

# ŽELEZARSKI ZBORNIK

	Stran
<b>VSEBINA</b>	
Rodič — Železarna Ravne	
MEHANIZEM IN MORFOLOGIJA LOMOV Cr-Mo-V ORODNIH JEKEL	117
Schroeder D. L. — Procecs Corporation Pittsburgh	
DIGITALNI RAČUNALNIKI V PROIZVODNJI JEKLA	129
Uranc Franc — Železarna Ravne	
VPLIV STRUKTURE IN DIMENZIJ PREIZKU- SANCA, NAPETOSTI IN HITROSTI PREIZKU- SANJA NA ŽILAVOSTNE VREDNOSTI	143
Vodeb R., B. Gašperšič, F. Erjavec, F. Medl	
SISTEMSKE RESITVE IZKORISČANJA ODPADNIH TOPLOT V ŽELEZARNI RAVNE	149

LETO 14 ŠT. 3 - 1980  
ŽEZB BQ 14 (3) 117-160 (1980)



ACROSS B

# ŽELEZARSKI ZBORNIK

IZDAJAJO ŽELEZARNE JESENICE, RAVNE, ŠTONE IN METALURŠKI INŠTITUT

LETO 14

LJUBLJANA

SEPTEMBER 1980

Vsebina	Inhalt	Contents	Содержание
Stran	Seite	Page	
<p>Jože Rodič  <b>Mehanizem in morfologija lomov Cr-Mo-V jekel</b> 117            UDK: 669.14.018.25:620.178.74:620.184.6            ASM/SLA: TSh, M21c, M23p, Q26, Q6n</p>	<p>Jože Rodič  <b>Mechanismus und Morphologie der Brüche bei den Cr-Mo-V Werkzeugstählen</b> 117            UDK: 669.14.018.25:620.178.74:620.184.6            ASM/SLA: TSh, M21c, M23p, Q26, Q6n</p>	<p>Jože Rodič  <b>Mechanism and Morphology of Fractures in Cr-Mo-V Tool Steel</b> 117            UDK: 669.14.018.25:620.178.74:620.184.6            ASM/SLA: TSh, M21c, M23p, Q26, Q6n</p>	<p>Jože Rodič  <b>Механизм и морфология изломов в инструментальных сталях</b> 117            UDK: 669.14.018.25:620.178.74:620.184.6            ASM/SLA: TSh, M21c, M23p, Q26, Q6n</p>
<p>D. L. Schroeder  <b>Digitalni računalnik v proizvodnji jekla</b> 129            UDK: 669.669.168.1.131.65.011.51            ASM/SLA: U4k, x14, D5, A5f, 1—5h, 18—74</p>	<p>D. L. Schroeder  <b>Digitale Rechner in der Stahlerzeugung</b> 129            UDK: 669.669.168.1.131.65.011.51            ASM/SLA: U4k, x14, D5, A5f, 1—5h, 18—74</p>	<p>D. L. Schroeder  <b>Digital Computers in Steelmaking</b> 129            UDK: 669.669.168.1.131.65.011.51            ASM/SLA: U4k, x14, D5, A5f, 1—5h, 18—74</p>	<p>D. L. Shroeder  <b>Цифровые вычислительные машины при производстве стали</b> 129            UDK: 669.669.168.1.131.65.011.51            ASM/SLA: U4k, x14, D5, A5f, 1—5h, 18—74</p>
<p>Franc Uranc  <b>Vpliv strukture in dimenzij preizkušanca, napetosti in hitrosti preizkušanja na žilavostne vrednosti</b> 143            UDK: 620.178.7            ASM/SLA: Q5, J1, J29</p>	<p>Franc Uranc  <b>Einfluss des Gefüges und der Probenabmessungen, des Spannungszustandes und der Versuchsgeschwindigkeit auf die Kerbschlagzähigkeitswerte</b> 143            UDK: 620.178.7            ASM/SLA: Q5, J1, J29</p>	<p>Franc Uranc  <b>Influence of the Testpiece, Structure and Dimensions of the Stress, and the Testing Rate on the Toughness Values</b> 143            UDK: 620.178.7            ASM/SLA: Q5, J1, J29</p>	<p>Franc Uranc  <b>Влияние структуры и размер, напряжения и быстроты испытания на коэффициенты вязкости</b> 143            UDK: 620.178.7            ASM/SLA: Q5, J1, J29</p>
<p>Dušan Vodeb  <b>Sistemske rešitve izkoriščanja odpadnih toplot v Železarni Ravne</b> 149            UDK: 620.98            ASM/SLA: W 11 g</p>	<p>Dušan Vodeb  <b>Lösung der Ausbeutung der Abfallwärme im Hüttenwerk Ravne</b> 149            UDK: 620.98            ASM/SLA: W 11 g</p>	<p>Dušan Vodeb  <b>System Solutions for Recovery of Waste Heat in Ravne Ironworks</b> 149            UDK: 620.98            ASM/SLA: W 11 g</p>	<p>Dušan Vodeb  <b>Системные решения использования отходящего тепла в металлургическом заводе Железарна Равне</b> 149            UDK: 620.98            ASM/SLA: W 11 g</p>



