

ŽELEZARSKI ZBORNIK

VSEBINA

	Stran
Koroušič Blaženko, F. Tehovnik — Metalurški inštitut Ljubljana, H. Ploštajner — Železarna Štore, A. Šteblaj — Železarna Jesenice KONTROLA KISIKA IN ALUMINIJA S KISIKOVO SONDO V KOMBINACIJI Z NAPRAVO ZA STRELJANJE AI ŽICE (I. DEL)	85
Smajič Nijaz, B. Arh — Metalurški inštitut Ljubljana, J. Arh — Železarna Jesenice ODFOSFORENJE V ELEKTROOBLOČNI PEČI	91
Vodopivec Franc, M. Kmetič, J. Žvokelj — Metalurški inštitut Ljubljana, M. Gabrovšek — Železarna Jesenice POSKUS SIMULACIJE KONTROLIRANEGA VALJANJA TANKE PLOČEVINE NA REVERZIRNEM KVARTO STROJU	97
Gnamuš Janko — Železarna Ravne PLANETARNA VALJARNA IN RAZVOJ DELOVNIH VALJEV	107
Uranč Franc — Železarna Ravne VPLIV TOPLOTNE OBDELAVE NA ODPORNOST IZVIJAČEV PROTI UPOGIBU IN ZVOJU	111
TEHNIČNE NOVICE Legat Franc — JEKLA ZA VERIGE	115
Legat Franc — JEKLO ZA SIDRNE VERIGE VIŠJIH KVALITET	119
Bezljaj Dragica — POMEMBEN DOSEŽEK ŽELEZARJEV — ČISTEJŠI ZRAK NA JESENICAH	123
OSEBNE VESTI	129

LETO 23 ŠT. 3 — 1989

ŽEZB BQ 23 (3) 85—132 (1989)



ŽELEZARSKI ZBORNİK

Izdajajo skupno Železarne Jesenice, Ravne, Štore in Metalurški inštitut Ljubljana

UREDNIŠTVO

Glavni in odgovorni urednik: J. Arh

Uredniški odbor: A. Kveder, J. Rodič, A. Paulin, F. Grešovnik, F. Mlakar, K. Kuzman, J. Jamar

Tehnični urednik: J. Jamar

Lektor: R. Razinger

Prevodi: A. Paulin, N. Smajić (angleški jezik), J. Arh (nemški jezik), P. Berger (ruski jezik)

NASLOV UREDNIŠTVA: Železarski zbornik, SŽ-Železarna Jesenice, 64270 Jesenice, Yugoslavia

TISK: TK Gorenjski tisk, Kranj

IZDAJATELJSKI SVET:

prof. dr. M. Gabrovšek (predsednik), Železarna Jesenice

dr. B. Brudar, Iskra, Kranj

prof. dr. V. Čižman, Univerza v Ljubljani

prof. dr. D. Drobňjak, Univerza v Beogradu

prof. dr. B. Koroušić, Metalurški inštitut Ljubljana

prof. dr. L. Kosec, Univerza v Ljubljani

prof. dr. J. Krajcar, Metalurški inštitut Sisak

prof. dr. A. Križman, Univerza v Mariboru

dr. K. Kuzman, Univerza v Ljubljani

dr. A. Kveder, Metalurški inštitut v Ljubljani

prof. dr. A. Paulin, Univerza v Ljubljani

prof. dr. Z. Pašalić, Železarna Zenica

prof. dr. C. Pelhan, Univerza v Ljubljani

prof. dr. V. Prosenc, Univerza v Ljubljani

prof. dr. B. Sicherl, Univerza v Ljubljani

dr. N. Smajić, Metalurški inštitut v Ljubljani

prof. dr. J. Sušnik, Zdravstveni dom Ravne

dr. L. Vehovar, Metalurški inštitut Ljubljana

prof. dr. F. Vodopivec, Metalurški inštitut Ljubljana

Published jointly by the Jesenice, Ravne and Štore Steelworks, and The Institute of Metallurgy Ljubljana

EDITORIAL STAFF

Editor: J. Arh

Associate Editors: A. Kveder, J. Rodič, A. Paulin, F. Grešovnik, F. Mlakar, K. Kuzman, J. Jamar

Production editor: J. Jamar

Lector: R. Razinger

Translations: A. Paulin, N. Smajić (English), J. Arh (German), P. Berger (Russian)

EDITORIAL ADDRESS: Železarski zbornik, SŽ-Železarna Jesenice, 64270 Jesenice, Yugoslavia

PRINT: TK Gorenjski tisk, Kranj

EDITORIAL ADVISORY BOARD:

prof. dr. M. Gabrovšek (Chairman), Iron and Steel Works, Jesenice

Dr. B. Brudar, Iskra, Kranj

Prof. Dr. V. Čižman, University of Ljubljana

Prof. Dr. D. Drobňjak, University of Belgrade

Prof. Dr. B. Koroušić, Institute of Metallurgy, Ljubljana

Prof. Dr. L. Kosec, University of Ljubljana

Prof. Dr. J. Krajcar, Institute of Metallurgy, Sisak

Prof. Dr. A. Križman, University of Maribor

Dr. K. Kuzman, University of Ljubljana

Dr. A. Kveder, Institute of Metallurgy, Ljubljana

Prof. Dr. A. Paulin, University of Ljubljana

Prof. Dr. Z. Pašalić, Iron and Steel Works, Zenica

Prof. Dr. C. Pelhan, University of Ljubljana

Prof. Dr. V. Prosenc, University of Ljubljana

Prof. Dr. B. Sicherl, University of Ljubljana

Dr. N. Smajić, Institute of Metallurgy, Ljubljana

Prof. Dr. J. Sušnik, Health Centre, Ravne

Dr. L. Vehovar, Institute of Metallurgy, Ljubljana

Prof. Dr. F. Vodopivec, Institute of Metallurgy, Ljubljana

ŽELEZARSKI ZBORNIK

IZDAJAJO ŽELEZARNE JESENICE, RAVNE, ŠTORE IN METALURŠKI INŠTITUT

LETO 23

LJUBLJANA

SEPTEMBER 1989

Vsebina	Inhalt	Contents	Содержание
Stran	Seite	Page	Страница
B. Koroušič, H. Ploštajner, A. Šteblaj, F. Tehovnik Kontrola kisika in aluminija s kisikovo sondo v kombinaciji z napravo za streljanje Al žice (I. del) UDK: 543.5:669.046.55 ASM/SLA: S11r, EGq, Al, D11r, 1—53, U4k	B. Koroušič, H. Ploštajner, A. Šteblaj, F. Tehovnik Kontrolle von Sauerstoff und Aluminium mit der Sauerstoffmesssonde im Zusammenhang mit der Anlage zur Injektion von Al Draht (I.) UDK: 543.5:669.046.55 ASM/SLA: S11r, BGq, Al, D11r, 1—53, U4k	B. Koroušič, H. Ploštajner, A. Šteblaj, F. Tehovnik Control of Oxygen and Aluminium with Oxygen Probe in Combination with the Equipment for Shooting Al Wire into Melt (I.) UDK: 543.5:669.046.55 ASM/SLA: S11r, BGq, Al, D11r, 1—53, U4k	В. Короушич, Н. Плоштајнер, А. Штеблaj, F. Теховник Контроль кислорода и алюминия с кислородным зондом в комбинации с приспособлением для стрельбы с проволокой из алюминия. (I.) UDK: 543.5:669.046.55 ASM/SLA: S11r, BGq, Al, D11r, 1—53, U4k
N. Smajič, B. Arh, J. Arh Odfosforenje v elektro-obločni peči UDK: 669.046.545.2:669.187.2 ASM/SLA: D11n, EGj42, D5d	N. Smajič, B. Arh, J. Arh Die Entphosphorung im Lichtbogenofen UDK: 669.046.545.2:669.187.2 ASM/SLA: D11n, EGj42, D5d	N. Smajič, B. Arh, J. Arh Dephosphorisation in Electric Arc Furnace UDK: 669.046.545.2:669.187.2 ASM/SLA: D11n, EGj42, D5d	Н. Смајич, В. Арх, J. Арх Дефосфоризация в дуговой электропечи. UDK: 669.046.545.2:669.187.2 ASM/SLA: D11n, EGj42, D5d
F. Vodopivec, M. Gabrovšek, M. Kmetič, J. Žvokelj Poskus simulacije kontroliranega valjanja tanke pločevine na reverzirnem kvarto stroju UDK: 621.771.063.016.2-41 ASM/SLA: F23q, 4—53, W23c, 10—52	F. Vodopivec, M. Gabrovšek, M. Kmetič, J. Žvokelj Ein Versuch der Simulation von kontrolliertem Walzen von Feinblech an einem Reversierquartogerüst UDK: 621.771.063.016.2-41 ASM/SLA: F23q, 4—53, W23c, 10—52	F. Vodopivec, M. Gabrovšek, M. Kmetič, J. Žvokelj Trial to Simulate Controlled Rolling of Thin Sheet on Reversing Four-High Mill UDK: 621.771.063.016.2-41 ASM/SLA: F23q, 4—53, W23c, 10—52	F. Vodopivec, M. Gabrovšek, M. Kmetič, J. Žvokelj Испытание симуляции контролируемого прокатывания стали на реверсивной клети кварто. UDK: 621.771.063.016.2-41 ASM/SLA: F23q, 4—53, W23c, 10—52
J. Gnamuš Planetarna valjarna in razvoj delovnih valjev UDK: 621.771.064:621.771.073.002.2 ASM/SLA: W23c, W23k, F22, J	J. Gnamuš Planetenwalzwerk und die Entwicklung der Arbeitswalzen UDK: 621.771.064:621.771.073.002.2 ASM/SLA: W23c, W23k, F22, J	J. Gnamuš Planetary Mill and Development of Working Rolls UDK: 621.771.064:621.771.073.002.2 ASM/SLA: W23c, W23k, F22, J	J. Gnamuš Планетарный стан и развитие рабочих валков. UDK: 621.771.064:621.771.073.002.2 ASM/SLA: W23c, W23k, F22, J
F. Uranc Vpliv toplotne obdelave na odpornost izvijačev proti upogibu in zvoju UDK: 620.17:621.785:669.14.018.29 ASM/SLA: Q1, Q5, AY, T6p, 2—64	F. Uranc Einfluss der Wärmebehandlung auf die Widerstandsfähigkeit gegen Biegung und Torsion UDK: 620.17:621.785:669.14.018.29 ASM/SLA: Q1, Q5, AY, T6p, 2—64	F. Uranc Influence of Heat Treatment on the Bend and Twist Resistance of Screwdrivers UDK: 620.17:621.785:669.14.018.29 ASM/SLA: Q1, Q5, AY, T6p, 2—64	F. Uranc Влияние термической обработки на стойкость отвёрток в отношении на напряжение изгиба и скручивания. UDK: 620.17:621.785:669.14.018.29 ASM/SLA: Q1, Q5, AY, T6p, 2—64
Tehnične novice 115	Technische Nachrichten 115	Technical News 115	Технические новости 115
Osebnе vesti 129	Persönliche Nachrichten 129	Personal News 129	Личные сведения 129

Kontrola kisika in aluminija s kisikovo sondo v kombinaciji z napravo za streljanje Al žice (1. del)

B. Koroušič¹, H. Ploštajner², A. Šteblaj³, F. Tehovnik¹

UDK: 543.5.:669.046.55
ASM/SLA: S11r, EGq, Al, D11r, 1—53, U4k

Opisano je trenutno stanje merilne tehnike za direktno določevanje aktivnega kisika v slovenskih železarnah. Metoda kisikove sonde se danes uporablja kot rutinska tehnika, ki je postala še bolj aktualna z uvedbo ponovne metalurgije v sodobne jeklarne.

Opisane so standardne komercialno izdelane sonde, firme FERROTRON in ELECTRONITE, in poudarjene njihove osnovne značilnosti. Izpeljana je matematična odvisnost med aktivnostjo kisika, temperaturo taline in vsebnostjo topnega aluminija v talini ter izvršena primerjava s praktičnimi rezultati merjenja s sondami FOX v železar- ni Štore.

V zadnjih 10 letih so jeklarji dokončno spoznali, da je ena od ključnih nalog ponovne metalurgije natančna kontrola dezoksidacije jekla. Čim bolj se zaostrujejo zahteve po višji kvaliteti jekla (čisto jeklo) ob istočasnem znižanju proizvodnih stroškov, tem bolj postaja aktualno vprašanje natančne nastavitve načrtovane vsebnosti aluminija v tekočem jeklu¹.

Direktno merjenje aktivnosti kisika v talini s komercialnimi sondami je danes rutinsko opravilo, ki skupaj s sodobnimi metodami dodajanja (streljanja) Al in drugih dodatnih materialov predstavlja novo tehnologijo v sodobnih jeklarnah.

Oprema za uspešno izvajanje direktnega merjenja kisika in hitro določevanje aluminija v tekočem jeklu

V številnih publikacijah v strokovni literaturi, kakor tudi nekaterih prispevkih avtorja in sodelavcev, je natančno opisana metoda merjenja kisika s komercialnimi sondami.

Želeli bi pokazati nekatere značilnosti uporabe kisikovih sond v slovenskih železarnah in poudariti bistvene značilnosti današnjega stanja.

Železarna Jesenice:

Prvo komercialno sondo tipa FOX je nabavila Železarna Jesenice že leta 1979 od firme Keller (Zahodna Nemčija). Kisikova sonda je bila zgrajena po sodobnem konceptu:

standardna elektroda: Cr/Cr₂O₃
Mo-elektronski vodnik
digitalna obdelava signalov: T, E, a₀

S to sondo so bile izvršene številne meritve zlasti pri izdelavi avtomatnih jekel ter drugih nizko legiranih jekel in se še danes uspešno uporablja, zlasti v raziskovalne namene.

V letu 1986 je nabavljena nova kisikova sonda tipa CELOX, firme Elektro-nite.

To je sodobna izvedba sonde, ki uporablja t. i. Celox-sonde, kar pomeni, da ima kot referenčno elektrodo — Cr/Cr₂O₃, Fe — je elektronski vodnik, digitalna obdelava signalov: T, E, a₀

Merilna naprava ima vgrajen algoritem za direktno preračunavanje aktivnosti kisika v vsebnost topnega aluminija. Sonda je inštalirana v stari jeklarni in je namenjena predvsem za hitro določevanje vsebnosti Al v jeklih, ki se odlivajo na konti-napravi.

Železarna Ravne:

Za potrebe občasnih meritev pri uvajanju novih kvalitet in iskanju vzrokov za motnje pri izvajanju tehnologije uporablja železarna Ravne starejšo izvedbo kisikove sonde tipa FOX-FT03, firme Ferrotron.

Karakteristike sonde so:

referenčna elektroda: Cr/Cr₂O₃
elektronski vodnik: C + Al₂O₃
digitalna obdelava signalov: T, E, a₀

Železarna Štore:

V letu 1986 je nabavljena nova, najmodernejša izvedba kisikove sonde tipa FOX-FT05, firme Ferrotron. Sonda ima vgrajen manjši računalnik, ki omogoča editiranje osnovnih enačb, kar močno razširja njeno uporabo.

Karakteristike sonde so:

referenčna elektroda: Cr/Cr₂O₃
elektronski vodnik: C + Al₂O₃
digitalna obdelava signalov: T, E, a₀

Zaradi 4-kanalne izvedbe sonda omogoča uporabo različnih tipov sond (FOX, CELOX, POLDI).

¹ — Blaženko Koroušič, dr. mag., dipl. ing. met., Franc Tehovnik, dipl. ing. met., Metalurški inštitut, Lepi pot 11, 61000 Ljubljana

² — Hinko Ploštajner, dipl. ing. met., Železarna Štore, Štore

³ — Anton Šteblaj, dipl. ing. met., Železarna Jesenice, 64270 Jesenice

** Originalno publicirano: ŽZB 23, 1989, 3

*** Rokopis prejet: 1989-05-05

Metalurški inštitut — Ljubljana:

V letu 1983 je bila nabavljena kisikova sonda tipa FOX-FT03 z vgrajenim algoritmom za preračunavanje Al. Vse druge karakteristike so identične, kot pri sondi v železarni Ravne.

Principi merjenja aktivnega kisika — karakteristike komercialnih sond

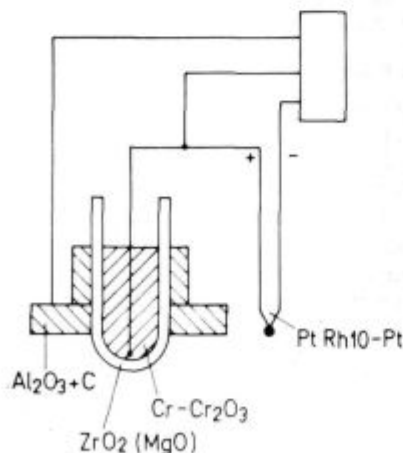
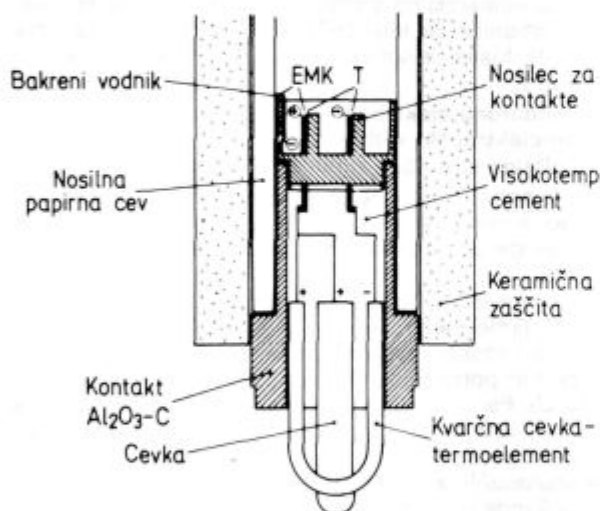
V Evropi sta danes dejansko le dva proizvajalca komercialnih kisikovih sond in opreme:

1. Ferrotron (Zahodna Nemčija)
2. Electronite (Belgija)

Bistvene razlike med obema sondama ni, toda obstajajo nekatere karakteristike sond, ki otežkočajo substitucijo sond. (Uporaba merilnih glav enega proizvajalca z merilnim sistemom drugega proizvajalca).

Oglejmo si osnovne karakteristike obeh merilnih sistemov:

FERROTRON - SONDA



Slika 1.

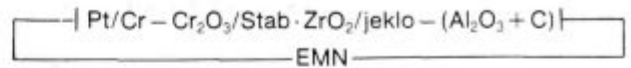
Princip merjenja aktivnega kisika v tekočem jeklu s sondo FOX (FERROTRON), Zah. Nemčija)

Fig. 1

Principle of measuring active oxygen in molten steel with probe FOX (FERROTRON), West Germany

FERROTRON (FOX-SONDA)

Princip merjenja s FOX-sondo je razviden s slike 1. Osnovna merilna celica je:

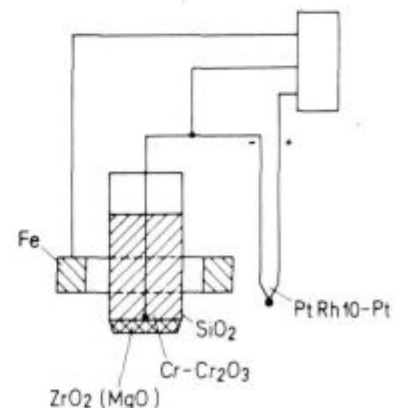
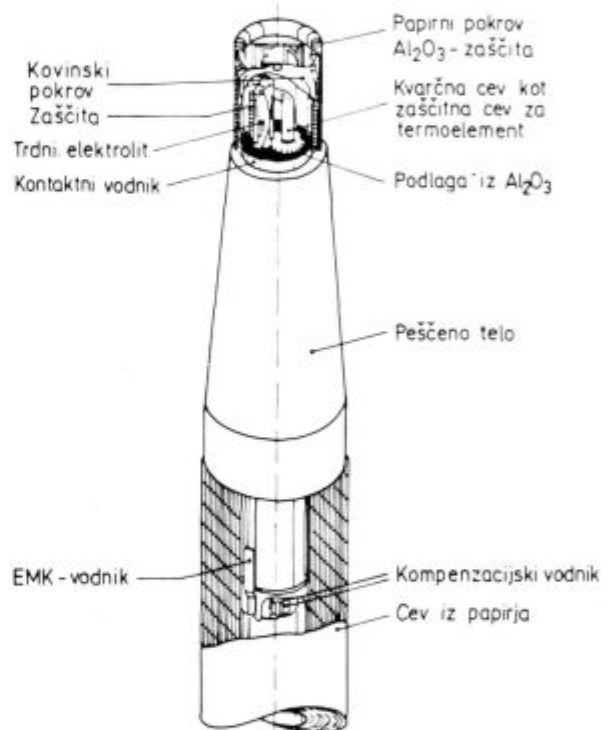


Ker istočasno z merjenjem kisika izvršimo tudi merjenje temperature, na pr. s Pt—PtRh 10, nastane merilna celica, ki jo vidimo na spodnjem delu slike 1.

ELECTRONITE (CELOX-SONDA)

Po svoji konstrukcijski izvedbi je sonda CELOX zgrajena na podoben način kot FOX sonda. Bistvena razlika pa je v načinu vezave kisikove celice in termoelementa.

CELOX - SONDA



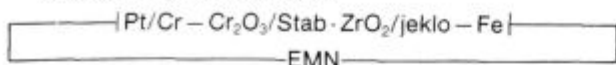
Slika 2.

Princip merjenja aktivnega kisika v tekočem jeklu s sondo CELOX (Electronite, Belgija)

Fig. 2

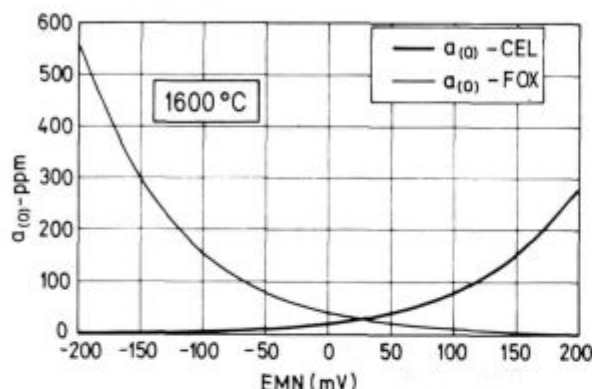
Principle of measuring active oxygen in molten steel with probe CELOX (Electronite, Belgium)

Osnovna merilna celica je:



Tudi termopari so v glavnem enaki kot pri sondi FOX, na pr. standardna izvedba Pt-PtRh10. Toda razlika nastane v načinu vezave merilne celice kisika in termoelementa, kot je to razvidno s **slike 2**.

Da bi ponazorili razliko med obema sistemoma, smo izvršili primerjavo vpliva aktivnega kisika v talini na EMN pri konstantni temperaturi.



Slika 3.

Teoretična odvisnost med signalom sonde EMN (mv) in aktivnostjo kisika za sonde FOX in CELOX

Fig. 3

Theoretical relationship between E. M. F. (mV) signal of probe and the oxygen activity for FOX and CELOX probes

Rezultati izračunavanja so prikazani na **sliki 3**. Kot je iz priloženih rezultatov razvidno pri sondi CELOX in v stanju dezoksidirane taline, sonda daje visoko negativno vrednost EMN (mV), kar pomeni, da so vrednosti aktivnosti kisika zelo nizke. Pri sondi FOX bodo ti odnosi ravno nasprotni.

Pri izračunavanju obeh enačb smo upoštevali vpliv elektronske prevodnosti, sicer bi bili izračunani podatki zlasti pri nizki vsebnosti kisika (dezoksidirana talina) močno popačeni.

Povezava med aktivnostjo kisika in vsebnostjo topnega aluminija

Kot je znano, v jeklu, dezoksidiranem z aluminijem, aktivnost kisika v talini kontrolira aluminij, raztopljen v talini po reakciji:



Ravnotežno konstanto za to reakcijo v področju $1 \leq \text{Al}(\text{ppm}) \leq 1000$ lahko zapišemo v obliki:

$$\log K_{\text{Al}} = \log \frac{a_{\text{Al}_2\text{O}_3}}{a_{\text{Al}}^2 \cdot a_{\text{O}}^3} = \frac{62780}{T} - 20.41 \quad (2)$$

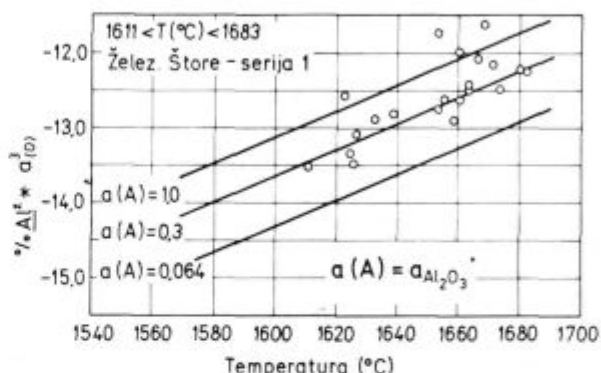
Aktivnost oksida $a_{\text{Al}_2\text{O}_3}$ je pri normalno pomirjenem jeklu z aluminijem $a_{\text{Al}_2\text{O}_3} = 1$, medtem ko pri obdelavi taline s Ca-zlitinami lahko dobimo termodinamične vrednosti tudi manjše kot 1. Po podatkih Rein and Chipman v binarnem sistemu CaO - Al_2O_3 imamo lahko različne vrednosti za $a_{\text{Al}_2\text{O}_3}$:

Sestava	$a_{\text{Al}_2\text{O}_3}$
Vključki, nasičeni s CaO	0.005
Vključki, sestave 50:50 CaO : Al_2O_3	0.064
Vključki, nasičeni z aluminati	0.30

Iz teh podatkov sledi zaključek, da je korelacija med % Al in a_{O} odvisna poleg temperature še od načina obdelave taline. Za ilustracijo smo izvršili izračun topnostnega produkta z $\% \text{Al}^2 \cdot a_{\text{O}}^3$ kot funkcija teh parametrov:

$$\log \% \text{Al}^2 \cdot a_{\text{O}}^3 = -\frac{62780}{T} + 20.41 + \log a_{\text{Al}_2\text{O}_3} \quad (3)$$

Rezultati izračunavanja so prikazani v grafični obliki na **sliki 4**. Skupaj s teoretičnimi izračuni zasledimo tudi rezultate praktičnih meritev v železarni Štore, ki so obravnavani pri analizi rezultatov.



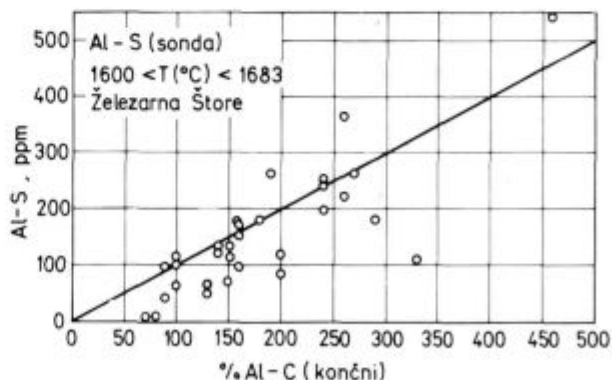
Slika 4.

Teoretična odvisnost produkta topnosti — $\% \text{Al}^2 \cdot a_{\text{O}}^3$ od temperature za tri različne vrednosti aktivnosti — $a_{\text{Al}_2\text{O}_3}$ (= 1.0, 0.3, 0.064)

Fig. 4

Theoretical relationship between the solubility product — $\% \text{Al}^2 \cdot a_{\text{O}}^3$ and the temperature for three various values of $a_{\text{Al}_2\text{O}_3}$ (= 1.0, 0.3, 0.064)

Za postavitev realnega algoritma, s pomočjo katerega lahko izračunamo vsebnosti Al na osnovi znanih podatkov o aktivnosti kisika in temperature taline, smo izvršili še primerjavo med teoretično izpeljano enačbo — med % Al, kisikom in temperaturo — in dejansko izmerjenimi vrednostmi (način merjenja in ostali podatki bodo opisani v naslednjem poglavju). Rezultati so razvidni s **slike 5**.

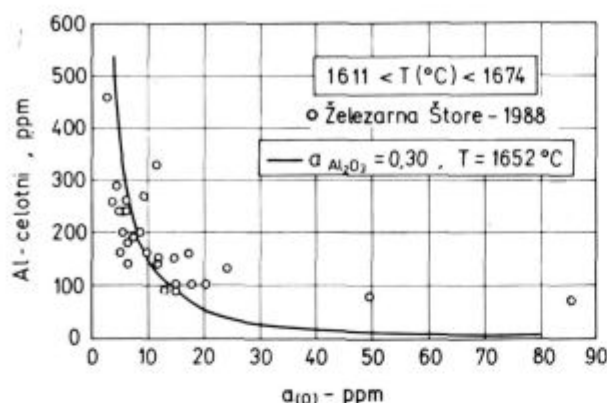


Slika 5.

Primerjava celotnega aluminija vzeteza iz KL — gredice in napovedanega topnega aluminija v ponovci, pred streljanjem Ca-Si v ponovco

Fig. 5

Comparison between the total aluminium taken from KL billet and the forecast soluble aluminium in ladle before shooting Ca-Si into ladle



Slika 6.

Primerjava teoretično izpeljane odvisnosti med % Al in a_O za povprečno temperaturo $T = 1652^\circ\text{C}$ in $a_{\text{Al}_2\text{O}_3} = 0.30$ in rezultati praktičnih meritev v Železarni Štore (celotni Al v KL — gredici)

Fig. 6

Comparison of the theoretically deduced relationship between % Al and a_O for an average temperature $T = 1652^\circ\text{C}$ and $a_{\text{Al}_2\text{O}_3} = 0.30$, with the results of practical measurements in Štore Ironworks (total Al in KL billets)

Teoretično izpeljano relacijo lahko zapišemo v obliki:

$$\lg \% \text{ Al} = 15.943 - \frac{31390}{T} - 1.5 \cdot \lg a_O \quad (\text{v ppm}) \quad (4)$$

Primer: $T = 1652^\circ\text{C}$, $a_O = 10$ ppm

$$\lg \% \text{ Al} = 15.943 - \frac{31390}{1652 + 273} - 1.5 \cdot \lg (10) = -1.8635$$

$$\text{Al} = 0.0137 \%$$

Direktno primerjavo rezultatov lahko vidimo na sliki 6, ki kaže dejansko dobljene vrednosti celotnega aluminija (analiza iz gredice) in napovedanega topnega aluminija v ponovci (na osnovi algoritma — glej enačbo 4).

Pri tem je treba poudariti, da je bila meritev s sondo izvršena pred streljanjem CaSi-žice v količinah 0.6—0.8 kg/t.

Končni cilj uporabe kisikove sonde oziroma meritev kisika v ponovci pred obdelavo taline s Ca-Si je nastavitve primerne vsebnosti topnega aluminija.

Pri izdelavi jekel z vsebnostjo ogljika med 0.25—0.60 % želimo imeti načrtovano vsebnost aluminija že pred prebodom, kar je zagotovilo, da ne bodo nastopile težave s »penjenjem taline«.

V primerih, ko ta cilj ni dosežen, moramo izvršiti korekturo vsebnosti aluminija z dodatkom v ponovco (v obliki Al-zvezdic ali s steljanjem Al-žice).

ZAKLJUČKI

Opisano je trenutno stanje na področju direktnega merjenja kisika in določevanja topnega aluminija v tekočem jeklu z uporabo kisikovih sond v slovenskih železarnah.

Sodobne kisikove sonde in spremljajoča merilna tehnika (npr. firme FERROTRON iz Zahodne Nemčije) omogočajo fleksibilno prilagajanje zahtevam uporabnika. Tako je mogoče z določenimi software-skimi pristopi merilno napravo adaptirati za sonde različnih izdelovalcev.

Na kratko je opisana merilna naprava in principi kisikovih sond dveh najbolj znanih proizvajalcev tovrstne opreme: firme FERROTRON, Moers, ZRN in ELECTRO-NITE, Belgija.

Izpeljana je matematična oblika povezave aktivnosti kisika z vsebnostjo topnega aluminija. Primerjava te odvisnosti z empirično ugotovljenimi rezultati: $\text{Al}(t) = f(a_O)$ kaže, da lahko ugotovljeni algoritem koristno vprogramiramo v merilno napravo in namesto aktivnega kisika »merimo« direktno topni aluminij.

V drugem delu članka bomo opisali uporabo metode merjenja topnega aluminija preko kisikove sonde pri optimizaciji dezoksidacije jekla v ponovci, da bi dosegli načrtovane vsebnosti Al, pri čemer je osnova uporaba stroja za streljanje Al-žice v talino.

LITERATURA

1. Turkdogan, E. T., R. J. Fruehan: Review of oxygen sensors for use in steelmaking and of deoxidation equilibria, In "Ladle metallurgy principles and practices, AIME, Iron Steel Institute, (1985)
2. Prospekt firme Ferrotron, Moers., Zahodna Nemčija (1987)
3. Prospekt firme Electro-Nite, Houthalen, Belgija (1987)
4. Turkdogan, E. T., Arch. Eisenhuettenwes., 54 (1983)
5. Rein, R. H., J. Chipman: Tran. AIME, 1965, 233, 415—425
6. Koroušič, B., A. Šteblaj, H. Ploštajner, F. Tehovnik: Poročila Metalurškega inštituta v Ljubljani, (1988) Nač. 88—21

ZUSAMMENFASSUNG

Der jetzige Stand am Gebiet der direkten Sauerstoffmessung und der Bestimmung von gelöstem Aluminium im Stahlbad mit den Sauerstoffmesssonden in slowenischen Hüttenwerken wird beschrieben.

Die zeitlichen Sauerstoffmesssonden und die moderne Messtechnik (Z. B. der Firma Ferrotron aus der BRD) ermöglichen eine flexible Anpassung den Forderungen der Verbraucher. So ist es möglich mit bestimmten Software Zutritten die Messapparatur für Sonden verschiedener Hersteller zu adaptieren.

Es werden im kurzen die Messapparatur und der Prinzip der Sauerstoffmesssonden zwei gut bekannter Hersteller der Firma Ferrotron Moers, BRD und Elektronite, Belgien beschrieben.

Die mathematische Form der Verbindung der Sauerstoffaktivität mit dem Gehalt von löslichem Aluminium ist ausgeführt worden. Der Vergleich dieser Abhängigkeit mit den empirisch bestimmten Ergebnissen: $Al(t) = f(a_O)$ zeigt, dass der festgelegte Algorithmus nützlich in die Messapparatur einprogrammiert werden kann, und statt des aktiven Sauerstoffgehaltes direkt löslicher Aluminium gemessen werden kann.

Im zweiten Teil dieses Artikels wird die Anwendung der Messmethode für die Messung von löslichem Aluminium über die Sauerstoffmesssonde bei der Optimierung der Desoxydation von Stahl in der Pfanne beschrieben, mit dem Ziel den gezielten Al Gehalt durch die Injektion von Al-Draht ins Stahlbad zu erreichen.

SUMMARY

The present state in the field of direct measuring oxygen and determining soluble aluminium in molten steel with oxygen probes as used in Slovene Ironworks is described.

Modern oxygen probes and accompanying measuring techniques (e. g. FERROTRON, West Germany) enable flexible adjusting to the consumer demands. Thus the measuring equipment can be with some software adjustments adapted for probes of various manufacturers.

The measuring equipment and the principles of oxygen probes of two the most known manufacturers of such equipment: FERROTRON, Moers, West Germany, and ELECTRONITE, Belgium was described in short lines.

Mathematical form of connection between the oxygen activity and content of soluble aluminium was deduced. Comparison of this relationship with the empirically determined results: $Al(t) = f(a_O)$ shows that the determined algorithm can be successfully programmed into the measuring equipment and instead of measuring active oxygen the soluble aluminium can be measured directly.

In the second part of the paper the application of the measuring techniques for soluble aluminium with oxygen probe will be described for the optimization of steel deoxidation in ladle in order to achieve the desired Al content with the equipment for shooting Al wire into the melt.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Дано описание теперешнего состояния в области непосредственного измерения кислорода и определения растворимого алюминия в жидкой стали при употреблении кислородных зонд в Словенских металлургических заводах.

Современные кислородные зонды и сопровождающая измерительная техника (нпр. от фирмы ФЕРРОТРОН из Западной Германии) дают возможность изменяемый прístup и принаравливание для зонд различных изготовителей.

Коротко дано описание измерительного прибора и принципа действия кислородных зонд двух больше всего известных изготовителей относящийся к этому оборудованию: фирма ФЕРРОТРОН, Моерс, ФРГ и ЭЛЕКТРОНИТЕ, БЕЛЬГИЯ.

Приведена математическая форма связи активности кис-

лорода с содержанием растворяющего алюминия. Подано сравнение этой зависимости с эмпирическими результатами: $Al(t) = f(a_O)$ что указывает на возможность определения алгоритма можно с пользой включить к измерительному прибору и взамен активного кислорода мы непосредственно выполняем измерение растворяющий алюминий.

В другой части статьи приводим описание применение метода измерения растворяющего алюминия через кислородный зонд при оптимизации раскисления в ковше с целью, чтобы получить желаемое содержание содержание алюминия причём как основа служит применение машина для стрельбы алюминиевой проволоки в расплав.



SLOVENSKE ŽELEZARNE
METALURŠKI INŠTITUT
LJUBLJANA, LEPI POT 6

KAJ JE METALURŠKI INŠTITUT

Metalurški inštitut je delovna organizacija v okviru SOZD Slovenske Železarne, po statutu pa je osrednja raziskovalna organizacija vse slovenske metalurgije in livarstva. Inštitut razvija vse aktivnosti, ki so potrebne za raziskovalno delo, torej raziskave osnovnega, razvojnega in uporabnega značaja, pilotno proizvodnjo posebnih materialov, je soizdajatelj strokovnega časopisa, prireja strokovna srečanja in seminarje, dela različne strokovne ad hoc usluge za industrijo s področja kakovosti in uporabe kovinskih materialov, goji stike z raziskovalnimi organizacijami pri nas in v inozemstvu, sodeluje v programih in projektih Raziskovalne skupnosti Slovenije, v projektih usmerjenih v tehnološki razvoj Jugoslavije ter v projektih mednarodnega sodelovanja z zahodno in vzhodno Evropo in ZDA.

