstupanja.

### **Površinske greške**

#### ***Uobičajena hrapavost površine***

I u normalnim uvjetima rada, cijevi proizvedene pilger postupkom imaju hrapavu naročito vanjsku površinu za razliku od MPM postrojenja koje ima glatku vanjsku i unutrašnju površinu. Kod pilger postupaka povećanjem kalibra hrapavost se povećava, a ako se kalibriranje sirovih cijevi vrši na duo valjačkom stanu i hrapavost je još izražajnije. Dodatna reljefnost površine ostvaruje se ukoliko nije riješeno deskaliranje cijevi.

#### ***Povećana reljefnost nastala utiskivanjem naljepaka pilger valjaka***

Kad se na radnoj površini pilger valjaka nalijepi materijal cijevnice oblikuju se izbočine koje se u valjanju utiskuju u sirovu cijev i oblikuju se plicia ili dublja udubljenja "krateri" po čitavoj duljini cijevi. Ponekad su ova udubljenja

nja ispod minimalno dozvoljene debljine stijenke cijevi zbog čega se ista škartira. Ponekad i kod udubljenja manjih od minimalne debljine stijenke izgled je nepovoljan i prihvatljivost cijevi je upitna. Naljepljivanje valjaka obično se odvija u početnoj fazi valjanja cijevnice ako ona duže traje i naročito ako je čelik zbog izlučivanja lakše topivih metala u oksidativnoj atmosferi i višoj temperaturi skloniji naljepljivanju (slika 9.).



Slika 9. **Povećana reljefnost utiskivanjem naljepaka pilger valjaka**  
 Figure 9. **Plasticity increased by impressing labels of pilger rolls**

U slučaju intenzivnog naljepljivanja valjaka stanje se pored brušenja valjaka može poboljšati:

- smanjenjem temperature i oksidativne atmosfere pri zagrijavanju uloška,
- smanjenjem promjera cijevnice i pravilnim oblikovanjem prednjeg dijela iste kako bi se smanjilo vrijeme ulaza u pilger,
- intenzivnim hlađenjem valjaka,
- dobrim podmazivanjem trnova,
- dobrom podešenosti i ispravnosti pilger postrojenja i pribora.

Stanje površina pilger valjaka posebno je važno:

- čisti profil radnog dijela bez izbočina,
- glatka površina.

Utiskivanje naljepaka po cijevi nekad se dešava i na koturačama dogrijevne peći čemu obično doprinose:

- loše hlađenje koturača,
- zadržavanje zagrijane cijevi na izlaznim koturačama,
- neodgovarajuća površina koturača.

### **Nanešene ljuske**

Nastaju na pilgeru naročito na prednjem dijelu sirove cijevi otkidanjem pilger valjcima komadića cijevnice i uvaljivanjem istih na sirovu cijev (slika 10.).

Razlozi nastanka su slijedeći:

- valjanje cijevnice promjera većeg od nominalnog, i uz podebljanje valjci su u situaciji otkidanja i odljepljivanja komadića cijevnice,

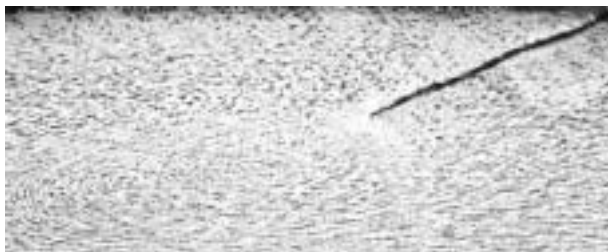
- povišena temperatura cijevnice,
- povišeni tlak zraka u potisnom stroju i nedovoljna sinkronizacija sa brojem okretaja pilger valjaka,
- nepodešenost postrojenja za valjanje u osi, za pravilnu rotaciju i rad s ravnim trnovima.



Slika 10. Nanešene ljuske  
Figure 10. Deposit shells

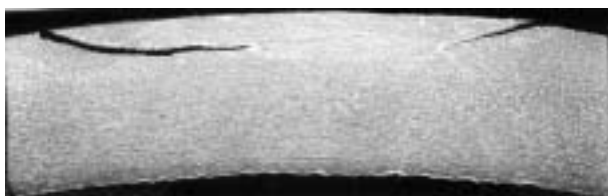
### Prevaljanosti na pilgeru

- jednostruka (slika 11.),



Slika 11. Prevaljanost na pilgeru -jednostruka  
Figure 11. Overlapped state - single - in pilger mill

- dvostruka (slika 12.).



Slika 12. Prevaljanost na pilgeru - dvostruka  
Figure 12. Overlapped state - double - in pilger mill

Po vizualnom izgledu su uočljive kao pukotine ujednačene duljine i međusobnog razmaka odgovarajuće posmaku. U poprečnom presjeku vidljiv je preklap jednostruki ili dvostruki koji ima izgled lastinog repa.

Na stvaranje grešaka utječe [9, 10]:

- valjanje iznad kalibra tako da se dio valjanja može odvijati u prostoru razmaka valjaka što daje velike mogućnosti preklopa u narednom posmičnom koraku,
- nepravilna rotacija cijevnice,
- povećani posmak cijevnice tako da radni dio valjaka ne uspijeva pravilno prevaljati povećani volumen iz prethodnog zahvata,

- korištenje deformiranog profila valjaka, istrošenog ili nepravilno obrađenog,
- nepodešenost pilger valjaka.

### Poprečno oštećenje cijevi; rupe, preklopi

Greške su vanjska poprečna udubljenja u cijev lučnog izgleda sa potpunim ili djelomičnim presijecanjem stjenke cijevi na pilgeru (slike 13.).