## Mehanizem in morfologija lomov Cr - Mo - V orodnih jekel

UDK: 669.14.018.25:620.178.74:620.184.6

ASM/SLA: TSh, M 21c, M 23p, Q 26, Q 6n

Jože Rodič

Članek daje pregled tematike raziskovalnega projekta trdih orodnih jekel. S tega področja je bilo v preteklih letih že več publikacij, katere ta pregled povezuje. Posebno žilavost trdih orodnih jekel ledeburitnega tipa je pomembna lastnost, ki jo premalo poznamo in obvladamo. Nova kompleksna metodika preizkušanja in predvsem instrumentirano merjenje žilavosti z registriranjem krivulje sila — čas predstavlja pomemben prispevek na področju raziskav mehanizma in morfologije lomov. Prikazana je neposredna povezava z mikrostrukturo, pri čemer klasične metalografske preiskave dopolnjujejo REM in TEM preiskave s prispevkom k metodološkemu razvoju mikrofraktorgrafije značilne skupine orodnih jekel.

V okviru raziskovalno razvojnega projekta (slika 1) smo raziskovali dvanajst vrst ledeburitnih orodnih jekel, razvrščenih v štiri značilne skupine<sup>1</sup>. Pri spoznavanju fizikalnih in tehnoloških lastnosti orodnih jekel z visoko vsebnostjo ogljika v sistemu legiranja s kromom, molibdenom in vanadijem je bil aplikativni del raziskav usmerjen k problemom žilavosti dveh značilnih skupin orodnih jekel na osnovi

1,5 % C 12 % Cr 1 % Mo 1 % V  
z oznako OCR 12 VM in

1 % C 5 % Cr 1 % Mo 0,25 % V  
za oznako OA 2.

Eden od ciljev raziskave je bil tudi razvoj metode za preizkušanje žilavosti trdih orodnih

jekel, ki je uvedena v redno uporabo pod nazivom »METODA ŽR«<sup>7,8</sup>.

Opravljen raziskovalno delo za potrebe proizvodnje in razvoja kakovosti je nakazalo in omogočilo izhodišča za nadaljnje poglobljene raziskave vplivov kemijske sestave, tehnoloških pogojev izdelave in predelave jekla na tvorbo karbidov, na trdoto in žilavost. Spoznanja in kvantitativne opredelitve teh korelacij so skupaj z vplivi izbranih variacij toplotne obdelave za doseganje značilnih mikrostruktur podprla racionalne študije mehanizma in morfologije prelomnih površin<sup>8</sup>.

Z novo METODO ŽR instrumentiranega preizkušanja žilavosti trdih orodnih jekel je mogoče na adaptiranem Charpyjevem kladivu z ustrezno elektronsko merilno opremo (slika 2) doseči veliko natančnost in zanesljivost registriranja celotnega poteka loma s krivuljo v koordinatah sila — čas.

Princip preizkušanja nazorno prikazuje shema (slika 3). Preizkušanci imajo specifično obliko, ki izpolnjuje vse zahteve kompleksnega preizkušanja<sup>7</sup> orodnih jekel — ne samo žilavosti (slika 4). Z registriranjem krivulje sila — čas po metodi ŽR<sup>3,7,8</sup> je dana posebno pomembna možnost ločenja posameznih faz lomne žilavosti. Značilni standardni parametri preizkušanja so začetna in maksimalna sila loma, sili pripadajoči čas in celotno porabljeno delo, ki ga merimo na običajen način pri Charpyjevem poizkusu.