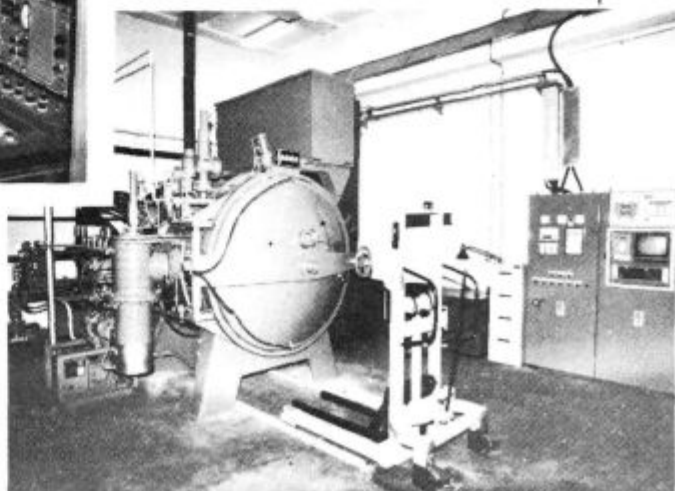
PROGRAM DELA IN OPREMA

Program raziskovalnega dela posega v naslednja področja: razvoj sodobnih masovnih kovinskih materialov in tehnologije njihove izdelave in predelave, razvoj in pilotna proizvodnja posebnih materialov za elektroniko, fizikalno-metalurško in kemijsko-analitsko karakterizacijo materialov, matematično modeliranje in računalniško krmiljenje procesov ter racionalna uporaba energije in surovin v metalurški industriji. Skladno s programom dela ima laboratorije za mikrostrukturne, fizikalne, mehanske preiskave in za analitiko kovinskih materialov ter za pilotno proizvodnjo. Med raziskovalnimi aparaturami najdemo peči za taljenje vseh vrst kovin na zraku in v vakuumu, naprave za predelavo teh kovin v trak, palice in žico, napravo za atomizacijo kovin, optične mikroskopi in vrstični (scanning) elektronski mikroskop za mikrostrukturne raziskave, elektronski mikroanalizator, dilatometer, naprave za preizkušanje kovin s statično in dinamično obremenitvijo pri visokih temperaturah, naprave za termično obdelavo, med njimi najsodobnejšo vakuumsko visokotemperaturno kalilno žarilno peč ter različne sodobne analitske naprave, na primer aparature za atomsko absorpcijsko spektrometrijo in emisijski spektrometer.



Pogled na vrstični elektronski mikroskop z napravo za elektronsko mikroanalizo in analizo slike

V teku je dobava naprave za vlivanje amorfnih trakov, ki bo skupaj z napravo za atomizacijo in izostatsko stiskanje, ki jo je inštitut nabavil skupno z inštitutom J. Stefan omogočila laboratorijsko sintezo najsodobnejših kovinskih materialov. Prav v tem letu se bo začel tudi uresničevati projekt pilotne proizvodnje usmerjen v izdelavo palic in žic iz posebnih materialov po tehnologiji računalniško vakuumskega kaljenja in kontinuirnega litja.



Pogled na računalniško krmiljeno vakuumsko žarilno kalilno peč

Odfosforenje v elektroobložni peči

N. Smajič*¹, B. Arh*¹ in J. Arh*²

UDK: 669.046.545.2:669.187.2
ASM/SLA: D11n, EGj42, D5d

Pri 47 šaržah smo raziskovali vpliv 22 parametrov na obseg in kinetiko odfosforenja v elektroobložni peči. Pri 14 šaržah smo dodajali samo apno oz. apno in apnenec, pri 22 smo dodajali poleg apna še uvoženo rudo, pri 11 šaržah pa smo namesto uvožene rude dodajali odpadno škajo. Najboljši rezultati so bili doseženi z dodajanjem škaje. Rezultati so bili analizirani z metodami statistične analize. S takomenovano koračno regresijsko analizo smo ugotovili, da sta za dobro odfosforenje v naših pogojih pomembni le dve spremenljivki, in sicer vsebnost CaO in vsebnost FeO v žilindri. Porazdelitev fosforja med žilindro in jeklom je opredeljena z regresijsko enačbo:

$$\log \frac{(\% P)}{(\% P)} = -6,78 + 3,49 \log (\% CaO) + 2,10 \log (\% FeO)$$

Koeficient multikorelacije $r = 0,923$.

Ugotovili smo optimalne tehnološke pogoje za zanesljivo, učinkovito in hitro odfosforenje v elektroobložni peči v delovnih pogojih železarne Jesenice.

UVOD

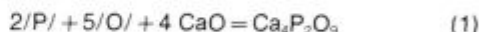
Problem fosforja v jeklu je bil uspešno razrešen leta 1878, ko je Sidney Thomas pokazal, da je z uporabo bazične žilindre in obloge možno doseči tolikšno porazdelitev fosforja med žilindro in jeklom, ki zagotavlja zadosti nizko končno vsebnost fosforja v jeklu tudi takrat, ko je izhodna vsebnost (v grodlju) zelo velika. Literatura (1—27), ki se ukvarja s problemom odfosforenja, obravnava praviloma konvertorsko proizvodnjo jekla, kar je tudi razumljivo. Kljub pomembnemu zvišanju produktivnosti elektrojeklarn z uvedbo UHP peči in ponovčne metalurgije je produktivnost sodobnih konvertorskih jeklarn nesporno večja. Dodajmo k temu še dejstvo, da se stalno izboljšuje kvaliteta konvertorskega jekla, in sicer zaradi napredka na področju dezoksidacije, obdelave s kalcijem in litja pod zaščito argona. Tako danes v sodobnih konvertorskih jeklarnah izdelujejo tudi najbolj kvalitetna jekla, ki jih je do nedavnega bilo možno izdelati le v elektropeči. Problemu odfosforenja v elektroobložni peči se v zadnjem času posveča več pozornosti, delno zaradi zahtev po čistejšem jeklu oz. znižanju dopustne vsebnosti fosforja, delno pa zaradi močnega pritiska k povečanju produktivnosti elektrojeklarn, posebno za UHP peči. Posebno kritično je stanje pri nerjavnih jeklih,

pri katerih je odfosforenje praktično nemogoče. Zaradi tega vsebnost fosforja v nerjavnih jeklih stalno narašča. Fosfor je v naših nerjavnih jeklih sedaj že na zgornji dopustni meji, kar zahteva nujne in učinkovite ukrepe za ustavitve nadaljnje akumulacije fosforja in njegovo postopno znižanje v naših nerjavnih jeklih.

V pomirjenih jeklih lahko dosežemo zadosti nizek fosfor z dvožilindrnim postopkom ob ustrezni porabi apna, apnenca, jedavca in uvožene rude ali z uporabo sintetičnih žilinder, kot je npr. Dephosphex. Vendar je to zvezano s padcem produktivnosti, manjšim izkoristkom Fe iz vložka in večjimi stroški in je posebno neracionalno v primeru UHP peči, kjer je nujno potrebno zagotoviti dobro in hitro odfosforenje že v fazi taljenja. Le tako bo UHP peč maksimalno izkoriščena, ker bi metalurško operacijo odfosforenja izvajali med taljenjem, torej brez negativnega učinka na produktivnost. Vse ostale metalurške operacije pa morajo potekati v agregatih ponovčne metalurgije, kot so ponovčna peč, VAD, VOD, TN, ipd. Pri nepomirjenih jeklih lahko tudi odfosforenje prenesemo v ponovco, saj je znano (25—27), da je v ponovci možno znižati vsebnost fosforja v nepomirjenem jeklu od 0,035 % do 0,010 % P z oksidacijsko žilindro. V slovenskih železarnah pa še nimamo izkušnje ne na področju učinkovitega odfosforenja v elektropeči ne na področju taljenja niti na področju odfosforenja nepomirjenih jekel v ponovci. Zaradi tega je potrebno v slovenskih železarnah posvetiti večjo pozornost problemom odfosforenja ter poiskati optimalne rešitve ob upoštevanju naših specifičnih razmer.

Izhodišče in delovna hipoteza

S stališča metalurške termodinamike in teorije metalurških procesov odfosforenje ne predstavlja posebnega problema. Fosfor, raztopljen v staljenem železu ali jeklu, ima namreč razmeroma visoko afiniteto do kisika. Fosfor torej oksidira v fosfor pentoksid (P_2O_5), katerega aktivnost začne naraščati, dokler ne doseže tolikšne vrednosti, da se oksidacija fosforja ustavi. Če pa dodamo apno, s katerim reagira fosfor pentoksid v $3 CaO \cdot P_2O_5$ oz. v $4 CaO \cdot P_2O_5$, aktivnost P_2O_5 v žilindri pade in se oksidacija fosforja lahko nadaljuje. Proces lahko opišemo z naslednjo enačbo:



$$\Delta G^\circ = -348950 + 146,10 T \quad (1 a)$$

Če upoštevamo, da je nosilec kisika FeO, tj. če upoštevamo reakcijo $(FeO) = Fe + /O/$,

$$(2)$$

lahko opišemo proces prenosa fosforja iz taline v žilindro z reakcijo:



$$\Delta G^\circ = -204450 + 83,55 T \quad (3 a)$$

*¹ Nijaz Smajič, dr. mag. dipl. ing. met.

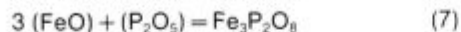
Bojan Arh, dipl. ing. met., Metalurški inštitut, Lepi pot 11, 61000 Ljubljana

*² Joža Arh, dipl. ing. met., Železarne Jesenice, 64270 Jesenice

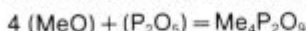
** — Originalno publicirano: ŽZB 23, 1989, 3

*** — Rokopis prejet 1989-05-05

Fosfor pentoksid lahko reagira pod določenimi pogoji tudi z MgO, MnO in celo FeO. Pri tem lahko potekajo naslednje reakcije odfosforenja:



Nastopajo lahko tudi analogne reakcije:



Pri tem je treba poudariti, da je afiniteta CaO do P_2O_5 tolikšna, da pri zadostni vsebnosti CaO v žlindri — po nekaterih izračunih (5) že pri 24 % CaO — MgO nima več nobenega vpliva na odfosforenje. Seveda to še bolj velja za MnO in FeO.

V novejšem času (1, 2, 3, 5) ionska teorija žlindre precej uspešno pojasnjuje potek odfosforenja. Po tej teoriji je žlindra zmes kationov in anionov. Baze CaO, MgO, MnO in FeO disociirajo v katione Ca^{2+} , Mg^{2+} , Mn^{2+} , Fe^{2+} in kisikove anione O^{2-} , ki s kislimi oksidi dajejo kompleksne kisikove anione, npr.



V bazičnih žlindrah imamo prebitek kisikovih anionov, tim. proste kisikove anione, ki so merilo bazičnosti žlindre. Izhajajoč iz ionske teorije je izpeljal izraz G. W. Healy (5):

$$\log \frac{(\% \text{ P})}{\% \text{ P}} = \frac{22350}{T} - 24,0 + 7 \log \% \text{ CaO} + 2,5 \log \% \text{ FeO} \quad (8)$$

Porazdelitev fosforja med žlindro in Fe talino je torej možno izračunati z enačbo (8), če poznamo temperaturo ter vsebnosti CaO in FeO v žlindri. Analiziral je več kot 100 industrijskih šarž, izdelanih v 80-tonski martinovski, 30-tonskem LD konvertorju in 230-tonskem konvertorju ter ugotovil zelo dobro korelacijo med enačbo (8) in dejanskimi rezultati.

Sedanje stanje teoretskih osnov odfosforenja, ki smo jih podali v zelo skrajšani obliki, nam je rabilo za izhodišče. Kot izhodišče v ožjem pomenu besede, tj. za delovno hipotezo, smo sprejeli, da je za dobro, tj. hitro in učinkovito odfosforenje, že med talenjem v elektropeči potrebno čim hitreje ustvariti zadostno količino žlindre primerne bazičnosti. To pomeni, da moramo čimprej založiti potrebno količino apna. Ker je topnost apna v žlindri, ki vsebuje le malo FeO, močno omejena, in ker FeO nastane šele med pihanjem kisika, med talenjem nimamo pogojev, ki so potrebni za dobro odfosforenje, ne glede na količino dodanega apna. Kosi apna namreč plavajo po površini žlindre in se le počasi raztapljajo, tako kot narašča vsebnost FeO v žlindri. Če pa ob apnu dodamo tudi FeO v obliki škaje, se bo dodano apno hitreje raztapljalo, kar pomeni, da lahko že med talenjem dobimo veliko količino (dodatek apna in škaje) bazične žlindre z visoko vsebnostjo FeO še pred začetkom pihanja kisika. V tem primeru lahko pričakujemo dobro odfosforenje že med talenjem.

Potrebno je torej zagotoviti naslednje ugodne pogoje:

- veliko bazičnost žlindre,
- visok oksidacijski potencial žlindre,
- čim nižjo temperaturo,
- nizko tališče žlindre, kar lahko dosežemo z dodatkom Fe rude ali škaje, boksita, jedavca, itd.,
- dobro tekočo žlindro — po potrebi dodatek CaF_2 ,

— mehko žgano, tj. dobro reaktivno apno primerne granulacije,

- nizko vsebnost Si, Mn in C v vložku,
- čim hitrejšo tvorbo žlindre, tj. raztapljanja apna,
- zadostno količino žlindre,
- preprečimo redukcijo fosforja iz žlindre nazaj v talino, tj. pravočasno odlitje ali sprotno iztekanje prve žlindre, kar je posebno pomembno pri visoki vsebnosti Si, Mn in C v vložku.

NAČRT DELA

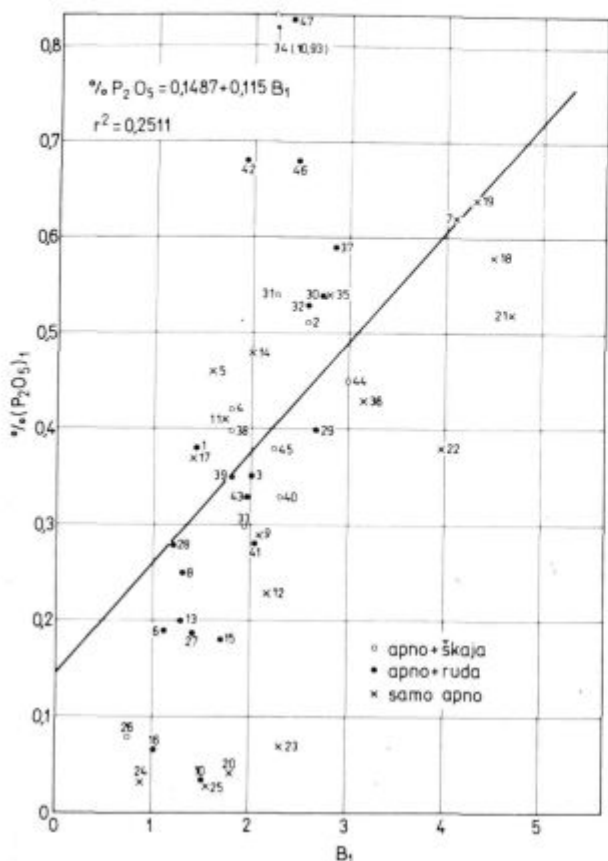
Delovni načrt je predvideval izdelavo približno 50 šarž, in sicer na tri različne načine. Približno tretjino šarž smo izdelali brez sprememb vsakdanjega načina dela, tj. z običajnim dodatkom apna oziroma apna in apnenca. Pri drugi tretjini smo dodali še posebno čisto, tj. uvoženo rudo, kar je običajna praksa pri izdelavi jekel z nizkim fosforjem, npr. pod 0,015 % P oz. v primerih, ko je vsebnost fosforja ob raztalitvi zaradi nečistega vložka posebno visoka. Preostalo, tj. tretjo tretjino smo sklenili izdelati tako, da bi poleg apna dodali še odpadno škajo, in sicer že med zalaganjem, tj. vsaj v predzadnjo košaro. Celotno odfosforenje smo razdelili na primarno, ki poteka med talenjem, ter sekundarno, ki poteka od raztalitve do konca oksidacije. Kot merilo uspešnosti primarnega odfosforenja smo uporabili koeficient porazdelitve fosforja med žlindro in jeklom ob raztalitvi. Za merilo sekundarnega odfosforenja smo uporabili stopnjo odfosforenja, ki smo jo opredelili kot procentni delež fosforja, ki smo ga odpravili iz taline v žlindro med oksidacijo, kar smo lahko izračunali za vsako šaržo iz razlike vsebnosti fosforja v jeklu ob raztalitvi ter po oksidaciji. Opazovali smo 22 spremenljivk pri vsaki šarži. Pregled in definicija vseh opazovanih spremenljivk je prikazan v tabeli 1.

Tabela 1: Opazovane spremenljivke

X_1	— koeficijent porazdelitve fosforja med žlindro in talino ob raztalitvi
X_2	— bazičnost žlindre ob raztalitvi (CaO/SiO_2), tj. brez MgO;
X_3	— vsebnost CaO v žlindri ob raztalitvi;
X_4	— vsebnost FeO v žlindri ob raztalitvi;
X_5	— čas med zalaganjem apna oz. apna in škaje in raztalitvijo;
X_6	— vsebnost MgO v žlindri ob raztalitvi;
X_7	— vsebnost SiO_2 v žlindri ob raztalitvi;
X_8	— vsebnost P_2O_5 v žlindri ob raztalitvi;
X_9	— vsebnost fosforja v jeklu ob raztalitvi (analiza A_1);
X_{10}	— vsebnost fosforja v jeklu po oksidaciji;
X_{11}	— povprečna bazičnost žlindre (srednja vrednost vseh vzorcev ene šarže);
X_{12}	— stopnja odfosforenja, izražena kot procentni delež fosforja v jeklu ob raztalitvi, ki je bil odpravljen iz jekla v žlindro med oksidacijo;
X_{13}	— vsebnost ogljika v jeklu ob raztalitvi;
X_{14}	— vsebnost silicija v jeklu ob raztalitvi;
X_{15}	— vsebnost mangana v jeklu ob raztalitvi;
X_{16}	— specifični dodatek CaO v % od kovinskega vložka;
X_{17}	— specifični dodatek apnenca v % od kovinskega vložka;
X_{18}	— skupaj CaO v % od kovinskega vložka;
X_{19}	— specifični dodatek rude v % od kovinskega vložka;
X_{20}	— specifični dodatek škaje v % od kovinskega vložka;
X_{21}	— teža kovinskega vložka v tonah;
X_{22}	— teža šarže v tonah.

REZULTATI

Na sliki 1 vidimo odvisnost med vsebnostjo P_2O_5 v žlindri ob raztalitvi in bazičnostjo žlindre B1 v času odvzema vzorca za analizo A1. Pri tem smo bazičnost opredelili kot razmerje med vsoto CaO in MgO proti SiO_2 . Vse poskusne šarže smo primerno označili, tako da lahko takoj razberemo, ali je bilo dodano samo apno



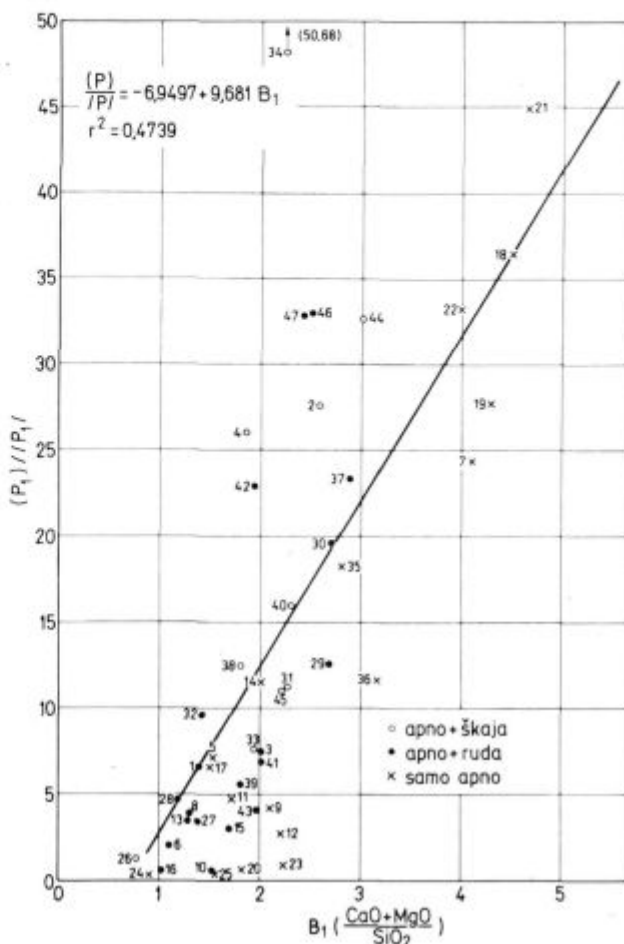
Slika 1

Vsebnost P₂O₅ v žlindri ob raztalitvi v odvisnosti od bazičnosti žlindre.

Fig. 1

P₂O₅ content in the slag after melting, depending on the slag basicity

oz. apno in škaja ali apno in ruda. Tako označbo smo dodatno opremili še z rednim številom poskusne šarže od 1 do 47. Na **sliki 1** je vrisana regresijska premica in podana regresijska enačba. Vidimo, da je koeficient determinacije r^2 razmeroma nizek (0,2511). Vsebnost P₂O₅ sicer narašča z bazičnostjo B₁, vendar je razpis rezultatov okoli statistično izračunane srednje vrednosti, ki jo ponazarja premica, velik in je posledica dejstva, da na vsebnost fosforja v žlindri vplivajo poleg bazičnosti še drugi številni dejavniki. Boljše merilo za primarno odfosforenje, tj. za odfosforenje med taljenjem, je koeficient porazdelitve fosforja med žlindro in jeklom ob raztalitvi, ki ga vidimo v odvisnosti od bazičnosti na **sliki 2**. Vidimo, da je korelacija dosti boljše, saj je koeficient determinacije r^2 0,4739. V poskusih, da bi izboljšali korelacijo med bazičnostjo in koeficientom porazdelitve fosforja, smo preizkusili različne druge izraze za bazičnost. Najboljše rezultate smo dosegli, ko smo bazičnost opredelili s preprostim razmerjem med CaO in SiO₂, kot vidimo na **sliki 3**. Koeficient determinacije je sedaj večji, tj. 0,5342 v primerjavi z 0,4739. Rezultat je zelo zanimiv tako s teoretičnega kot s praktičnega stališča. S teoretičnega stališča to pomeni, da MgO ne sodeluje v reakcijah odfosorenja, vsaj v delovnih pogojih, kot jih imamo v železarni Jesenice. Za prakso to pomeni, da se je treba izogibati uporabi dolomitiziranega apnenca. MgO nam torej ne prispeva k boljšemu odfosorenju. Bistveno je, da bi v primeru nadomestitve MgO s CaO v žlindri ostala količina dodatka apna oz. apnenca in žlindre enaka, imeli pa bi višji koefi-



Slika 2

Koeficient porazdelitve fosforja med žlindro in jeklom ob raztalitvi v odvisnosti od bazičnosti žlindre.

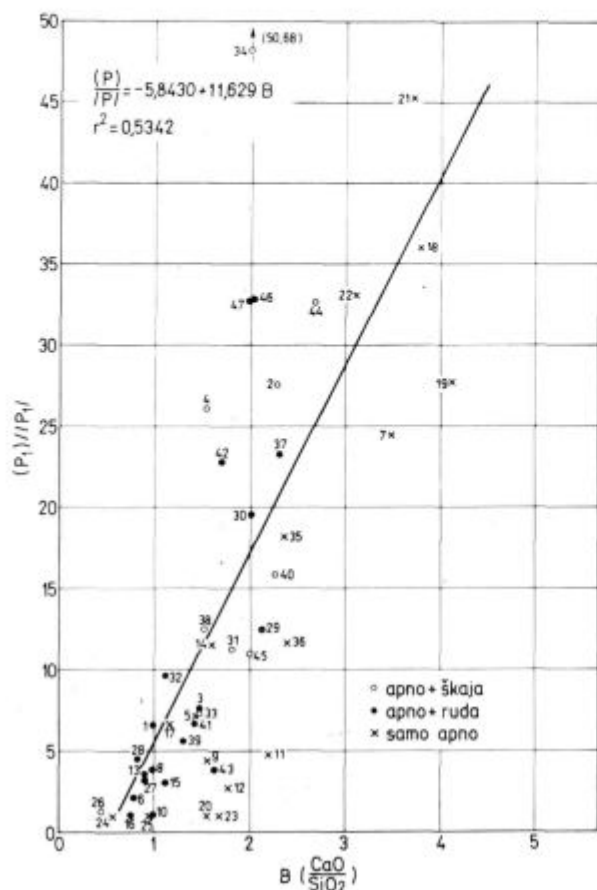
Fig. 2

Phosphorus distribution coefficient between the slag and the melt after melting, depending on the slag basicity

cient porazdelitve fosforja in s tem torej nižji fosfor v jeklu. To je povsem jasno, če primerjamo **sliki 2** in **3**. Upoštevajoč povprečne vsebnosti CaO (32,57 %), MgO (9,52 %) in SiO₂ (20,93 %) ter enačbo regresijske premice na **sl. 3**, lahko izračunamo, da bi se z nadomestitvijo MgO s CaO povečala povprečna vrednost koeficienta porazdelitve fosforja od 13,66 na 16,5.

S statistično analizo smo ugotovili srednjo vrednost in standardni odklon za vseh 22 opazovanih parametrov, kar navajamo v **tabeli 2**. Vrednosti, ki so navedene v oklepaju, se nanašajo na jeklaro 1, v kateri je bilo izdelanih 42 od skupno 47 šarž, tj. 5 šarž je bilo izdelanih v novi jeklarni.

Statistično regresijsko analizo smo uporabili, da bi določili, kateri izmed 22 opazovanih parametrov ima t. im. statistično pomemben vpliv na primarno odfosorenje, tj. na koeficient porazdelitve fosforja med žlindro in jeklom ob raztalitvi. V ta namen smo uporabili programski paket ISA. Povzetek regresijske analize vidimo v **tabeli 3**, ki prinaša tudi ustrezno regresijsko enačbo, v kateri je odvisna spremenljivka, tj. porazdelitev fosforja med žlindro in jeklom ob raztalitvi, označena z y, medtem ko je neodvisna spremenljivka x. Sprejeli smo, da imajo pomemben vpliv le tiste spremenljivke oz. tehnološki parametri, pri katerih smo dobili koeficient determinacije večji kot oz. vsaj 0,05.



Slika 3

Koeficient porazdelitve fosforja med žlindro in jeklom ob raztalitvi v odvisnosti od korigirane bazičnosti — brez MgO.

Fig. 3

Phosphorus distribution coefficient between the slag and the melt, depending on the corrected basicity — without MgO

Tabela 2: Osnovni statistični podatki

Spremenljivka	Sr. vrednost	Stand. odklon	Št. šarž
1 Porazdelitev $\frac{[P]}{[P]}$	13,66 (11,3)	12,85 (11,26)	47 (42)
2 Bazičnost	1,74 (1,52)	0,84 (0,55)	47 (42)
3 (CaO) %	32,57 (31,6)	8,24 (7,76)	47 (42)
4 (FeO) %	16,61 (15,69)	7,22 (6,22)	47 (42)
5 Čas taljenja min.	93,1 (100,7)	46,97 (44,1)	47 (42)
6 (MgO) %	9,52 (9,60)	2,83 (2,65)	47 (42)
7 (SiO ₂) %	20,93 (22,1)	5,14 (4,06)	47 (42)
8 (P ₂ O ₅) %	0,38 (0,36)	0,21 (0,21)	47 (42)
9 /P/ % ob raztalitvi	0,02 (0,02)	0,01 (0,01)	47 (42)
10 /P/ % po oksidaciji	0,01 (0,01)	0,01 (0,01)	47 (42)
11 Sred. bazičnost	2,73 (2,54)	0,86 (0,58)	47 (42)
12 Stopnja odosf.	35,03	30,09	47
13 /C/ % vzorec A 1	0,58	0,26	47
14 /Si/ % vzorec A 1	0,05	0,04	47
15 /Mn/ % vzorec A 1	0,24	0,11	47
16 Dodatek CaO %	2,34	0,66	47
17 Dodatek apnen. %	2,12	0,91	47
18 Skupaj CaO %	2,96	0,95	47
19 Dodatek rude %	0,94	0,38	22
20 Dodatek škaje %	2,80	0,51	11
21 Teža vložka v tonah	74,6	5,71	47
22 Teža šarže v tonah	73,32	6,30	47

Opomba: Podatki v oklepaju se nanašajo na šarže, izdelane v jeklarni 1.

Tabela 3: Rezultati regresijske analize

Spremenljivka x	Regresijska enačba	Koef. determinacije
Bazičnost (CaO/SiO ₂)	$y = -5,84 + 11,63 x$	0,53
Bazičnost (CaO + MgO)/SiO ₂	$y = -6,95 + 9,68 x$	0,47
% CaO v žlindri	$y = -10,97 + 0,78 x$	0,23
% FeO v žlindri	$y = 2,87 + 0,72 x$	0,16
Čas taljenja	$y = 9,04 + 0,062 x$	0,05
% MgO v žlindri	$y = 36,63 - 2,32 x$	0,24
% SiO ₂ v žlindri	$y = 56,31 - 2,01 x$	0,61

Rezultati so zelo zanimivi. Najprej lahko ugotovimo, da je korelacija med porazdelitvijo fosforja in bazičnosti dosti boljše, če pri izračunu bazičnosti ne upoštevamo MgO. Dodati moramo ugotovitev, da je korelacija med porazdelitvijo fosforja in MgO negativna. Kaže, da MgO ne sodeluje v reakciji odosforenja, temveč jo celo moti. Koeficient determinacije je 0,24, pomembnost enačbe pa 99 %, kar pomeni, da tega rezultata ni mogoče zanemariti. Glede na rezultate v tabeli 3 smo nato poiskali multikorelacijsko odvisnost med porazdelitvijo fosforja in bazičnostjo CaO/SiO₂, % FeO, % MgO in časom taljenja. Kot rezultat tako zastavljene multikorelacijske analize smo dobili enačbo:

$$\frac{(P)}{[P]} = -22,57 + 11,40 \frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2} +$$

$$0,56 \% \text{ FeO} + 0,101 t - 0,22 \% \text{ MgO} \quad (9)$$

Skupni koeficient determinacije r^2 narašča z vključitvijo posameznih spremenljivk v enačbo (9): 0,5342 → 0,6057 → 0,7489 in končno 0,7501. Skupni koeficient multikorelacije je 0,8661. Korelacija med odosforenjem in MgO je tudi tukaj negativna. Če pa iz enačbe izpustimo MgO, se koeficient determinacije poslabša, tj. pade le za 0,0012, zato ga lahko uporavičeno izpustimo. Če iz obdelave izključimo 5 šarž, izdelanih v jeklarni 2, dobimo enačbo:

$$\frac{(p)}{[P]} = -23,26 + 11,87 \frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2}$$

$$+ 0,65 \% \text{ FeO} + 0,095 t - 0,30 \% \text{ MgO} \quad (10)$$

Skupni koeficient multikorelacije je 0,8509 in je praktično enak, kot v primeru obdelave vseh 47 šarž (0,8661). Tudi sedaj je korelacijski koeficient za MgO negativen. Korelacijski koeficienti so v enačbi (10), ki velja za jeklarno 1, višji za bazičnost, % FeO in % MgO ter nekoliko manjši za čas taljenja. To pomeni, da bazičnost in % FeO bolj vplivata na porazdelitev fosforja v stari jeklarni. Predvsem je bazičnost v jeklarni 1 ozko grlo in je torej v povprečju nezadostna. Najlaže torej izboljšamo odosforenje v stari jeklarni s povečanjem bazičnosti in % FeO, tj. z dodatkom škaje.

S stališča ionske teorije žlindre bi morali imeti močno korelacijo med logaritmom porazdelitve fosforja ter logaritmi koncentracij CaO in FeO, kot je to z enačbo (8) ugotovil Healey (5). Zaradi tega smo se odločili, da poiščemo tudi to multikorelacijsko odvisnost. Za razliko od Healeya smo v obdelavo namesto recipročne vrednosti temperature, ki nam jo ni uspelo redno meriti, vključili čas taljenja. Dobili smo regresijsko enačbo (11), ki velja za vseh 47 šarž in (12), ki velja le za 42 šarž, izdelanih v stari jeklarni.

$$\log \frac{(P)}{[P]} = -6,54 + 3,26 \log \% \text{ CaO}$$

$$+ 2,03 \log \% \text{ FeO} + 0,002 t \quad (11)$$

$$\log \frac{(P)}{P} = -6,78 + 3,49 \log \% \text{ CaO} + 2,10 \log \% \text{ FeO} \quad (12)$$

Koeficient determinacije narašča z vključitvijo posameznih spremenljivk v enačbi (11): 0,3562→0,8587→0,8846. Končni koeficient multikorelacije je 0,9407 in je presenetljivo visok v primerjavi z 0,8661, kar smo dobili za enačbo (9), ki je s stališča molekularne teorije žlindre »bolj pravilna«. Lahko zaključimo, da so dobljeni rezultati v prid ionske teorije.

V enačbi (12) koeficient determinacije narašča z vključitvijo posameznih spremenljivk: 0,3279→0,8510. Končni koeficient multikorelacije je 0,9225 in je nekoliko manjši kot prej za vseh 47 šarž, vendar imamo zato le vpliv CaO in FeO. Vpliv časa taljenja prispeva namreč k skupnemu koeficientu determinacije manj kot 2 % in ga zato nismo upoštevali. Vsi korelacijski koeficienti v (11) in (12) so realni in pozitivni, tj. koeficient porazdelitve fosforja med žlindro in jeklom narašča z rastočo vsebnostjo CaO in FeO v žlindri ob raztalitvi ter z daljšim časom taljenja v enačbi (11).

Primerjava srednjih vrednosti koeficientov porazdelitve fosforja med žlindro in jeklom ob raztalitvi, končne vsebnosti fosforja in izkoristka Fe iz vložka za različne načine dela je prikazana v tabeli 4.

Tabela 4: Primerjava rezultatov za različne načine dela

Dodano:	Samo apno	Apno in ruda	Apno in škaja
Koeficient $\frac{(P)}{P}$	4,83	11,42	19,54
Končni P %	0,0229	0,0102	0,0085
Izkoristek Fe %	98,23	98,35	99,26

ZAKLJUČKI

Opazovali smo 22 parametrov za vsako izmed 47 šarž, od tega je bilo 5 šarž izdelanih v jeklarni 2. Pri 11 šaržah smo poleg apna dodajali še škajo, pri 22 smo poleg apna dodali še rudo, medtem ko je pri 14 šaržah bilo dodano samo apno. Na osnovi podrobne analize dobljenih rezultatov smo prišli do naslednjih pomembnejših ugotovitev:

1) Najboljše rezultate smo dosegli z dodatkom škaje v vložek, kot vidimo iz tabele 4, in sicer:

— koeficient porazdelitve fosforja med žlindro in jeklom ob raztalitvi je bil največji (19,54);

— končna vsebnost fosforja je bila najmanjša (85 ppm P) in

— izkoristek Fe iz vložka je bil največji (99,26 %).

2) Od vseh 22 opazovanih parametrov na koeficient porazdelitve fosforja med žlindro in jeklom ob raztalitvi,

tj. na hitro in učinkovito odfosforenje med taljenjem najbolj vplivata % CaO in % FeO v žlindri.

3) Nedvomno smo ugotovili, da MgO pri običajni vsebnosti CaO ne sodeluje v reakcijah odfosforenja. Za prakso to pomeni, da se je treba izogibati uporabi dolomitiranega apnenca.

4) Z dodatkom lastne odpadne škaje v vložek v količini 2—4 % od teže vložka lahko dosežemo zelo dobro odfosforenje že med taljenjem, nadomestimo razmeroma drago uvoženo rudo in povečamo proizvodnjo za 8 do 10 kg jekla na tono.

LITERATURA

1. E. T. Turkdogan in J. Pearson, *Journal of the Iron and Steel Institute*, vol. 173, Part 3, March 1953.
2. J. B. Bookey, F. D. Richardson in A. J. E. Welch, *ibid.*, vol. 171, Part 4, August 1952.
3. H. Flood in K. Grjotheim, *ibid.*, vol. 171, Part 1, May 1952.
4. H. Kneuppel, F. Oeters in H. Grus, *Archiv fuer das Eisenhuettenwesen*, 30, 1959, 253—265.
5. G. W. Healey, *Journal of the Iron and Steel Institute*, 208, 1970, 664—668.
6. W. A. Fischer in H. vom Ende, *Stahl und Eisen*, 72, 1952, 1938—1408.
7. H. Kneuppel in F. Oeters, *Archiv fuer das Eisenhuettenwesen*, 26, 1961, 12.
8. H. Kneuppel in F. Oeters, *Stahl und Eisen*, 81, 1961, 1437.
9. G. Troemel in W. Oelsen, *Archiv fuer das Eisenhuettenwesen*, 26, 1955, 497—506.
10. G. Troemel in H. W. Fritze, *Archiv fuer das Eisenhuettenwesen*, 30, 1959, 461—472.
11. G. Troemel in H. W. Fritze, *Archiv fuer das Eisenhuettenwesen*, 28, 1957, 489—495.
12. G. Troemel, W. Fix in H. W. Fritze, *Archiv fuer das Eisenhuettenwesen*, 32, 1961, 353—359.
13. G. Troemel in W. Fix, *Archiv fuer das Eisenhuettenwesen*, 32, 1961, 209—212.
14. E. T. Turkdogan in P. M. Bills, *Journal of the Iron and Steel Institute*, 186, 1957, 329—339.
15. E. T. Turkdogan in P. M. Bills, *Journal of the Iron and Steel Institute*, 188, 1958, 143—153.
16. K. Schwerdtfeger in J. H. Engell, *Archiv fuer das Eisenhuettenwesen*, 34, 1963, 101.
17. H. Trenkler in R. Rinesch, *Stahl und Eisen*, 76, 1958, 883.
18. K. Behrens et al., *Stahl und Eisen*, 85, 1965, 908.
19. H. Nashiwa et al., *Ironmaking and Steelmaking*, 1, 1981.
20. T. Nozaki et al., *Transactions of ISIJ*, 23, 6, 1983.
21. T. Usui et al., *Transactions of ISIJ*, 23, 3, 1983.
22. Y. Itoh et al., 98th ISIJ Meeting, October 1979.
23. R. Nagabayashi et al., *Transactions of ISIJ*, 26, 1986.
24. H. Watanabe in K. Umezawa, *ibid.*
25. F. D. Richardson in J. H. E. Jeffes, *Ironmaking and Steelmaking*, 5, 1980.
26. K. Brotzmann, *Secondary Steelmaking*, Proceedings 27—31, 1978, London.
27. W. Resh in D. Nolle, *Proc. 2nd Internat. Iron and Steel Congress, Duesseldorf*, 1974, vol. 2, 1—17.

