

**RAZVOJ PROIZVODNJE SPECIJALNIH TANKIH
TOPLOVALJANIH TRAKA USKLAĐENIM PROCESOM
KONTINUIRANOG LIVENJA – VALJANJA**

**DEVELOPMENT OF PRODUCTION OF SPECIAL
TIN HOTROLLED STRIPES ACCORDING TO PROCESS OF
CONTINUOUS CASTING - ROLLING**

B. MIŠKOVIĆ

Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd

REZIME

Jedan deo rada odnosi se na razvoj tehnike i tehnologije proizvodnje toplovaljanih tankih čeličnih traka procesom zajedničkog, istovremenog kontinuiranog livenja i kontinuiranog valjanja. Obuhvaćena su tri perioda: osamdesete i devedesete godine XX veka i početak XXI veka.

Drugi deo odnosi se na metode ispitivanja kao i na uobičajene rezultate strukturnih i mehaničkih osobina, jednakost strukture, ravnoće i hrapavost površine. Dosadašnji rezultati su pokazali da se navedenim postupkom može dobiti kvalitetna traka i bez postupka hladnog valjanja.

Ključne reči: toplo valjana traka, hladno valjana traka, kontinuirani proces livenja-valjanja, usklađeni proces livenja-valjanja

ABSTRACT

Part of this paper refers to the development of technique and technology of production of hot rolling. Three periods are included: eighties and nineties of XX century and the beginning of XXI century.

Second part of paper refers to the methods of investigation (examination), as well as usual results of structure and mechanical properties, uniformity of structure, smoothness and roughness of surface. Up to now results show that by this kind of process quality stripe could be produced without process of cold rolling.

Key words: hot rolled stripes, cold rolling stripes, continuous process casting-rolling, according process casting-rolling

UVOD

Ovaj rad sadrži rezultate istraživanja iznete na trećoj evropskoj konferenciji o aktuelnim pitanjima u oblasti toplog i hladnog valjanja (Disseldorf, 2003. g.) kao i kolokvijuma iz iste oblasti (Achen 2004).

OPŠTE TENDENCIJE RAZVOJA OD 80-ih GODINA

Do kraja osamdesetih godina razvoj proizvodnje čeličnih traka odvijao se, u osnovi, po pojedinim etapama procesa. U prvoj etapi procesa livenja osnovna pažnja posvećivana je proizvodnosti i optimizaciji kontinuiranog livenja; u drugoj etapi, procesima toplog i hladnog valjanja. Zahvaljujući primeni sistema za regulisanje profila i ravnoće; postepeno se povećavala gibnost proizvodnog procesa i poboljšao kvalitet produkcije.

Primena posebnog procesa presovanja slabova

Primenom posebnog procesa presovanja slabova povećeo se izvadak u procesu neprekidnog livenja na račun smanjenja broja formata poprečnog preseka slabova. U tom slučaju dve etape procesa bi bile logično povezane i zajednički optimizirane. Tesnije povezivanje dve etape procesa i npr. primenjena zajedničko livačko – valjaonička postrojenja CSP omogućili bi dobijanje sladećih ekonomskih prednosti: smanjenje investicionih troškova, skraćenje vremena toka metala u proizvodnom ciklusu, smanjenje troškova skladištenja, ekonomična proizvodnja (ekonomija proizvodnja i ekonomija potrošnje energije).

Složenost toka materijala

Tok materijala pri proizvodnji traka pokazuje visoku složenost celog procesa proizvodnje. Ta slođenost postavlja ozbiljne zahteve, posebno u logistici. Da bi povisili ekonomičnost proizvodnje neophodna je dopuna kapitala i troškova skladištenja. Jedan od kraćih puteva je i dobijanje traka sa neprekidnim procesom dekapiranja; jednako za obezbeđenje ravnoće, potrebno je ravnanje sa zatezanjem i dresiranje. Time se postiže:

- visoka dinamičnost, npr. za sigurno ravnanje trake i podmazivanje zazora između valjaka,
- neosetljivost u greškama zadatih sila valjanja
- visoka tačnost kod modelovanja stanova za kontrolu regulacije debljine traka.

Regulacija zatezanja

Greške, posebno u stadijumu ravnjanja, bilo je nužno otkloniti tačnim regulisanjem da bi se obezbedila stabilnost valjanja. Specijalne «konture» se regulišu i optimiziraju hidrauličkim obrazovanjem petlji što omogućuju te velike zahteve. Kvalitet regulacije zatezanja odražava se na toleranciji širine trake, imajući u vidu male poprečne preseke trake u međustanovima i slaboj vezi sa tom regulacijom sile zatezanja. Za rešenje tog zadatka potrebna je slaboinerciona konstrukcija sa malim trenjem.

TENDENCIJE RAZVOJA OD 90-IH GODINA

U početku devedesetih godina debljine od 1,5 mm smatrale su se donjom granicom ekonomične proizvodnje toplo valjanih traka. U današnje vreme, u proizvodnim uslovima, već je dobijena toplo valjana traka debljine 0,90 mm. Ova debljina se najlakše dobija po tehnologiji CSP, jer ima najbolje pretpostavke za dobijanje malih završnih debljina. Izvesna je skoro budućnost da se ovom tehnologijom ostvari debljina koja je manja od 0,90 mm.