Pri značilnih lastnostih ledeburitnih orodnih jekel ima lomljenje po metodi ŽR precej prednosti v primerjavi s klasičnim (četudi enako instrumentiranim) preizkusom žilavosti po Charpyju<sup>8</sup>. Zaradi pojavov drobljenja jekla ob ostrini

Dr. Jože Rodič, dipl. inž. metalurgije je vodja službe za razvoj tehnologije, izdelkov in metalurške raziskave v železarni Ravne.

## RAZISKOVALNO RAZVOJNI PROJEKT R-7221

Železarna Ravne - Metalurški inštitut, Ljubljana - Inštitut Jožef Stefan - Raziskovalna skupnost Slovenije

## MOČNO LEGIRANA TRDA ORODNA JEKLA

### z območjem legiranja

C = 0,8 - 2,1 %	Cr = 4 - 13 %	W = 0 - 6,5 %	Mo = 0 - 5 %	V = 0 - 2 %
-----------------	---------------	---------------	--------------	-------------

## DOKUMENTACIJA

- tehnologije
- kontrole
- lastnosti



## RAZVOJ METODIKE, PREIZKUŠANJA IN RAZISKAV



## STATISTIČNE ANALIZE IN USMERJENE RAZISKAVE



## DISERTACIJA



- standardna tehnologija proizvodnih postopkov
- sistemi kontrole in kriteriji atestiranja
- trdota - kalilne vrste - popuščna obstojnost
- termično utrujanje
- volumske spremembe in meroobstojnost
- mehanske lastnosti
- kompleksno povezane razširjene preizkave s standardnimi metodami
- nov način prostorskega prikazovanja kalilnih vrst in popuščnih diagramov
- raziskave vplivov časa in ponavljanj popuščenja pri različnih temperaturah
- relativne meritve trdote v vročem
- metodika metalografskih kontrolnih preizkav
- kvantitativna metalografija
- magnetoskopske primerjalne meritve zaostalega avstenita
- dilatometrija (premenske točke, LTRK, dimenzijske spremembe, TTT - diagrami)
- Diferenčno Termične Analize
- izolacije faz in mikrokemijske analize izolatov
- rentgenske strukturne analize
- preizkave z mikrasonda
- raziskave REM
- raziskave TEM in ED
- razvoj optimalnega sortimenta tipiziranih in specialnih vrst orodnih jekel
- vplivi kemijske sestave na osnovne lastnosti
- vplivi jeklarske tehnologije, vroče in hladne predelave na kakovost
- vplivi toplotne obdelave
- vplivi makro in mikrostrukture na osnovne lastnosti in uporabnost
- razvoj sistema AOP in banke podatkov iz kontrole in raziskav
- primerjalne raziskave žilavosti
- MEHANIZEM IN MORFOLOGIJA LOMOV Cr-Mo-V ORODNIH JEKEL
- razvoj metode ŽR instrumentiranega preizkušanja žilavosti trdih orodnih jekel
- razvoj metodike in standardnih pogojev komparativnega preizkušanja
- raziskava vplivov sestave, oblike, velikosti in razporeda karbidov ter strukture
- študij mehanizmov in morfologije lomov ter vplivov mikrostrukture za
  - jeklo 15C - 12Cr 1Mo - 1V
  - jeklo 1C - 5Cr 1Mo - Q2V

Slika 1

Vsebina raziskovalno razvojnega projekta

Fig. 1

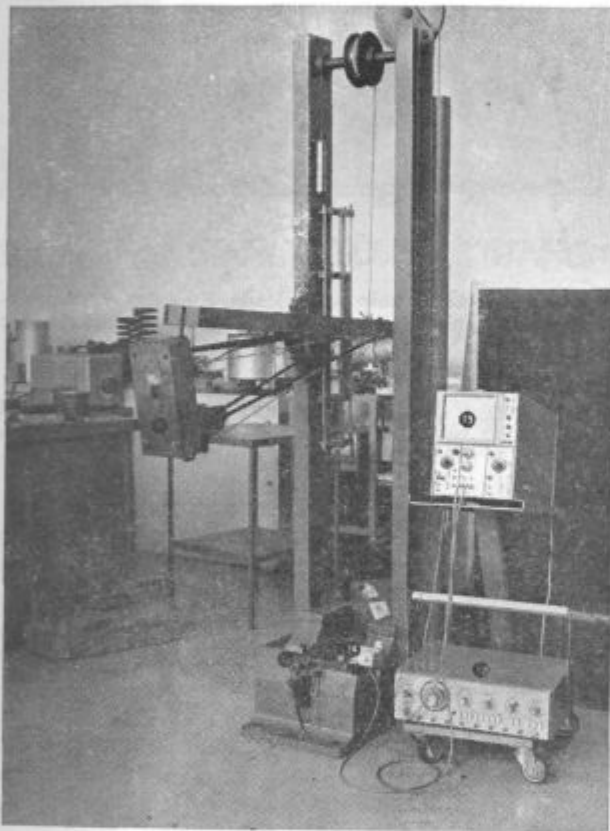
Content of the research and development project