ZUSAMMENFASSUNG

47 Versuchsschmelzen erzeugt auf drei unterschiedliche Weisen sind auf 22 technologische Parameter untersucht worden. Bei 14 Schmelzen ist zur Entphosphorung nur Kalk bzw. Kalk und Kalkstein zugegeben worden, bei 22 Schmelzen ist neben Kalk noch Erz zugegeben worden, wobei bei 11 Schmelzen neben Kalk noch Walzzunder zugegeben worden ist. Es ist festgestellt worden, dass von allen untersuchten Parametern die Entphosphorung CaO und FeO Gehalt in der Schlacke am stärksten beeinflussen. Die besten Ergebnisse sind durch Zusatz von Walzzunder im Einsatz erzielt worden und zwar:

- der Verteilungskoeffizient für Phosphor zwischen Schlacke und Stahlbad beim Einschmelzen war am grössten (19,54);
- der Phosphorendgehalt war umkleinsten (85 ppm) und
- das Ausbringen von Fe aus dem Einsatz war am grössten (99,26 %)

Der Verteilungskoeffizient für Phosphor zwischen Schlacke und Stahl ist gegeben durch die Regressionsgleichung.

$$\log \frac{(P)}{[P]} = -6,78 + 3,49 \log \% \text{ CaO} + 2,10 \log \% \text{ FeO}$$

Der Koeffizient der Multikorelation beträgt 0,9225. MgO wirkt in den Entphosphorungsreaktionen bei üblichen CaO Gehalt in der Schlacke nicht mit.

Mit dem Zusatz von Walzzunder in der Menge von 2—4 % des Einsatzgewichtes wird eine gute Entphosphorung schon während der Einschmelzung erreicht der Verhältnismässig teure Einfuhrerz wird dadurch ersetzt und das Ausbringen um 8 bis 10 kg Stahl pro Tonne vergrössert.

SUMMARY

22 technological parameters in 47 batches made in three different ways were checked. In 14 batches only lime or lime and limestone were added for dephosphorisation, in 22 batches also ore was added next to the lime, and in 11 batches scale was added next to lime. It was found that among all the checked parameters the content of CaO and FeO in the slag have the greatest influence on the dephosphorisation. The best results were achieved with the addition of scale into the charge, i. e.:

- distribution coefficient of phosphorus between the slag and the steel after melting was the highest (19.54),
- final phosphorus content was the lowest (85 ppm), and
- Fe yield from burden was the highest (99.26 %).

Distribution coefficient of phosphorus between the slag and the melt is given by the regression equation:

$$\log \frac{(P)}{[P]} = -6.78 + 3.49 \log \% \text{ CaO} + 2.10 \log \% \text{ FeO}$$

Coefficient of multicorrelation is 0.9225. MgO does not cooperate in the dephosphorisation reactions at usual CaO contents in the slag.

Addition of scale into the charge in the amount of 2 to 4 % of the burden mass enables a very good dephosphorisation already during melting, it substitutes a relatively expensive imported ore, and the steel output is increased for 8 to 10 kg per ton.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучали поведение 22-ух технологических параметров изготовленных тремя разными способами 47-и переплавов. При 14-и переплавов мы с целью дефосфоризации додали только известь отн. известняк; при 22-двух переплавов мы кроме извести додали ещё руду, между тем при 11-ти переплавов мы кроме извести додали отбросной шлак. Оказалось, что при всех наблюдаемых параметров на дефосфоризацию больше всего влияют CaO и MgO в шлаке.

Самые лучшие результаты мы получили при добавки шлака в загрузку причём мы определили следующее:

- коэффициент распределения фосфора между шлаком и сталью при расплаве был самый высокий и составлял 19,54,
- конечное содержание фосфора была самая низкая (85 ppm P) и

— использование из загрузки был самый большой (99,26).

Коэффициент распределения фосфора между шлаком и сталью приведен с регрессивным уравнением:

$$\log \frac{(P)}{[P]} = -6,78 + 3,49 \log \% \text{ CaO} + 2,10 \log \% \text{ FeO}$$

Коэффициент мултикорелляции составляет 0,925. MgO не присутствует в реакциях дефосфоризации при нормальном содержании CaO в шлаке.

При додатки одходного шлака в загрузку в количестве 2—4 % от веса загрузки мы можем легко получить дефосфоризацию также в течении расплавки, при замене сравнительно дорогой ввозной руды и увеличим производство стали на 8 до 10 кг на тонну.

Poskus simulacije kontroliranega valjanja tanke pločevine na reverzirnem kvarto stroju

F. Vodopivec^{*1}, M. Gabrovšek^{*2}, J. Žvokelj^{*1}

UDK: 621.771.063.016.2-41
ASM/SLA: F23g, 4-53, W 23c, 10-52

Kontrolirano valjanje tanke pločevine v laboratoriju pri temperaturi med 1200 in 730 °C. Dosežena je meja plastičnosti 350 N/mm² pri enostavni sestavi; v jeklu, mikrolegiranem z vanadijem ali z niobijem, pa meja plastičnosti nad 500 N/mm², obakrat pa tudi zadostna duktilnost, če je bila temperatura konca valjanja med 900 in 800 °C. Pri nižjih temperaturah je meja plastičnosti višja, zaradi deformacijske utrditve ferita in nepopolne rekristalizacije avstenita med valjanjem pa je mikrostruktura neenakomerna, plastičnost jekla pa močno zmanjšana.

Pred nekaj leti smo začeli na inštitutu delati z jekli z mikrostrukturo iz ferita in iz martenzita, tako imenovani dual jekli, ki imajo zaradi mikrostrukture specifične lastnosti (1). Ta jekla se izdelujejo pri primerni sestavi s kaljenjem iz področja obstojnosti avstenita in ferita ali pa s primernim ohlajanjem s temperature konca valjanja. Druga pot je seveda bolj racionalna, saj prihrani vsaj eno segrevanje. Kot uvodno eksperimentalno delo je bilo iz-

delano v laboratoriju nekaj jekel z elementi, ki jih najdemo v dual jeklih (C, Mn, Si, V, Nb in Al); poiskovali smo simulirati proces valjanja na reverzirnem kvarto (Steckel, valjalnem stroju). Rezultati te raziskave postajajo relevantni sedaj, ko razmišljamo o tem, da bi termomehansko valjali na reverzirnem duo ogrodju tanke pločevine. S področja valjanja pri nas, pa tudi v tujini, ni bilo objavljeno nič takega, ki bi zmanjšalo relevantnost teh razmeroma starih izsledkov, zato je gotovo koristno, da se predstavijo strokovni javnosti.

2. ESPERIMENTALNO DELO

V indukcijski peči je bilo iz enakega izhodnega vložka izdelano 5 jekel, legiranih z aluminijem, vanadijem, niobijem, kromom in molibdenom, s sestavo, navedeno v tab. 1. Za izdelavo jekla je bil izbran vložek z malo žvepla. Osnovni elementi (C, Mn in Si) se med jekli nekoliko razlikujejo, vendar ne toliko, da ne bi bila primerjava med jekli realna.

Tabela 1: Sestava jekel

Jeklo	Element v %									
	C	Si	Mn	P	S	Al ⁺	V	Nb	Mo	Cr
1. primarno	0,11	0,21	1,06	0,024	0,012	0,017				
2. V	0,11	0,42	1,14	0,022	0,012	0,025	0,07			
3. Nb	0,13	0,20	1,23	0,023	0,012	0,032		0,03		
4. Mo	0,14	0,42	1,20	0,024	0,012	0,032			0,42	
5. CrMo	0,12	0,37	1,15	0,022	0,012	0,032			0,42	0,59

Tabela 2: Parametri vročega valjanja platin iz plošč z debelino 30 mm. Pred valjanjem so bila jekla segrevana 30 minut pri 1200 °C in nato valjana z začetkom pri tej temperaturi ali po ohladitvi na začetno temperaturo valjanja v tabeli

Začetna	Temp. valjanja °C		Trajanje valjanja min.	Število vtikov				Redukcija v %			Končna debelina mm
	Po 4. vtiku	Končna		Skupno	Brez ^① vmes. zadrž.	Vmes. zadrž. na zraku 20"	Vmes. ^② zadrž. v peči 25"	Skupna	Povprečna	Končna	
1200	1000	900	2,5	6	4	0	2	83,3	27,5	32,3	5
1200	975	870	2,5	6	3	0	3	83,3	27,5	32,3	5
1160	910	820	2,5	6	2	0	4	90,0	32,0	40,0	3,1
1100	870	785	3,0	6	1	2	3	90,0	32,0	40,0	3,1
1010	820	755	3,5	6	1	2	3	90,0	32,0	40,0	3,1
900	750	730	3,5	6	1	2	3	90,0	32,0	40,0	3,1

① — Vštet je prvi vtik v začetku valjanja

② — Vštet je zadnji vtik na koncu valjanja

Vse temperature so bile izmerjene z infrardečim digitalnim pirometrom, največ 2 s po prehodu med valji.

*1 Franc Vodopivec, dr. mag. dipl. ing. met., Janez Žvokelj dipl. ing. met., Metalurški inštitut, Lepi pot 11, 61000 Ljubljana

*2 Marin Gabrovšek, dr. dipl. ing. met., Železarna Jesenice, 64270 Jesenice

*** Originalno publicirano: ŽZb 23, 1989, 3

Rokopis prejeto: 1989-05-05

V tabeli 2 so podatki o valjanju. Jekla so bila v 6 vtikih izvaljana iz platine (30 mm) v plošče z debelino 5 oz. 3,1 mm. Pred valjanjem so bile vse platine segrevane 30 min pri 1200 °C, da je bila enaka izhodna velikost zrn avstenita in so se v avstenitu raztopile disperzoidne faze AIN, VC in NbC(2). Nato je bila po ena platina izvaljana z začetno temperaturo 1200 °C, druge pa po ohladitvi na nižjo začetno temperaturo. Valjanje se je izvršilo v 6 vtikih s povprečnimi redukcijami 27 oz. 32 %. Ta razlika ne more vplivati na lastnosti, saj za statično rekristalizacijo med vtiki zadostuje že parcialna deformacija okoli 10 % (3), če je le seveda čas med vtiki zadosten. Za enako rekristalizacijo ferita pa je potrebna mnogo večja parcialna deformacija, nad 60 % (4).

Da bi se valjanje izvršilo v času, ki je primerljiv z valjanjem na reverzirnem kvart ogrodju in bi bile končne temperature valjanja tudi v razponu tega, kar srečujemo pri tej napravi, so bili valjanci zadržani med vtiki na zraku ali pa v peči. Kljub tem posegom ni bilo mogoče zagotoviti popolnoma enakega trajanja valjanja, zato srečujemo tri čase valjanja: 2,5, 3 in 3,5 min. Te razlike sicer niso zanemarljive, vendar pa je njihov pomen majhen v primerjavi s prevladujočim vplivom temperature valjanja.

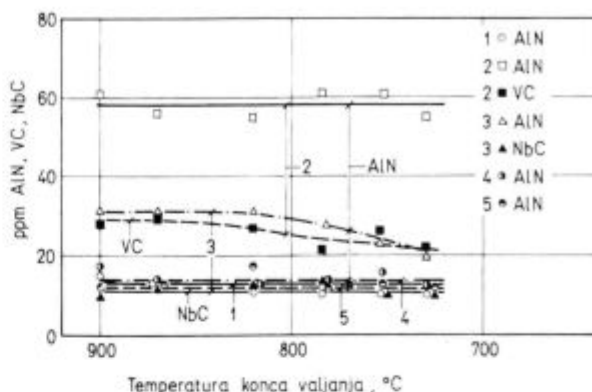
Po valjanju smo lamele ohladili na zraku na predgrete posteljici iz šamotne opeke. Iz lamel smo odrezali vzorce za preiskave mikrostrukture, mehanskih lastnosti in količine disperzoidov v valjanem stanju.

Velikost zrn smo določili po metodi linearne intersepcije, količina disperzoidnih faz pa je bila določena po vpeljanih metodah (5). Pri merjenju velikosti zrn v valjanem jeklu smo se izogibali skupkom ali posamičnim večjim zrnom, ki so nastala s premeno nerekrystaliziranega avstenita in z deformacijsko inducirano rastjo zrn ferita. Upoštevali smo torej le feritna zrna, ki so nastala s premeno rekristaliziranega avstenita in feritna zrna, ki so nastala že med valjanjem. Zato so izmerjene vrednosti bolj natančne in zanesljive po valjanju pri visokih temperaturah kot pri nizkih, ko v procesu mehčanja niso često nastale enakomerne mikrostrukture z jasnimi mejami zrn ferita.

3. REZULTAT DELA

3.1. Tvorba disperzoidov AIN, VC in NbC med valjanjem

Topnost vseh disperzoidnih faz se zmanjšuje prav v razponu temperatur valjanja (2), zato iz trdne raztopine nastajajo drobni izločki, ki lahko vplivajo na procese v jeklu med nadaljevanjem valjanja in pri ohlajanju. Na sliki 1 je prikazana količina disperzoidnih faz v odvisnosti od temperature valjanja. Za lažjo presojo velja ponoviti, da so bili vsi vzorci in jekla, ne glede na končno temperaturo valjanja, pred začetkom valjanja držani 30 min. pri 1200 °C, kar je dovolj, da so se vsi disperzoidi raztopili v avstenitu (2). V vseh jeklih, kjer od disperzoidov najdemo samo AIN, to so jekla 1, 4 in 5, je neodvisno od temperature nastalo med valjanjem zelo malo te faze. Več je AIN v jeklu 2, kjer najdemo poleg aluminija še vanadij. Med jekloma 1 in 2 je razlika v aluminiju, ki ni razlog za različno količino AIN po valjanju. Za to sta dva dokaza: prvič, razlika v količini Al je cca 50 %, razlika v količini AIN pa več kot 4-kratna; drugič, v jeklu 1 je količina AIN v mejah natančnosti analize enaka kot v jeklih 4 in 5, ki vsebujeta še več aluminija kot jeklo 2. Očitno je torej, da prisotnost vanadija povzroči povečanje količine AIN, ki nastane med valjanjem. Tudi v jeklu 3 je AIN več kot v primerjalnem jeklu 1; količina AIN pa se zmanjšuje, ko se znižuje temperatura valjanja. Razlaga za ta pojav je predstavljena v virih 6 in 7.



Slika 1.

Odvisnost med temperaturo konca valjanja in količino disperzoidov AIN, NbC in VC v jeklih, ki so bila po valjanju ohlajena na zraku

Fig. 1

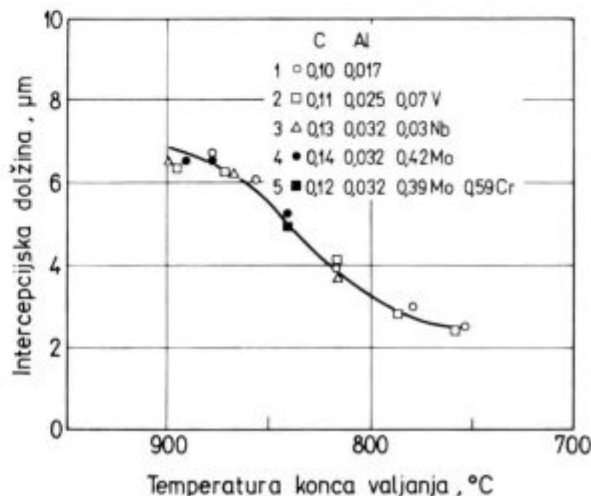
Relationship between the final rolling temperature and the amount of AIN, NbC, and VC particles in steel air cooled after rolling

Na tem mestu je utemeljen zaključek, da vanadij pospeši tvorbo AIN med valjanjem. Podoben, vendar manjši vpliv ima niobij, krom in molibden pa sta brez zaznavnega učinka na tvorbo AIN.

Neodvisno od temperature nastane med valjanjem zelo malo NbC. Vanadijevega karbida nastane več, vpliv temperature valjanja pa je podoben, kot pri tvorbi AIN v jeklu z niobijem in aluminijem.

3.2. Mikrostruktura po valjanju in velikost zrn

Na sliki 2 je prikazana odvisnost med temperaturo na koncu valjanja in linearno intersepcijsko dolžino za mikrostrukturo po ohladitvi na zraku s temperature valjanja. V skoraj vseh jeklih se velikost zrn zmanjšuje po podobni odvisnosti, ki je bila določena za primere valjanja konstrukcijskih jekel v plošče z debelino ca 15 mm



Slika 2.

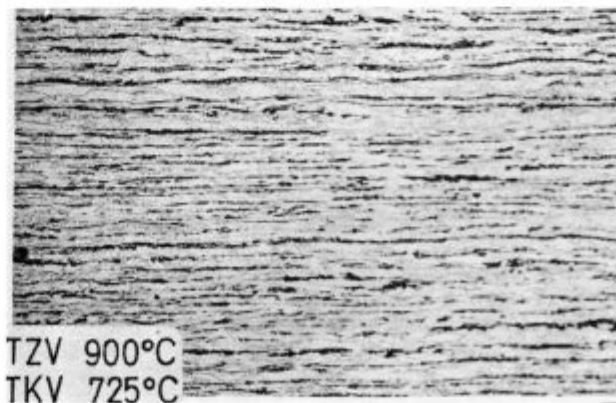
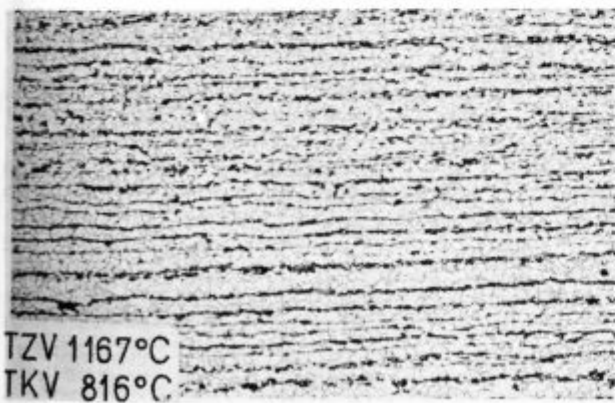
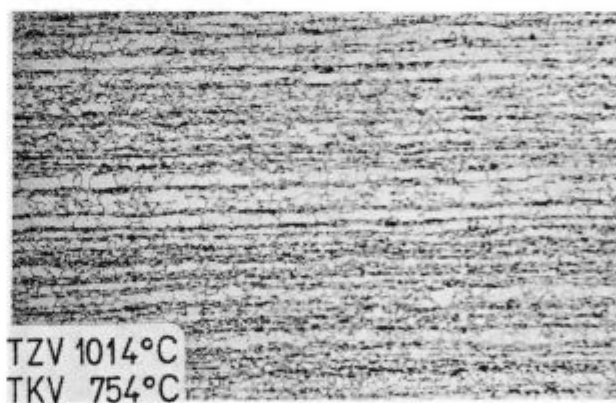
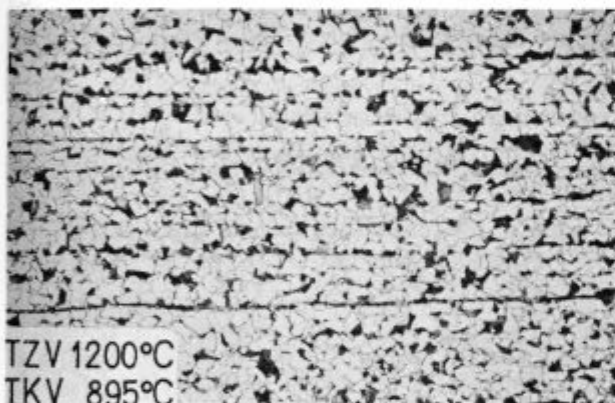
Odvisnost med temperaturo konca valjanja in linearno intersepcijsko dolžino za feritna zrna

Fig. 2

Relationship between the final rolling temperature and the linear intercepting length of ferrite grains

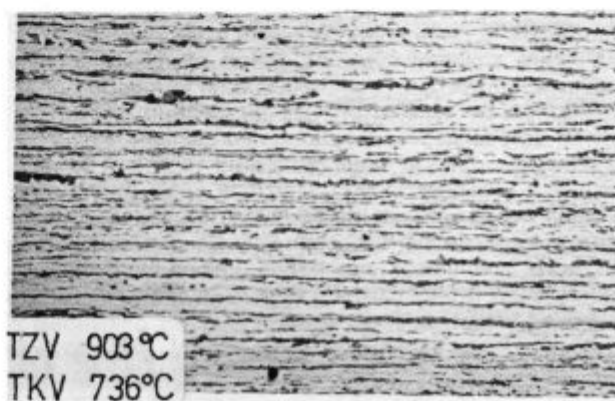
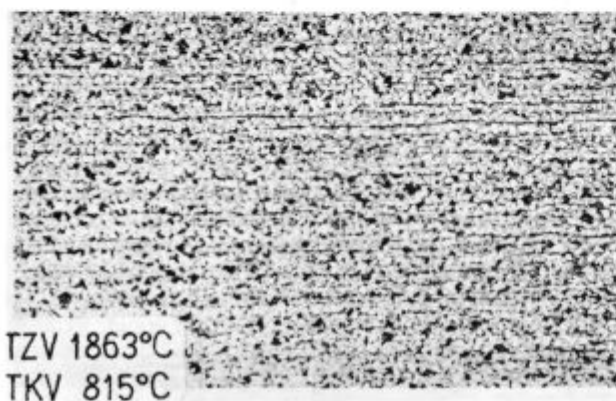
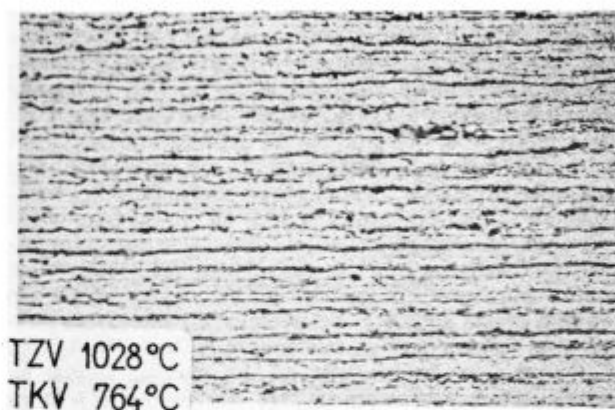
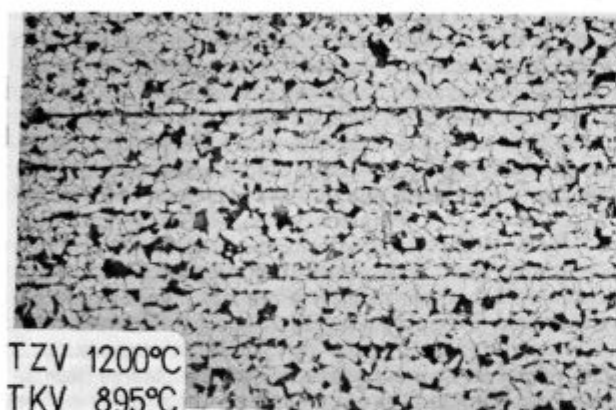
(6, 7). Za jekla z niobijem, molibdenom in kromom ni bilo mogoče določiti velikosti zrn po valjanju pod 820 °C, ker je bil premajhen delež feritnih zrn, ki so nastala s premeno rekristaliziranega matriksa, ali pa so zrna ferita bila močno deformirana, ker so nastala med valjanjem. V jeklih s kromom in molibdenom pa je bilo v mikrostrukturi še mnogo bajnita in martenzita, zaradi česar praktično tudi ni bilo mogoče določiti realne velikosti feritnih zrn. Lažje se razloži odvisnost na sl. 2 na osnovi posnetkov mikrostrukture, ki je nastala pri nekaterih končnih temperaturah valjanja. Če se je valjanje izvršilo v matriksu iz avstenita, je končana mikrostruktura iz poligonalnih zrn ferita in perlita z majhno trakavostjo (sl. 3a). Ko se temperatura valjanja znižuje, raste količina ferita, ki nastaja med valjanjem. Feritna zrna so vse manjša, vendar še vedno poligonalne oblike (sl. 3b). Ker med vtiki ferit intenzivno popravlja, ne izvrši pa se v njem statična rekristalizacija (3, 7), so zrna proizvod deformacijsko inducirane rasti, ki pa je omejena zaradi ozkih plasti ferita, ki so ločene s plastmi avstenita. Dokaz za plastatost fazne sestave med valjanjem je trakavost, ki je mnogo bolj izrazita, kot po valjanju pri višji temperaturi in so plasti perlita zelo tanke, vendar skoraj neprekinjene. Pri še nižji temperaturi, ko je delež ferita med valjanjem še večji, najdemo v feritnih slojih posamična večja feritna zrna, katerih oblika kaže, da so proizvod deformacijsko inducirane migracije mej po koncu valjanja. V jeklu najdemo le redka zrna lamelnarnega perlita. Večina cementita je v obliki slojev drobnih zrn. Pri še nižji temperaturi valjanja

najdemo v jeklu znova več lamelnarnega perlita, zrna ferita so pretežno zelo drobna, posamična med njimi so večja, vendar tudi podolgovata, kar je dokaz, da so nastala z deformacijsko inducirano rastjo med vtiki pri višji temperaturi. Če primerjamo posnetka C in D na sliki 3, bi sklepali, da lahko pri debelini valjanja 3.1 mm pričakujemo pomembnejšo rast zrn z deformacijsko inducirano rastjo zrn ferita, ko je temperatura ob koncu valjanja nad 750 °C. Navidezno nelogično je, da najdemo po valjanju pri 816 °C in 725 °C v mikrostrukturi večino cementita v lamelnarnem perlitu, pri vmesni temperaturi 754 °C pa je tega malo. Možna je naslednja razlaga: Pri določeni sestavi sta pri določeni temperaturi količini avstenita in ferita v ravnotežnih pogojih odvisni le od temperature. Med valjanjem se ne doseže ravnotežno stanje, ker se jeklo hitro hladi in ni dovolj časa za prerazdelitev ogljika med obema fazama z difuzijo. Pri visoki temperaturi je avstenit stabilen, in ko doseže temperaturo premene, nastane iz njega lamelarni perlit. Pri neki vmesni temperaturi je količina avstenita v ravnotežju s feritom zelo majhna, difuzivnost pa dovolj velika; že med valjanjem nastane zelo malo avstenita z mnogo ogljika in cementit se pri nadaljnjem znižanju temperature zbere v posamična zrna. Podoben primer smo opazili že pri valjanju 15-mm plošč iz nizkoogljicnega jekla (7). Pri še nižji temperaturi pa ta prerazdelitev ni več mogoča, ker je prepočasna difuzijska zamenjava ogljika, zato ostane nekaj avstenita do konca valjanja in se spremeni v perlit, ponekod pa v martenzit šele pri ohlajanju po valjanju.



Slika 3. pov. 200 ×, jeklo 1 z aluminijem: Mikrostruktura pri različnih temperaturah valjanja

Fig. 3 Magn. 200 ×. Steel 1 with aluminium: Microstructure at various rolling temperatures



Slika 4.

pov. 200 ×, jeklo z vanadijem in aluminijem: Mikrostruktura pri različnih temperaturah valjanja

Fig. 4

Magn. 200 ×. Steel with vanadium and aluminium: Microstructure at various rolling temperatures

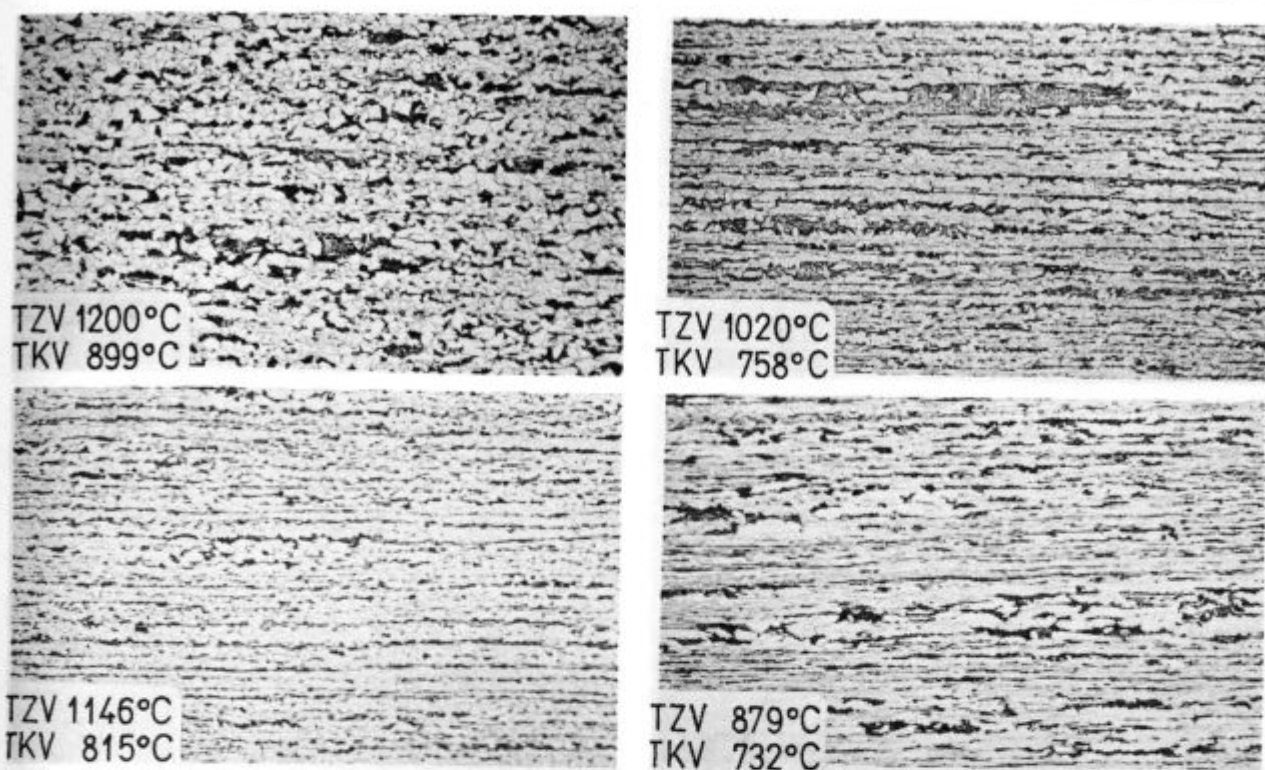
Pri visokih temperaturah valjanja je v jeklu z vanadijem evolucija mikrostrukture (sl. 4) podobna kot v primerjalnem jeklu 1. Po koncu valjanja pri nizkih temperaturah pa najdemo v jeklu vedno lamelarni perlit in tankih plasteh. Praktično ni videti znakov deformacijsko inducirane rasti ferita med valjanjem in po njem. To pove, da dodatek vanadija poveča stabilnost avstenita pri padajoči temperaturi med valjanjem. Velja poudariti, da je dodatek 0.07 % V zadosten zato, da se doseže zelo drugačna mikrostruktura valjanja pri temperaturah med ca 800 in 725 °C. Velja dalje povedati, da ne glede na temperaturo, v mikrostrukturi praktično ne najdemo znakov avstenita, ki med valjanjem ni rekristaliziral. To kaže, da vanadij ne zavira toliko statične rekristalizacije, da se ne bi izvršila v presledku časa med vtiki.

V jeklu 3, ki je mikrolegirano z niobijem, najdemo poleg istih elementov v mikrostrukturi kot pri jeklu z vanadijem še produkte transformacije nerekristaliziranega avstenita, katerih delež raste z znižanjem temperature valjanja, kar potrjuje izsledke pri valjanju 15-mm plošč (6, 8). Produkte transformacije nerekristaliziranega avstenita vidimo pri visoki temperaturi kot lečaste skupke zrn ferita in perlita (sl. 5a), ki po velikosti in obliki odstopajo od okoliških, ki so nastala iz rekristaliziranega avstenita in so manjša ter bolj poligonalna. Pri nižjih temperaturah se nerekristalizirane avstenit kaže kot posamična velika zrna zgornjega bajnita (sl. 5c), pri še nižji temperaturi pa najdemo dokaz za prisotnost nerekristaliziranega avstenita v sploščenih skupkih večjih feritnih in perlitnih zrn. Njihov nastanek razlagamo s tem, da velika zrna avstenita ne premenijo v bajnit, kot pri nekoliko višji

temperaturi. Pri nižji temperaturi valjanja je počasnejše izločanje deformacijske energije, ta pa poviša premenko temperaturo avstenita (9).

Jeklo 4, legirano z molibdenom, dobi pri visoki temperaturi valjanja mikrostrukturo iz poligonalnih zrn ferita, bajnita, lamelarnega perlita in martenzita (sl. 6). V mikrostrukturi ni znakov, da je ostal del avstenita nerekristaliziran, dokler začetna temperatura ne doseže 1014 °C. V mikrostrukturi najdemo slojasto porazdeljena ferit in bajnit in večja lečasta zrna bajnita. Izrazito slojasta porazdelitev ferita, bajnita in martenzita pri nižjih temperaturah je dokaz, da je valjanje potekalo v dvofaznem področju. Ferita je manj kot v primerjalnem jeklu, to pa je dokaz, da tudi legiranje jekla z molibdenom poveča stabilnost avstenita pri valjanju pri padajoči temperaturi jekla.

V jeklu s kromom in molibdenom najdemo po visoki temperaturi valjanja mikrostrukturo iz bajnita z zelo malo ferita in posamičnimi zrnji martenzita (sl. 7). Pri nekoliko nižji temperaturi valjanja najdemo že pomemben delež poligonalnih zrn ferita poleg bajnita in sledov martenzita. Razliko razlagamo s tem, da je kaljivost jekla pri ohlajanju na zraku bila manjša zaradi manjših rekristaliziranih zrn avstenita. Pri začetni temperaturi valjanja 1000 °C najdemo mnogo velikih lečastih bajnitnih zrn, ki so znak obstoja nerekristaliziranega avstenita v vsem razponu temperature valjanja. Ferita je malo in ga najdemo v tankih plasteh med zrnji bajnita in martenzita plastaste ali lečaste oblike. Po videzu mikroposnetkov je ferita manj kot v jeklu 4; logičen je zato sklep, da krom še dodatno stabilizira avstenit v procesu valjanja. Molibden in krom malo zavirata rekristalizacijo avstenita med vtiki, saj v jeklih 2,

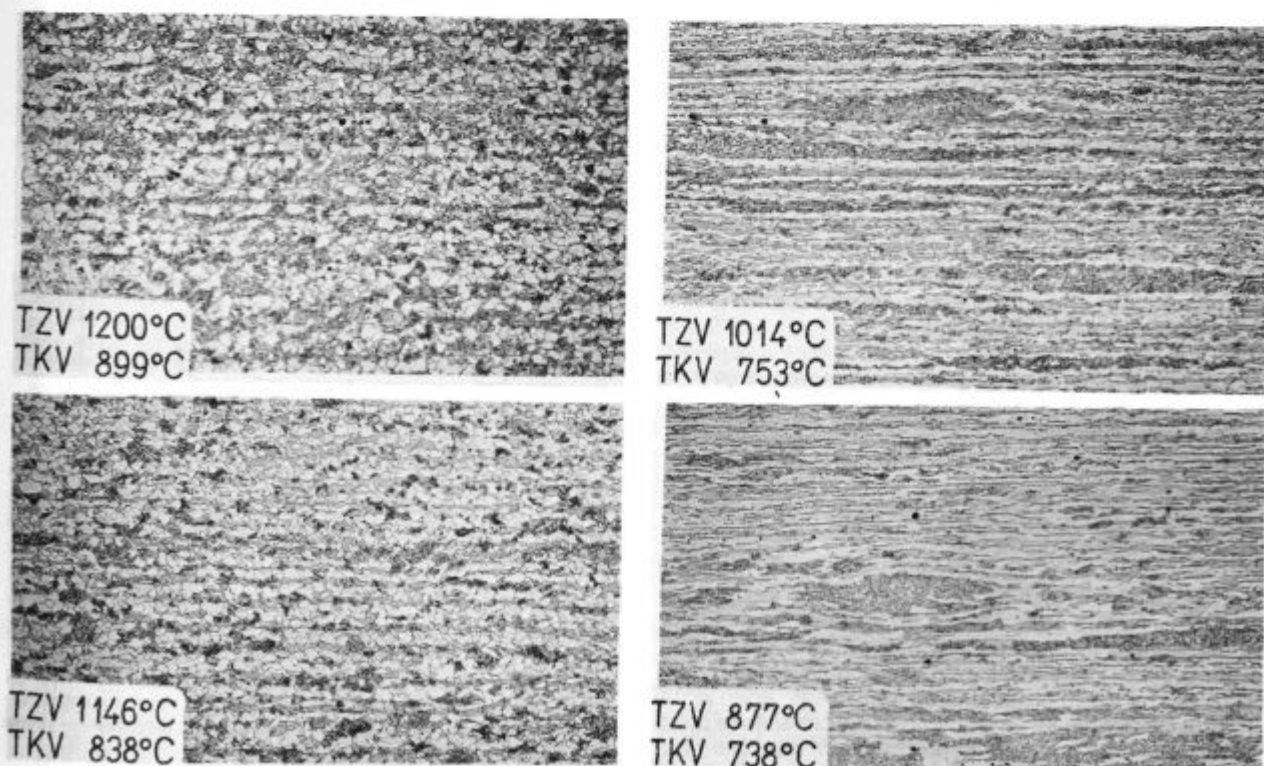


Slika 5.

pov. 200 ×, jeklo z aluminijem in niobijem: Mikrostruktura pri različnih temperaturah valjanja

Fig. 5

Magn. 200 ×. Steel with aluminium and niobium: Microstructure at various rolling temperatures

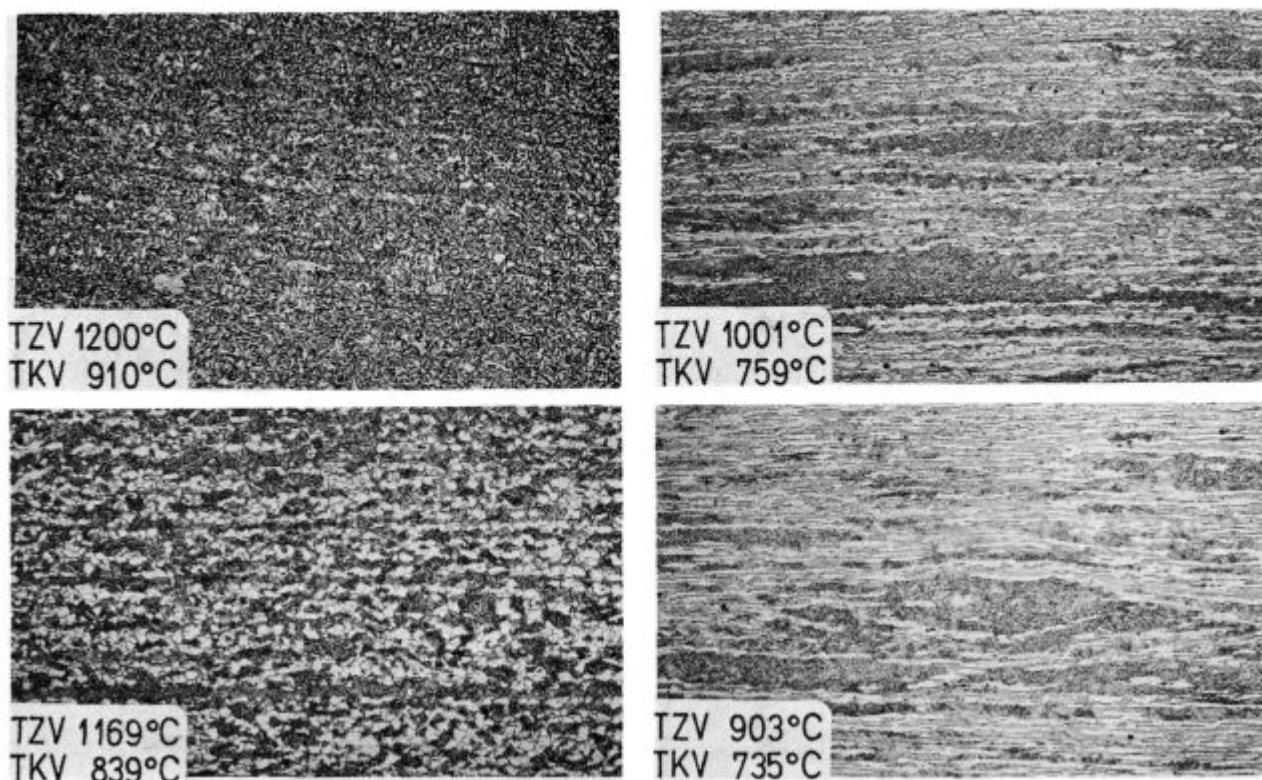


Slika 6.

pov. 200 ×, jeklo z aluminijem in z molibdenom: Mikrostruktura pri različnih temperaturah valjanja

Fig. 6

Magn. 200 ×. Steel with aluminium and molybdenum: Microstructure at various rolling temperatures



Slika 7.