Na tradicionalnim valjaonicama toplo valjanih traka mogu se primeniti tzv. "tehnološki paketi". Da bi se mogla dobiti toplo valjana traka na tradicionalnoj valjaonici – gde se obavezno i nalazi racionalna donja granica debljine – neophodna su detaljna istraživanja svake valjaonice. Naravno, najoptimalnija koncepcija je uklapanje tradicionalne valjaonice za toplo valjane trake sa postrojenjima CSP koja je, na primer, realizovana u preduzeću Tyssen Krup Sthale. Tada se postižu najbolji proizvodni i ekonomski rezultati.

IDENTIFIKACIJA RAZVOJNIH POTENCIJALA

Elementi koji su razmatrani u prethodnim poglavljima, ukazuju u kom pravcu je usmerena strategija razvoja plastične prerade čelika koja obezbeđuje široku lepezu proizvoda, prvenstveno toplo i hladno valjanih limova i traka.

Proizvodni kapaciteti

U velikom metalurškom kompleksu raspolade se sa savremenim kapacitetima za proizvodnju gvožđa, čelika, valjanih proizvoda – limova i traka, cevi, hladno oblikovanih zavarenih i nezavarenih profila, koja svojom veličinom i savremenošću odgovaraju kapacitetima koje poseduju razvijene industrijske zemlje.

Pored osnovnih kapaciteta, u kojima se proizvode toplo i hladno valjani limovi i trake, obično postoje i kapaciteti za proizvodnju belih limova, za proizvodnju hladno oblikovanih profila, za proizvodnju zavarenih cevi i za proizvodnju limenki.

Koncepcija toplih valjaonica

Postoji više koncepcija toplog valjanja za proizvodnju traka:

- Štekel valjaonica ostvaruje specifičan proces koji je ugodan za proizvodnju koja je manja od 1 milion tona/godinu; ostale tradicionalne valjaonice ugodne su za sve vrste čelika veličine proizvodnje u iznosu od oko 5 miliona tona/god.
- Tradicionalne valjaonice toplog valjanja, sa visoko proizvodnim uređajima
- Kompaktna valjaonica traka
- Zajednički livačko-valjački kompleks CSP
- Zajednički livačko-valjački kompleksi CSP sa predvaljačkim stanom

Na tradicionalnim valjaonicama, u odnosu na zajednički livačko-valjački kompleks CSP, postoji veći broj ograničenja koja su vezana za postrojenja (sila valjanja, momenat valjanja, opterećenje elektromotora i brzine valjanja), kao i za proizvodni proces (profil ravnoće, ugao zahvata, temperatura izlaska trake, temperatura valjanja i brzina transportovanja na kotrljači).

Da bi se na tradicionalnim valjaonicama otklonili navedeni nedostaci praktikuje se niz mera tzv. "tehnološki paket" [2].

KARAKTERISTIKE RAZVOJA USKLAĐENOG PROCESA KONTINUIRANOG LIVENJA I VALJANJA ČELIKA

Definicija usklađenog procesa kontinualnog livenja

Kompleks uređaja u kojima se istovremeno odvijaju dva tehnološka procesa – kontinuirano livenje i plastična deformacija – obično nosi naziv postrojenja za usklađeni proces kontinuiranog livenja i valjanja. Postoje dve osnovne tehnološke šeme: prva, kontinuirano livenje – valjanje polufabrikata – valjanje u gotov proizvod i druga, povoljnija jer skraćuje proizvodni ciklus, kontinuirano livenje – valjanje. Ovaj drugi ima određeni broj problema koji su rešeni a odnose se na dobijanje livenog polufabrikata malog preseka, smanjenje asortimana po dimenzijama, ograničenost zapremine agregata za topljenje čelika, na veću složenost pri konstrukciji uređaja za kontinuirano livenje i na sniženje kvaliteta valjanih proizvoda zbog smanjenja ukupnog stepena sažimanja i drugih faktora koji se odnose na kvalitet.

Mnogi problemi u odnosu na kvalitet proizvoda su rešeni, jer su ostvarene mogućnost smanjenja osne (centralne) likvacije hemijskih elemenata. Ovaj problem se posebno ispoljava kod klasičnog kontinuiranog livenja polufabrikata kvadratnog preseka i zbog sklonosti ka karbidnoj segregaciji. Rešavanje ovog problema, povećanjem stepena sažimanja kod navedenog valjanja, i primenom šeme deformacije, nije dala zadovoljavajuće rezultate.

Međutim u procesu usklaženog kontinuiranog livenja i valjanja ostvaruje se sažimanje centralne zone, povećanje brzine difuzije hemijskih elemenata u procesu zagrevanja pre deformacije i povećanja izvadka na račun smanjenja kovarine i otpadka zbog obrezivanja. Cena toplotne energije za zagrevanje (održavanje toplote livenja) ovim postupkom je za 80 – 90 % niža u odnosu na hladno ulaganje u peći.