kladiva pri udarcu in zaradi nekaj drugih pojavov med potekom loma po Charpyjevi metodi večkrat ne dobimo realnih rezultatov, čeprav je s fizikalnega stališča ta preizkus pravilnejši in doslednejše izpolnjuje osnovne zahteve standardov (slika 5).

Zaradi spremljajočih pojavov, ki so značilni za obravnavano skupino orodnih jekel, je tudi selektivnost ter reproducibilnost preizkusov po metodi ŽR očitno boljša.

V odvisnosti od strukture in prisotnosti karbidov so ugotovljene določene zakonitosti v obli-

ki krivulje sila — čas in velike razlike izmerjene maksimalne sile loma. Velike razlike ugotovljenih časov loma od 140 do 1220 mikro sekund je mogoče neposredno povezovati z morfologijo prelomnih površin in z značilnostmi mikrostrukture, opredeljene že s klasično metalografijo pri povečavah do  $500\times$ , še posebej pa s fraktografijo na rasterskem elektronskem mikroskopu pri povečavah do 10.000-krat. Zelo pomembne vplive popuščnih efektov na žilavost smo v ožjih temperaturnih območjih še z rastersko elektronsko mikroskopijo komaj opredelili s spremembami mikrostrukture. Izkazalo se je, da so za identifikacijo teh pojavov neizogibno potrebne preiskave s transmisijsko elektronsko mikroskopijo<sup>5</sup>. S transmisijsko elektronsko mikroskopijo nam je uspelo identificirati nekaj odločilnih efektov popuščanja. Napake v mikrostrukturi, ki so posledica predhodne vroče predelave, smo lahko



Slika 2

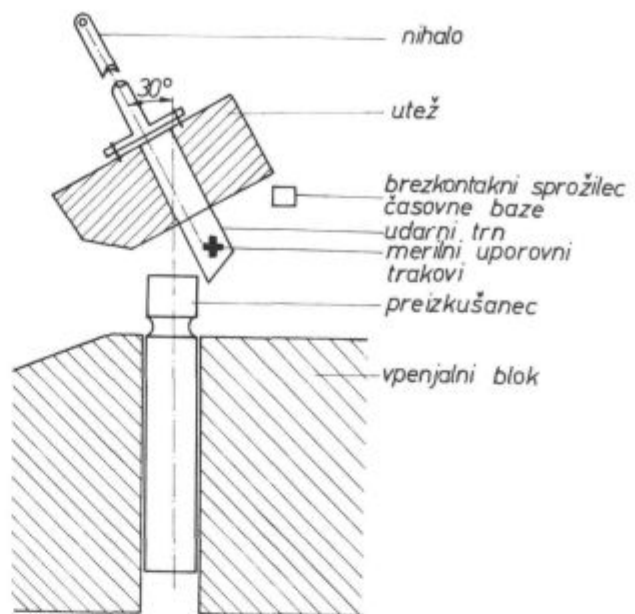
Naprava za preizkušanje žilavosti po metodi ZR

1 — Utež kladiva z udarnim trnom, 2 — Vpenjalni blok s preizkušancem, 3 — Merilni komplet z osciloskopom, 4 — Prožilec časovne baze z zakasnitvijo, 5 — Generator pravokotnih impulzov za označevanje časovnih presledkov

Fig. 2

Toughness testing machine by the ZR method

1 — hammer weight with impact rod  
2 — clamping device with the probe  
3 — measuring equipment with oscilloscope  
4 — lag timer  
5 — generator of rectangular impulses for marking time intervals