Slika 13. Poprečno oštećenje cijevi  
Figure 13. Transverse tube damage

U većini slučajeva greške nastaju na sirovim cijevima sa minimalnom stjenkom na većim kalibrima. Oštećenje stjenke nastaje za vrijeme razvaljivanja materijala između pilger valjaka i trna, kad najmanji presjek materijala ne može izdržati kombinirana naprezanja zbog različitih brzina po kontaktnoj površini valjaka, tlačenja ulazne i razvlačenja izlazne strane valjane cijevi pa dolazi do kidanja materijala.

Dodatni utjecaji stvaranja ovih grešaka:

- povećani promjer cijevnice,
- povišena temperatura materijala,
- nedovoljan konicitet trnova (opasan "kontra" konus),
- slabo podmazivanje trnova,
- istrošen ulazni dio pilger valjaka,
- prevelik i neujednačen posmak.

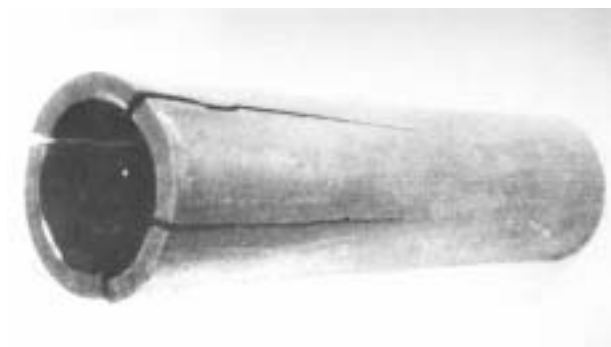
### Unutrašnja oštećenja cijevi

Cijev na unutarnjoj površini može biti oštećena od:

- glave za bušenje na preši,
- glave za bušenje na kosom stanu,
- glave egalizira,
- pilger trna ako isti ima oštećenja, pukotine ili je kriv.

### Pukotine zbog unutrašnjih naprezanja

Kod visoko ugljičnih i legiranih čelika pri brzem hlađenju dolazi do pucanja cijevi po nepravilnom lučnom ili približno uzdužnom smjeru (slika 14.).



Slika 14. Pukotine zbog unutrašnjih napreznja  
Figure 14. Cracks caused by internal stresses

Uzrok pucanja je unutarnje napreznje pri brzom hlađenju. Greške se mogu izbjeći ukoliko se cijevi nakon valjanja hlade usporeno i ujednačeno. Prije bilo kakve obrade uključujući i ravnanje, cijevi se trebaju popustiti.

#### Ostale greške

Na cijevima se pojavljuju i druge greške kao i greške nastale nepravilnim zagrijavanjem, hrapavost unutrašnje površine zbog zaostalog odgora u cijevi i nedovoljnog podmazivanja trnova, oštećenja cijevi u transportu i drugo.

#### ZAKLJUČAK

U pregledu grešaka na bešavnim cijevima slijedom tehnološkog razvoja proizvodnje čelika i bešavnih cijevi proizlazi:

1. Od kraja 60-tih do 80-tih godina prošlog stoljeća, proizvodnja čelika značajno je napredovala tako da su u tom periodu greške na bešavnim cijevima čeličanskog

porijekla od dominantnih svedene na zanemarive nakon čega dominiraju greške valjaoničkog porijekla.

2. Ovo se ne može potvrditi za proizvođače čelika koji nisu radili modernizaciju proizvodnje i lijevanja čelika (Željezara Sisak).
3. U proizvodnji bešavnih cijevi, pored ukupnog tehnološkog razvoja, vršene su prilagodbe za optimalno korištenje čeličnog uložka prema razvoju kvalitete istog.

Za proizvođače bešavnih cijevi pilger postupkom, čije je učesće značajno smanjeno, dat je detaljniji pregled glavnih grešaka na cijevima nastalih tijekom valjanja, sa uzrocima i načinom otklanjanja istih kako bi se ovaj postupak učinio što efikasnijim.

#### LITERATURA

- [1] I. Mamuzić, V. M. Druyan: Teorija, Materijali Tehnologija čeličnih cijevi, Hrvatsko metalurško društvo, Zagreb 1996.
- [2] J. Krajcar, I. Đukić: Lijevanje ingota za bešavne cijevi pod livnim prahom, Metalurgija 9 (1970) 4, 43 - 61.
- [3] K. Oberem: Upotreba kontinuirano lijevanih proizvoda u valjaonima bešavnih cijevi, Metalurgija 9 (1970) 4, 107 - 118.
- [4] J. Plepelić: Valjanje bešavnih cijevi iz lijevanih konti gredica, Metalurgija 9 (1970) 4, 119 - 130.
- [5] Institut za Metalurgiju Sisak: Pregled grešaka na ulošku i čeličnim cijevima, Elaborat, Sisak 1970.
- [6] I. Mamuzić, J. Butorac: Utjecaj oligo elemenata na kvalitetu uložka i cijevi, Zbornik radova Društva inženjera i tehničara (DIT) Sisak, Uložak za bešavne cijevi, Sisak 1979., 20 - 28.
- [7] I. Mamuzić, M. Golja: Atlas grešaka na bešavnim cijevima, Elaborat, Metalurški fakultet, Sisak 1979.
- [8] N. Devčić, J. Butorac, M. Balenović: Proizvodnja bešavnih cijevi iz kontinuirano lijevanih blumova. Zbornik radova, Uložak za bešavne cijevi, DIT Sisak, Sisak 1979., 1- 20.
- [9] Dalmine extra extended performance oil country tubular goods, D.E.E.P. SERIES Milano 1983.
- [10] A. H. Calmes, The steel Tube production Today and Tomorrow, Publikacija INSA 1990.