Pov. 200 \times , jeklo z aluminijem, molibdenom in kromom: mikrostruktura pri različnih temperaturah valjanja

Fig. 7

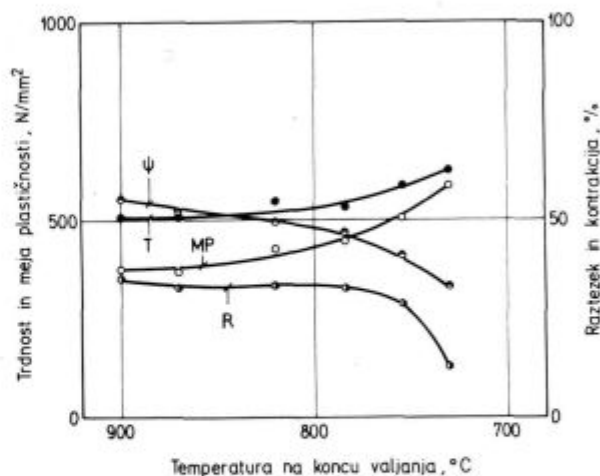
Magn. 200 \times . Steel with aluminium, molybdenum and chromium: Microstructure at various rolling temperatures

4 in 5 najdemo dokaz za nerekrystalizirani avstenit med valjanjem le od temperature začetka valjanja cca. 1000 $^{\circ}\text{C}$ in nižje, med tem ko se tak avstenit najde v jeklu z niobijem že po valjanju s temperature 1200 $^{\circ}\text{C}$. Sklep je, da posamični elementi močno vplivajo na formiranje mikrostrukture jekla v procesu valjanja skozi zadrževanje rekristalizacije avstenita med vtiki in povečanje stabilnosti avstenita pri padajoči temperaturi valjanja. Zato nastaja razlika v mikrostrukturi, ki se odraža na morfologiji mikrostrukture, ne pa na velikosti zrn ferita, ki je nastal v premeno rekristaliziranega avstenita med valjanjem ali pa pri ohlajanju po njem.

3.3. Mehanske lastnosti jekla v valjanem stanju

Na slikah 8, 9, 10 in 11 je prikazana odvisnost med temperaturo valjanja in mehanskimi lastnosti jekel. Trdnost in meja plastičnosti raste v vsem razponu temperature valjanja jekla z aluminijem, vendar nekoliko hitreje, ko se temperatura konca valjanja zniža pod ca 800 $^{\circ}\text{C}$. Nasprotno velja za duktilnost, torej kontrakcijo in raztezek, ki močno pade pod to temperaturo, še posebej kontrakcija. Odvisnosti na sliki 8 ni mogoče logično povezati z velikostjo zrn na sliki 2 po Hall-Petchovi enačbi, da sta trdnost in meja plastičnosti obratno sorazmerni korenu velikosti zrn. Kot logična se ponuja razlaga, da je odvisnost na sliki 8 produkt dveh dejavnikov: eden je mikrostruktura, drugi pa je preostanek deformacijske utrditve ferita, ki se s popravo med ohlajanjem na zraku ni izločila iz jekla. Veljalo bi posebej opozoriti na zelo dobre mehanske lastnosti jekla 1 v razponu temperatur konca valjanja 900 do 800 $^{\circ}\text{C}$. Meja plastičnosti je preko 350 N/mm 2 , trdnost preko 500 N/mm 2 , raztezek preko 30% in kontrakcija blizu 50%. Te lastnosti je nemogoče doseči

pri enaki sestavi v normaliziranem stanju in so torej produkt kontroliranega valjanja. Sodeč po mikrostrukturi se te lastnosti dosegajo pri pogojih valjanja, ko je popolna rekristalizacija avstenita med valjanjem in nastane med valjanjem le zmerna količina ferita. Zato ni pomembne

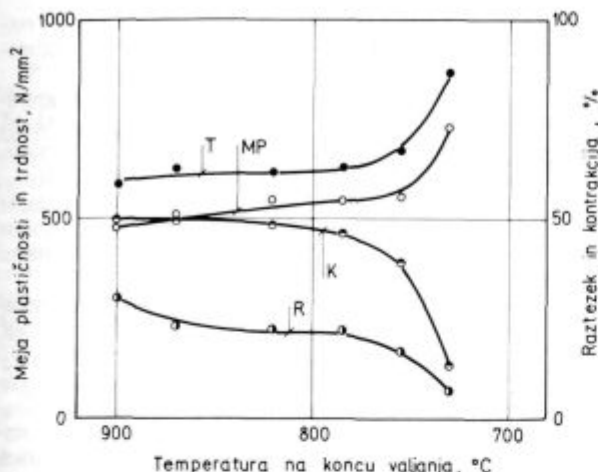


Slika 8.

Odvisnost med temperaturo konca valjanja in mehanskimi lastnostmi jekla z aluminijem. T — raztezna trdnost, MP — meja plastičnosti, R — raztezek in K — kontrakcije

Fig. 8

Relationship between the final rolling temperature and the mechanical properties of steel with aluminium. T — tensile strength, MP — yield strength, R — elongation, K — contraction

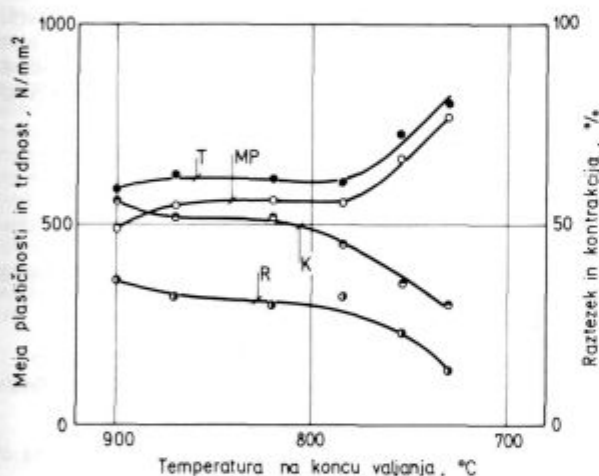


Slika 9.

Odvisnost med temperaturo valjanja in mehanskimi lastnostmi jekla z aluminijem in vanadijem

Fig. 9

Relationship between the rolling temperature and the mechanical properties of steel with aluminium and vanadium



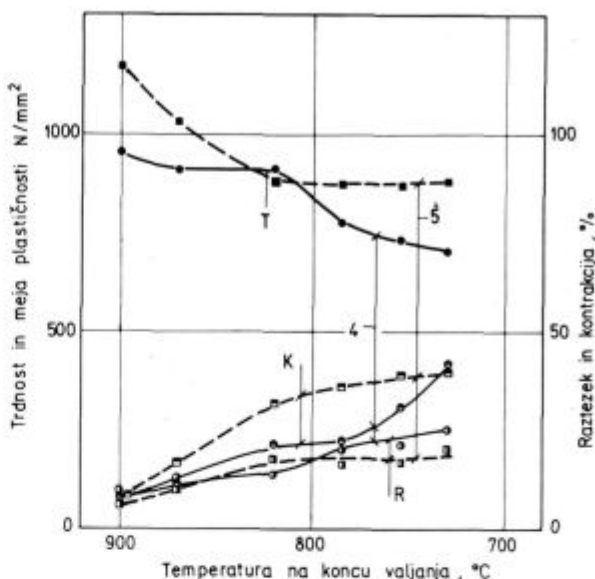
Slika 10.

Odvisnost med temperaturo valjanja in mehanskimi lastnostmi jekla z aluminijem in niobijem

Fig. 10

Relationship between the rolling temperature and the mechanical properties of steel with aluminium and niobium

deformacijsko inducirane rasti zrn ferita v presledkih med vtiki in med ohlajanjem. Logičen je zato sklep, da bi se najboljše lastnosti dosegle, če se zadnji vtik izvrši tik nad temperaturo premene avstenit-ferit in z začetkom valjanja pri temperaturi, ki zagotovi, da pride jeklo na končno temperaturo v normalnem ritmu valjanja. V mikrostrukturi jekla najdemo le ferit in lamelarni perlit. V primeru, da temperatura navijanja traku ne presega 600 do 650 °C, bi bilo mogoče pri tej sestavi doseči lastnosti, ki ustrezajo kontrolirano valjanju jekla, za katere je predpisana meja plastičnosti najmanj 350 N/mm². V jeklu 2, ki je mikrolegirano z vanadijem, opazimo podobno evolucijo mehanskih lastnosti v odvisnosti od temperature valjanja. V vsem razponu temperature valjanja je raztezek zmanjšan za ca 1/3, kontrakcija je zmanjšana manj, pač pa sta znatno višji meja plastičnosti in trdnost, ki sta pri končnih temperaturah med 900 in 800 °C nad



Slika 11.

Odvisnost med temperaturo valjanja in mehanskimi lastnostmi jekel z aluminijem, molibdenom in kromom

Fig. 11

Relationship between the rolling temperature and the mechanical properties of steel with aluminium, molybdenum, and chromium

500 oz. 600 N/mm². Po osnovni sestavi jeklo le po vanadiju odstopa od jekla 1, mikrostruktura po valjanju pa je podobna, zato je seveda popolnoma naraven sklep, da gre razlika v mehanskih lastnostih na račun izločilne utrditve ferita z vanadijevim karbidom pri ohlajanju s temperature valjanja. Diagram na sliki 2 kaže, da je pri tem nastalo le malo VC. Vemo, da je tvorba tega disperzoida zelo hitra pri zadržanju jekla v razponu temperatur med 700 in 550 °C, s tem da nizke temperature izločanja povišujejo trdnost in zmanjšujejo duktilnost. Logičen je sklep, da je mogoče doseči ob podobnih pogojih valjanja, kot za jeklo 1, drugačne kombinacije mehanskih lastnosti, ki pa bodo zelo odvisne od temperature navijanja trakov, vse ob pogoju, da temperatura valjanja ne pade pod okoli 800 °C.

V jeklu z niobijem se dosega z valjanjem v razponu med 900 in 800 °C podoben raztezek in kontrakcija kot v primerjalnem jeklu, pač pa večje meja plastičnosti in trdnost, ki dosega nad 500 oz. 600 N/mm². Sodeč samo po kombinaciji trdnosti in duktilnosti, se mikrolegiranje z niobijem kaže bolj obetajoče kot mikrolegiranje z vanadijem. To mogoče tudi je, vendar je potrebno upoštevati še dva dejavnika. Eden je, da je mikrostruktura jekla z niobijem bolj neenakomerna zaradi nepopolne rekristalizacije avstenita med valjanjem. Ni izključeno, da ta neenakomernost pri valjanju s končno temperaturo nad 800 °C ni posledica specifičnosti laboratorijskega valjanja in da bi se dosega večja enakomernost pri industrijskem valjanju. Valjanje slaba v trak namreč traja več časa, vtikov je več, temperatura je višja, ohlajanje pa bolj počasno. Je torej več prilike za popolno rekristalizacijo avstenita pred zaključnimi vtiki, kar zagotavlja mikrostrukturo iz enakomernih poligonalnih zrn. Druga razlika je v dejstvu, da se izvrši izločilna utrditev ferita z NbC v enakem temperaturnem intervalu kot utrditev z VC, vendar je hitrost obeh zelo različna. Niobij ima manjšo difuzivnost v feritu od vanadija, zato je izločilna utrditev zaradi NbC bolj počasna. S temperaturo navijanja je sicer

mogoče razlike kompenzirati, ni pa mogoče seveda kompenzirati vsake razlike, ker je hitrost ohlajanja jekla v kolobarju pri enaki širini traka odvisna le od teže. To pomeni, da so za selekcijo optimalnega mikrolegirnega elementa, vanadij ali niobij, potrebni industrijski poskusi s preverjanjem različnih temperatur navijanja.

Sodeč po diagramih na slikah 8, 9 in 10, bi bilo mogoče na osnovi relativno enostavne sestave doseči v kontrolirano valjanem stanju pri trakovih mejo plastičnosti 350 N/mm² ob zadostni duktilnosti, z mikrolegiranjem z vanadijem ali z niobijem pa mejo plastičnosti do 550 N/mm² tudi ob sprejemljivi plastičnosti. Na sliki 11 je prikazana odvisnost med temperaturo valjanja in lastnostmi jekel 4 in 5. Na zapisu sila-deformacija se je meja plastičnosti odkrila le pri posamičnih preizkušancih, zato je v diagramu izpuščena. Dodatek kroma in molibdena, ki povečujeta kaljivost, ima podoben vpliv na lastnosti jekla v valjanem stanju. Trdnost se znižuje s temperaturo valjanja, izraziteje pri jeklu s kromom in molibdenom. To je dokaz, da je trdnost odvisna od kaljivosti. Ta se zmanjšuje, ko se zaradi zaporednih rekristalizacij zmanjšuje velikost zrn avstenita, ali pa zrna, ki ne rekristalizirajo dobivajo podolgovato obliko z veliko površino, kar tudi zmanjšuje kaljivost. Iz slike 12 je mogoče zaključiti, da bi bilo zelo verjetno mogoče doseči boljše kombinacije lastnosti jekla po kontroliranem valjanju, torej zadosten raztezek in mejo plastičnosti nad 600 N/mm², s primerno kombinacijo legiranja in valjanja ob dobro opredeljenih pogojih ohlajanja kolobarjev, s ciljem, da se doseže mikrostruktura iz ferita, perlita in spodnjega bajnita ali martenzita, od katere je mogoče pričakovati dobro kombinacijo trdnosti in duktilnosti, ki je značilna za dual jekla (1).

SKLEPI

Izvršeni so bili poskusi, s katerimi smo v laboratoriju simulirali proces valjanja tankih plošč na reverzirnem kvarto stroju. Poskusi so bili izvršeni na jeklih, izdelanih v laboratoriju. Vsa jekla so bila pomirjena z aluminijem, imela pa so še dodatke vanadija, niobija, molibdena in kroma. Valjanje se je izvršilo v razponu od 1200 do ca. 730 °C v več vtikih s povprečno redukcijo okoli 30 %. Po valjanju so bile plošče ohlajene na posteljici iz predgretega šamota. Na jeklih so bile izvršene standardne preskave, ki so pokazale naslednje:

— količina disperzoidnih faz AlN, NbC in VC, ki nastaja med valjanjem, je precej različna. Vanadij (močnejše) in niobij pospešujeta tvorbo AlN med valjanjem;

— če je temperatura konca valjanja jekla z aluminijem in vanadijem v razponu med 900 in 800 °C, se dosega enakomerna mikrostruktura in lastnosti z mejo plastičnosti do 500 N/mm² ob zadovoljivi plastičnosti;

— v istem razponu temperature valjanja se dosega v jeklih z niobijem še nekoliko boljše lastnosti, vendar je mikrostruktura manj enakomerna zaradi nepopolne rekristalizacije avstenita med vtiki;

— v jeklih z molibdenom in kromom nastaja pri valjanju pri visoki temperaturi enakomerna mikrostruktura. Tehnoloških vidikov ni mogoče oceniti, ker je zaradi hitrega ohlajanja nastalo mnogo bajnita in martenzita, zaradi česar je duktilnost nezadostna;

— pri temperaturah konca valjanja pod 800 °C je nastala v vseh jeklih neenakomerna mikrostruktura zaradi nepopolne rekristalizacije avstenita in ferita med valjanjem, deformacijsko inducirane rasti ferita med valjanjem in po njem in izmenjave ogljika med avstenitom in feritom in avstenitom pri valjanju v dvofaznem področju. Če je temperatura valjanja prenizka, da bi poprava odpravila deformacijsko utrditev ferita, se duktilnost jekla mnogo zmanjša;

— končno kažejo rezultati, da je mogoče s primernim planom valjanja, ki zagotovi, da se zadnji vtik izvrši blizu temperature premene avstenit-ferit med valjanjem in pri ustrezni temperaturi navijanja mogoče doseči s kontroliranim valjanjem zelo dobre lastnosti pri relativno preprosti sestavi jekla.

LITERATURA:

1. B. Pretnar: ŽEZB 17, 1983, 105—109.
2. T. Gladman, D. Dulieu in I. D. Mc Ivor: Microalloying 75, Union Carbide Corporation, New York, 1977, 32.
3. T. Tanaka, T. Tabata, T. Hatomura in C. Shiga: Microalloying 75, Union Carbide Corp., New York, 1977, 107.
4. S. Gohda, T. Watanabe in J. Hashimoto: Trans. ISIJ 21, 1981, 6.
5. A. Osojnik, T. Lavrič in F. Vodopivec: Žel. Zb. 14, 1980, 87.
6. F. Vodopivec, M. Gabrovšek, M. Kmetič in A. Rodič: Metals technology 11, 1984, 481.
7. F. Vodopivec, M. Kmetič in A. Rodič: ŽEZB 18, 1984, 9.
8. F. Vodopivec, M. Gabrovšek in J. Žvokelj: Transactions of ISIJ 28, 1988, 117.
9. W. Roberts: Scand. J. of Metallurgy 9, 1980, 13.

ZUSAMMENFASSUNG

Im Laboratorium wurden Versuche durchgeführt das Walzen von Feinblech an einem Reversierquartogerüst zu simulieren. Die Walztemperatur lag in einer Spannweite von 1200 bis 730 °C, das Walzen ist in 6 Stichen durchgeführt worden mit einer durchschnittlichen Abnahme von 30 % für den Stich. Die Versuche sind an mehreren Stählen mit ungefähr gleicher Grundzusammensetzung mit Zusatz von Aluminium, Vanadium, Niobium, Molybden und Chrom durchgeführt worden. Die Ergebnisse zeigen, dass im Falle wenn die Endwalztemperatur zwischen 900 und 800 °C liegt möglich ist ein gleichmässiges und feinkörniges Mikrogefüge zu erhalten, welches bei der einfachen Zusammensetzung eine Plastizitätsgrenze von 350 N/mm² bei genügender Duktilität zusichert. Im Stahl mit Zusatz von Niobium und Vanadium ist es möglich unter gleichen Bedingungen eine Plastizitätsgrenze über 500 N/mm² bei genügender Duktilität zu erzielen, wobei das Mikrolegieren durch Niobium etwas effektiver ist. Bei niedriger Endwalztemperatur wird noch höhere Plastizitätsgrenze erreicht, jedoch wird die

Duktilität stark verringert. Die Ursache liegt in dem, dass es sich wegen der niedrigen Temperatur die Verformungsverfestigung von Ferrit der zwischen dem Walzvorgang entstanden ist nicht beseitigen lässt. Die Abwesenheit der Rekristallisation von Ferrit und teils Austenit während des Walzvorganges ist die Ursache für das ungleichmässige Mikrogefüge von Stahl das mit einer Endwalztemperatur unter 800 °C gewalzt worden ist. Die Versuche zeigen, dass es möglich ist unter den Bedingungen, dass der Walzvorgang in der Temperaturspannweite durchgeführt wird die es ermöglicht, dass während des Walzens die überwiegende Menge von Austenit rekristallisiert, und nur wenig Ferrit gebildet wird, auch mit dem kontrolliertem Walzen am Reversierquartogerüst eine sehr gute Kombination von Festigkeit und Duktilität von Stahl bei preisgünstiger Stahlzusammensetzung zu erreichen. Die Haspeltemperatur ist nötig der Stahlzusammensetzung anzupassen so, dass durch die Ausscheidungshärtung oder durch die Umwandlung eine optimale Kombination der Eigenschaften erreicht wird.

SUMMARY

Laboratory test had the aim to simulate the controlled rolling of thin sheet on a reversing four-high mill. Rolling temperature varied between 1200 and 730 °C, and rolling consisted of 6 passes with an average reduction of 30 % per pass. Tests were made with several steels, having approximately the same matrix, but with additions of aluminium, vanadium, niobium, molybdenum, and chromium. The results show that uniform fine-grained microstructure ensuring yield strength of 350 N/mm² and sufficient ductility for steel of simple composition is achieved if the final temperature of rolling is between 800 and 900 °C. In steel with additions of niobium and vanadium the yield strength of 500 N/mm² and sufficient ductility are achieved under the same conditions, while microalloying with niobium is slightly more effective. At lower final rolling temperatures the obtained yield

strengths are even better, but the ductilities are highly reduced. The reason is that due to low temperatures the deformation hardening is not eliminated from ferrite which was formed during rolling. Absence of recrystallization of ferrite and of a portion of austenite during rolling causes an ununiform microstructure of steel which was rolled at final temperatures below 800 °C. Experiments show that a good combination of strength and ductility can be achieved in controlled rolling on a four-high mill with the steel having cheap composition, if rolling is done in the temperature range when the most of austenite is recrystallized and a small amount of ferrite is formed during the rolling. The temperature of coiling must be adjusted to the steel composition in such a way that precipitation hardening or transformation assures the optimal combination of properties.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполнены лабораторные опыты имели цель, чтобы смоделировать контролируемую прокатку листовой стали на реверсивном прокатном стане кварто. Температура прокатывания велась в диапазоне от 1200 до 730 °C и выполнялась в 6-ти пропусков в среднем прибл. 30 % на пропуск. Опыты выполнялись с несколькими сортами стали одной и тоже самой остоле при добавки алюминия, ванадия, ниобия, молибдена и хрома. Результаты показали, что в случае, если температура в конце прокатки в интервале между 900 и 800 °C можно получить равномерную мелкозернистую микроструктуру, которая обеспечит предел пластичности 350 Н/мм при достаточной дуктильности. В стали с добавкой ниобия и ванадия можно при тех же самых условиях получить предел пластичности свыше 500 Н/мм при достаточной дуктильности, причем микролегирование с ниобием немного более эффективно. При более низкой температуре прокатывания предел пластичности лучший, но дуктильность гораздо уме-

льшена. Причина этого в том, что вследствие низкой температуры на выделяется деформационная закалка из феррита, который образовался в течении прокатывания. Отсутствие рекристаллизации феррита и части аустенита во время прокатывания причина неравномерности микроструктуры стали, которая была прокатана при температуре ниже 800 °C. Опыты показывают, что это можно под условием, если прокатывание исполняется в интервале температур, которые дадут возможность, что в течении прокатки рекристаллизуется большая часть аустенита и образуется меньше аустенита. Также с прокатыванием, которое контролируем на реверсивном стане кварто можно получить очень хорошую комбинацию твердость и пластификацию стали при стали низкого качества. Температуру наматывания надо приспособить составу так, чтобы она вместе с выделением закалки или с изменением можно получить оптимальную комбинацию свойств.

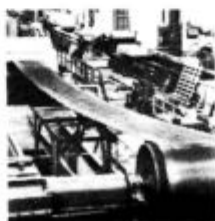
PRIKAZ

Izdelava jekel v elektro obločni peči, sekundarna rafinacija v vakuumski napravi, kontinuirno vlivanje jekla, vlivanje jekla v kokile, vlivanje odlitkov v livarni, valjanja gredic, slabov in predtrakov na valjalnem stroju bluming, valjanje žice in profilov, valjanje debele pločevine



PROIZVODNJE

Toplo valjanje trakov na valjalnem stroju (štekel), hladno vlečenje žice, hladno vlečenje profilov, hladno valjanje trakov, proizvodnja žeblicev, proizvodnja dodatnih materialov, izdelava hladno oblikovanih profilov, izdelava vratnih podbojev

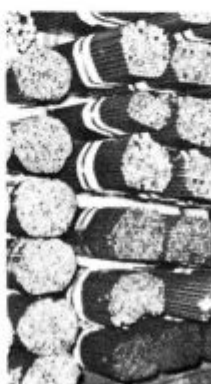


SLOVENSKE
ŽELEZARNE



ŽELEZARNA JESENICE

64270 Jesenice, Cesta železarjev 8, telefon: (064) 81 231, 81 341, 81 441
teleks: 34526 ZELJSN, Jugoslavija, telegram: Železarna Jesenice



V proizvodnem programu so naslednji izdelki:

gredice, toplo valjana debela, srednja, in tanka pločevina, hladno valjana pločevina in trakovi, toplo valjana žica, hladno vlečena žica, hladno vlečeno, luščeno in brušeno paličasto jeklo, hladno oblikovani profili, kovinski vratni podboji, dodatni materiali za varjenje, žeblice, jekleni ulitki, tehnični plini

Poleg navedenih izdelkov pa nudimo tudi storitve:

valjanje v pločevino ali trak, vlečenje v žico ali paličasto jeklo, toplotne obdelave, raziskave oziroma meritve lastnosti jekla, računalniške obdelave, psihološke, sociološke in ekološke študije, tehnološki inženiring

Planetarna valjarna in razvoj delovnih valjev

J. Gnamuš^{*1}

UDK: 621.771.064:621.771.073.002.2
ASM/SLA: W23c, W23k, F22, J

Prispevek obravnava spoznavanje funkcionalnosti planetarne valjarne in probleme, ki se pogosto pojavljajo pri izdelavi kvalitetno izredno zahtevnih delovnih valjev za planetarno ogrodje.

1. UVOD

Razvoj moderne tehnologije vročega valjanja je omogočil hiter razvoj valjarske opreme, posebno pa razvoj kvalitetnih delovnih valjev.

V petdesetih letih je Dr. T. Sendzimir, poljski strokovnjak, razvil valjarno s planetarnimi valjarskimi ogrodji. Gre za par podpornih valjev, ki ju obkroža skupina majhnih satelitskih delovnih valjev, ki reducirajo vročo jekleno bramo ali kontinuirno ulit slab v toplo valjan trak v enem samem prehodu.

Izdelava delovnih valjev za planetarno ogrodje je izredno zahtevna po metalurški plati, kakor tudi po mehanski obdelavi. Te vrste valjev v svetu uspešno izdelujejo samo tri firme.

Delovne valje za planetarno ogrodje PL 64 smo uvajali v začetku lanskega leta. Na osnovi raziskav smo izdelali komplet valjev s pripadajočimi rezervnimi valji.

2. VLOŽEK ZA PLANETARNO VALJARNO

Za vroče valjanje debelih pločevin in tankih trakov se vedno bolj uporabljajo kontinuirno uliti slabi. Razvoj gre v smeri zmanjšanja debeline slabov, in sicer se danes že ulivajo slabi z razmerjem med debelino in širino 1:3, oziroma 1:40. Kvaliteta površine in metalurške lastnosti teh slabov so sprejemljive.

Cilj razvoja je odliti slabe s čim manjšo debelino, in sicer naj bi bilo razmerje med debelino in širino 1:100. Temu razvoju sledijo tudi planetarne valjarne.

V planetarni valjarni lahko valjamo naslednje materiale:

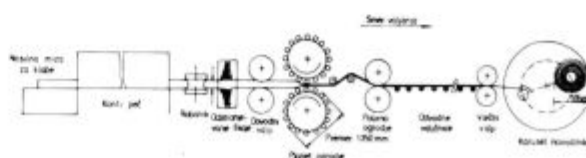
nizkoogljčna jekla	silicijeva jekla	aluminij in Al-legure
visokoogljčna jekla	nerjavna jekla	nikelj in Ni-legure
orodna jekla	medenino in baker	titan in posebne legure

3. OPIS PLANETARNE VALJARNE

Največja prednost planetarnih valjarn pred konvencionalnimi valjarnami je ta, da lahko valjamo slabe ne-

skončne dolžine in proizvedemo neskončno velik kolo-bar v enem samem prehodu z nad 95 % redukcijo. Planetarna valjarna je dejansko prava konti valjarna, saj slabi potekajo drug ob drugem skozi ogrodje, to pomeni, da praktično nimamo opravka z začetki in konci slaba.

Trak ima po celi dolžini enako obliko, površino in mikrostrukturo.



Slika 1:
Planetarna valjarna
Fig. 1
Planetary mill

Planetarna valjarna, kot jo kaže **slika 1**, je sestavljena iz naslednjih delov:

- nosilne mize za slabe
- 20 m dolge konti peči za ogrevanje slabov
- naprave za odškakanje
- enega ali dveh parov dovodnih valjev
- ogrodja planetarne valjarne
- polirnih valjev
- odvodne valjčnice in
- navijalnika

Vložek je vsestransko površinsko očiščen (brušenje) in ima dimenzijo 1300 × 125 × 16000 mm. Planetarna valjarna ne deluje po principu samodejnega podajanja. Poglavitna funkcija dovodnih valjev je, da potiskajo slab v planetarno ogrodje. Dovodni valji so nazobčani, da preprečujejo drsenje slaba nazaj. Redukcija debeline slabov je na tem ogrodju do 20 %. Vložek potuje skozi peč s hitrostjo 2 m v minuti. Končna debelina valjane pločevine je od 3,75 do 6,25 mm. Kapaciteta valjarne PL 64 je od 200 do 300 t/uro, odvisno od kvalitete pločevine, ki jo valjamo. Planetarne valjarne valjajo do 80 % nerjavne pločevine. Vsa pločevina se nadalje hladno valja na sendzimir ogrodju.

Na **sliki 2** je prikazan prečni prerez dovodnih valjev in planetarnega ogrodja. Podporna valja obkroža 48 delovnih valjev, katerih konci so pritrjeni na stranski obroč.

Na **sliki 3** vidimo geometrijo grabljenja valjev. Ko en par valjev zapušča trak, ga drugi par prične prijemat. Vsak par valjev se približno 200-krat na minuto dotakne pločevine.

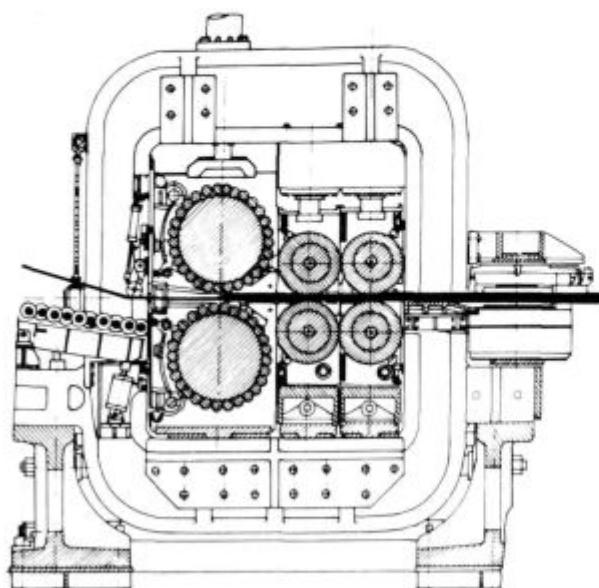
Po izhodu iz planetarnega ogrodja teče trak skozi polirno ogrodje in preko transportnih valjčkov v ravnalno

^{*1} dr. Janko Gnamuš, dipl. ing. met., SŽ Železarna Ravne

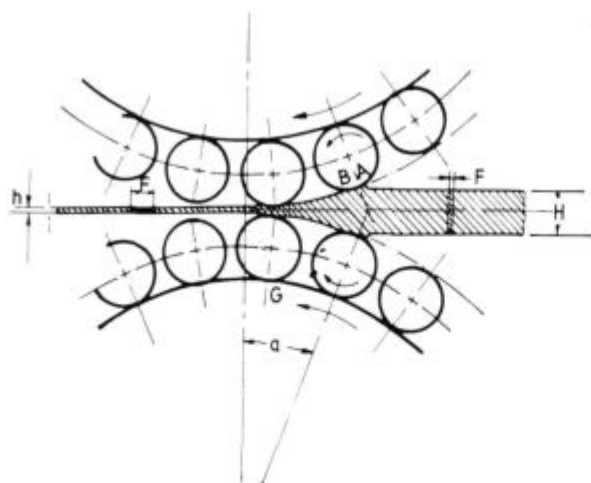
^{**} Originalno publicirano: ŽZb 23, 1989, 3

^{***} Rokopis prejet: 1989-05-15

vlečno ogrodje, kjer je stopnja redukcije od 7 do 15 %, odvisno od željene končne kvalitete in debeline pločevine. Trak se nato navije na navijalnik.



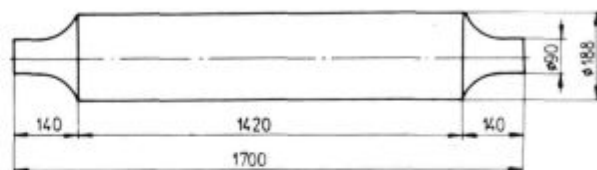
Slika 2:
Kombinacija planetarnih in dovodnih valjev
Fig. 2
Combination of planetary and feeding rolls



Slika 3:
Shematsko prikazan oprijem valjev v planetarnem ogrodju
Fig. 3
Schematically shown bite of rolls in planetary stand

4. IZDELAVA DELOVNIH VALJEV ZA PLANETARNO VALJARNO PL 64

Delovni valji (kot kaže **slika 4**) za planetarno valjarno morajo biti izdelani iz najkvalitetnejšega jekla, pretaljeni po EPŽ postopku in prekovani na GFM stroju. Jeklo mora biti homogeno, brez notranjih napak in nekovinskih vključkov. Toplotna obdelava je najboljša, če se izvede v zaščitni atmosferi, čepi pa se popustijo v solni kopeli. Vse navedene lastnosti in zahteve kupca lahko strnemo v naslednje metalurške zahteve, ki jim morajo ustrezati delovni valji za planetarno ogrodje:



Slika 4:
Shema delovnega valja
Fig. 4
Scheme of working roll

1. Na delovni površini valja ne sme biti (začetna dimenzija je $\varnothing 185$ in minimalni premer je $\varnothing 172,4$ mm) nobenih vidnih napak, ki bi jih povzročili vključki, pore in drugo, kar bi privedlo do površinskih napak na valjanem traku.

2. Telo valja mora imeti na površini trdoto 52–53 HRC in valj mora biti enakomerno prekaljen po celem preseku. Trdota čepov do začetka radiusa mora biti 40–43 HRC z enakomernim prehodom v kaljeno – popuščeno delovno površino.

3. Odpornost proti luščenju in drugim površinskim napakam mora biti zelo velika, za kar je potrebno zelo kvalitetno jeklo, brez velikih vključkov ali vidnih napak, z žilavo, drobnozrnatno mikrostrukturo iz popuščene martenzita z ugodno porazdeljenimi notranjimi napestmi.

4. V strukturi morajo biti karbidi enakomerno porazdeljeni.

5. Valji ne smejo imeti notranjih napak, ki bi lahko povzročile prelom valja med valjanjem.

Poenostavljeno povedano, valji morajo biti po kvaliteti enakovredni ali pa boljši od konkurenčnih firm (Hitachi, Creusot-Loire), ki jih kupci do sedaj uporabljajo.

5. POTEK IZDELAVE VALJEV

– Vrsta jekla

Odločili smo se za našo kvaliteto jekla Utop Mo 2, ki je zelo podobno jeklu H 13, iz katerega se izdelujejo ti valji. Izdelali smo modificiran Utop Mo 2 s povišanim molibdenom z naslednjo kemično analizo:

0,4 % C 1,1 % Si 5,2 % Cr 1 % V 1,7 % Mo

– Topla predelava jekla

Kovanje na GFM stroju pri temperaturi 1120–1150 °C. Končna temperatura zadnjega prehoda je bila 920 °C, pri tem pa je znašala deformacija okoli 20 %.

– Toplotna obdelava valjev

Poboljšanje valjev nam ni predstavljalo posebnih težav. Moramo pa poudariti, da so zahteve trdote v zelo ozkih mejah, kar zahteva dobre in natančne peči.