RAZVOJ IZGRADNJE POSTROJENJA ZA USKLAĐENI PROCES LIVENJE - VALJANJE

A. Dobijanje profila kvadratnog preseka

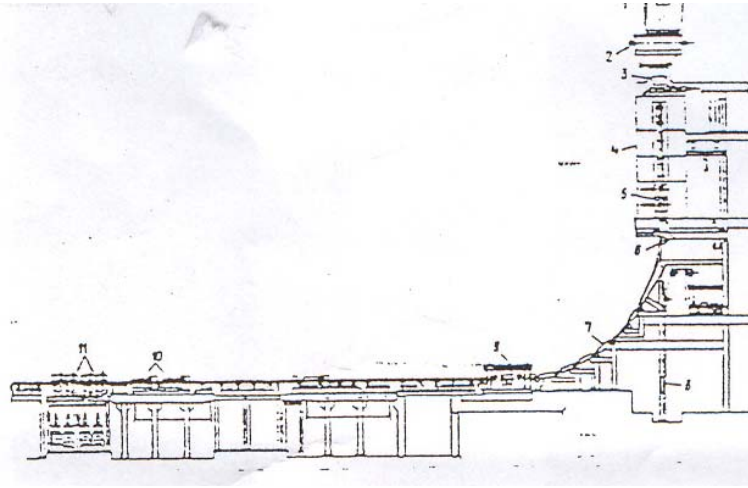
Prvo industrijsko postrojenje pušteno je u rad 1967. godine u Austriji, u preduzeću Böhler: polufabrikat iz uređaja za kontinuirano livenje, preseka 140x140 mm, ulazi u valjaonicu sa četiri valjačka stana gde se ostvaruje sažimanje do preseka 100 x 100 mm u prvom stupnju $\lambda = 1,96$ i do preseka 80 x 80 mm i u drugom stupnju sa $\lambda = 2,45$. Takođe je u 1968. godini uz konvertorsku čeličanu izgrađen vertikalni uređaj za kontinuirano livenje slabova 170 – 225 x 1000 x 1650 mm. Na valjaonici je ostvaren apsolutni stepen sažimanja od 40 mm.

Od 1968. godine u Zapadnoj Nemačkoj (Badische Stahlwerke) je u eksploataciji radijalni uređaj za kontinuirano livenje kao i valjački stanovi za sažimanje potpuno očvrstnutog polufabrikata 93 x 130 – 140 mm koji se plastično deformiše do preseka 100 x 100 mm.

I u SAD je, u tom periodu, izgrađeno nekoliko postrojenja; u preduzeću Timken Roller Bearing Polufabrikat, odlivak dobijen kontinuiranim livenjem preseka 240 x 305 mm, plastično se deformiše do preseka 240 x 240 mm, sa izduženjem $\lambda = 1,27$. U preduzeću Geogrtown uveden je u eksploataciju četvorožilni uređaj za kontinuirano livenje koji, zajedno sa valjačkim stanom, ima kapacitet oko 270.000 tona gredica preseka 100 x 100 mm. U preduzeću Inland Steel u pogonu je uređaj za kontinuirano livenje polufabrikata (sa četiri žile) preseka 180 x 180 mm i 145 x 145 mm koji se, neposredno posle livenja, valjaju u gredice preseka 125 x 125 mm sa $\lambda = 1,85$ i preseka 100 x 100 mm sa $\lambda = 2,1$. Valjanje se obavlja na stanovima sa vertikalnim i horizontalnim valjcima.

U preduzeću United States Steel pušten je u pogon kompleks uređaja za usklađeno livenje slabova većih dimanzija preseka 235 x 1400 i 235 x 1930 mm koji se upućuju u valjaonice širokih traka sa kontinuiranim rasporedom stanova – tri stana sa horizontalnim i četiri stana sa vertikalnim valjcima; u pećima se obavlja samo izjednačavanje temperature i zagrevanje do temperature valjanja. Rad valjačkih stanova je sinhronizovan sa brzinom kretanja kristalizatora i isti je automatizovan. U preduzeću South Works, 1979. godine pušten je u pogon uređaj za livenje – valjanje profila (Prilog 1).

U preduzeću Jodogawa Steel Works Ltd, Japan u 1974. godini je uvedeno u eksploataciju postrojenje za usklađeno livenje – valjanje na kome se odvijao proces dobijanja odlivka – polufabrikata preseka 125 x 125 mm. koji se plastično deformiše do preseka 90 x 90 mm i 100 x 100 mm.



Prilog 1 – Šema postrojenja za livenje – valjanje u South Works: 1 – 200 tonski lonci za izlivanje, 2 – međulonac, 3 – mehanizam za pokretanje kristalizatora, 4 – zona sekundarnog hlađenja, 5 – vučni valjci, 6 – valjci za savijanje, 7 – zona savijanja, 8 – uređaj za uvođenje i lagerovanje. 9 – mašina za ravnanje, 10 – indukzione peći. 11 – valjački stanovi 3

B. Dobijanje pljosnatih proizvoda - traka

Na osnovu ocene koju je izvršio Međunarodni institut za gvožđe i čelik u XXI vek će se ući sa povećanjem obima proizvodnje čelika. U tom razdoblju će naglo porasti udeo kvalitetnih čelika. Osnovna karakteristika toga razvoja je proizvodnja čelika koja uključuje kontinuirano livenje sa neposrednim dobijanjem gotovih proizvoda plastičnom deformacijom (valjanje).