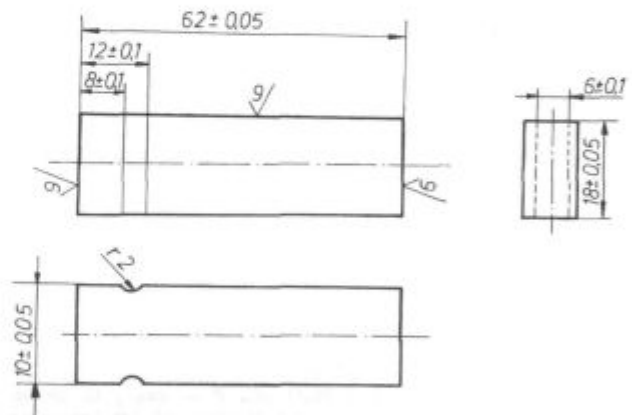


Slika 3

Shema instrumentiranega preizkušanja žilavosti po metodi ZR

Fig. 3

Scheme of instrumented toughness testing by the ZR method



Slika 4

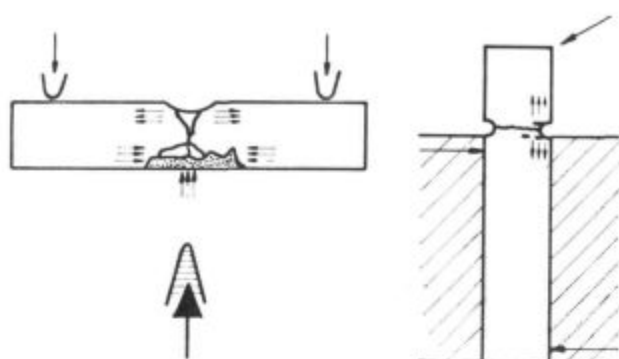
Probe za preizkušanje žilavosti po metodi ZR

Fig. 4

Probes for toughness tests by the ZR method

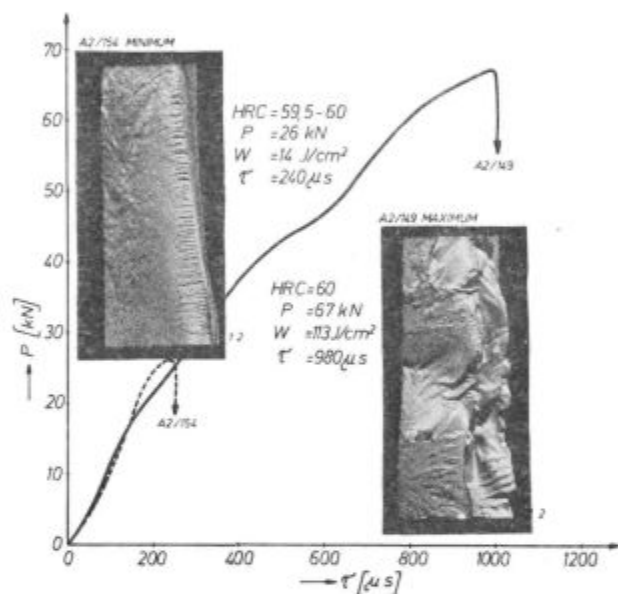
opredelili že s klasično metalografijo. Določene nepravilnosti režima kovanja imajo katastrofalne posledice na žilavost, čeprav po videzu mikrostrukture, kakršen je bil dosledno večkrat dokazan, ne bi pričakovali take teže posledic<sup>8</sup>.

Pravkar omenjene ugotovitve ilustrira nekaj izbranih primerov primerjave minimalne in maksimalne žilavosti jekla OA 2 (sliki 6 in 7) v okviru specifičnih skupin enake toplotne obdelave, pri čemer pomeni NKNP nizko kaljeno in nizko popuščano, PKNP pa pravilno kaljeno in nizko popuščano jeklo. Ta sistem označevanja kombinacij toplotne obdelave<sup>8</sup> bomo še srečali, pri