– Popuščanje čepov

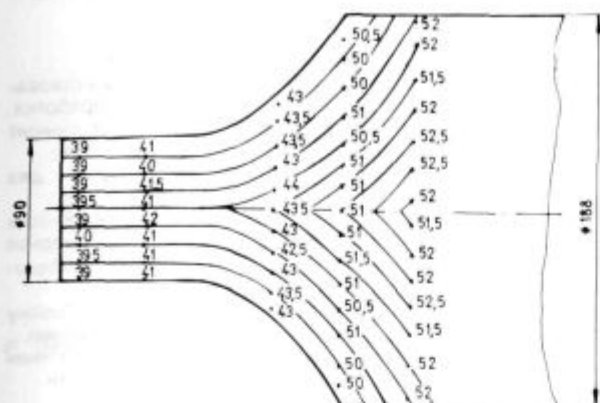
Ta operacija toplotne obdelave nam je povzročila velike težave. V raziskavi smo preizkusili tri načine toplotne obdelave:

- indukcijsko popuščanje čepov
- plamensko popuščanje čepov
- popuščanje čepov v solni kopeli

Za indukcijsko popuščanje nismo dovolj opremljeni, da bi lahko dosegli zadovoljive rezultate.

Plamensko popuščanje je sorazmerno enostavno. Željenih rezultatov pa kljub temu nismo dosegli, predvsem zato, ker popuščanja ne moremo izvršiti dovolj natančno.

Popuščanje v solni kopeli nam je dalo zadovoljive rezultate. Postopek smo zlahka prenesli v proizvodnjo in pri tem dobili odlične rezultate popuščanja čepov. Meri-



Slika 5:

Razporeditev trdote po preseku valja

Fig. 5:

Hardness distribution across the roll cross section

tve trdote na čepu in prehodu v telo valja so navedene na sliki 5.

Trdote na začetku čepa so nekoliko pod zahtevanimi vrednostmi, vendar ne vplivajo na kvaliteto čepa in jih je tudi kupec akceptiral.

Zelo pomembno je, da ima čep optimalne mehanske lastnosti, ker je med valjanjem najbolj izpostavljen

močnim sunkom vzmeti, ki valje vrača v izhodni položaj po prehodu valjanca. Najpogostejši vzrok za izmeček valjev je ravno lom čepa.

6. REZULTATI TESTIRANJA VALJEV

Članek je bil napisan že meseca julija 1988. Ker pa se je testiranje valjev pri kupcu zavleklo za več kot šest mesecev, ga objavljamo z zakasnitvijo. Valji so bili v januarju 1989. leta testirani in so pokazali dobre rezultate. Med prvimi in drugim valjanjem so valje samo prebrusili. Po drugem valjanju in prebrúšenju pa so jih tudi pregledali na ferofluku in na njih niso našli nobenih površinskih razpok. Prav tako so izmerili trdote na delovni površini in ugotovili, da so v zahtevanih mejah.

7. ZAKLJUČEK

Planetarne valjarne so doživele svoj poln razcvet v šestdesetih letih. Poleg razvoja valjarske opreme je vzporedno intenzivno potekal, in še teče, razvoj delovnih valjev.

Konkurenca v proizvodnji valjev je v svetu čedalje večja in pri tem ima največjo vlogo kvaliteta. Valji so orodje za valjarne in so zato nepogrešljivi.

Z uspešnim razvojem in proizvodnjo delovnih valjev za planetarno valjarno ter z njihovim testiranjem železarna Ravne ni osvojila samo nov proizvod za svetovni trg, ampak tudi dokazala, da je s svojo metalurško tehnologijo kos najbolj zahtevnim proizvodom.

ZUSAMMENFASSUNG

Im Beitrag wird die Entwicklung von Planetenwalzwerken und die Entwicklung der äusserst anspruchsvollen Arbeitswalzen für ein Planetenwalzgerüst behandelt. Beim Planetenwalzgerüst handelt es sich um ein Paar Stützwalzen die von einer Gruppe kleiner Satelliten Arbeitswalzen umkreist werden, und die vorgewärmte Stahlbramme ins warmgewalzte Band in einem einzigen Durchgang mit über 95 % Abnahme reduzieren. Die Brammen durchlaufen den Ofen mit der Geschwindigkeit von 2 m in der Minute. Der Endprodukt ist Warmgewalztes Blech in der Diche von 3,75 bis 6,25 mm, es entspricht für PL 64.

Die Forderungen für die Qualität der Arbeitswalzen für ein Planetenwalzwerk sind sehr hoch, sie müssen aus einem Qualitätsstahl erzeugt werden, nach dem ESU Verfahren umgeschmolzen werden und an einer GFM Maschine geschmiedet

werden. Bei der Entwicklung dieser Walzen ist die grösste Aufmerksamkeit der Qualität der Wärmebehandlung gewidmet worden, da nach unserer Betrachtung neben der Stahlqualität der Erfolg vor allem von der Wärmebehandlung abhängig ist.

An die Wärmebehandlung werden zwei wichtige Forderungen gestellt:

- die Härte der Arbeitsoberfläche der Walze im gehärteten und angelassenen Zustand muss vollkommen gleichmässig sein bzw. es kann höchstens um einen Grad Rockwell abweichen;

- die Härte im Übergang von der Arbeitsoberfläche in den Zapfen muss über den ganzen Querschnitt gleichmässig fallen.

Die Fehler die während des Walzvorganges auftreten sind am häufigsten am Übergang von der Arbeitsoberfläche in den Zapfen.

SUMMARY

The paper treats the development of planetary mills and the development of extremely demanding working rolls for these mills.

The planetary stand consists of a pair of supporting rolls which are surrounded by a cluster of small working rolls. The latter reduce the hot steel slab ingot into a hot rolled strip in a single pass with the reduction of over 95 %. The charge travels through the furnace with the speed of 2 m per minute. Final product is the hot rolled sheet 3.75 to 6.25 mm thick, valid for PL 64.

Demands for the quality of working rolls for the planetary mill are extremely high. They must be made of the steel of the highest quality, remelted by the ESR process, and forged on

the GFM machine. In the development of those rolls the most attention was given to the quality of heat treatment, since we are of the opinion that the final heat treatment is the greatest essential next to the quality of steel.

Heat treatment has two important influences:

- hardness of the working surface of the roll, as hardened and as tempered, must be completely uniform and permissible deviations are up to 1 HRC;

- transition of hardness from the working surface to the neck must be a uniform reduction of hardness over the whole cross section.

Frequent defects which appear during rolling are occurring just on the transition from the working surface to the roll neck.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье рассмотрено развитие планетарных прокатных станов и также развитие очень требовательных рабочих валков для планетарного оборудования. При планетарном оборудовании это касается пара опорных валков, которые окружают большое количество небольших сателлитных рабочих валков, которые сокращают стальную браму в горяче прокатную ленту с одним переходом на 95 % редуцирования. Загрузка проходит через печь с быстротой 2-ух метров в минуту. Конечный продукт составляет горяче катаная листовая сталь в толщине от 3,75—6,25 мм, что соответствует планетарному валку 64.

Требования иметь в распоряжении для планетарного прокатного стана очень велики, эти валки должны быть изготовлены из самой лучшей стали переплавлено под ЭШ-пере-

плавом и перековано ГФМ машиной. При усовершенствовании надо особое внимание уделить термической обработки, так как мы считали, что кроме качества стали успех зависит главным образом от конечной термической обработки.

Термической обработки ставятся следующие два важные требования:

— твердость рабочей поверхности валка в закаленном и в состоянии понижения должна быть вполне равномерная относительно отступление не смеет быть выше одной единице по Роквеллу.

— переход твердости от рабочей поверхности в шейку валка должен равномерно понижаться по всему сечению.

Частые погрешности, которые обнаруживаются в течении прокатки между рабочей поверхности в переход шейки.

Vpliv toplotne obdelave na odpornost izvijačev proti upogibu in zvoju

F. Uranc¹UDK: 620.17:621.785:669.14.018.29
ASM/SLA: Q1, Q5, AY, T6p, 2—64

UVOD

Izvijači morajo imeti zadosti veliko zvojno trdnost, da se jim med uporabo ne odlomi vgreznjeni del. Obstajajo predpisi, ki terjajo od izvijačev, določene debeline stebra, določeno odpornost proti navoru. Tako naj bi izvijači, debeline 6 mm, vzdržali navor več od 12 Nm. Zgodilo se je že, da so izvijači vzdržali manjši navor, kot je predpisan. Ker so bili toplotno obdelani, kot je treba, je možen vzrok slabe kakovosti izvijačev le nezadostna kakovost jekla. Treba bi bilo primerjati ustreznost posameznih jekel, pa tudi poskušati z drugačnimi toplotnimi obdelavami do sedaj uporabljenega jekla. Medtem ko lahko vpliv toplotne obdelave na lastnosti že uporabljenega jekla ugotovljamo kar z zvojnim preizkušanjem izvijačev, je preizkušanje lastnosti drugih jekel nekoliko težje, saj nimamo izvijačev iz takih jekel. Jekla, ki so toplotno obdelana na tako visoko trdoto, kot jo imajo izvijači, moremo z zanesljivo natančnostjo preizkušati le zvojno ali upogibno, in seveda določati trdoto. Ker imamo od jekel, ki jih šele mislimo vpeljati v proizvodnjo izvijačev, na voljo le paličasto ali žičasto jeklo, ki ga je lažje preizkušati upogibno kot zvojno, smo poskušali najti odvisnost med zvojnimi in upogibnimi lastnostmi izvijačev. Na takšni osnovi bi potem mogli primerjati med seboj kar upogibne lastnosti različnih jekel, da bi ugotovili, katero jeklo in kako toplotno obdelano je najboljšo za izvijače.

Upogibali smo žice, debelin do 3 mm, na podporah, ki sta druga od druge oddaljeni 30 mm. Izvijače (debelin 5 ali 6 mm) smo upogibali na podporah, razmaknjenih za 75 mm.

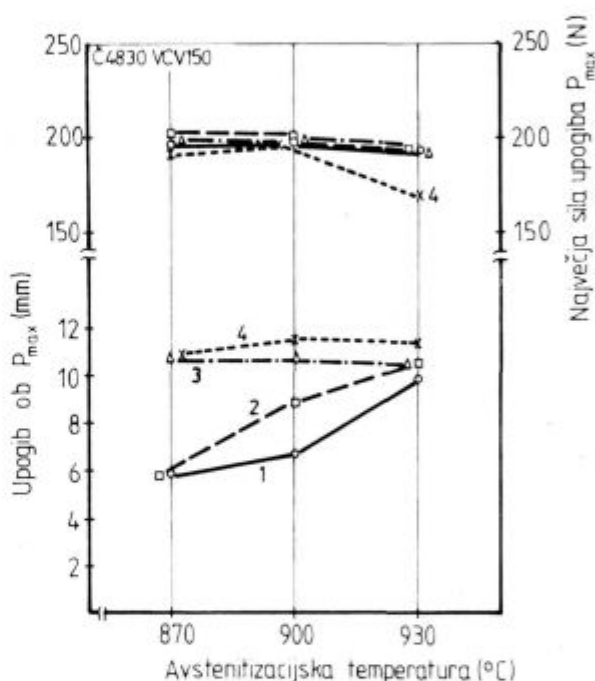
Pomični trn je pritiskal na preizkušane v sredini med mirujočima podporama.

1. VPLIV AVSTENITIZACIJSKE TEMPERATURE NA ODPORNOST JEKLA Č4830 — VCV150 PROTI UPOGIBANJU IN IZVIJANJU

a) Največja upogibna sila

Ta je pri tankih žicah (debeline do 2 mm) enaka po avstenitizaciji pri 870° C ali 900° C, pa tudi po avstenitizaciji pri 930° C, če ji ne sledi popuščanje na previsoko ali pre nizko temperaturo (sl. 1, 2).

Pri debelejših (debeline 3 mm) je upogibna sila enaka le po avstenitizaciji pri 870° C in 900° C (sl. 3), toda tudi še po popuščanju na 350° C.



Slika 1

Največja upogibna sila in upogib ob tej sili v odvisnosti od avstenitizacijske temperature. Žica debeline 1,6 mm, jeklo Č4830 — VCV150. Razdalja podpor 30 mm. Trije enaki preizkušanci.

Popuščanje:

1... 180° C, 2... 200° C, 3... 230° C, 4... 250° C.

Fig. 1

Maximal bending force and flexure at this force depending on the austenitization temperature. Wire 1.6 mm thick, of Č4830 — VCV150 steel. Span length between supports 30 mm. Three equal test specimens.

Tempering:

1—180° C, 2—200° C, 3—230° C, 4—250° C

Še debelejši preizkušanci (izvijači, debeline 5 mm) so pokazali enako silo (sl. 4) odpornosti po kaljenju z 900° C kot po kaljenju z 870° C in preizkušanci, debeline 6 mm, so vzdržali malo večjo silo po kaljenju z 870° C kot z 900° C.

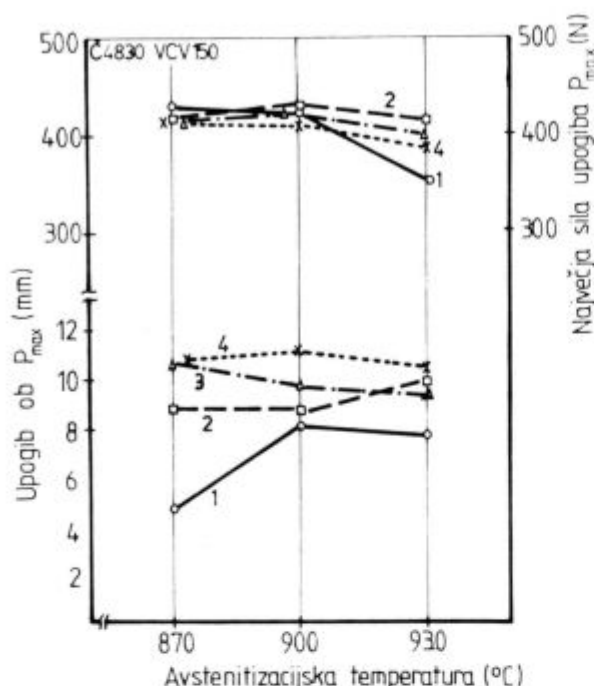
b) Upogib ob največji upogibni sili

Upogib tankih žic (1,6 mm) je tem večji, kolikor večja je avstenitizacijska temperatura v območju 860—930° C, če ne popuščamo nad 200° C. Po višjem popuščanju se ne pozna več vpliv avstenitizacijske temperature (sl. 1).

¹ Franc Uranc, mag. dipl. ing. met., SŽ — Železarna Ravne, 62390 Ravne na Koroškem

Originalno objavljeno: ŽZB 23, 1989, 3

Rokopis prejet: 1989—05—05



Slika 2

Največja upogibna sila in upogib ob tej sili v odvisnosti od avstenitizacijske temperature. Žica debeline 2 mm je iz jekla Č4830 — VCV150. Razdalja podpor 30 mm, po tri žice so enako obdelane.

Popuščanje:

1 ... 180° C, 2 ... 200° C, 3 ... 230° C, 4 ... 250° C.

Fig. 2

Maximal bending force and flexure at this force depending on the austenitization temperature. Wire 2 mm thick, of Č 4830 — VCV 150 steel. Span length between supports 30 mm, by three wires equally treated.

Tempering:

1—180° C, 2—200° C, 3—230° C, 4—250° C

Žice, debeline 2 mm, kažejo (sl. 2) ugoden vpliv zvišanja avstenitizacijske temperature na 900° C, le če so po kaljenju popuščene pri 200° C. Če jih popustimo pri višjih temperaturah, se upognejo enako tiste, ki so kaljene z 870° C ali z 930° C (popuščene pri 250° C) ali pa se višje avstenitizirane celo manj upognejo (popuščene pri 230° C).

Debelejši preizkušanci (3 mm) kažejo že po popuščanju na 200° C ali 260° C (sl. 3) škodljivost zvišanja avstenitizacijske temperature, saj upogib pade že zavoljo zvišanja te temperature od 870° C na 900° C.

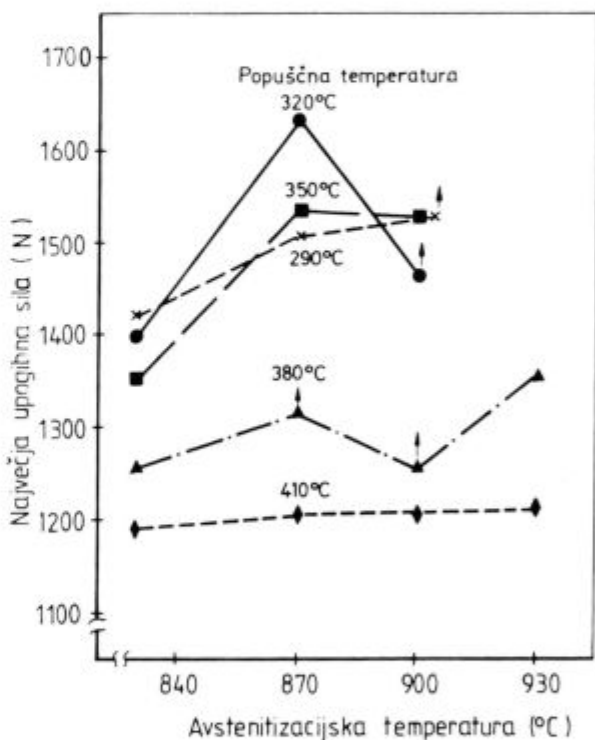
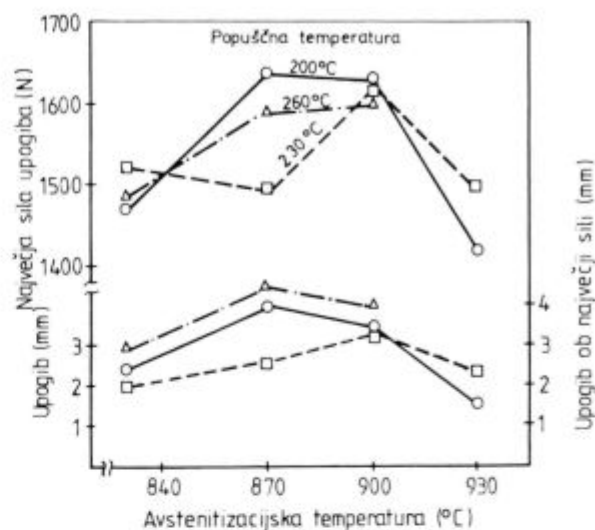
Še debelejši preizkušanci (izvijači, debeline 5 mm) niso pokazali (sl. 4) vpliva avstenitizacijske temperature na upogib, toda izvijači, debeline 6 mm, so se veliko manj upogibali, če so bili avstenitizirani pri višji temperaturi, kot pri nižji (n. pr. 870° C).

c) Največja sila elastičnosti

Sila do elastičnega upogiba kaže podobno odvisnost od avstenitizacijske temperature kot največja upogibna sila. To vidimo iz podatkov upogibanja izvijačev (sl. 4).

d) Elastična deformacija

je seveda sorazmerna elastični sili pri nateznem obremenjevanju, pa tudi pri upogibanju lahko pričakujemo takšno sorazmernost, vendar jo opažamo le pri pre-



Slika 3 (a, b)

Največja upogibna sila in upogib ob tej sili v odvisnosti od avstenitizacijske temperature. Žica debeline 3 mm je iz jekla Č4830 — VCV150. Razdalja podpor 30 mm.

Fig. 3 (a, b)

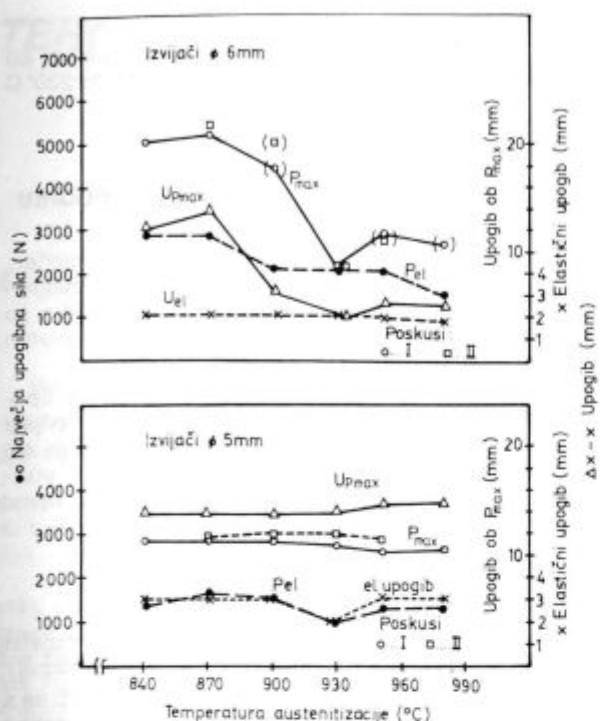
Maximal bending force and flexure at this force depending on the austenitization temperature. Wire 3 mm thick of Č 4830 — VCV 150 steel. Span length between supports 30 mm.

izkušanju tanjših izvijačev (sl. 4), ne pa pri tistih, debeline 6 mm.

Celotni upogib bo večji po višjem popuščanju.

e) Zvojne lastnosti

Vpliv avstenitizacije na zvojne lastnosti je težje meriti, ker sta pri zvojnem preizkušanju zelo pomembna poleg premera tudi dolžina preizkušanca in lastnosti po vsej prostornini in površini preizkušanca. Izsledki so po-

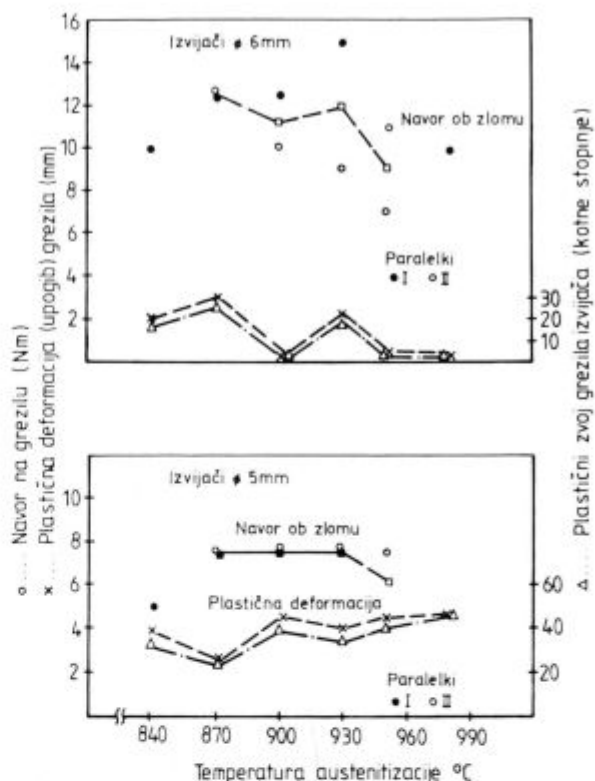


Slika 4

Upogibne lastnosti izvijačev debelin 5 in 6 mm. Razdalja med mirujočima podporama je 75 mm. Jeklo Č4830 — VCV150. Kaljeno v olju in popuščeno pri 200°C. Trdota 54,5—55,5 HRC.

Fig. 4

Bending properties of screwdrivers, 5 and 6 mm thick. Span length between fixed supports 75 mm. Č4830 — VCV150 steel, quenched in oil and tempered at 200°C. Hardness 54.5—55.5 HRC.



Slika 5

Zvojne lastnosti izvijačev debelin 6 in 5 mm. Jeklo Č4830 — VCV150. Kaljeno v olju in popuščeno pri 200°C. Trdota 54,5—55,5 HRC.

Fig. 5

Twisting properties of screwdrivers, 6 and 5 mm thick. Č4830 — VCV150 steel. Quenched in oil and tempered at 200°C. Hardness 54.5—55.5 HRC.

dobni kot pri upogibnem preizkušanju, le da so manj natančni, ker je bil preizkus na navor zelo preprost:

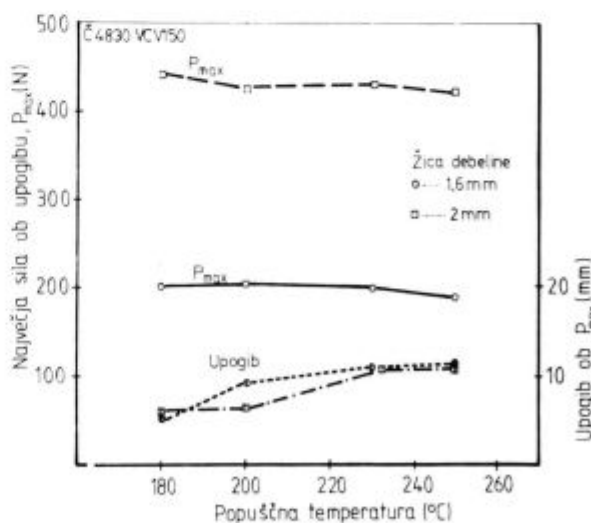
Rezilo izvijača smo vtaknili v DVM zarezo žilavostnega preizkušanca, na splošeni (normalno v ročaju) del izvijača pa smo pritrdili z vijakoma matico, katero smo nato obremenjevali z momentnim ključem.

Navor, potreben za odkrušitev rezila izvijača (sl. 5), se nad določeno avstenitizacijsko temperaturo začne zmanjševati in ta temperatura je nižja pri debelejših (870°C pri debelini 6 mm) kot pri tanjših izvijačih (930°C pri debelini 5 mm).

2. VPLIV POPUŠČNE TEMPERATURE NA UPOGIBNE LASTNOSTI

a) Upogibna sila

Poglejmo si najprej vpliv avstenitizacije in popuščanja. Žice, debelin 1,5 ali 2 mm (jeklo Č4830 — VCV150), so vzdržale največjo silo upogiba po kaljenju z 870°C tedaj, kadar so bile popuščene na 180°C (sl. 6). Kot vidimo, velja to predvsem za žice, debeline 2 mm, medtem ko so tanjše manj občutljive ter jih lahko popuščamo tudi na 230°C. Podobno se obnašajo tanke žice, če jih kalimo z 900 ali 930°C. Žice, debeline 2 mm, pa je po takem kaljenju najboljše popuščati pri 200°C. Ker je popuščanje na 200°C najugodnejše tudi na žice, debeline 3 mm, kaljene z 870 ali 900°C (sl. 3 a), lahko to popuščno temperaturo vzamemo kot najprimernejšo za doseganje velike trdnosti.

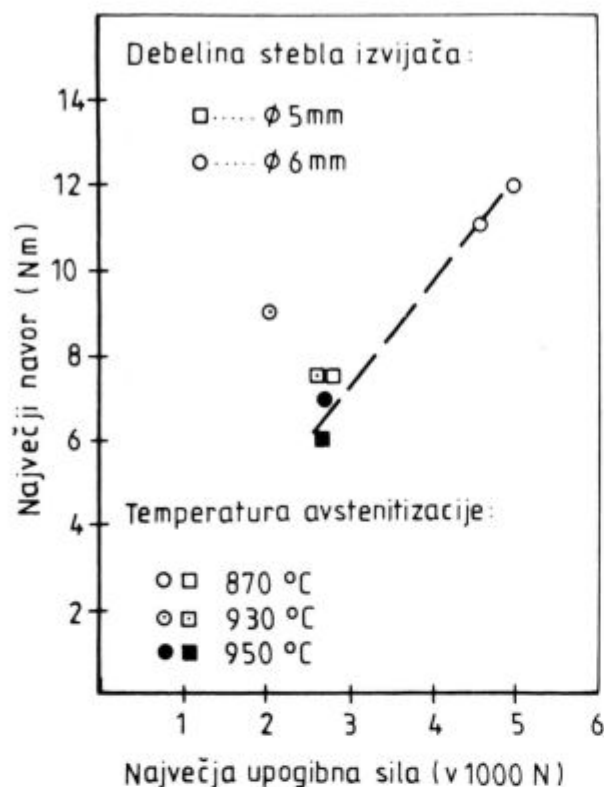


Slika 6

Največja upogibna sila in upogib ob tej sili v odvisnosti od popuščne temperature. Razdalja podpor je 30 mm. Jeklo Č4830 — VCV150. Avstenitizacijska temperatura je 870°C.

Fig. 6

Maximal bending force and flexure at this force depending on the tempering temperature. Span length of supports 30 mm. Č4830 — VCV150 steel. Austenitization temperature 870°C.



Slika 7

Največja sila pri upogibu in največji navor pri zvoju izvijačev iz jekla Č4830 — VCV150. Trdota 54,5—55,5 HRC. Razdalja podpor pri upogibu je 75 mm.

Fig. 7

Maximal bending force and maximal torque in twisting screwdrivers made of Č4830 — VCV150 steel. Hardness 54.5—55.5 HRC. Span length between supports 75 mm.

b) Upogib

Kot kaže **slika 6**, je upogib ob največji upogibni sili sorazmeren popuščni temperaturi vse od 180 do 230 °C (jeklo Č4830 — VCV150).

3. SOODVISNOST ODPORNOSTI PROTI UPOGIBU IN ODPORNOSTI PRI ZVOJU

Upogibni preizkus je razmeroma natančno določen, zato so tudi izsledki primerljivejši, kot so izsledki zvojnega preizkušanja. Zaradi tega moramo vedeti, koliko so uporabni rezultati upogibnega preizkušanja za toplotno obdelavo pozneje zvojno obremenjenih izvijačev.

Slika 7 kaže premočrtno soodvisnost največje upogibne sile z največjim navorom, ki so ga vzdržali izvijači iz jekla Č4830 — VCV150. Le pri majhni upogibni sili 2000 N se pojavi odstopanje od premice, vendar v pozitivno smer. To neskladje morda lahko pripišemo ravno nenatančnosti zvojnega preizkušanja.

4. SKLEPI

Upogibni in zvojni preizkusi žic in izvijačev, debelin od 1,6 do 6 mm, iz jekla Č4830 — VCV150 so pokazali:

Največja upogibna sila in sila za elastični upogib se s spreminjanjem avstenitizacijske temperature podobno spreminjata.

Največja upogibna sila je sorazmerna največjemu navoru, zato lahko za ugotavljanje učinkov toplotne obdelave uporabimo upogibni preizkus.

Za dosego največje upogibne sile in upogiba ob tej sili je izvijače iz jekla Č4830 — VCV150 najboljše kaliti s temperatur med 870 in 900 °C. Pri tem je dobro kaliti tanjše izvijače z 900 °C in debelejšje z 870 °C. Popuščanje pri 200 °C je najboljše.

ZUSAMMENFASSUNG

Ein Stahl mit 0,5 % C, 1 % Cr, 0,8 % Mn und 0,15 % V der auch zur Erzeugung von Schraubenziehern angewendet wird ist nach verschiedener Wärmebehandlung im Biege und Verdrehversuch untersucht worden.

Die grösste Biegebelastung ist bei allen Proben verhältnismässig gleich der Elastizitätsgrenze und dem grössten Moment die ein Schraubenzieher ertragen kann.

Geeignete Austenitisierungstemperatur beträgt 870—900 °C und die Anlasstemperatur ist 200 °C.

SUMMARY

Steel with 0.5 % C, 1 % Cr, 0.8 % Mn, and 0.15 % V which is also used for screwdrivers was tested on bending and twisting after various heat treatment processes.

The biggest bending force was for all the test pieces pro-

portional to the yield strength and the greatest torque which the screwdriver must stay.

The suitable temperature of austenitization is 870 to 900 °C, and tempering temperature 200 °C.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сталь с содержанием 0,5 % C, 1 % Cr, 0,8 % Mn и 0,15 % V, которая употребляется для изготовления отвёрток была испытана, после различных способов термической обработки, на изгиб и скручивание.

Самая высокая прочность на изгиб при всех испытанных образцах соответствует эластичности и самой большой винтовой нарезки, которых выдерживает отвёртка.

Соответствующая температура аустенизации лежит в интервале 870—900 °C, а снятия напряжения при 200 °C.

TEHNIČNE NOVICE

Jekla za verige

F. Legat¹⁾

UVOD

V proizvodnji verig poznamo dva najbolj pogosto uporabljena sistema varjenja:

— varjenje jekel klasično električno uporabno, kjer se jeklo na spoju zaradi povečanja upornosti pri prehodu toka segreje in nato s stiskanjem spoji. Nastali greben — grad se obreže s posebnimi noži;

— drugi način je sistem varjenja, kjer po kratkem stiku obeh spojenih delov dobimo tokovni lok. Ta lok segreva material na tako visoko temperaturo, da ogljik začne zgorevati. Gorenje je burno in tako leti ogljik z ostalimi kapljicami jekla iz spojnega dela. Ko je določena količina ali dolžina materiala odgorela, pritisk spoji oba dela. Nastali grad prav tako obrežemo s posebnimi noži.

Na prvi način lahko varimo navadna nizkoogljivična in nepomirjena jekla. Pri procesu varjenja v varu nastajajo oksidi, ki se pri stiskanju iztisnejo iz vara, vendar ne v celoti. Zato ima var še vedno razne vključke in izceje ter ga štejemo kot 90 % var. Napake v varu se pri popoljšanju ali samem kaljenju še povečujejo, zato na ta način izdelujemo samo navadne verige.

To so verige, ki so po varjenju le normalizirane zaradi izenačitve litih in pregretih kristalnih struktur preko vara.

JEKLA:

V ta namen uporabljamo danes jekla, ki jih obdeluje DIN 17115, danes najbolj popolna norma:

	C	Si	Mn
Č 1102 N USt 35.2	0.06—0.14	sledovi	0.40—0.60
Č 1102 P RSt 35.2	0.06—0.12	do 0.25	0.40—0.60
Č 1102 St 35.3	0.06—0.12	do 0.28	0.50—0.70

	P	S	Al
Č 1102 N USt 35.2	max. 0.040	max. 0.040	—
Č 1102 P RSt 35.2	max. 0.040	max. 0.040	—
Č 1102 St 35.3	max. 0.040	max. 0.040	0.020—0.050

Jeklo se uporablja običajno nežarjeno v valjanem stanju, luženo ali peskano. Za nižje dimenzije pa vlečeno s primerno deformacijo in brez vmesnega žarjenja.

Jekla za te verige imajo naslednje mehanske lastnosti:

	Re meja elast. N/mm ²	Rm trdnost N/mm ²	A ₅ raztezek %
URSt 35.2	215	345—440	30
RSt 35.2	215	345—440	30
St 35.3	215	345—440	30

Temperature normalizacije: 900—920 °C za vse tri kvalitete.

Na drugi način pa lahko varimo vsa jekla, ki se praktično uporabljajo za verige. Nekaj težav povzročajo le visokolegirana Cr-Si jekla, Al jekla ter siva litina. Ker pa ta ne pridejo v poštev pri proizvodnji verig, jih tu ne obravnavamo.

V to področje jekel spadajo vse kvalitete, ki jih navaja DIN 17115, kjer obravnava jekla za proizvodnjo verig. To so:

nelegirana jekla	C	Si	Mn	P max.	S max.
15Mn3Al	0.12—0.18	do 0.20	0.7—0.9	0.040	0.040
21Mn4Al	0.16—0.24	do 0.25	0.8—1.1	0.040	0.040
21MnSi5	0.18—0.24	0.25—0.45	1.1—1.6	0.040	0.040
27MnSi5	0.24—0.30	0.25—0.45	1.1—1.6	0.040	0.040
St 52 V	0.21—0.26	0.25—0.45	1.1—1.6	0.040	0.040

	Al	Cr	Ni	V
15Mn3Al	0.020—0.050	—	—	—
21Mn4Al	0.020—0.050	—	—	—
21MnSi5	0.020—0.050	—	—	—
27MnSi5	0.020—0.050	—	—	—
St 52 V	0.020—0.050	0.25—0.35	0.20—0.30	0.08—0.11

V tej grupi najdemo predvsem jekla za rudarske verige, DIN 22252-I, in jekla za sidrne verige kvalitetnih stopenj II. in III. Pri nas imamo sicer za te verige razvito drugo jeklo, St 52 V ali Č 8330 po naši JUS oznaki.

Ta nelegirana jekla imajo naslednje mehanske lastnosti:

	Re meja elastič. N/mm ²	Rm trdnost A ₅ %	Raztezek Z %	Kontraktacija
15Mn 3Al	245	440—540	25	—
21Mn 4Al	295	490—635	22	—
21MnSi5	785	980	8	40
27Mn Si5	785	980	8	40
St 52 V	480	700	17	55
St 52	860	1060	17	55

Predvidena toplotna obdelava:

	Mehko žarj. °C	Normaliz. °C	Kalj. °C	Popušč. °C
15MnAl3	—	890—910	—	—
21MnAl4	—	890—910	—	—
21MnSi5	650—720	880—910	880	400
27MnSi5	650—720	880—910	880	400
St52V	680—720	870—910	870	420

¹⁾ Franc Legat, dipl. ing. met., Veriga Lesce

Naslednja bolj zahtevna skupina pa so posebna mikrolegirana jekla. Ta vsebujejo poleg osnovnih elementov, ki spremljajo jeklo, še Cr, Mo, Ni in včasih tudi Nb.

Dostikrat proizvajalci jekel Mo zamenjajo s Ti ali V, vendar ta zamenjava ni čisto enakovredna, ker ima drugačne vezave z železom, ogljikom in jeklom v celoti.

Ta mikrolegirana jekla pa se uporabljajo za vse visokodopne elevatorske, rudarske in druge verige, ki pridejo toplotno obdelane — poboljšane ali kako drugače utrjene.

Ta jekla so:

	C	Si	Mn	Smax.	Pmax.
DIN 20NiCrMo2	0.17—0.23	max. 0.25	0.6—0.9	0.020	0.020
DIN 20NiCrMo3	0.17—0.23	max. 0.25	0.6—0.9	0.020	0.020
DIN 23MnNiCrMo52	0.20—0.26	max. 0.25	1.1—1.4	0.020	0.020
DIN 23MnNiCrMo53	0.20—0.26	max. 0.25	1.1—1.4	0.020	0.020
JUS Č 7435	0.20—0.26	max. 0.25	1.1—1.4	0.020	0.020
DIN 23MnNiCrMo54	0.20—0.26	max. 0.25	1.1—1.4	0.020	0.020

	Al	Cr
DIN 20NiCrMo2	0.020—0.050	0.35—0.65
DIN 20NiCrMo3	0.020—0.050	0.35—0.65
DIN 23MnNiCrMo52	0.020—0.050	0.4—0.6
DIN 23MnNiCrMo53	0.020—0.050	0.4—0.6
JUS Č 7435	0.020—0.050	0.4—0.6
DIN 23MnNiCrMo54	0.020—0.050	0.4—0.6

	Mo	Ni
DIN 20NiCrMo2	0.15—0.25	0.4—0.7
DIN 20NiCrMo3	0.15—0.25	0.7—0.9
DIN 23MnNiCrMo52	0.2—0.3	0.4—0.7
DIN 23MnNiCrMo53	0.2—0.3	0.7—0.9
JUS Č 7435	0.2—0.3	0.9—1.1
DIN 23MnNiCrMo54	0.2—0.3	0.9—1.1

S in P skupaj maksimalno 0.035 %, kar je zelo pomembna omejitev.