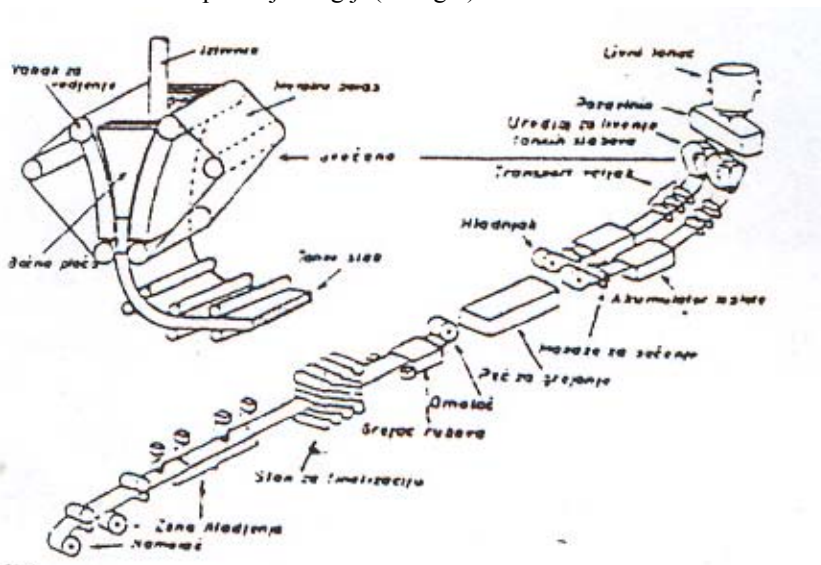
U okviru istraživanja posebna pažnja pokloniće se tehnologiji izrade limova iz horizontalnih uređaja za kontinuirano livenje, zagrevanju sa plazmom i metodama za dobijanje brzo hlađenih traka. Zbog toga se, u narednim godinama, može očekivati povećani udeo limova i traka od čelika bez procesa toplog valjanja i zagrevanja. Razvoj takve tehnologije obezbediće ekonomičniju proizvodnju limova i traka. Preduzeće Eleggeli Ladlam, SAD proizvelo je i izlilo prvih 15 tona čelika i dobilo trake debljine 0,75 mm, te se time približilo realizaciji ovakvog tehnološkog procesa.

Isto tako, za direktno valjanje limova i traka obezbediće se slabovi male debljine, ispod 50 mm. U tom smislu su, u periodu od 1983. godine do danas postignuti određeni, pozitivni rezultati. Preduzeće Sumitomo Metal Industries izradilo je uređaj tipa Hazelett za svoju železaru u Kashima. Uređaj je opitnog karaktera sa šaržom od 40 tona, debljinom slabova od 24-50 mm i širine do 600 mm. Brzina livenja za ugljenične čelike iznosi 4m/min.

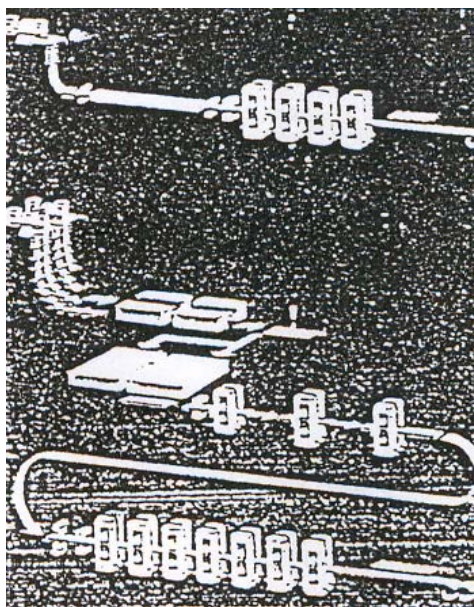
U Kawasaki Steel su, zajedno sa Hitachijem, projektovali postrojenje za kontinuirano livenje tankih slabova koji se direktno valjaju u trake. Na osnovu tog projekta 1983. godine napravljeno je pilot postrojenje (Prilog 2).

U železari Nippon Steel se razvio sledeći proces: topli slabovi iz uređaja za kontinuirano livenje neposredno, bez predhodnog zagrevanja, upućuju se u valjaonicu širokih traka. Ovakav postupak je ostvaren između ostalog i malim rastojanjem između uređaja za kontinuirano livenje i valjaonice, zatim tzv. "mekim", sekundarnim hlađenjem kao i potpunom izolacijom odvodnih kotrljača. Za slučajeve nepredviđenih zastoja postavljena je samo jedna zagreivna peć.

U 1988. godini, kompanija SMS je u SAD uvela u eksploataciju radialni uređaj za kontinuirano livenje tankih slabova debljine 30-50 mm i širine do 1600 mm. Koristi se kristalizator promjenljive širine koji omogućava širok asortiman slabova, odnosno toplo valjanih traka po širini. Valjanje širokih traka obavlja se neposredno, bez zagrevanja slabova. Postoji samo jedna provlačna komora sa toplotnom izolacijom u cilju izjednačavanja temperatura slabova i malih i specifičnih gubitaka toplote. Time se postiže znatna ušteda u toplotnoj energiji (Prilog 3).



Prilog 2 – Dvojno pojasno postrojenje za livenje – valjanje Kawasaki²⁾



Prilog 3 – CSP uređaj za livenje – valjanje, SMS²⁾

Toplo ulaganje poluproizvoda u peć za dogrevanje je u tom periodu u sve većoj primeni i direktna povezanost između kontinuiranog livenja i valjanja postaje dostižan cilj. Nekoliko železara, pored navedenih sada konzistentno rade sa direktnim ulaganjem ili direktnim valjanjem u traku.

OSTVARENJA U PROCESIMA ZAJEDNIČKOG LIVENJA I VALJANJA TRAKA POČETKOM XXI VEKA

Osnovne karakteristike postrojenja za istovremeni proces livenja i valjanja specijalno tankih traka

1. Postrojenja DSP preduzeća Cours sastoji se iz uređaja za kontinuirano livenje, tunelske peći dužine 330 m za izjednačavanje temperature i zagrevanje tankih slabova (debljine 70 mm), završne linije sa sedam valjačkih stanova sa uređajem za međuhlađenje trake, a takođe i motalicom i letećim makazama na izlaznim koturačama (transporterom).

Konfiguracija postrojenja omogućava polukontinuirano toplo valjanje ultra tankih traka debljine 0,7 mm, «feritno» valjanje toplo valjanih traka, stalnu temperaturu procesa i završne linije, sem toga ima hidraulički uređaji i regulaciju petlji. Time se omogućuje toplo valjanje traka sa ostrim tolerancijama i ravnomerno formiranje strukture poprečnog preseka.

2. Kod korišćenja postrojenja za neprekidno livenje traka u preduzeću Posco livena traka debljine 1,8-4 mm i širine 1700 mm može se neposredno namotavati bez dopunske deformacije. Dužina postrojenja iznosi 33,7 m što je oko dvadeset puta manje od dužine obične linije za proizvodnju toplo valjanih traka. Od više vrsta čelika danas se koriste i čelici postojani na koroziju, određene klase austenitnih čelika kao i dinamo i kvalitetni čelici.

Mehaničke osobine traka upoređene su sa osobinama traka dobijenim običnim postupkom. Za naknadno smanjenje debljine do 1,7 mm, optimalnog kvaliteta površine, predviđeno je valjanje na dvovaljačkom kvartostanu.

3. Uvođenjem u eksploataciju postrojenja za livenje traka u preduzeću Nucor po prvi put se u svetu iz običnih i kvalitetnih čelika proizvode livene trake debljine 1,6 mm i širine 2000 mm. Valjanje na kvartostanu odvija se do konačne debljine od 0,7 mm.

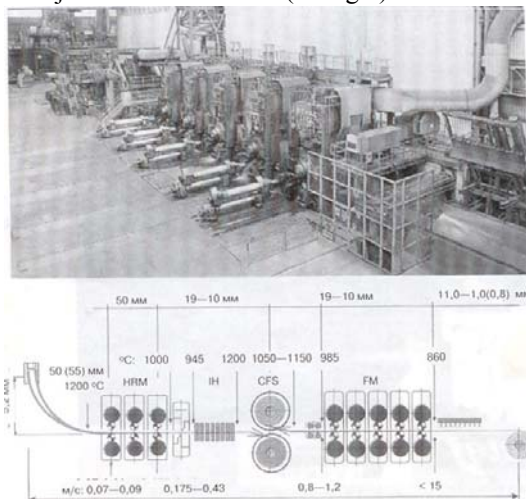
Maksimalna proizvodnja je dostigla 500.000 t/god. Mogućnost ekonomije energije pri datom procesu, u poređenju sa običnim kontinuiranim livenjem slabova i toplim valjanjem traka, iznosila je 89 %.

Analiza osobina proizvoda je pokazala da iste u potpunosti odgovaraju standardima ASIM, a valjane trake su pogodno za proces pocinkovanja.

4. Od 1999. godine, u preduzeću Thissen-Krupp u okviru projekta «Eurostrip» zajedno sa preduzećima Vai i Arcelor, radi linija kontinuiranog livenja i valjanja traka iz austenitnih čelika. Linija se sastoji iz uređaja za livenje, valjačkog kvartostana uz prethodno indukciono zagrevanja traka, uređaja za laminarno hlađenje na izlazu, makaza za rezanje i dve motalice raspoređene niže od nivoa poda.