Mehanske lastnosti v poboljšanem stanju:

	Re meja elastič. N/mm ²	RM trdnost N/mm ²	Raztezek A ₅ %	Kontrakt. Z %	Žilavost (ISO-V) J
20NiCrMo2	980	1180	10	50	40
20NiCrMo3	980	1180	10	50	40
23MnNiCrMo52	980	1180	10	50	40
23MnNiCrMo53	980	1180	10	50	40
23MnNiCrMo54	980	1180	10	50	40

Vse te vrednosti so bile ugotovljene po naslednjem termičnem postopku:

kaljenje 880 °C/voda,

popuščanje minimalno 400 °C

Sicer so postopki in temperatura za posamezna jekla naslednji:

	Normaliz. °C	Mehko žarj. °C	Kaljenje °C	Popušč. °C
20NiCrMo2	870—900	650—720	870—890	min. 400
20NiCrMo3	870—900	650—720	870—890	min. 400
23MnNiCrMo52	860—890	650—720	860—880	min. 400
23MnNiCrMo53	860—890	650—720	860—880	min. 400
23MnNiCrMo54	860—890	650—720	860—880	min. 400

Ker ta jekla spadajo že v grupo trših legiranih kakovosti, ki delno zakalijo že na zraku, moramo upoštevati tudi trdnost v valjanem stanju. Če upogibamo verigo v toplem, so zahteve drugačne, kot če je upogibanje izvedeno v hladnem. V obeh primerih pa je važno rezanje bodisi na škarjah ali na posebnem stroju ali pa rezanje na žagah.

Prav zato navajamo tudi tabelo mejnih vrednosti mehanskih lastnosti za teh pet jekel in še na zadnji dve jekli iz prejšnje grupe.

To so maksimalne vrednosti, ki jih mora proizvajalec zagotoviti za uspešno rezanje pri pripravi surovcev.

Predpisane maksimalne vrednosti so:

	Rm trdnost N/mm ²	Trdota HB (30)	HV (10)
21MnSi5	860	255	268
27MnSi5	860	255	268
20NiCrMo2	860	255	268
20NiCrMo3	860	255	268
23MnNiCrMo52	860	255	268
23MnNiCrMo53	860	255	268
23MnNiCrMo54	860	255	268

S temi mejnimi vrednostmi se jeklo lepo enakomerno reže, žaga, pa tudi upogibalni stroji, ki upogibajo verige v hladnem direktno iz kolobarjev, tečejo dosti bolj mirno in brez pretirane obrabe orodja.

Jeklo pa se običajno pripravlja v dveh oblikah:

a) valjano v vročem,

— v tem stanju luženo ali peskano, nato se lahko upogiba v hladnem, kar pa pride v poštev le za navadna mehka jekla;

b) vlečeno jeklo v kolobarjih ali palicah.

Za upogibanje v toplem je priprava običajno samo rezanje in čiščenje, kar naredimo s peskanjem, včasih pa tudi z luženjem.

Naša jekla imajo tolerance ±0.5 mm do Ø16 mm, naprej pa že ±0.75 mm. Za stroje, ki varijo na obžigalni način, ta toleranca ni odločilna, če ni posredi še ovalnost. V takem primeru pa je obraba elektrod večja, obraba nožev prav tako; na splošno stroji tečejo z velikimi zastoji in majhnim izkoristkom. Če so posredi še površinske napake, kot:

risi, vključki, luske, zažganost, razogličnost, zaviljanost in podobno, pa je upogibanje samo valjanega jekla v hladnem že problematično.

Mikrolegirana jekla imajo zaradi ohlajevalne hitrosti pri valjanju že zakaljena mesta, kar se kaže v povečani trdnosti, ki se nahaja v področju 700 do 900 N/mm² in v majhni sposobnosti preoblikovanja.

Prav zaradi teh napak pa je vedno bolj aktualna priprava jekla v vlečenem stanju.

Poudariti moramo, da je pravilno valjanje v tolerancah z minimalnimi površinskimi napakami in dobrim žarjenjem po valjanju, ki daje ugodne mehanske lastnosti za hladno upogibanje, še vedno cenejše, kot vlečenje po predpisanem postopku.

Ker pa jeklarne niso povsod dobro opremljene za zagotovitev teh osnovnih zahtev, pa se po svetu in tudi že pri nas vedno bolj uveljavlja vlečenje z ustreznim termičnim postopkom. Priprava se vnaša tudi že v norme. Rezultat takega postopka je seveda prava trdnost, dober raztezek in kontrakcija, kar je osnovno zagotovilo za dobro upogibanje v hladnem. V takem primeru lahko računamo na zelo enakomerne člene, simetrično upognjene, brez posebnih odtisov in dodatnih elastičnih napetosti v hrbtnem delu člena. Površina nam zagotavlja dobre spoje z elektrodami, kar ima za posledico optimalno varjenje in nima nobenih napak zaradi zažiganja na površini.

Kakšne variante so možne in celo predpisane že v novih normah, nam kaže naslednja tabela:

	Rm N/mm ² Trdnost	HB trdota max.	Trdnost	Trdota	Trdnost	Trdota	Trdnost	Trdota
21MnSi5	680	200	810	240	—	—	—	—
27MnSi5	710	210	850	250	—	—	—	—
20NiCrMo2	710	210	850	250	610	180	740	220
20NiCrMo3	710	210	850	250	610	180	740	220
23MnNiCrMo52	790	235	930	275	710	210	850	250
23MnNiCrMo53	790	235	930	275	710	210	850	250
23MnNiCrMo54	790	235	930	275	710	210	850	250

Mehko žarj. (G) ali hladno vleč. in mehko žarj. (K + G) Hladno vleč. mehko žarj. in hladno vleč. (K + G + K) Žarj. na okrog. cem. (GKZ) ali hladno vleč. in žarj. na okrogli cementit (K + GKZ) Hladno vleč. in žarj. na okr. cementit in zopet hl. vlečeno (K + GKZ + K)

Vse navedene vrednosti so mejne maksimalne vrednosti, do katerih smejo segati lastnosti v praktičnem stanju.

Kot je bilo že rečeno, je še vedno cenejše upogibanje v hladnem iz valjanega materiala, če to jeklo nima drugih napak, ki občutno vplivajo na naslednje operacije pri proizvodnji verig.

Posebej je pa treba gledati na samo površino, ne samo zaradi napak na površini, pač pa tudi na razogljčenosti. Prav razogljčenost je dostikrat vzrok premajhnih površinskih trdot po kaljenju in tudi prenizkih trdnosti. Zato je treba resno upoštevati naslednje predpisane tolerance:

Premer v mm D	Dovoljena maks. globina razogljčenja v mm
do 8	0.10
8—12	0.12
12—17	0.16
17—23	0.20

Premer v mm D	Dovoljena maks. globina razogljčenja v mm
23—27	0.24
nad 27	(0.007 · d) + 0.05

Druga vrednost, ki je zelo pomembna, pa je sama sestava jekla. Jekla imajo po normah in po predpisu proizvajalca dane analize meje za posamezne elemente. Kljub temu pa pri proizvajalcih jekla pride dostikrat do odstopanj, ki povzročajo težave proizvajalcem verig.

Tolerance za kosovne analize so naslednje:

Element	Analizna meja %	Dovoljeno odstopanje v %
C	do 0.30	0.02
Si	do 0.45	0.03
Mn	do 1.0	0.04
	od 1.0 do 1.60	0.06
P	do 0.040	0.005
S	do 0.040	0.005
Al	do 0.050	+ 0.010
		- 0.005
Cr	do 0.65	0.05
Mo	do 0.30	0.03
	od 0.30 do 0.60	0.04
Ni	do 1.0	0.03
	od 1.0 do 1.10	0.04

Ker so ta jekla namenjena visokoodpornim in poboljšanim verigam, je zelo važno, kako se kakšno jeklo pri poboljšanju obnaša. Prav zato je pomemben kalilni preizkus in sploh krivulja trdot glede na oddaljenost od površine. Bolj natančne rezultate nam kaže tabela:

		Trdota v HRC — oddaljenost od površine											
		1.5	3	5	7	9	11	13	15	20	25	30	mm
20NiCrMo2	max	48	47	44	41	35	32	30	29	26	24	23	
	min	40	37	32	27	23	—	—	—	—	—	—	
20NiCrMo3	max	48	47	44	41	35	33	32	31	28	26	25	
	min	40	37	32	27	23	—	—	—	—	—	—	
23MnNiCrMo52	max	52	51	50	48	46	45	44	44	43	42	40	
	min	40	40	38	35	33	31	29	27	26	25	—	
23MnNiCrMo53	max	52	51	50	48	47	46	46	46	45	44	42	
	min	40	40	38	35	33	32	31	29	28	27	25	
23MnNiCrMo54	max	52	52	51	51	50	50	49	49	48	47	46	
	min	44	43	41	39	38	37	36	35	33	31	30	

Kot hladilno sredstvo pri kaljenju se običajno uporablja voda ali hladilno sredstvo, ki ima boljše ohlajevalno hitrost kot olje.

Po novih postopkih se za poboljšanje uporablja za kaljenje peč, ki segreva izdelke z indukcijo.

Popuščanje teče lahko na klasičen način v globinski napuščni peči ali pa tudi s pomočjo indukcije.

Pri popuščanju z indukcijo moramo računati na razlike v trdoti med ravnim delom člena in med spojnimi deli — radiusi. Ti so pri tem popuščanju trši. Če še enkrat pogledamo jekla za verige in njihovo delitev po vrstah, lahko ugotovimo, da se mikrolegirana jekla ločijo od navadnih po naslednjih tehnoloških zahtevah:

— predpisano imajo minimalno žilavost v poboljšanim stanju,

— dane so mejne vrednosti za trdote pri čelnem kalilnem preizkusu,

- enakomernost lastnosti po toplotni obdelavi,
- dokaj nizek dovoljen procent žvepla in fosforja.

Ta dva elementa pa danes z novo vakuumsko napravo v jeklarnah ne predstavljata nobenih težav več.

Za proizvodnjo verižnih členov je dokaj važna lastnost preoblikovanje v hladnem. Zato je v tabeli posebej poudarjen tudi preizkus upogibanja za vsa jekla.

Vrsta jekla	Premer trna za upogib 180° neobdelano, valjano stanje	Toplotno obdelano
URSt 35.2	0.5 d	
RSt 35.2	0.5 d	
St 35.3	0.5 d	
15Mn3Al	1 d	
21Mn4Al	1 d	
21MnSi5	1 d	
27MnSi5	—	G 1 d
St 52 V	1 d	
20CrNiMo2		GKZ 1 d
20CrNiMo3		GKZ 1 d
23MnNiCrMo52		GKZ 1 d
23MnNiCrMo53		GKZ 1 d
23MnNiCrMo54		GKZ 1 d

Ta tabela velja do premera \varnothing 26 mm tako za navadna jekla, ki so toplotno neobdelana, kar pomeni preizkušena direktno v valjanem stanju, in tudi za mikrolegirane vrste.

Jeklo 27MnSi5 je normalno mehko žarjeno (G), ostale legirane kvalitete pa so posebej mehko žarjene, tako da dobimo sferoidizirano obliko zrna. Seveda za vse preizkušance velja, da do kota 180° ne smemo dobiti nobenih risov v natezni in na tlačni strani pri hladnem upogibanju.

Kadar hočemo upogibati večje premere, pa pride v poštev samo upogibanje v vročem.

Seveda pa v naši razpredelnici manjkajo še jekla za nerjavne verige, ki se vedno bolj pogosto pojavljajo.

Poznamo tri vrste verig:

— Verige iz feritnega jekla, ki se kot obročkaste verige uporabljajo v pečeh za proizvodnjo klinkerja in cementa kot zavese in mešalci.

— Verige iz čistega avstenitnega jekla, ki imajo posebno dobro kislinško in protikorozijsko odpornost.

— Tretji razred pa dosegajo verige, ki s svojimi nosilnostmi spadajo že v področje visokoodpornih verig. Seveda, če hočemo te verige poboljšati in dobiti ustrezno trdnost, ne zadoščajo več do sedaj omenjena jekla, ampak je potrebno avstenitno — martenzitno jeklo.

Jekla, ki jih uporabljamo za te vrste verig:

	C %	Si %	Mn %	Cr %	Ni %	Mo %	Al %
Č 4972							
— X 10 CrAl 12	0.12	1.0	1.0	13			1
Č 4573							
— X 5 CrNiMo 18 10	0.8	1.0	2.0	17.5	12.0	2.0	
Č 4571							
— X 12 CrNi 18 8	0.10	1.0	2.0	18	9		

Toplotna obdelava verig je lahko:

- žarjenje,
- gašenje ali tudi delno
- poboljšanje

Te toplotne obdelave so predvsem potrebne zaradi varov in korozijske odpornosti.

ZAKLJUČEK

Za verige uporabljamo danes glede na potrebe v industriji in glede na zahteve samih postopkov celo vrsto jekel:

- nelegiranih
- mikrolegiranih in
- nerjavnih

Ta jekla, posebno druge skupine, zahtevajo precizno predpripravo, če je operacija upogibanja izvedena pri sobni temperaturi. Pregled daje točne tolerance, ki jih zahteva tehnologija proizvodnje, in tudi končne prevzemne norme. Trend razvoja jekel za verige in verižno opremo teče v svetu nezadržno navzgor, kar se tiče nosilnih trdnosti in tudi drugih tehnoloških lastnosti. Danes je razmerje med navadnimi in poboljšanimi verigami že 10:1. Seveda se na določenih mestih še vedno uporablja jeklo USt 35.2, vendar le za področja nizkih temperatur, kjer se predpisuje žilavost pri -40°C .

Temu trendu sledi tudi naša industrija z določenim zamikom.

Jeklo za sidrne verige višjih kvalitet

F. Legat¹⁾

UVOD

Jeklene verige uporabljamo v različne namene: privezovanje, nošenje, vlečenje, za vožnjo v snegu, zaščitne verige, sidrne verige in še v vrsti gospodarskih dejavnosti kot nenadomestljiv element v nekaterih tehnoloških procesih.

Verige iz okroglega jekla zato delimo v:

1. verige za splošno uporabo,
2. tehnične verige,
3. sidrne verige.

Verige za splošno uporabo so različne vrste prirejenih in opremljenih verig z različnimi členi, kavliji in obroči. Členi teh verig so različnih dimenzij in oblik. Verige so običajno preizkušene in toplotno neobdelane.

K tem verigam spadajo tudi snežne verige, ki omogočajo vožnjo avtomobilov v snegu in ledu. Snežne verige se izdelujejo po dimenzijah in vzorcih plaščev za avtomobilska kolesa, pa tudi po teži in moči vozila. Prav ta teža vozila močno vpliva na premer jekla, ki se za verigo uporablja.

Danes se snežne verige izdelujejo iz mikrolegiranih jekel, so kalibrirane in toplotno obdelane. Toplotna obdelava vsebuje obogatitve površine s C ali N in poboljšanje te površine na primerno trdoto. S tem povečamo obrabno trdnost členov in življenjsko dobo verige.

Tehnične verige uporablja predvsem industrija. Uporaba teh verig je zelo različna in so z različnimi standardi določene tako glede:

- dimenzij,
- oblik,
- mehanskih lastnosti,
- načina preizkušanja in
- uporabe.

Ker JUS standardi še nimajo urejenih svojih oznak za vsa jekla, iz katerih se te verige izdelujejo, uporabljamo v praksi poleg JUS-a tudi DIN norme, ki jih navajata spodnji dve razpredelnici.

Vrsta verige DIN	Material po DIN 17115	Toplotna obdelava	
5684	20 NiCrMo 3	poboljšanje	skupina verig višjih trdnosti, visokoodporne verige, rudarske verige-C
5687	20 NiCrMo 3	poboljšanje	
5684	23 MnNiCrMo 52	poboljšanje	
5687	23 MnNiCrMo 53	poboljšanje	
22252	23 MnNiCrMo 54	poboljšanje	

UR — nepomirjeno jeklo

R — pomirjeno jeklo (s Si ali Al)

SIDRNE VERIGE:

Sidrne verige so verige, ki jih uporabljamo za sidranje ladij na rekah ali morju in ploščadi za dela na morju. Te vrste verige izdelujemo v dimenzijah od premera 12 mm do 180 mm.

Poleg verig pa izdelujemo tudi opremo, ki pride v kompletu skupaj s sidrom na ladjo.

Običajno so sidrne verige v dveh izvedbah. Člen verige ima vgrajeno prečko ali mostiček; druga vrsta pa so členi brez mostičkov.

Pri rečnih ladjah so pogoji uporabe verige drugačni, zato so te verige tanjše in navadno brez mostičkov.

Sidrne verige delimo glede na minimalno garantirano natezno trdnost (min R m) v štiri kvalitetne stopnje:

- I. min R m = 400 N/mm²
- II. min R m = 490 N/mm²
- III. min R m = 690 N/mm²
- IV. min R m = 860 N/mm²

Vse sidrne verige so toplotno obdelane, le verige stopnje I. so toplotno neobdelane — surove; verige II. stopnje se normalizirajo, stopnje III pa se lahko normalizirajo ali poboljšajo, IV. stopnje pa samo poboljšajo.

Za izdelavo sidrnih verig veljajo predpisi in norme zavarovalnih družb, kot so: Lloyd Register, Bureau Veritas, Norske Veritas, American Bureau of shipping, Germanski Lloyd, Rina, Gost, Jugoregistar brodova itd.

Posebej pa imamo še razne norme DIN, RGW, v zadnjem času pa vedno več ISO norm, ki urejujejo tolerance in predpisujejo vse tehnične ter tehnološke lastnosti verig, postopkov in jekel.

Za boljše predstavitev navajam celotne podatke o sestavi jekla in o lastnostih za posamezne kvalitetne stopnje, ki jih daje Germanski Lloyd.

Kvalitetna stopnja po GL	Zrušilna trdnost R _m N/mm ²	Raztezek A ₅ min. %	Zoženje Z min. %	Žilavost Temp. °C	J
K 1 a	330—450	30	—	—	—
K 1 b	400—520	25	—	—	—
K 2	490—640	22	—	0	27
K 3	690—840	17	40	0	59

Vrsta verige JUS, DIN	Material po DIN 17115	Toplotna obdelava	
762	UR St 35-2	normalizacija	skupina normalizacija navadnih tehničnih verig kaljenje ali poboljšanje kaljenje ali poboljšanje
763	St 35-3	normalizacija	
764	R St 41-2	normalizacija	
766	St 41-3	normalizacija	
764	15 Mn 3 Al	normalizacija	
765	21 Mn 4 Al	normalizacija	

¹⁾ Franc Legat — dipl. ing. met., Veriga Lesce

V zadnjem času se pojavlja še takoimenovana K 4 stopnja, vendar se še ne uporablja dosti. Ima pa naslednje zahteve:

	R _m N/mm ²	A ₅ min. %	Z min. %	Žilavost Temp. °C	J
K 4	min. 860	12	40	0	59

Po kemični sestavi so jekla lahko različna, vendar je treba upoštevati naslednje mejne vrednosti:

Nam dosti poznani predpisi Germanskega Lloyd (GL) so:

	C %	Si %	Mn %	P % max.	S % max.	Al (topni)
GL-K 1 a	0.12	0.03—0.25	0.40—0.60	0.040	0.040	—
GL-K 1 b	0.17	0.03—0.25	0.40—0.60	0.040	0.040	—
GL-K 2	0.24	0.30—0.55	1.10—1.60	0.040	0.040	min. 0.015
GL-K 3	0.30	0.30—0.60	1.10—1.85	0.040	0.040	min. 0.015

Norma predlaga za posamezne kvalitetne stopnje verig v tabeli navedena jekla:

Kvalitetna stopnja:	Jeklo	Toplotna obdelava
K 1 a	R St 35.2	Toplotno neobdelan, normalizacija
K 1 b	R St 41-2	normalizacija
K 2	21 MnSi 5	normalizacija
K 3	27 MnSi 5	normalizacija; normalizacija in popuščanje; kaljenje in popuščanje

Druga varianta jekla za kvalitetno stopnjo K 3 je po njihovem predpisu St 52-3, po DIN 17100.

Pri nas se uporablja St 52 V, Č 8330 v normalizirani izvedbi. To jeklo je sicer dobro, vendar zahteva precejšnje čistočo in drobno sekundarno zrno, 8—10 po tabeli ASTM. Samo v taki obliki je dobro v normaliziranem stanju, sicer ga je treba poboljšati.

Za kvalitetno stopnjo K 4 mora biti jeklo poboljšano, to pomeni segreto na 880° C — ohlajeno v vodi in nato popuščano na 560—580° C.

Znana švedska firma za sidrne verige RAMNÄS pa je razvila še nekaj svojih kvalitetnih stopenj, ki imajo naslednje vrednosti:

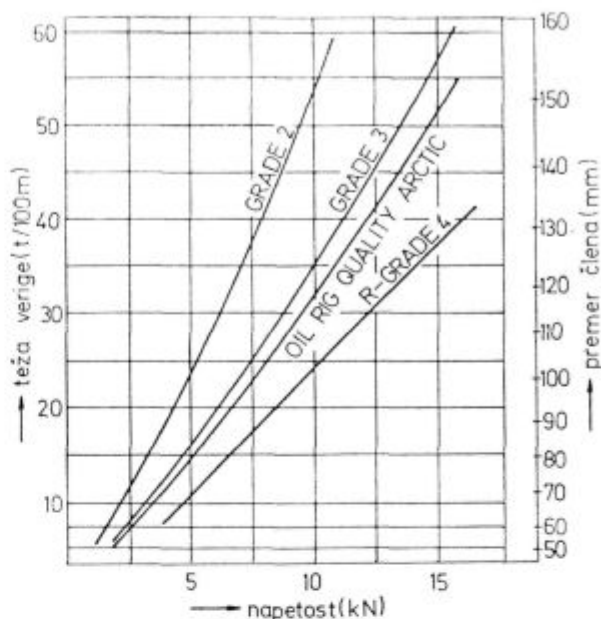
Oznaka, tip	Grade 3 Rig 6	Oil RIG Quality	Ramnäs Arctic	Grade 4 RIG
Trdnost R _m N/mm ²	690	641	690	860
Meja elastičnosti Re N/mm ²	—	—	—	580
Raztezek A ₅ %	17	17	17	12
Kontrakcija Z %	40	40	50	50
Žilavost J	40 pri -15° C	58 pri 0° C	40 pri -30° C	40 pri -20° C

Zaradi primerjave verig po dimenzijah prilagam diagram vseh pomembnih kvalitet v originalu.

Seveda imajo Švedi za vse te svoje kvalitete posebej razvito jeklo. Verige so v glavnem poboljšane; to pomeni kaljene in popuščane. Mostički so lahko varjeni ali pa tako oblikovani, da se po poboljšanju še vedno lepo prilegajo in se ne premikajo. Nova neuradna obvestila različnih zavarovalnih družb varjenja ne priporočajo, ker se bojijo razpok pri varjenju mostičkov.

Pri teh odločitvah ima zelo pomembno vlogo »Ce« ekvivalent, ki se izračuna po posebni formuli in pomaga s svojo vrednostjo pri odločitvi.

Poseben poudarek pri jeklih je na čistoči in velikosti zrna; to velja v prvi vrsti za ARCTIC kvaliteto. Imeti mora visoko žilavost pri -30° C, kar pomeni nizek ogljik, višji Ni in dosti Al.



Vsa jekla za sidrne verige se lahko varijo po obžigalnem postopku, nižje dimenzije (do Ø26 mm) pa tudi elektrouporovno na topi način.

V obeh primerih je to varjenje brez dodatnega varilnega materiala, zato na kvaliteto in izdelavo vara vplivajo v glavnem:

- Stanje osnovnega materiala pred varjenjem:
 - kemična sestava materiala,
 - fizikalno-kemična konstitucija materiala,
 - struktura materiala, kristalna zgradba,
 - notranje napetosti v materialu.
- Najpomembnejši vplivni dejavniki varjenja:
 - količina dovedene varilne toplote (odvisno od načina varjenja),
 - velikost pritiskov pri varjenju,
 - dolžina obžiganja in stiskanja.
- Razni drugi vplivi:
 - debelina zvarnih elementov,
 - obdelava varilnih površin,
 - napake v osnovnem materialu itd.

Lastnost materiala, ki vpliva na varjenje, kvaliteto izdelanega vara in obnašanje vara v času eksploatacije, se imenuje varivost materiala. Glede na prej navedene lastnosti je varivost:

- operativna, kjer v času varjenja dosežemo v varu materialno kontinuiteto brez napak,
 - metalurška, ki se izraža v stopnji strukturnih sprememb v zvarni coni in
 - konstrukcijska, ki kaže ponašanje vara v uporabi.
- Kemična sestava materiala in varivost:
Pri izdelavi verig sta pomembni operativna in metalurška varivost, ki sta precej odvisni od kemične sestave osnovnega materiala.

Osnovni material — jeklo pa je legura železa z ogljikom, manganom, silicijem, nikljem in drugih legirnih ter nekovinskih elementov (fosfor, žveplo, vodik, kisik, dušik). Na varivost materiala vpliva predvsem količina vsebovanega ogljika in drugih legirnih elementov. Količina ogljika povečuje pri varjenju nastajanje trdih in krhkih avstenitnih struktur v varu in zvarni coni materiala, in s tem večjo možnost zakalitve vara. Tudi drugi legirni elementi, ki so za kvaliteto jekla pozitivni, imajo vsak svoj vpliv na varivost, lastnosti materiala v varu in zvarni coni po varje-

nju. Zato jih količinsko v sestavi osnovnega materiala omejujemo.

Nekovinski elementi v osnovnem materialu imajo v vsakem primeru negativni vpliv na lastnosti jekla, kakor tudi na varivost. Če pri varjenju nastajajo plinski mehurčki iz nekovinskih elementov osnovnega materiala, je s tem operativna varivost materiala manjša.

Za merilo varivosti uporabljamo Ce_q — ekvivalent, ki ga izračunamo. Količino ogljika in legirnih elementov, ki vplivajo na varivost jekla, izražamo s Ce_q — ekvivalentom in služi kot merilo za njihovo skupno količino. Ce_q — ekvivalent lahko izračunamo iz enačb različnih avtorjev.

Za naša jekla za verige je še najboljša naslednja enačba:

$$Ce_q = C + \frac{Si}{24} + \frac{Mn}{10} + \frac{Cr}{5} + \frac{Ni + Cu}{40} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{14} \%$$

C, Si, Mn, Cr, Ni, Cu, Mo in V so procentni deleži sestavnega elementa v osnovnem materialu. Različne formule imajo različne mejne vrednosti za Ce_q .

Za navedeno velja: Če je Ce_q 0,37, je jeklo dobro varivo. Če je vrednost presežena, je jeklo slabše varivo, obstaja možnost zakalitve vara, v varu in zvarni coni se pojavljajo napake — razpoke, ki so kasneje vzrok raznih porušitev. Formula je vzeta iz japonske literature in je praktično preizkušena. Objavljena je bila v reviji WIRE, letnik 1983.

Vzrok za nastanek razpok v varu pri ohlajanju vara je tudi prisotnost vodika in drugih nečistoč v osnovnem materialu. Nam najbolj povzročajo težave sarže, ki jih uporabljamo za kvalitetno stopnjo III.

Jeklo je legirano z Mn, delno Cr in Ni. Posebej pa ima še 0,08—0,11 % V.

Naša želja je, da dobimo gotovo verigo z vsemi lastnostmi, ki jih zahteva predpis že z normalizacijo po varjenju. To nam pri jeklu Č 8330 vedno ne uspeva, ker dobimo občasno po normalizaciji bainit ali so žilavosti pri 0° C slabše zaradi grobega zrna in vključkov. V poboljšani izvedbi so rezultati dobri, vendar je postopek dražji in vezan na nove peči.

Da se tudi ostali proizvajalci trudijo z jeklom nam kaže tudi primerjava jekel, ki jih uporabljajo za sidrne verige.

Za primerjavo prilagam analize, kemične sestave jekel Zapadne Nemčije, Švedske, ZDA in Poljske.

Dežela	Kemična sestava — %					
	C	Mn	Si	P _{max}	S _{max}	Cr
ZRN	0,18	0,80	0,10	0,035	0,035	np
	0,24	1,00	0,20			
	0,18	0,70	0,15	0,035	0,035	np
	0,25	1,00	0,35			
ZDA	0,17	0,60	np	0,035	0,035	0,35
	0,24	0,95				0,65
	0,28	1,6	0,20	0,04	0,04	0,25
	0,33	1,9	0,35			
Švedska	0,3	1,5	0,4	np	np	np
	0,3	1,6	0,31	0,022	0,020	0,18

	Ni	Cu	Mo	V	Nb	Ostali
ZRN	np	np	np	0,017	np	—
	1,60 2,0	np np	0,2	np	np	—
ZDA	0,35	np	0,15	np	np	—
	0,70		0,25			
	0,40	0,35	0,08	0,10	0,05	—
Švedska	np 0,08	np nb	np nb	sledovi 0,10	—	— Al 0,023

Dežela — Poljska		Kemična sestava — %				
C	Mn	Si	P _{max}	S _{max}	Cr	Ni
0,22	1,0	0,17	0,030	0,030	0,45	0,45
0,28	1,30	0,37			0,65	0,65
0,25	1,40	0,17	0,030	0,030	max.	max.
0,32	1,80	0,37			0,30	0,30
0,29	1,56	0,34	0,020	0,018	0,16	0,05
Mo	V	Al _{min}	Cu _{max}	N ₂	Al	Ce
0,20	—	0,02	0,20	0,009	0,08	0,47
0,30				0,015		0,54
—	0,05 0,12	0,02	0,20	0,009	0,08	0,40 0,015
0,04	0,10	0,02	0,05	0,0014	0,08	0,51

ZAKLJUČEK

Sidrne verige so se z leti spreminjale glede na trdnost osnovnega materiala. V letu 1960 smo poznali tri kvalitetne stopnje, vendar je najvišja segala do 630 N/mm² in je imela predpisano žilavost 28 J pri +20° C.

Danes poznamo že štiri stopnje; najvišja ima minimalno trdnost že 860 N/mm² pri žilavosti 59 J, 0° C. Poleg teh pa je še nekaj kvalitet, ki se nahajajo tudi v zgornjem razredu, imajo pa povečane druge lastnosti: raztezek, Re, žilavost ali korozijsko odpornost.

Prav proizvodnja takoimenovane stopnje III pa nam povzroča največ težav. Ladjedelniška industrija po cellem svetu je prišla do jekla St 52 V z dodatki Cr in Ni.

To jeklo se lahko uporabi le z normalizacijo kot končno toplotno obdelavo, kar močno poceni proizvodnjo. Če pa jeklo ni dovolj čisto in fino zrnato, je potrebno verige poboljšati. To pa ni več tako enostavno, če računamo, da ima garnitura pri verigi Ø 80 mm ca. 190 ton. Drugi problem pa povzročajo še prečke, ki se po poboljšanju zaradi toplotnih dilatacij začnejo premikati. Ta III. stopnja predstavlja danes 90 % vse proizvodnje verig, zato je še toliko bolj interesantna. Stojimo pred alternativno:

- razviti in dodelati jekla za normalizirani postopek izdelave,
- poboljšati gotove verige in predhodno variti prečke na člen.



SLOVENSKE ŽELEZARNE
ŽELEZARNA
ŠTORE
ŠTORE

PROIZVODNI PROGRAM

Toplo valjani profili

- kvalitetno in plemenito ogljikovo jeklo ter
- kvalitetno in plemenito nizko legirano jeklo v okrogli, ploščati in kvadratni obliki.
- specialni profili po načrtih

Hladno oblikovani profili

- vlečeno in brušeno jeklo v vseh kvalitetah v okrogli, ploščati in specialni izvedbi

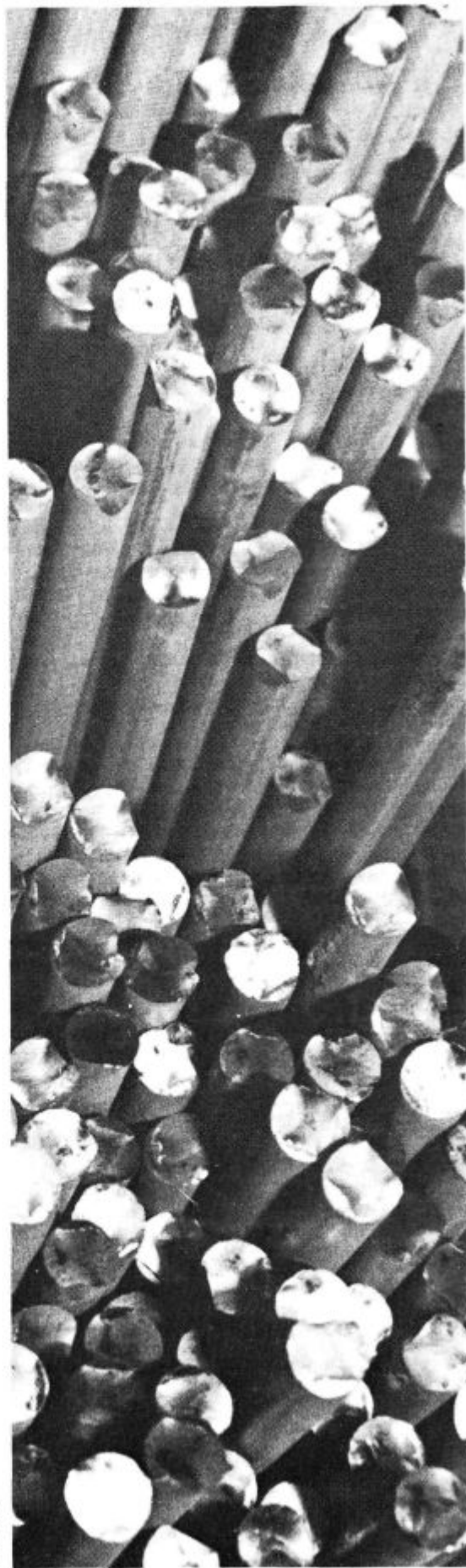
Livarski proizvodi

- ulitki iz sive litine.
- ulitki iz nodularne (KGR) litine.
- kontinuirno liti profili.
- litoželezni valji.
- jeklarske kokile.
- priklopna sedla.
- mehanski sklopi.
- strmoramenska platišča

Industrijska oprema

- industrijski gorilniki, industrijske peči za ogrevanje, žarenje itd.,
- indukcijske peči,
- rekuperativna toplotna tehnika.
- plinski oskrbovalni sistemi za ZP in zamenljive mešanice

*Vlečene
palice
kakovostnega
jekla*



Pomemben dosežek železarjev — čistejši zrak na Jesenicah

Dragica BEZLAJ¹

Železarstvo daje Jesenicam že od nekdaj industrijski pečat. Dejstvo je, da so v črni metalurgiji proizvodni procesi, ki pogojujejo težavne delovne razmere in bolj ali manj očitne ekološke probleme. Z večjim obsegom proizvodnje bolj kvalitetnih, specialnih jekel so se v Železarni Jesenice stopnjevale ekološke obremenitve, ki so se odražale zlasti v onesnaženem zraku jeseniške doline. Tega smo se železarji vsebolj zavedali, saj vse posledice najprej občutimo sami. Bolj zdrave ekološke razmere in varnejše, lažje delo smo železarji že minula desetletja skušali zagotoviti v prvi vrsti z modernizacijami proizvodnje in ukinitvijo zastarelih tehnologij, poleg tega pa z izgradnjo ekoloških objektov kot so čistilne naprave tako za zrak kot za vode. Poglavitna pridobitev za čistejši zrak na Jesenicah pa je seveda tudi uvedba čistejših energetskih medijev.

Tako je sedaj Železarna Jesenice v enem od pomembnih obdobjih, ko si v sicer na splošno težkih gospodarskih razmerah ob ekonomsko pogojenih spremembah ustvarjamo bistveno boljše ekološke pogoje dela in bivanja.

V letu 1987 smo zgradili novo elektrojeklarno — Jeklarno 2 in ukinitvijo oba plavža z aglomeracijo, januarja lansko leto pa smo ustavili še zadnjo od šestih Siemens-Martinovih peči, ki so dosedaj skoraj sto let onesnaževale jeseniško dolino z rdečim prahom železovih oksidov iz visokih dimnikov.

POVEZANOST EKOLOGIJE Z EKONOMIKO, ENERGETIKO

Tehnologija proizvodnje jekla je danes konkurenčna, če zagotavlja nižjo specifično porabo energije, višji izplen in večjo produktivnost pri visoko kvalitetnih jeklih. To je možno z modernjšo opremo, ki obenem zagotavlja tudi varnejše, bolj zdravo okolje.

Že ob združitvi slovenskega železarstva je bilo ocenjeno, da proizvodnja jekla po Siemens-Martinovem postopku na Jesenicah ne bo mogla dolgo zadoščati novejšim ekonomskim in tehnološkim zahtevam.

Energetska kriza je še pospešila odločitev za nadomestno proizvodnjo v modernejši elektrojeklarni. **Nova Jeklarna 2**, ki obratuje od 1987 leta, bo z optimalno proizvodnjo 210.000 ton jekla na leto zagotavljala vložek za valjarne, obenem pa je omogočila Železarni Jesenice tehnološko-tehnično sanacijo. Ekonomski vidik pa je v boljši kvaliteti proizvodov in odpisu visokih stroškov proizvodnje grodija oz. zmanjševanjem specifične porabe energije na tona jekla. Tako je naprimer v Talilnicah, kjer se potroši okrog 75 % celotne energije v Železarni Jesenice, upada specifična poraba energije iz 16.905 MJ/tono jekla v 1986 letu, ko je bila še prvotna proizvodnja grod-

lja, na 12.253 MJ/t v 1. polletju 1988, ko obratujeta Jeklarna 1 in Jeklarna 2 po ukinitvi plavžev in martinovk. To je več kot 25 % znižanje porabe celotne energije na enoto surovega jekla. Specifična poraba energije je od leta 1985 do 1988 — preračunano na skupno proizvodnjo — padla za 25 %, glede na blagovno proizvodnjo pa je manjša kar za 43 %. Z ukinitvijo proizvodnje grodija je odpravljen drag energetski medij — koks, ki je bil obenem z železovo rudo pri sintranju poglaviti vir onesnaževanja zraka z žveplovim dioksidom. Dovoza rude in koka ter ostalih materialov za proizvodnjo grodija od drugod na Jesenice ni več in se je s tem transport zmanjšal za 500.000 ton letno.