Širina livene trake iznosi 1108-1150 mm; konačne debljine posle valjanja su 1,8-4,5 mm, dužina linije iznosi 70 m. Postavljanjem valjačkog stana u liniji obezbeđeno je poboljšanje strukture i kvaliteta površine traka. Odgovarajuće izvedbe u transportnom mehanizmu, a takođe i zonsko hlađenje radnih valjaka omogućava proizvodnju toplo valjanih traka sa kvalitetom uporednim sa normama standarda DIN [1].

5. U preduzeću Arvedi u Kremoni, Italija izgrađena su livničko-valjaonička postrojenja koja rade po tehnologiji livenja tankih slabova. Kontinuiranim livenjem dobija se odlivak debljine 65 mm, koji sažimanjem sa tečnom sredinom od 23 %, dostiže debljinu od 50 mm. Uvođenjem u Tandem valjaonicu od tri stana (HRM), sa visokim pritiskom, dobija se debljina od 10 do 19 mm (Prilog 4).



Prilog 4 – Šema zajedničkog livačkog – valjačkog postrojenja u preduzeću Arvedi (Kremona). Debljina odlivka u kristalizatoru 65 mm, sažimanje kod «tečne» sredine odlivka LCR 23%, brzine livenja 4 – 5,2 (5,5) M/min: Oznake: MLZ – kontinuirano livenje, HRM – Trostanska valjaonica, IH – indukciona peć, CFS – peći kremona, FM – Završno valjaonica³⁾

Iza Tandem valjaonice postavljena je indukciona peć gde se predtraka zagreva na 1200°C, namotava u koture i stavlja u peć gde se temperatura izjednačava. Postojanje dve paralelne peći u liniji omogućuju odvajanje završne grupe stanova od livničkog postrojenja; u tandemu od pet stanova obavlja se valjanje do konačne debljine trake

PROGRAM ISTRAŽIVANJA NA LIVAČKO-VALJAONIČKOM POSTROJENJU ZA VALJANJE TOPLO VALJANIH TANKIH TRAKA⁴⁾

Istraživanja imaju za cilj određivanje osobina toplo valjanih traka, odnosno mogućnosti zamene procesa hladnog valjanja traka uz neophodne dopune.

Istraživanja se uglavnom usmeravaju na analizu ravnoće profila po debljini, na strukturu i na mehaničke osobine.

1. Izbor čelika i njegov hemijski sastav

Za toplo valjane trake obično se koriste čelici po DIN-u: DIN EN 101 11, debljina trake 1,0 mm; DIN EN 101 491, debljina trake 1,4 mm i DIN EN 101 49, debljina trake 1,5 mm. Širina trake u svim vrstama čelika je obično 1200 mm (Tabele 1).

Tabela 1 – Hemijski sastav tri ispitana čelika

	C	N	Si	Mn	P	S
DD12	0.032	0.008	0.03	0.14	0.006	0.001
S355Mc	0.041	0.009	0.003	0.46	0.007	0.001
S420M	0.034	0.009	0.02	0,47	0.006	0.002

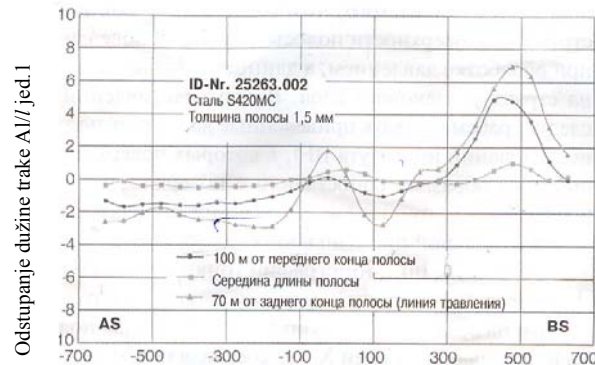
Nastavak tabele 1

Cr	Mo	Ni	Al	Cu	Nb	Ti	V
0.03	0.014	0.14	0.040	0.167	<0.001	<0.001	<0.001
0.03	0.018	0.14	0.035	0.218	<0.001	<0.001	0.037
0.04	0.019	0.13	0.38	0.198	0.013	<0.001	0.025

2. Ravnoća i profila trake po debljini

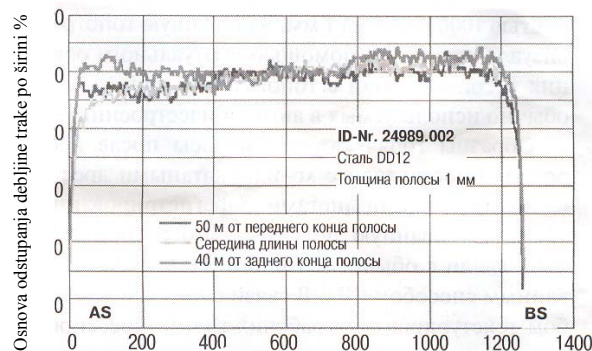
Za određivanje ravnoće koristi se uređaj za merenje i to pomoću laserskog sistema koji leži na ravnoj ploči i određuje raspodelu dužine talasa po širini trake. U većini slučajeva otklon se kreće u okviru vrednosti ± 2 jedinica I. Profil trake po debljini određuje se pomoću laserskog mernog sistema.

Ispitivanja obično pokazuju da je otklon (odstupanje) debljine na krajevima oko 3-6 %. Odstupanje debljine na odstojanju od krajeva prema sredini trake iznosi samo $\pm 1\%$ (Prilozi 5 i 6).



Rastojanje od sredine trake

Prilog 5 – Rastojanje dužine vlakana od širine trake sa talasavosti na krajevima na strani uvođenja: Oznake: AS – starna uvođenja, BS – strana korišćenja, ID-Nr. 25263-002; čelik S420 MC, Debljina trake 1,5 mm, ● - 100 m od prednjeg kraja trake, □ - srednja dužina trake
 ▲ - 70 m od zadnjeg kraja trake



Rastojanje po širini trake mm

Prilog 6 – Mereni profil debljine po širini trake oznake ID – Nr. 24989 – 002; čelik DD12:
 — 50 m od prednjeg kraja trake, srednja dužina trake, — 40 m od zadnjeg kraja trake

3. Površina trake

Najveći zahtevi za kvalitet površine trake odnose se na automobilsku industriju. Kvalitet površine suštinski utiče na preradu tankih traka procesima deformacije (pritiska) i lakiranjem.

Kvalitet površine ima uticaj i na proces plastične prerade i na strukturu lakirnog sloja; rezultati ispitivanja omogućuju zavisnost površine hladnovaljanih traka od kvaliteta površine toplovaljanih traka.

4. Mehaničke osobine

Uzorci za kvazi statistička ispitivanja na istezanje (izduženje) i za metalografsko ispitivanja su uzeta po određenoj metodi koja je detaljno opisana u radu pod 4. Mehaničke osobine, dobijene u toku kvazi statističkih ispitivanja na istezanje.

Sva tri ispitivanja imaju bolje pokazatelje od onih koja su data u standardima DIN EN 10 111 o 101 49; u dve vrste čelika, zbog povišenog sadržaja mikrolegiranih elemenata, a odnosi se na čelike S 355 MC i S 420 MC (tabela 2) [4].

Tabela 2 – Mehaničke osobine dobijene na osnovu rezultata ispitivanja na istezanju uzoraka uzeta iz tri vrste čelika iz tri dela trake

Vrsta čelika Debljina trake	Delovi trake	Orijentacija po pravcu valjanja	ReH MPa	Rel MPa	R _M MPa	Ag %	A ₈₀ %	r	r _m	Δ _r	n
DD12 (1.00 mm)	Prednji kraj	0	342	331	384	14.9	22.5	0.69	0.79	-0.20	0.15
		45	350	336	377	17.3	29.8	0.89			0.16
		90	413	360	386	16.6	29.9	0.76			0.15
	Srednji kraj	0	283	279	355	20.7	33.9	0.83	0.89	-0.05	0.19
		45	299	293	357	21.2	35.2	0.94			0.19
		90	305	294	356	20.6	34.7	0.86			0.19
	Zadnji kraj	0	392	347	393	15.3	26.4	0.63	0.83	-0.23	0.15
		45	410	357	388	14.8	26.1	0.95			0.14
		90	419	361	388	15.4	27.2	0.79			0.14
S355MC (1.40 mm)	Prednji kraj	0	421	403	461	13.8	26.1	0.86	0.83	0.03	0.13
		45	412	402	458	13.6	23.7	0.82			0.13
		90	444	411	462	13.9	23.9	0.86			0.13
	Srednji kraj	0	418	389	459	14.5	26.2	0.84	0.90	-0.01	0.13
		45	409	391	456	14.3	24.4	0.91			0.13
		90	423	399	457	14.1	24.2	0.91			0.13
	Zadnji kraj	0	420	393	461	14.1	25.2	0.79	0.85	-0.15	0.13
		45	414	393	454	15.4	29.8	0.92			0.14
		90	429	406	456	15.2	25.3	0.76			0.14
	Prednji kraj	0	441	424	492	15.3	23.4	0.65	0.87	-0.17	0.15
		45	462	436	489	15.4	27.1	0.95			0.15
		90	451	439	495	15.9	22.3	0.88			0.15
	Srednji kraj	0	424	413	485	15.7	26.6	0.70	0.96	-0.10	0.15
		45	430	415	474	15.2	27.9	1.06			0.14
		90	446	427	483	15.0	23.2	1.00			0.15
	Zadnji kraj	0	428	412	481	15.6	25.1	0.71	0.92	-0.14	0.15
		45	432	416	470	15.8	26.8	0.99			0.15
		90	453	421	478	15.4	25.4	1.00			0.15

Podaci omogućavaju dobru analizu korelacije između vrste čelika, delova trake (prednji kraj, srednji i zadnji kraj) kao i orijentacije po pravcu valjanja i mnogobrojnih pokazatelja mehaničkih osobina.

Pokazane su takođe promene čvrstoće i relativnog izduženja čelika S 355 mc i DD12 u zavisnosti od pozicije uzorka za sva tri dela trake za čelik S 355 MC; po dužini trake i krajeva: pokazatelj čvrstoće niži su na krajevima za oko 50 Mpa, a na sredini dužine trake povećana je gotovo za 14%.