Sedanja proizvodnja jekla poteka izključno iz starega železa z električno energijo. Ker je potrebno s to najkvalitetnejšo vrsto energije skrajno varčevati, smo v Železarni Jesenice ob pričetku obratovanja Jeklarne 2 uvedli tudi računalniško vodenje konice porabe električne energije na nivoju železarne. Po programirani prioritati računalnik izklaplja posamezne električne obločne peči tako, da je enakomernejši dnevni diagram porabe, kar je ugodno tudi za elektroenergetski sistem Slovenije. Prihranek je v manjši potrebni konični moči in seveda okrog 20 % nižji specifični porabi električne energije na tona jekla.

Varčevanje energije je možno tudi z izkoriščanjem toplote hladilne vode in sicer je to smotno še zlasti pri takih toplotnih virih, kot je električna obločna peč. V Jeklarni 2 bo iz tega vira možno v končni fazi izkoristiti povprečno 4000 kWh odpadne energije iz hladilne vode pri peči za ogrevalni sistem v železarni. To pomeni prihranek od 70 do 80 TJ energije letno oz. 2,2 mio m³ zemeljskega plina. Zemeljski plin je drugi najvažnejši energetski medij v Železarni in predstavlja 33 % porabe celotne energije, vključno z električno, katere delež je 60 %. Z uvedbo zemeljskega plina po 1978 letu na vseh pomembnejših agregatih v Železarni namesto mazuta smo zmanjšali onesnaževanje zraka z žveplovim dioksidom (SO₂) za več kot 80 %, zlasti če upoštevamo ukinitve emisije SO₂ zaradi koka in rude. To je razvidno iz diagrama 1: Emisije SO₂ v kg/dan — poraba energije in sestava goriv v Železarni Jesenice 1972—1995 (brez električne energije).

EKOLOŠKE NALOŽBE ZA VARSTVO ZRAKA

Vse večje spremembe ekoloških pogojev zaradi drugačne tehnologije ali energetskih medijev v Železarni se odražajo tudi v njeni okolici. Tako je naprimer ob zmanjšanju emisij plinastega žveplovega dioksida (SO₂) iz Železarne zaradi čistejših goriv ali pa ob povišanju emisij zaradi rude z večjim deležem žvepla (diagram 1) zaslediti tudi sorazmerno manjše ali večje imisijske koncentracije žveplovega dioksida v mestu Jesenice (diagram 2).

¹ Dragica Bezljaj, dipl. ing. kem., Železarna Jesenice, 64270 Jesenice

Na osnovi vsakodnevnih meritev, ki jih izvaja Republiška služba za varstvo zraka v sklopu Hidrometeorološkega zavoda SRS (HMZ SRS) ugotavljamo, da so povprečne imisijske koncentracije SO_2 na Jesenicah tako v kurilni kot nekurilni sezoni že nekaj let v upadanju. Enodnevni presežki dopustne imisijske koncentracije (MDK), ki je po Odloku 530 v Ur. l. SRS 12/76 do $0,30 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$, so zelo redki. V kurilni sezoni 1987/88 je bila enkrat samkrat najvišja 24-urna koncentracija v centru Jesenic $0,18 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$, povprečna pa $0,04 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$.

Te primerjave potrjujejo predviden pozitiven ekološki učinek z uvedbo čistejših energetskih medijev v Železarni Jesenice.

Podobno so povprečne sezonske pa tudi maksimalne enodnevne imisijske koncentracije dima v zadnjih letih pod dopustno mejo (MDK $0,15 \text{ mg dima}/\text{mm}^3$), kar je razvidno iz diagrama 3.

Diagram 3

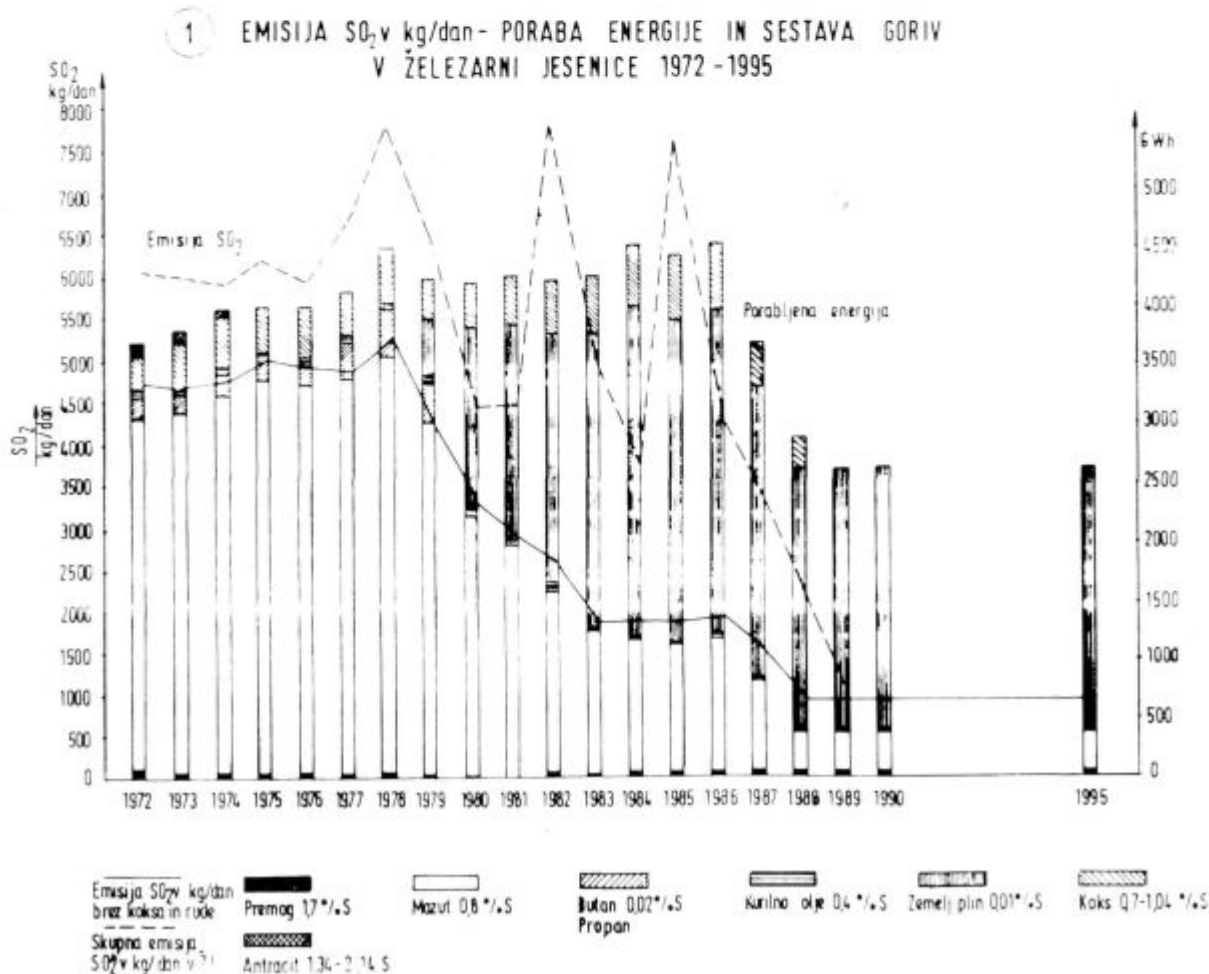
Tako so Jesenice v primerjavi z drugimi kraji v Sloveniji po onesnaženosti zraka na 26. mestu zaradi povprečnih koncentracij SO_2 in na 33. mestu zaradi zadimljenosti zraka v kurilni sezoni 1987/88. V tretje območje onesnaženosti zraka sodijo Jesenice predvsem zaradi prašnih usedlin — to je grobega prahu, ki se odseda in za bronhialna obolenja ni tako nevaren kot dim.

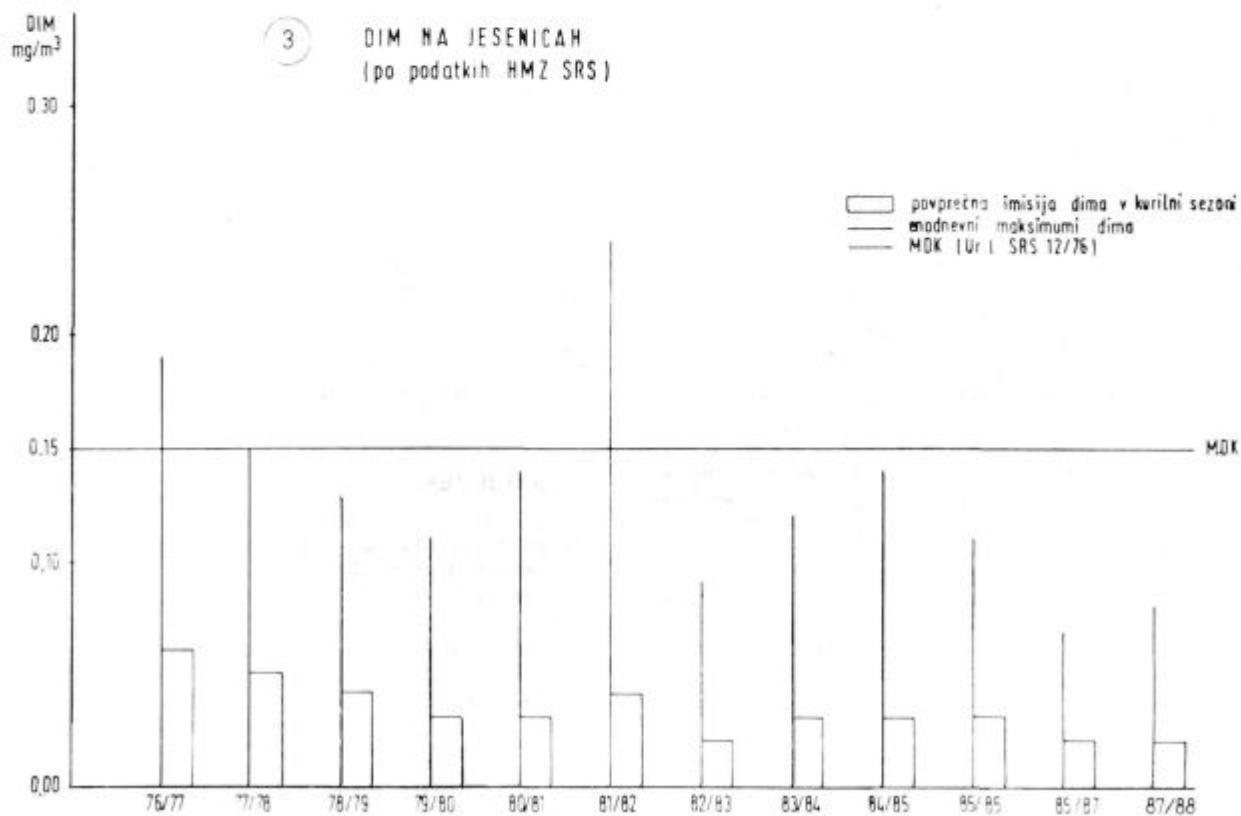
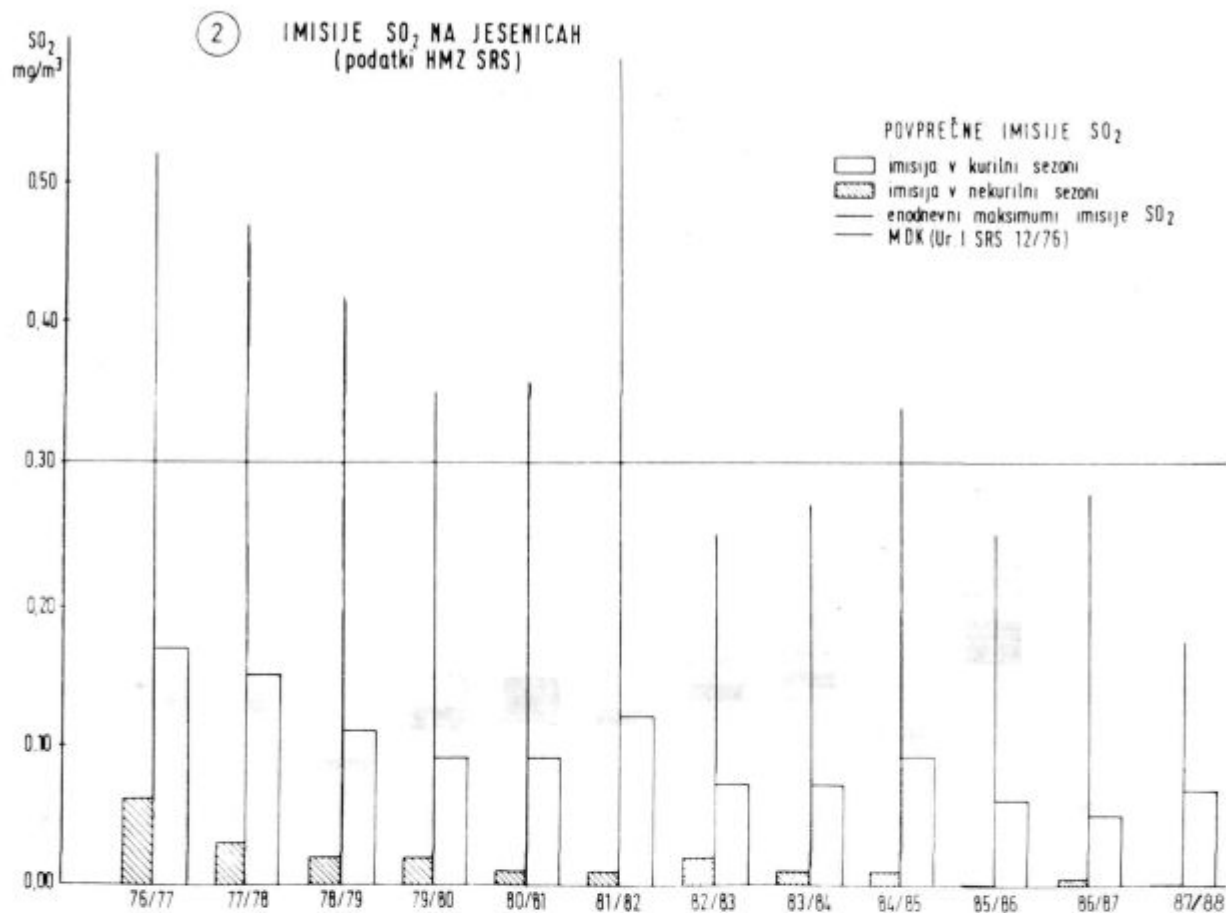
Pretežni del prašnih usedlin, ki jih mesečno preverja v stanovanjskem okolju ob Železarni Jesenice Republiška služba za varstvo zraka, je anorganskega izvora,

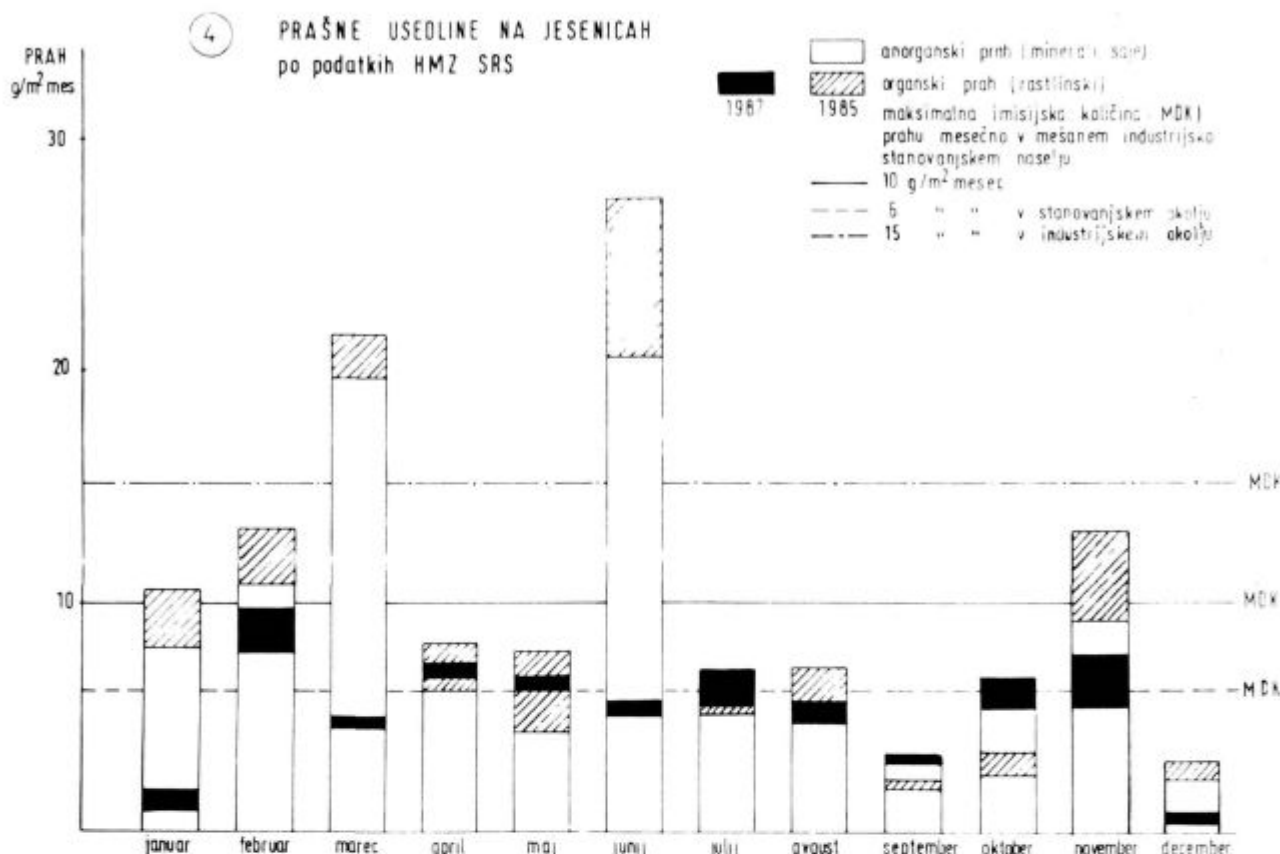
torej prah iz Železarne, saj iz kurišč ipd., v pomladnih in jesenskih mesecih pa poraste delež prahu organskega oz. rastlinskega izvora. V diagramu 4 je razviden upad količin prašnih usedlin leta 1987 v primerjavi z letom 1985. Razlika po letu 1988 bo še večja, saj smo v Železarni tako, kot smo napovedali, ukiniteli ali omejili vse poglavitne izvore železarskega prahu. Tradicionalne metalurške peči odslej ne bodo več bruhale plinov in prahu, katerega je bilo dispergirano v ozračje iz martinovk, ki niso imele odpraševalnih naprav, okrog 5 ton dnevno. Ugasnilo je 8 dimnikov, visokih od 45 do 72 m, pa tudi nekaterih manjših ali občasnih izvorov onesnaževanja zraka zaradi specifičnih tehnoloških postopkov ali vsled izpada čistilnih naprav bo manj.

Tako smo sedaj na Jesenicah v ekološkem pogledu dosegli korenite spremembe, saj nam preko 90 %-tno zmanjšanje emisij prahu iz Železarne zagotavlja bistveno čistejši zrak v jeseniški dolini.

Podobnih prelomnih obdobij, ki so pomembna za varstvo okolja, je bilo v Železarni doslej že več. Kot je že omenjeno, so se ekološke spremembe opirale predvsem na spremembo tehnologij ali energetskih medijev. Ena večjih naložb, ki pa je bila namenjena predvsem varstvu pri delu in varstvu okolja, je bila izgradnja osrednje odpraševalne naprave za obstoječe električno obločne peči v Jeklarni 1 leta 1981. S to napravo velike kapacitete $1,2 \text{ mio m}^3/\text{h}$ smo takrat omejili prvotno nezadostno zajetje emisije prahu iz elektro-obločnih peči v dopustne meje. Odpraševalna naprava po suhem postopku s 1260







vrečami ob normalnem obratovanju filtrira prah 99 %-tno.

Tudi v novi Jeklarni 2 je za odpraševanje pri 85-tonski električni obločni peči naprava podobnega tipa s kapaciteto 650.000 m³/h. Za zajem plinov s prahom iz peči je v vseh fazah obratovanja urejen odvod v odpraševalno napravo na tri načine in sicer z direktnim odsesavanjem na oboku peči, z nabo v strehi hale nad pečjo in iz komore okrog peči, kar je novejša izvedba, ki je hkrati namenjena tudi protihrupni zaščiti.

V času poskusnega obratovanja so se pri tem načinu odpraševanja pokazale nekatere težave in sicer predvsem zaradi kondenzacije vlage na filtrnih vrečah in v cevovodih oz. ventilatorjih, kjer so se v času neobratovanja peči in ustavitve odpraševalnega sistema nalagali večji sloji prahu. Zato so za preprečitev tega pojava naknadno vgradili ultrazvočne piščali za pospešitev odsesavanja prašnih usedlin. Neodvisno od tega pa ob normalnih pogojih filter omejuje emisije prahu na okrog 1 mg/m³, kar je precej nižje od veljavnih norm tudi po novem Odloku o mejnih količinah oziroma koncentracijah škodljivih snovi, ki se smejo izpuščati v zrak (Emisija v Ur. l. SRS 19/1988). Prah, ki se zbira v odpraševalni napravi, se po peletizaciji v kroglice odvaža odvisno od sestave v cementarno ali pa se deponira. V obeh glavnih odpraševalnih sistemih tako v Jeklarni 1 kot v Jeklarni 2 se letno zbere skupaj okrog 4.000 ton prahu.

Poleg teh velikih sistemov nam zagotavlja čistejši zrak tako v delovnem kot širšem okolju še desetine manjših filtrov pri različnih strojih in napravah. Učinkovito delovanje vseh teh naprav je odvisno od rednega vzdrževanja in usposabljanja delavcev za delo na teh napravah. Stroški za obratovanje čistilnih naprav so veliki, saj je zgolj za pogon obeh glavnih odpraševalnih naprav v Jeklarni 1 in 2 potrebno okrog 1,6 mio kWh na mesec električne energije.

Za pogon vseh ekoloških objektov v Železarni, t.j. poleg odpraševalnih naprav tudi čistilnih naprav za vodo, je v Železarni potrebno okrog 4 % vse porabljene električne energije oz. polovica proizvedene električne energije v šestih manjših hidrocentralah, ki so v lasti Železarne.

Za ekološke objekte v novi Jeklarni 2 je bilo vloženo 9,2 % vseh investicijskih sredstev za to veliko naložbo.

Ti podatki le v grobem prikazujejo, kolikšna sredstva in skrb je namenjena varstvu okolja v Železarni. Dosežki za varstvo zraka so očitni. V nadalje bomo morali temeljito reševati tudi preostale izvore onesnaževanja, ki sicer obremenjujejo okolje v manjšem obsegu. To je predvsem emisija prahu in kislinskih hlapov iz objekta regeneracije solne kisline v Hladni valjarni Bela. Sanacija tega objekta bo naslednja stopnja v naših programih. Čeprav se emitirane količine prahu in hlapov iz tega objekta ne merijo v tonah na dan, pa so koncentracije občasno prekomerne v bližnjem okolju.

ZAKLJUČEK

Na splošno prehajamo letos v Železarni Jesenice iz obdobja reševanja tradicionalnih, tipično metalurških in energetskih izvorov onesnaževanja zraka in voda v obdobje, ko bomo reševali ekološke probleme, bolj značilne za kovinsko predelovalno dejavnost. Kako vsestransko je vprašanje učinkovitega varovanja delovnega in širšega bivalnega, naravnega okolja, ni potrebno posebej poudarjati. Po dosedanjih izkušnjah pa lahko trdimo, da so ekološki problemi v naših Železarnah v glavnem obvladljivi; dane so sorazmerno učinkovite tehnične rešitve. Ustrezni ekološki ukrepi in objekti zahtevajo določena sredstva in jih je potrebno enakovredno

vgrajevati v letne, srednjeročne in dolgoročne plane. Pravi uspeh pa bomo dosegli šele z dosledno realizacijo, rednim vzdrževanjem in z zavestjo, da so čistilne naprave sestavni del proizvodnih naprav.

V kolikšni meri sedaj na Jesenicah vdihavamo čistejši zrak, bodo preverile strokovne institucije. Po 1991 letu pa lahko pričakujemo ponovno porast onesnaženosti zraka ne toliko zaradi industrije kot pa zaradi povečanega transporta z izgradnjo Karavanškega predora. Za omejevanje tovrstnega onesnaževanja pa je nujna širša družbena akcija.

LITERATURA

1. Onesnaženost zraka na Jesenicah, Hidrometeorološki zavod SRS, Ljubljana, 20. 6. 1984
2. A. Prešeren: Ugotavljanje škodljivih emisij v metalurški industriji Slovenije I. in II. del, Metalurški inštitut, Ljubljana, 1973
3. Poročilo o ekoloških meritvah na področju HV Bela, Zavod za zdravstveno varstvo Maribor, 1982
4. Poročilo o ekoloških meritvah na odpraševalni napravi EOP in njeni okolici, Zavod za zdravstveno varstvo Maribor, 1982
5. Vpliv modernizacije jeklarne v železarni na ekološke razmere v jeseniški dolini, I. del, Metalurški inštitut in Železarna Jesenice, 1988



**SLOVENSKE ŽELEZARNE
ŽELEZARNA RAVNE**

n. sol. o

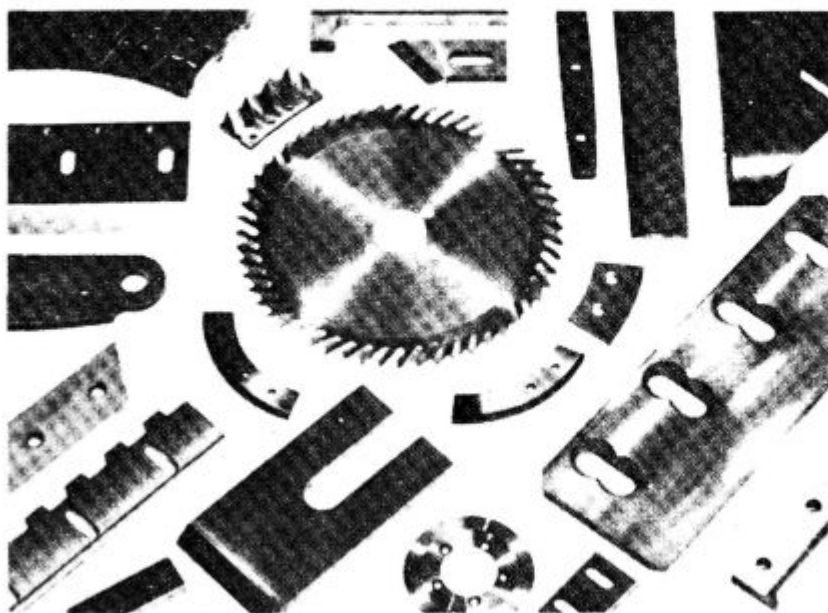
**RAVNE NA KOROŠKEM
SLOVENIA - YUGOSLAVIA**

Železarna Ravne kot proizvajalec kvalitetnih in plemenitih jekel nenehno razvija in izpopolnjuje tehnološke postopke s ciljem povečevanja finalizacije, kvalitete, avtomatizacije in humanizacije dela. Izgradnjo novih tehnoloških naprav v jeklarni, kovačnici, termični obdelavi in širjenje proizvodnje finalnih izdelkov je spremljal intenziven tehnološki razvoj podprt z uvedbo procesnih računalnikov, numerično krmilnih enot ter avtomatizacije.



*Računalniško
vodenje
procesa*

*Jekleni
valjr
za valjanje
kovin*



*Različna
industrijska
reziła iz
plemenitega
jekla*

Osebnosti



Prof. dr. Marin Gabrovšek, dipl. inž. metalurgije

M. Gabrovšek spada med najbolj zaslužne za sedanjí tehnološki nivo in proizvodni program Železarne Jesenice, ki jo uvrščata med podjetja z velikimi možnostmi, da uspevajo tudi v odprtem trgu.

Kmalu po diplomi za inženirja metalurgije na Univerzi v Ljubljani se je zaposlil na Jesenicah v oddelku za tehnično kontrolo. Segment tega oddelka je z vztrajnim delom in s selekcijo primernih strokovnjakov preoblikoval v raziskovalni oddelček, ki ga je dolgo let vodil z uspehom. Končno je bil izvoljen v poslovodni odbor, od koder je odšel v pokoj. V letu 1959 je bil na stažu v IRSID-u v Franciji, kjer je razdelal idejo o vplivu kositra na žilavost konstrukcijskih jekel v disertacijo, ki jo je uspešno zagovarjal na Univerzi v Ljubljani leta 1963. Kmalu po tem je postal učitelj za predmet specialna jekla na Univerzi in napredoval do ranga univerzitetnega profesorja. Pod njegovim mentorstvom je pripravilo diplomske naloge veliko inženirjev metalurgije, ki so danes na odgovornih položajih v Železarni Jesenice in drugod. Poleg dela v železarni in na šoli je M. Gabrovšek našel čas tudi za tvorno sooblikovanje programa raziskovalnega dela na Metalurškem inštitutu in na Metalurškem odseku FNT, za delo v mnogih družbenih asociacijah, ki so v Ljubljani ali v Beogradu odločale o raziskavah in za organizacijsko povezovanje raziskovalnega dela v okviru vse slovenske

metalurgije, posebno v SOZD SŽ, kjer je dolga leta vodil Odbor za znanstveno in raziskovalno delo.

Ni neskromno trditi, da je M. Gabrovšek pobudnik, ali sodelavec v velikem številu današnjih proizvodov Železarne Jesenice. Njegovo delo sega vse od osvajanja kotlovske pločevine in patentirane žice v začetnih letih, preko osvajanja programa varilnih proizvodov in mikrolegiranih konstrukcijskih jekel, ki so sploh njegov priljubljeni otrok, preko proizvodov za namensko proizvodnjo, do avtomatnih jekel, nerjavnih pločevin in pločevin za elektrotehniko.

Delo dr. M. Gabrovška ni pomembno samo na nivoju osvajanja proizvodov in zaprto v zidove tovarne, saj najdemo njegovo ime med avtorji ali soavtorji zelo številnih strokovnih del, ki so bila objavljena doma in v tujini.

Beseda dr. Gabrovška pa ni bila zelo upoštevana pri odločitvah o tem, katere proizvode se bo osvajalo in kako se bo to izvršilo, ampak tudi pri razvojnih odločitvah. Naj omenim samo dve, izgradnja hladne valjarne Sendzimir in odločitev, da se ugasnejo plavži in Sieremns Martinove peči in da Železarna Jesenice svoj obstoj veže na elektro obločno peč in zunaj pečno obdelavo taline s konti litjem slabov. To je dokaz, da je bil vedno na tekočem s sodobnimi raziskovalnimi in razvojnimi dosežki in da je zato lahko soodločal o tem, kako bo železarna reagirala na razvoj naprednejših sredin in na spreminjajoče se pogoje za gospodarjenje v državi.

Za strokovno delo je dobil tudi velika priznanja, je Kraigherjev nagrajenec, nagrajenec Sklada Borisa Kidriča, je prvi dobitnik Lambert-Pantzove nagrade in nosilec reda dela z zlatim vencem.

Pri delu je bil strog do sebe in do drugih in je svoje mnenje znal često zabeliti s kratko in bodočo oceno za slabo delo in pohvalo za dobro delo. Za seboj pušča v železarni rod metalurgov, mnoge je pomagal vzgojiti na šoli in jih uvajal v skrivnosti izdelave in predelave jekla in ki bodo gotovo uspešno nadaljevali njegovo delo. Mnogi slovenski in jugoslovanski metalurgi ga bomo pogrešali, pogrešali njegovo avtoriteto pri odločitvah, včasih bodice, s katerimi je presekala naše obnavljanje in pogumno ocenil dela sporne kakovosti.

dr. F. Vodopivec



Oskar Kürner, dipl. inž. metalurgije

Iz Železarne Jesenice se je upokojil eden od strokovnjakov, ki so bili nosilci njenega tehnološkega razvoja zadnje četrt stoletja. Njegovo delo je vgrajeno v številne današnje tehnologije in proizvode. Oti, tako smo ga po-

imenovali prijatelji in sošolci, ima neprecenljive zasluge za to, da se železarna vse bolj razvija v proizvajalca kvalitetnih izdelkov na osnovi sodobnih tehnologij. V železarni je delal že pred diplomom na metalurškem odseku Univerze v Ljubljani. Po diplomi, leta 1956 je začel strokovno delo kot asistent v jeklarni in tam se je naučil dveh pravil, ki sta ga spremljali vse življenje: Prvo je, da je za uspeh potrebno dobro strokovno znanje in vztrajno in trdo delo mnogih, ki si prizadevajo za isti cilj, ne samo ljudi z inženirskim znanjem. Drugo pravilo je, da je raziskovalno in razvojno delo končano šele takrat, ko je uresničeno v novem izdelku, v dopolnitvi tehnologije ali ko je najdena strokovna podlaga za tak ali drugačen ukrep. Ker je njegovo delo segalo tudi na področje predelave, je dobil bolj kot marsikdo občutek za jeklo, ta privilegirani material, ki z relativno majhnimi spremembami v sestavi in procesiranju dobiva najrazličnejše lastnosti, ki so prilagojene raznovrstni uporabi.

Prizadevnost in uspehi pri delu so ga kmalu pripeljali v raziskovalni oddelk, kjer je od strokovnega sodelavca napredoval do vodje in kjer so prišle do izraza njegove strokovne in človeške kvalitete, posebno skromnost. Ni majhno število proizvodov Železarne Jesenice, ki nosijo pečat njegovega strokovnega in organizacijskega dela. Vse od toplo valjane pločevine za jedra motorjev in transformatorjev, preko hladno valjanih trakov za isto uporabo, ki so danes eden od stebrov proizvodnega programa Železarne, do varilnih proizvodov in trakov nerjavnih jekel, izvaljanih iz neprekinjeno vlitih slabov. Pomembna je bila njegova vloga v ustvarjanju novega profila železarne in pri sprejemu temeljne odločitve: delali bomo jeklo samo s taljenjem v elektroobločnih pečeh, z najmodernejšo tehnologijo in samo jekla, ki bodo zagotovilo za uspeh tudi v drugačnih, bolj odprtih pogojih gospodarjenja. Železarna mu je za ustvarjalni prispevek k razvoju proizvodov in tehnologije dodelila največje strokovno priznanje, Lambert-Pantzovo nagrado. Otija poznam že dolgo, od dneva, ko sva drug za drugim diplomirala na isti šoli. Bil je med prvimi, ki se je zavedal pomena temeljitega strokovnega znanja in potrebe, da se v raziskovalno delo vključijo tudi strokov-

njaki zunaj železarne, če le njihovo delo vodi k napredku. Ni bil oster in direkten kritik. Znal je na prijateljski način jasno povedati, da delo ni dobro. Ni zameril preoptimistično pripravljenih in neuresničenih programov za delo, zameril pa je površno delo in improvizacijo. V raziskovalnem oddelku je združil skupino mladih strokovnjakov, ki bodo nadaljevali njegovo delo in bodo gotovo kos tehnološkim in razvojnim zahtevam časa. Z zgledom in besedo je mlajšim sodelavcem utisnil pečat strokovnosti in odgovornosti do dela in do železarne ter vztrajnosti, ki mu je pomagala, da je premagal posledice težke prometne nesreče. Vsi, ki smo z njim delali, ga bomo pogrešali, saj je znal s pametnim nasvetom mnogokrat obogatiti vsebino našega dela. Tako kot malokdo, Oti združuje temeljito strokovno znanje, ki ga je neprestano obnovljal in izkušnje tehnologa iz skoraj vseh proizvodnih procesov v Železarni Jesenice. Sedaj, ko ne bo neposredno obremenjen z odgovornostjo za dnevne probleme in bo lahko ocenjeval bolj objektivno položaj metalurgije v slovenskem in v jugoslovanskem prostoru, ga bomo, upam, še vprašali za nasvet ob pomembnih razvojnih odločitvah, pa tudi ob raziskovalnih problemih.

dr. F. Vodopivec



Pavliček Aleksander, dipl. inž. metalurgije

Pavliček, dipl. ing. Aleksander je bil rojen 24. 5. 1924 v Beogradu in je češke narodnosti.

Po maturi je študiral na TVŠ v Ljubljani na metalurškem oddelku in v letu 1954 diplomiral.

V letu 1955 se je zaposlil v obratu plavž v pripravi vložka. Delo, katero je začel opravljati se je končalo v njegovi zaposlitvi z mestom tehn. razv. ekstr. metalurgije.

Vse njegovo delo je bilo posvečeno pripravi vložka za plavže. Začel je svojo kariero pod zelo skromnimi pogoji in pozneje ob modernizaciji priprave vložka — aglomeracije je prišlo do veljave njegovo poznavanje procesov, njegov odnos do dela na osnovi znanstvenih raziskovanj. Bil je eden od sodelavcev plavžarjev, ki je še vedno vzdrževal močne stike z obratom. Številne študije, ki jih je izdelal za potrebe obrata dokazujejo kako razgledan je bil in s kakšno ljubeznijo je spremljal vsak uspeh na plavžih.

Sodeloval je na osnovi stroge objektivnosti in ljubezni do svojega poklica in tovarštva.

Bil je svetovalec tako sodelavcem na vodilnih mestih, kot vsakemu delavcu v obratu.