5. Strukture ispitanih traka

Struktura ispitanih materijala u sredini trake po dužini i u poziciji 5 (sredina ili osa trake) je u osnovi feritna.

U tabeli su dati dopunski podaci – srednja veličina, zrna B, broj zrna po DIN 50601 za različite položaje trake u koturu (poprečni i uzdužni «Šlifovi»).

Srednja veličina zrna G znatno se uvećava pri prelazu čelika DD 12 na mikrolegirane čelike, pri čemu čelik S 420 MC ima najveće zrno i predstavlja jedinstvenu srednje sitnu veličinu zrna. U odnosu na jednorodnost materijala utvrđeni su rezultatima ispitivanja na istezanje. Za oba mikrolegirana čelika dobijene su vrednosti G od 12 do 13 ($\Delta G = 1$) i odgovarajuće od 13 do 14 (takođe $\Delta G = 1$) ukoliko se ne uzima u obzir vrednost G za čelik S 355 MC u centru (u sredini dužine trake, pozicija 5, ugao 90° u odnosu na pravac valjanja).

U čeliku DD12 takođe se zapažaju neznatne razlike u rasporedu veličine zrna po dužini i širini trake. I ovde rezultat merenja veličine G varira od 11 do 12, što takođe odgovara (rasejanosti) $\Delta G = 1$ (Tabela 3).

Tabela 3 – Srednje vrednosti veličine G kod ispitivanih čelika u različitim položajima po dužini i širini trake³⁾

Položaj trake po dužini kotura i pozicija po širini	DD12		S355MC		S420MC	
	Ugao u odnosu na pravac trake, grad.					
	0	90	0	90	0	90
Prednji kraj (pozicija 1)	11	12	12	12.5	14	13.5
Prednji kraj (pozicija 5)	12	12	12.5	12.5	14	13.5
Prednji kraj (pozicija 10)	11.5	12	12.5	12.5	13.5	14
Srednja dužina (pozicija 1)	11.5	12	13	13	13.5	13.5
Srednja dužina (pozicija 5)	11.5	12	12.5	14.5	13.5	13.5
Srednja dužina (pozicija 10)	11.5	12	12	12.5	13.5	13.5
Zadnji kraj (pozicija 1)	11.5	12	12.5	12	13	13.5
Zadnji kraj (pozicija 5)	12	12	12.5	12.5	13.5	13.5
Zadnji kraj (pozicija 10)	12	12	12.5	12.5	13.5	13

ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Pomoću različitih metoda istraživanja vrši se ocenjivanje u kojoj meri toplovaljane trake dobijene zajedničkom livačko-toplovaljačkom postrojenju ISP, mogu da zamene hladno valjanu traku kao i kakvim postupcima dopunske obrade koja se mora ostvarivati.

Dozvoljena odstupanja debljine i ravnoće u odnosu na ispitivane trake u dovoljnoj meri zadovoljavaju zahteve za hladno valjanje trake. U odnosu na strukturu površine postoje određena ograničenja; pri optimalnoj teksturi valjaka može se postići suštinsko poboljšanje strukture površine trake. Sve ispitivane vrste čelika za toplo valjanje trake u potpunosti zadovoljavaju odgovarajuće standarde na mehaničke osobine. Kvazi statička ispitivanja na istezanju pokazuju za obe vrste čelika S 355 MC i S 420 MC, dovoljnu jednorodnost ponašanja materijala po celoj dužini i širini trake.

Kada se radi o čeliku DD 12 povećani sadržaj nevezanog azota dovodi do efekta starenja po širini i dužini trake što se može sprečiti na primer legiranjem. Svi ispitivani čelici pokazuju vrlo jednorodnu strukturu pri čemu veličina zrna G po širini i dužini varira na više od $\Delta G = 1$.

Sposobnost deformacije čelika DD 12 dobijena na osnovu dijagrama granice deformabilnosti, nalazi se u granicama kao i kod hladno valjanih tankih limova.

LITERATURA

- [1] B. Mišković, "Neke karakteristike novih tehnologija toplovaljanih traka", V savetovanje metalurga Jugoslavije, Zbornik radova, Novi Sad 2001. godine
- [2] B. Mišković, "Perspektiva procesa usklađenog livenja i plastične deformacije čelika", V savetovanje metalurga Jugoslavije, Zbornik radova, Novi Sad 2001. godine
- [3] B. Mišković, "Strategija razvoja plastične prerade čelika u Republici Srbiji", Metalurgija, vol 8, broj 4, 2002. godine
- [4] V. Blek, O. Dojčer, A. Fren, F. Pozgelis i R. Štelcer, "Svojstva polos prokatskih na savremenom litejno - prokatskom agregatu ISP" Černie metali*, 40 – 45, februar 2004. godine.
- [5] M. Letner, A. Frank, X. Lakinter, P. N. Mark, "Tretja evropejskaja konferencija o prokatke. Aktuelnie razabotki v oblasti, gorjačoj i holodnoj prokatke", Černie metali*, 28 – 32, 2004. godine

* Prevod iz časopisa Sthal und Eisen