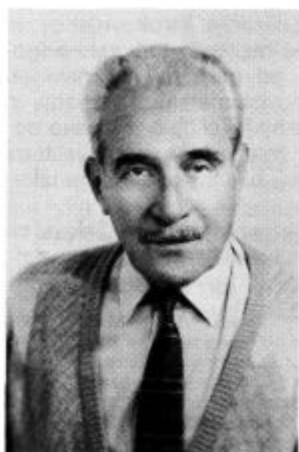
Znal je dojeti gorje sočloveka in mu znal pomagati z bodrilnimi besedami in nasveti.

Zaradi odkritega značaja je našel mnogo iskrenih prijateljev med sodelavci in njemu podrejenimi.

Ob 50. letnici obračavanja plavža na Jesenicah in današnji ustavitvi je bil edini, ki je svoje delo posvetil raziskavam ter številnim člankom v zvezi s proizvodnjo grodja na Jesenicah.

Ko se mu iskreno zahvalujemo za prispevek njegovega delovanja na aglomeraciji in plavžih, mu želimo, da ostane še dolgo povezan z nami.

dipl. inž. L. Šketa



Janko Perne, dipl. inž. metalurgije

Ko sem včasih kot mlad inženir zaslišal ime Perne Janko, se mi je takoj porodila asociacija na valjanje jekla in valjarne. Pa ne zato, ker bi me JP učil valjarništvu, temveč zato, ker je ime JP neločljivo povezano z večino vsega kar je valjarniško na Jesenicah.

J. Perne se je preselil iz Maribora na Jesenice po diplomi na Odseku za metalurgijo Univerze v Ljubljani. S 1. januarjem 1950 je začel z delom v Železarni Jesenice in po kratkem postanku v energetskega oddelku je postal asistent v valjarni na Javorniku, ki je bila tedaj verjetno največja valjarna paličnega jekla v državi. Pri delu se je dobro izkazal, zato je bil v letu 1961 postavljen za vodjo skupine za izgradnjo valjarne bluming steckel, največjega razvojnega in investicijskega podviga v Železarni Jesenice do tistega časa. Skupina je pripravila vse od investicijskega programa do izbire opreme in tudi vodila izgradnjo. Nato je JP prevzel obratovanje novo zgrajenega obrata, ki je hitro osvojil osnovni proizvodni program in se razvil v enega od nosilcev proizvodnje železarne. V letu 1970 je bil postavljen v oddelek za razvoj



Bogdan Stocca, dipl. inž. metalurgije

Z B. Stocco, dipl. inž. metalurgije, zapušča aktivno delo v Železarni Jesenice eden od tvorcev njenega današnjega profila, torej strokovnjakov, ki so soustvarjali njen razvoj od proizvajalca jekla do proizvajalca kakovostnih jekel po najsodobnejših postopkih.

valjarn v sektorju novogradnje, kjer je ostal do upokojitve. Na tem mestu je snoval in pripravljala načrte za razvoj predelave jekla v Železarni Jesenice in sodeloval na primer: pri rekonstrukciji žične valjarne, ki je s postavitvijo jumping tria in tretje žile omogočila valjanje žice v razponu debelin med 14 in 32 mm; pri rekonstrukciji jeklovleka in postavitvi odvijalno ravnalne linije za žico do debeline 32 mm v kolobarjih ter peskarskega stroja pred Schumag vlečno linijo; sodeloval pri pripravi predloga za modernizacijo valjarne Steckel in pri rekonstrukciji drugih agregatov. Pripravil je tudi več študij kot podlago za razmišljanje o modernizaciji tehnologije ali za rekonstrukcijo proizvodnih naprav, na primer: prenos valjanja debele pločevine iz valjarne 2400 v valjarno Bluming; valjanje kontinuirno litih gredic v strjevalni vročini in drugo. Izdelal je tudi investicijske programe za napravo za kontinuirno vlivanje gredic in za nekatere druge razvojne in investicijske posege.

Leta 1974 je prevzel poučevanje predmeta Tehnologija plastičnega preoblikovanja kovin na Odseku za montanistiko Univerze v Ljubljani. Še danes uči nove generacije metalurških inženirjev kako je mogoče polproizvode, ki prihajajo iz jeklarn in livarn predelati v proizvode za neposredno uporabo ali za nadaljevanje predelave in oblikovanja zunaj železarn. Njegove študente najdemo na vse bolj odgovornih mestih, tudi v predelavi jekla in v Železarni Jesenice. Aktiven je bil tudi zunaj strokovnega delokroga, v železarni in v okolju, kjer je živel.

J. Perne je bil zadržan po značaju, ni razkazoval svojega strokovnega znanja široki javnosti, vgrajeval pa ga je v razvoj železarne do današnje podobe. Bil je maturant klasične gimnazije, zato dober poznavalec jezikov in je lahko spremljal stanje stroke v razvitejših okoljih ter ga uspešno vgrajeval v razvoj železarne. Dolgoletna uspešna proizvodnja na napravah, ki jih je načrtoval, ali pa pomagal zgraditi, so najboljši pomnik njegovega prizadevanja za uspeh in današnjo podobo Železarne Jesenice.

dr. F. Vodopivec

Po diplomi za inženirja metalurgije na Univerzi v Ljubljani se je leta 1954 zaposlil v Železarni Jesenice, kjer je ostal do upokojitve. Začel je kot asistent v profilni valjarni, nadaljeval v valjarni tanke pločevine in se nato vključil v raziskovalni oddelek, kjer je ostal do upokojitve. Bil je ploden inovator, najdemo ga med avtorji 6 inovacij, enkrat pa je bil inovator leta. B. Stocca je avtor številnih strokovnih poročil in člankov o raziskovalnih, kvalitetnih in proizvodnih problemih v železarni in mnogih predlogov za proizvodne regulative, predvsem iz področja proizvodnje tanke pločevine in žice. Po prihodu v železarno se je ukvarjal s pocinkano in dekapirano pločevino, zadnja leta pa je v raziskovalnem oddelku odgovarjal za nerjavno pločevino, za nerjavno žico, za žico za vijake in še za druge proizvode. Ti proizvodi so se, ali pa se še danes proizvajajo po tehnologijah, ki jih je razvil B. Stocca, ali je vsaj zelo pomembno sodeloval pri njihovem razvoju. Značilna za B. Stocco je bila studioznost in strokovnost, s katero se je loteval problemov. Znanje jezikov mu je omogočilo, da je spremljal velik krog tuje literature, zato je vedel, kaj se dela v razvitih državah in kam tam pelje razvoj, ter ta spoznanja neprestano vgrajeval v delo in proizvode Železarne Jesenice. Bil je torej strokovnjak, ki je znanje neprestano obnavljal in ga oplajal z učinkovito kombinacijo teorije in prakse.

B. Stocca ni silil v javnost, zadržan je bil tudi pri javnih nastopih, vendar pa odprt za vse, ki so kazali resničen interes za njegovo znanje in nasvete, zato je bil tudi koristen in upoštevan član ekipe, ki je v raziskovalnem oddelku skrbela za proizvodni in kakovostni razvoj Železarne Jesenice.

Poleg strokovnega dela, usmerjenega v napredek tehnologije za proizvodnjo jekla in za izboljšanje njegove uporabe, je vedno našel čas za tvorno delo v samoupravnih organih železarne. Mnogo truda je posvečal vzgoji srednjega in delovodskega metalurškega kadra v

Šolskem centru Jesenice. Generacije strokovnjakov, ki so danes uspešni delavci in na različnih, tudi zelo odgovornih položajih v železarni, od mojstrov do najvišjih strokovnih funkcij, je učil osnovna metalurška znanja in jih tako usmerjal v stroko in v njej. To delo je enako pomembno kot razvojno delo v železarni, saj so kvalitetni kadri tudi med pomembnimi problemi sodobne metalurške proizvodnje.

Za vsestranski prispevek k razvoju mu je Železarna Jesenice leta 1987 podelila Lamber-Pantzovo nagrado.

dr. F. Vodopivec

VSEBINA

<p>UDK: 543.5:669.046.55 ASM/SLA: S11r, EGq, Al, D11r, 1—53, U4k</p> <p>Metalurgija — jeklarstvo — dezoksidacija jekla — kisikova sonda — streljanje Al žice v talino (I.) B. Koroušič, H. Ploštajner, A. Šteblaj, F. Tehovnik</p> <p>Kontrola kisika in aluminija s kisikovo sondo v kombinaciji s napravo za streljanje Al žice (I.) Železarski zbornik 23 (1989) 3, s 85—89</p> <p>Metoda direktnega merjenja aktivnosti kisika in določevanje topnega aluminija preko določenih algoritmov je danes v Slovenskih železarnah že rutinska metoda. Uporaba različnih komercialno izdelanih sond v kombinaciji z novjšimi izvedbami merilnih naprav (vnos algoritmov preko posebnih editorjev) omogočajo skupaj z napravami za streljanje Al žice povsem natančno nastavitve ciljne vsebnosti topnega aluminija v talini.</p> <p style="text-align: right;">Avtorski izveček</p>	<p>UDK: 621.771.064:621.771.073.002.2 ASM/SLA: W23c, W23k, F22, J</p> <p>Metalurgija — planetarne valjarne — delovni valji — tehnologija izdelave valjev J. Gnamuš</p> <p>Planetarna valjarna in razvoj delovnih valjev Železarski zbornik 23 (1989) 3, s 107—110</p> <p>Spoznavanje funkcionalnosti planetarne valjarne in problemov, ki se pogosto pojavljajo pri izdelavi delovnih valjev za planetarno ogro-dje.</p> <p>Poleg razvoja valjavniške opreme je vzporedno intenzivno potekal in še teče razvoj delovnih valjev.</p> <p>Zahteve po kvalitetnih valjih so izredno velike. Izreden poudarek je na čistoči jekla, pretaljenega po EPŽ postopku in prekovanega na GFM stroju. Od toplotne obdelave se zahteva enakomernost trdot v ozkih mejah na delovni površini valja ter enakomerno znižanje trdot od delovne površine v čep valja.</p> <p style="text-align: right;">Avtorski izveček</p>
<p>UDK: 669.046.545.2:669.187.2 ASM/SLA: D11n, EGj42, D5d</p> <p>Metalurgija — jeklarstvo — elektrojeklo — odfosorenje N. Smajič, B. Arh in J. Arh</p> <p>Odfosorenje v elektroobločni peči Železarski zbornik 23 (1989) 3, s 91—96</p> <p>V reakcijah odfosorenja v elektroobločni peči ne sodeluje MgO pri običajni vsebnosti CaO v žlindri. Korelacija med koeficientom porazdelitve fosforja med žlindro in jeklom ob raztalitvi in bazičnostjo je dosti boljša, če ne upoštevamo MgO. Na odfosorenje med talenjem najbolj vplivata vsebnost CaO in FeO v žlindri. Odvisnost je opredeljena z regresijsko enačbo:</p> $\log \frac{(P)}{(P)} = -6,78 + 3,49 \log \% \text{ CaO} + 2,10 \log \% \text{ FeO}$ <p>Koeficient multikorelacije je 0,9225. Z dodatkom odpadne šlake v vložek v količini 2—4 % od teže vložka lahko dosežemo zelo dobro odfosorenje že med talenjem in povečamo proizvodnjo za 8 do 10 kg jekla na tono.</p> <p style="text-align: right;">Avtorski izveček</p>	<p>UDK: 620.17:621.785:669.14.018.29 ASM/SLA: Q1, Q5, AY, T6p, 2—64</p> <p>Metalurgija — mehanske preiskave — trdnost — toplotna obdelava — izvijači F. Uranc</p> <p>Vpliv toplotne obdelave na odpornost izvijačev proti upogibu in zvoju Železarski zbornik 23 (1989) 3, s 111—114</p> <p>Upogibni in zvojni preizkusi različno toplotno obdelanih palic, žic ali izvijačev iz jekla Č4830 — VCV150 so pokazali podobne odvisnosti največjih in elastičnih upogibnih in zvojnih sil od avstenitizacijske in popuščne temperature.</p> <p>Razlika je le pri različno debelih izvijačih, saj je tiste, ki so debeli manj od 5 mm, bolje avstenitizirati pri 900° C, debelejša pa pri 870° C. Popuščna temperatura je najprimernejša 200° C.</p> <p style="text-align: right;">Avtorski izveček</p>
<p>UDK: 621.771.063.016.2-41 ASM/SLA: F23q, 4—53, W23c, 10—52</p> <p>Metalurgija — jeklo — kontrolirano valjanje — mehanske lastnosti — mikrostruktura F. Vodopivec, M. Gabrovšek, M. Kmetič in J. Žvokelj</p> <p>Poskus simulacije kontroliranega valjanja tanke pločevine na reverzirnem kvarto stroju Železarski zbornik 23 (1989) 3, s 97—105</p> <p>Kontrolirano valjanje tanke pločevine v laboratoriju pri temperaturi med 1200 in 730° C. Dosežena je meja plastičnosti 350 N/mm² pri enostavni sestavi, v jeklu mikrolegiranem z niobijem ali z vanadijem pa meja plastičnosti nad 500 N/mm², obakrat pa tudi zadostna duktilnost, če je bila temperatura konca valjanja med 900 in 800° C. Pri nižjih temperaturah valjanja je meja plastičnosti višja, zaradi deformacijske utrditve ferita in nepopolne rekristalizacije austenita med valjanjem pa je mikrostruktura neenakomerna, duktilnost pa močno zmanjšana.</p> <p style="text-align: right;">Avtorski izveček</p>	

INHALT

UDK: 621.771.064-621.771.073.002.2
ASM/SLA: W23c, W23k, F22, J

Metallurgie — Planetenwalzwerk — Arbeitswalzen — Technologie der Walzenherstellung

J. Gnamuš

Planetenwalzwerk und die Entwicklung der Arbeitswalzen

Železarski zbornik 23 (1989) 3, S 107—110

Im Beitrag werden die Erkennung der Funktionalität eines Planetenwalzwerkes und die Probleme, die bei der Herstellung der Arbeitswalzen für ein Planetenwalzwerk häufig auftreten behandelt.

Neben der Entwicklung der Walzeinrichtungen ist zugleich intensiv auch die Entwicklung der Arbeitswalzen verlaufen.

Die Forderungen nach hoher Qualität der Arbeitswalzen sind sehr gross. Die Betonung ist an reinem Stahl, umgeschmolzen nach dem ESU Verfahren und geschmiedet an einer GFM Maschine. Von der Wärmebehandlung wird eine gleichmässige Härte in engen Grenzen an der Arbeitsoberfläche der Walze verlangt und eine gleichmässige Abnahme der Härte von der Arbeitsoberfläche in den Zapfen der Walze.

Auszug des Autors

UDK: 543.5:669.046.55
ASM/SLA: S11r, EGq, Al, D11r, 1—53, U4k

Metallurgie — Stahlerzeugung — Desoxydation von Stahl — Sauerstoffmesssonde — Injektion von Al Draht in die Schmelze

B. Koroušič, H. Ploštajner, A. Šteblaj, F. Tehovnik

Kontrolle von Sauerstoff und Aluminium mit der Sauerstoffmesssonde in Zusammenhang mit der Anlage zur Injektion von Al Draht (I.)

Železarski zbornik 23 (1989) 3, S 85—89

Die Methode der direkten Sauerstoffaktivitätsmessung und die Bestimmung von gelöstem Aluminium über bestimmte Algorithmen ist heutzutage in den slowenischen Hüttenwerken schon eine routinemässige Methode. Die Anwendung verschiedener am Markt erhältlicher Messsonden in der Kombination mit neueren Ausführungen der Messinstrumente (mögliche Eintragung der Algorithmen über Sondeneditoren) ermöglichen zusammen mit den Anlagen für die Injektion von Al Draht sehr genaue Einstellung des gezielten Gehaltes von gelöstem Aluminium in der Schmelze.

Auszug des Autors

UDK: 620.17-621.785-669.14.018.29
ASM/SLA: Q1, Q5, AY, T6p, 2—64

Metallurgie mechanische Untersuchungen — Festigkeit — Wärmebehandlung — Schraubenzieher

F. Uranc

Einfluss der Wärmebehandlung auf die Widerstandsfähigkeit gegen Biegung und Torsion

Železarski zbornik 23 (1989) 3, S 111—114

Die Biege und Verdrehversuche verschieden wärmebehandelter Stäbe und Drähte oder Schraubenzieher aus Stahl Č 4830-VCV 150 zeigten ähnliche Abhängigkeit der höchsten elastischen Biege und Torsionsbelastungen von der Austinitisierung und Anlasstemperatur.

Ein Unterschied ist bei der verschieden dicken Schraubenziehern festzustellen, den es ist besser diejenigen die dünner sind als 5 mm bei 900° C zu austenitisieren und dickere bei 870° C.

Die geeignetste Anlasstemperatur liegt bei 200° C.

Auszug des Autors

UDK: 669.046.545.2-669.187.2
ASM/SLA: D11n, EGJ42, D5d

Metallurgie — Stahlerzeugung — Elektrostahl — Entphosphorung

N. Smajič, B. Arh, J. Arh

Die Entphosphorung im Lichtbogenofen

Železarski zbornik 23 (1989) 3, S 91—96

Bei der Entphosphorung im Lichtbogenofen wirkt bei üblichen CaO Gehalt in der Schlacke MgO nicht mit. Die Korrelation zwischen dem Koeffizienten der Phosphorverteilung zwischen Schlacke und Stahl bei der Einschmelzung und der Basizität ist viel besser wenn MgO nicht berücksichtigt wird. Auf die Entphosphorung während der Einschmelzperiode haben CaO und FeO in der Schlacke den Grössten Einfluss. Die Abhängigkeit ist durch die Regressionsgleichung bestimmt:

$$\log \frac{(P)}{[P]} = -6,78 + 3,49 \log \% \text{ CaO} + 2,1 \log \% \text{ FeO}$$

Der Koeffizient der Multikorellation beträgt 0,9225. Mit dem Zusatz von Walzunder in der Menge von 2—4 % des Einsatzgewichtes wird eine gute Entphosphorung schon während der Einschmelzung erreicht und das Ausbringen um 8 bis 10 kg Stahl je Tonne vergrössert.

Auszug des Autors

UDK: 621.771.063.016.2-41
ASM/SLA: F23q, 4—53, W23c, 10—52

Metallurgie — Stahl — Kontrolliertes Walzen — mechanische Eigenschaften — Mikrogefüge

F. Vodopivec, M. Gabrovšek, M. Kmetič, J. Žvokelj

Ein Versuch der Simulation von kontrollierten Walzen von Feinblech an einem Reversier-Quartogerüst

Železarski zbornik 23 (1989) 3, S 97—105

Kontrolliertes Walzen von Feinblech im Labor bei der Temperatur zwischen 1200 und 730° C. Bei einfacher Stahlzusammensetzung ist eine Plastizitätsgrenze von 350 N/mm² und im mit Niobium oder Vanadium mikrolegiertem Stahl eine Plastizitätsgrenze über 500 N/mm² erreicht worden, beidesmal, mit genügender Duktilität, wenn die Endwalztemperatur zwischen 900 und 800° C. Bei niedrigeren Endwalztemperaturen ist die Plastizitätsgrenze höher, wegen der Verformungsverfestigung von Ferrit und der unvollkommenen Rekristallisation von Austenit während dem Walzvorgang ist das Mikrogefüge ungleichmässig, und die Duktilität wird stark verringert.

Auszug des Autors

CONTENTS

<p>UDK: 543.5:669.046.55 ASM/SLA: S11r, EGq, AI, D11r, 1—53, U4k</p> <p>Metallurgy — Steelmaking — Deoxidation of Steel — Oxygen Probe — Shooting Al Wire into Melt (I.) B. Koroušič, H. Ploštajner, A. Šteblaj, F. Tehovnik</p> <p>Control of Oxygen and Aluminium with Oxygen Probe in Combination with the Equipment for Shooting Al Wire into Melt Železarski zbornik 23 (1989) 3, P 85—89</p> <p>Method of direct measuring active oxygen and of determining soluble aluminium using certain algorithms is today a routine technique in Slovene Ironworks. Application of various commercial probes in combination with present types of measuring equipment (input of algorithms by special editors) enable together with the equipment for shooting Al wire an entirely exact adjustment of desired content of soluble aluminium in the melt.</p> <p style="text-align: right;">Author's Abstract</p>	<p>UDK: 621.771.064.621.771.073.002.2 ASM/SLA: W23c, W23k, F22, J</p> <p>Metallurgy — Planetary Mills — Working Rolls — Roll Manufacturing J. Gnamuš</p> <p>Planetary Mill and Development of Working Rolls Železarski zbornik 23 (1989) 3, P 107—110</p> <p>The paper treats the knowledge on operating characteristics of planetary mills and on problems which often appear in manufacturing working rolls for the planetary stand.</p> <p>Next to the development of rolling equipment there is parallelly also development of working rolls.</p> <p>Demands of good rolls are extremely high. There the emphasis is on the purity of steel, remelted by ESR process and forged on the GMF machine. Heat treatment must give hardness uniformity in narrow limits on the working surface of the roll and uniform reduction of hardnesses from the working surface to the roll neck.</p> <p style="text-align: right;">Author's Abstract</p>
<p>UDK: 669.046.545.2.669.187.2 ASM/SLA: D11n, EGj42, D5d</p> <p>Metallurgy — Steelmaking — Electric Steel — Dephosphorisation N. Smajič, B. Arh, J. Arh</p> <p>Dephosphorisation in Electric Arc Furnace Železarski zbornik 23 (1989) 3, P 91—96</p> <p>In dephosphorisation reactions in electric arc furnace MgO does not take part at usual CaO content in the slag. Correlation between the phosphorus slag/melt distribution coefficient at melting and the basicity is much better if MgO is not taken in account. Dephosphorisation during melting is the most influenced by CaO and MgO in the slag. The relationship is determined with the regression equation:</p> $\log \frac{[P]}{[P]} = -6.78 + 3.48 \log \% \text{CaO} + 2.10 \log \% \text{FeO}$ <p>Coefficient of multicorrelation is 0.9225. Addition of scale into the charge in the amount of 2 to 4 % of the burden mass enables a very good dephosphorisation already during melting, and the steel output is increased for 8 to 10 kg per ton.</p> <p style="text-align: right;">Author's Abstract</p>	<p>UDK: 620.17.621.785.669.14.018.29 ASM/SLA: Q1, Q5, AY, T6p, 2—64</p> <p>Metallurgy — Mechanical Testing — Strength — Heat Treatment — Screwdrivers F. Uranc</p> <p>Influence of Heat Treatment on the Bend and Twist Resistance of Screwdrivers Železarski zbornik 23 (1989) 3, P 111—114</p> <p>Bend and twist tests of variously heat treated rods, wires or screwdrivers made of Č 4830 — VCV 150 steel showed similar relationships between the maximal and the elastic bending and twisting forces, and the temperatures of austenitization annealing and tempering.</p> <p>Difference appears with the thickness of screwdriver. The optimal temperature of austenitization annealing for thinner screwdrivers (less than 5 mm) is 900° C, and for thicker 870° C.</p> <p>The most suitable temperature of tempering is 200° C.</p> <p style="text-align: right;">Author's Abstract</p>
<p>UDK: 621.771.063.016.2-41 ASM/SLA: F23q, 4—53, W23c, 10—52</p> <p>Metallurgy — Steel — Controlled Rolling — Mechanical Properties — Microstructure F. Vodopivec, M. Gabrovšek, M. Kmetič, J. Žvokeij</p> <p>Trial to Simulate Controlled Rolling of Thin Sheet on Reversing Four-High Mill Železarski zbornik 23 (1989) 3, P 97—105</p> <p>Controlled rolling of thin sheet in laboratory at temperatures between 1200 and 730° C. Achieved yield strength of 350 N/mm² at simple steel composition, while yield strength of 500 N/mm² was obtained for steel microalloyed with niobium or vanadium, with sufficient ductility in both cases, if the final rolling temperature was between 900 and 800° C. At lower temperatures the yield strength was higher due to deformation hardening of ferrite and uncomplete recrystallization of austenite during rolling, causing ununiform microstructure, but the ductility was highly reduced.</p> <p style="text-align: right;">Author's Abstract</p>	

СОДЕРЖАНИЕ

<p>UDK: 621.771.064.621.771.073.002.2 ASM/SLA: W23c, W23k, F22, J</p> <p>Металлургия — планетарный стан — рабочие валки — технология изготовления валков. J. Gnatuš</p> <p>Планетарный стан и развитие рабочих валков. Železarski zbornik 23 (1989) 3, с 107—110</p> <p>В статье приводится научный вывод функциональности планетарности прокатного стана, и рассмотрены проблемы, которые часто появляются при изготовлении рабочих валков для планетарной станы.</p> <p>Наряду с развитием прокатного оборудования параллельно интенсивно протекал и всё ещё выполняется развитие рабочих валков.</p> <p>Требование иметь в распоряжении качественные валки всё ещё значительно велико. Особенно подчеркнута значимость чистоты стали, перетоплено ЕШ-переплавом и перековано с ГФМ машиной. От термической обработки требуется равномерность твердости в узких пределах на рабочей поверхности валка и равномерное понижение твердости от рабочей поверхности к шейки валка.</p> <p style="text-align: right;">Автореф.</p>	<p>UDK: 543.5:669.046.55 ASM/SLA: S11r, EGq, Al, D11r, 1—53, U4k</p> <p>Металлургия — сталелитейная — стале-кислородный зонд — стрельба с алюминиевой проволокой в плавку. B. Koroušič, H. Ploštajner, A. Šteblaj, F. Tehovnik.</p> <p>Контроль кислорода и алюминия с кислородным зондом в комбинации с приспособлением для стрельбы с проволокой из алюминия (I.) Železarski zbornik 23 (1989) 3, с 85—89</p> <p>Метод непосредственного измерения активности кислорода и определения растворяющая способность алюминия через определенных алгоритмов находится в Словенских металлургических заводах как заведенный порядок. Применение разных коммерчески изготовленных зонд в комбинации с самыми новыми выполнениями измерительных приборов (внесение алгоритмов через специальные приспособления) дают возможность вместе с устройством для стрельбы с алюминиевой проволокой вполне точно выполнить настройку растворяющего алюминия в определенную цель в расплаве.</p> <p style="text-align: right;">Автореф.</p>
<p>UDK: 620.17:621.785:669.14.018.29 ASM/SLA: Q1, Q5, AY, T6p, 2—64</p> <p>Металлургия — Механические исследования — Прочность — Термическая обработка.</p> <p>F. Uranc</p> <p>Влияние термической обработки на стойкость отвёрток в отношении на напряжения изгиба и скручивания. Železarski zbornik 23 (1989) 3, с 111—114</p> <p>Исследования различно термически обработанного пруткового железа, проволока или отвёрток из стали С 4830 — VCV 150 показали подобную зависимость самых больших и эластических сил на изгиб и скручивание от температуры аустенизации и снятия напряжения.</p> <p>Разница только при отвёрток различной толщины. Условно, что отвёртки толщины меньше 5-ти мм. легче аустенизируются при 900° С, а более толстая легче при 870° С.</p> <p>Самая подходящая температура для снятия напряжения ведётся при 200° С.</p> <p style="text-align: right;">Автореф.</p>	<p>UDK: 669.046.545.2:669.187.2 ASM/SLA: D11n, EGj42, D5d</p> <p>Металлургия — выплавка стали — электросталь — дефосфоризация. N. Smajič, B. Arh, J. Arh.</p> <p>Дефосфоризация в дуговой электропечи. Železarski zbornik 23 (1989) 3, с 91—96</p> <p>В реакциях дефосфоризации в дуговой электропечи не принимает участие MgO при обыкновенном содержании CaO в шлаке. При соотношении между коэффициентами распределением фосфора между шлаком и сталью при выплавки и основностью гораздо лучше если MgO не берём во внимание. На дефосфоризацию между выплавкой лучше всего действуют CaO и FeO в шлаке. Зависимость определена с регрессивным уравнением:</p> $\log \frac{(P)}{/P} = -6,78 + 3,49 \log \% \text{CaO} - 2,10 \log \% \text{FeO}.$ <p>Коэффициент мультикорреляции составляет 0,9225. С добавкой одходного шлака в шихту в количестве 2—4% от веса шихты можно легко получить очень хорошую дефосфоризацию уже во время расплавления увеличение производства на 8-мм до 10-ти кг стали на тону.</p> <p style="text-align: right;">Автореф.</p>
<p>UDK: 621.771.063.016.2-41 ASM/SLA: F23q, 4—53, W23c, 10—52</p> <p>Металлургия — сталь — контролируемая прокатка — механические свойства — микроструктура. F. Vodopivec, M. Gabrovšek, M. Kmetič, J. Žvokelj</p> <p>Испытание симуляции контролируемого прокатывания тонких листов стали на реверсивной клети кварто. Železarski zbornik 23 (1989) 3, с 97—105</p> <p>Контролируемая прокатка тонких листов стали в лабораторию при температурах между 1200 и 730° С показала следующие результаты: полученный предел пластичности 350 Н/мм² в стали обыкновенного состава и свыше 500° С Н/мм² в микросплавной стали легированной с ниобием или ванадием; в обоих случаях также с достаточной дуктильностью если температура в конце прокатывания была между 900—800° С. При более низких температур прокатывания предел пластичности выше, вследствие деформационной закалки феррита и неполной рекристаллизации аустенита, во время самого прокатывания микроструктура неравномерная, а дуктильность существенно уменьшена.</p> <p style="text-align: right;">Автореф.</p>	<p>UDK: 621.771.063.016.2-41 ASM/SLA: F23q, 4—53, W23c, 10—52</p> <p>Металлургия — сталь — контролируемая прокатка — механические свойства — микроструктура. F. Vodopivec, M. Gabrovšek, M. Kmetič, J. Žvokelj</p> <p>Испытание симуляции контролируемого прокатывания тонких листов стали на реверсивной клети кварто. Železarski zbornik 23 (1989) 3, с 97—105</p> <p>Контролируемая прокатка тонких листов стали в лабораторию при температурах между 1200 и 730° С показала следующие результаты: полученный предел пластичности 350 Н/мм² в стали обыкновенного состава и свыше 500° С Н/мм² в микросплавной стали легированной с ниобием или ванадием; в обоих случаях также с достаточной дуктильностью если температура в конце прокатывания была между 900—800° С. При более низких температур прокатывания предел пластичности выше, вследствие деформационной закалки феррита и неполной рекристаллизации аустенита, во время самого прокатывания микроструктура неравномерная, а дуктильность существенно уменьшена.</p> <p style="text-align: right;">Автореф.</p>

TEHNIČNA NAVODILA AVTORJEM

Rokopis

Rokopis dostavite v originalu odgovornemu uredniku ali enemu od članov uredništva. Pisan mora biti z dvojnimi presledkom. Na levi strani je rob širine 4 cm. Na tem robu označite mesta, kjer naj bodo slike ali tabele.

Članki naj bodo kratki in jedrnat in ne prenatrpani z nepotrebnimi podatki. Izogibajte se tabel z veliko številkami, ki bralca ne zanimajo, posebno če so isti podatki prikazani kot odvisnosti v diagramih. Razlage naj bodo jasne, kratke in v neposredni zvezi z doseženimi rezultati, brez širših hipotetičnih podatkov.

V primeru, da prvič objavljate v Železarskem zborniku, dostavite uredništvu naslednje podatke: ime in priimek z akademskim nazivom spredaj in poklicnim nazivom zadaj, katero delo opravljate, delovna organizacija, žiro račun in naslov stanovanja.

Uredništvo si pridržuje pravico jezikovne korekcije, strokovne recenzije in presoje o ustreznosti objave. Prosimo, da glede rokopisa upoštevate še naslednja navodila:

1) **Izvleček pod naslovom** naj obsega 4 do 10 tipkanih vrst. Vsebina naj pove, kateri problem obravnava članek.

2) **Povzetek za prevode** v angleški, nemški in ruski jezik pošljite v 4 izvodih. Obsega naj pol do največ dve tipkani strani. Glede vsebine naj pove tujemu bralcu, kakšen je bil problem in kateri so glavni rezultati vašega dela. Specifične strokovne izraze, ki jih prevajalci morda ne poznajo, navedite spodaj v angleškem, nemškem in ruskem jeziku. Vsebuje naj tudi naslov članka.

3) **Avtorski izvleček za kartice** (4 izvodi) naj obsega: glavno geslo in eno ali več stranskih gesel (npr. Metalurgija — Orodna jekla — Preizkušanje materiala), avtorja in soavtorje, naslov članka in kratko vsebino članka (največ 15 tipkanih vrst) s poudarkom na rezultatih raziskave.

4) **Podpisi k slikam** v 2 izvodih na posebnih listih. Podpis naj bo formuliran tako, da bo v angleškem prevodu tudi tuj bralec razumel vsebino slike.

5) **Literaturo**, ki jo citirate v tekstu, označite z zaporednimi številkami, zgoraj za besedo, kjer označbo želite, npr. ... Smith³ ... Na koncu članka navedite nato vse bibliografske podatke:

— Za knjige: začetnice imen in priimki avtorjev, naslov knjige, številka izdaje, založba, leto izdaje.

— Za članke: začetnice imen in priimki avtorjev, naslov članka, neskrajšani naslov revije, letnik, številka, leto, strani (prva in zadnja).

6) **Poglavja in razne vrste tiska**: Članek naj bo, kolikor je mogoče, razdeljen po naslednji shemi: uvod (nakazati problem, izhodišče in cilj raziskave in pregled literature), načini raziskovanja in materiali, rezultati raziskav, razlaga rezultatov in sklepi.

Glavna poglavja in podpoglavja pišite po primeru:

REZULTATI RAZISKAV

1. **Preizkušanje jekla Ž 0147** (mastni tisk, tekst se prične v naslednji vrsti)

a) **Količina vključkov** (mastni tisk, tekst se nadaljuje v isti vrsti).

Zvezano podčrtane besede pomenijo mastni tisk, lahko pa uporabite še kurzivni tisk (prekinjeno podčrtane besede) in razprti tisk (tipkajte razprto).

7) **Tabele** pišite med tekstom ali jih priložite na koncu teksta. V drugem primeru napišite na levi rob, kjer je treba tabelo vstaviti.

8) **Enote**: Uporabljajte izključno enote po SI (System International d'Unités).

9) **Enačbe in simbole** napišite jasno in čitljivo, najbolje s prosto roko. V enačbah ne uporabljajte znakov za množenje (\times ali \cdot). Izogibajte se zamotanim indeksom. Če ne morete jasno napisati grških črk, napišite pojasnilo na levi rob, npr. mala grška črka gama. Simbole v enačbah sproti tolmačite. Uporabljajte simbole, ki so v JUS standardih, če teh ni pa najbolj uveljavljene.

Fotografije

Metalografski in drugi posnetki morajo biti izdelani na belem papirju z visokim leskom in naj bodo jasni in kontrastni. Preslikane fotografije ali iz tiska preslikane fotografije niso dovoljene, razen v izjemnih primerih. Računajte, da bo širina fotografije v tisku največ 80 mm. Več fotografij, ki spadajo skupaj, nalepite na papir in jih označite kot eno sliko. V tem primeru je lahko širina slike tudi 165 mm. Izjemno imajo fotografije lahko tudi nestandardno širino. V tem primeru priložite fotografiji pojasnilo, kakšno velikost želite v tisku. Mikroskopska in makroskopska povečanja in pomanjšanja označite v podpisu k sliki (povečanje 100-krat), (pomanjšanja 1,5-krat), še bolje pa z vrisanjem ustrezne skale s črnim ali belim tušem na fotografiji.

Diagrami in risane slike

Diagrami in risane slike morajo biti narisane s tušem na paus papirju. Ne pošiljajte prefotografiranih ali kopiranih risb. Diagrami morajo imeti popoln okvir in mrežo (raster) v notranjosti okvira. Zaporedno številko slike napišite s svinčnikom na vogalu formata.

Prosimo avtorje, da dosledno upoštevajo še naslednja navodila:

1. **Širina**: Diagrami morajo biti narisani na formatu A4. Širina diagrama naj bo 150 mm, plus ali minus 10 mm. Širina ni le okvir diagrama, temveč tudi številke in napis na ordinatni osi. V tisku so ti diagrami pomanjšani približno 2-krat, na širino enega stolpca. Odstopanja od teh širin narisanih in tiskanih diagramov bodo upoštevana le v primerih, ko morajo biti zaradi gostote podatkov, krivulj ali preglednosti tiskani v širini obeh stolpcev, to je okoli 160 mm. V teh primerih naj bo širina naranega diagrama 300 mm, plus ali minus 20 mm.

Pri drugih risanih slikah (izdelki, preseki, naprave, sheme, načrti in podobno) je lahko skupna narisana širina manjša od 150 mm. Pri tem upoštevajte estetski videz pomanjšane tiskane slike med tekstom in tudi, da bo slika v vsakem primeru v tisku pomanjšana 2-krat; uporabljajte torej enake velikosti črk in debeline črt kot pri diagramih.

2. **Črte**: V vseh diagramih in drugih risanih slikah uporabite izključno naslednje debeline črt:

— Okviri diagramov (koordinatne osi)	0,4 mm
— Mreža v diagramih	0,2 mm
— Krivulje v diagramih	0,6 mm
— Osnovne črte v risbah	0,2 mm
— Prerezi (obrisi) v risbah	0,4 mm
— Šrafure	0,2 mm

V tisku bodo te črte polovico tanjše.

3. **Črke in številke**: Uporabljajte pokončne črke in številke velikosti 4 mm, risane s šablono in peresom, ki ustreza tej velikosti. Izjema so le indeksi, ki naj bodo veliki 3 mm. V tisku bo velikost črk in številok okoli 2 mm, indeksov pa 1,5 mm.

4. **Opis koordinat**: Na abscisi in ordinati mora biti neskrajšan opis s simbolom in enoto, npr.: Natezna trdnost σ_M v N/mm²; Stopnja deformacije ϵ v %; Količina mase Mn v %; ne pa le σ_M N/mm²; ϵ %; % Mn.

5. **Oznake točk in krivulj**: Legende za različne vrste točk in krivulj morajo biti v sliki. Legende za simbole in druge črkovne oznake so lahko tudi v podpisih k slikam.

Izvleček

Za hitro orientacijo po dokončanju članka navajamo na kratko, kaj je potrebno poslati uredništvu Železarskega zbornika:

1. Rokopis v enem izvodu (drugega hranite za pregled krtačnega odtisa) z izvlečkom pod naslovom, oznakami za slike na levem robu in podatki o avtorjih.

2. Povzetek za prevode v 4 izvodih.

3. Avtorski izvleček za kartice v 4 izvodih.

4. Podpisi k slikam v 2 izvodih.

5. Oštevilčene fotografije, diagrami in druge slike.