Slika 5  
Skica lomnega mehanizma

Slika 5  
Skica lomnega mehanizma  
Fig. 5  
Sketch of the breaking mechanism



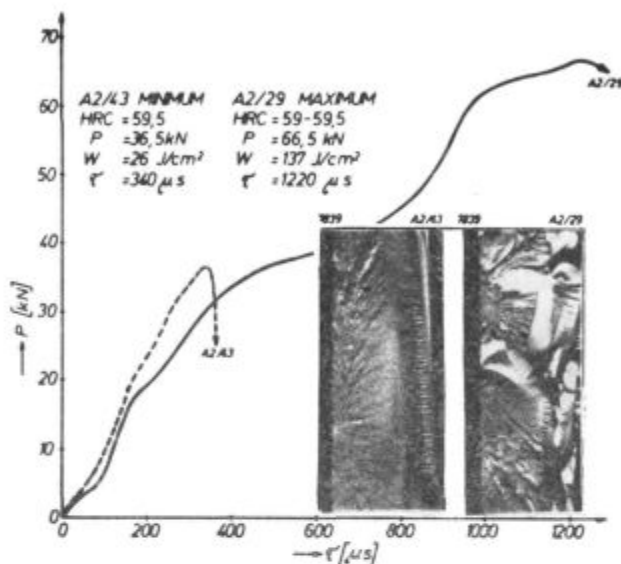
Slika 6  
Primerjava registriranih krivulj sila P — čas τ in prelomov za dva preizkušanca z minimalno oz. maksimalno žilavostjo v skupini NKNP jekla Č. 4756 — OA 2

Fig. 6  
Comparison of registered force P — time τ curves and fractures for two probes with minimal or maximal toughness in the PKNP group of Č. 4756 — OA 2 steel

čemer bo oznaka VK pomenila visoko temperaturo kaljenja, oznaka VP pa visoko temperaturo popuščanja. Vse raziskovane kombinacije prikazujejo povprečne krivulje žilavosti za jeklo OCR 12 VM (slika 8), ki se bistveno razlikujejo od krivulj za jeklo OA 2.

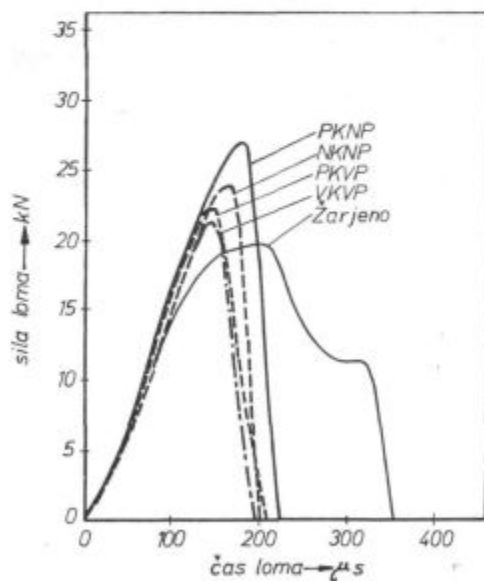
Kaljivost teh jekel in njihovo popuščno obstojnost v okviru kompleksne metodike preizkušanja trdih orodnih jekel zelo nazorno prikazujejo novi prostorski prikazi trdot in zrnatosti prelomov po Shepherdu v odvisnosti od temperature kaljenja in temperature popuščanja v raz-

širjenem območju preizkušanja<sup>2</sup>. Lastnosti trdih orodnih jekel ledeburitnega tipa lahko ozko povežemo s TTT diagrami in rezultati rentgenskih analiz vsebnosti zaostalega avstenita in karbidov<sup>1, 3, 4, 7, 8</sup>. Pri tem ima pomemben vpliv stopnja neenakomernosti karbidnih izcejev, pogojena s strjevanjem po litju in s predelavo v vročem<sup>1, 6</sup>, in velikost ter oblika karbidov.



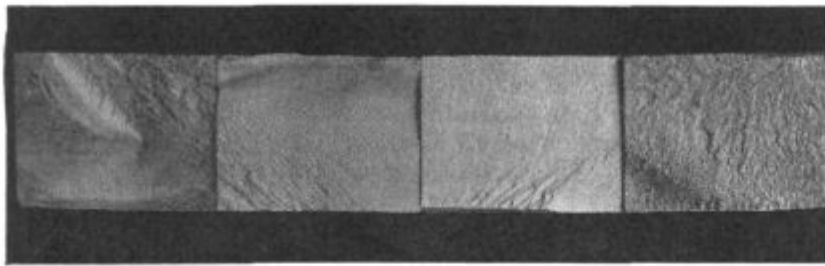
Slika 7  
Primerjava registriranih krivulj sila P — čas τ in prelomov za dva preizkušanca z minimalno oz. maksimalno žilavostjo v skupini PKNP jekla Č. 4756 — OA 2

Fig. 7  
Comparison of registered force P — time τ curves and fractures for two probes with minimal or maximal toughness in the NKNP group of Č. 4756 — OA 2 steel

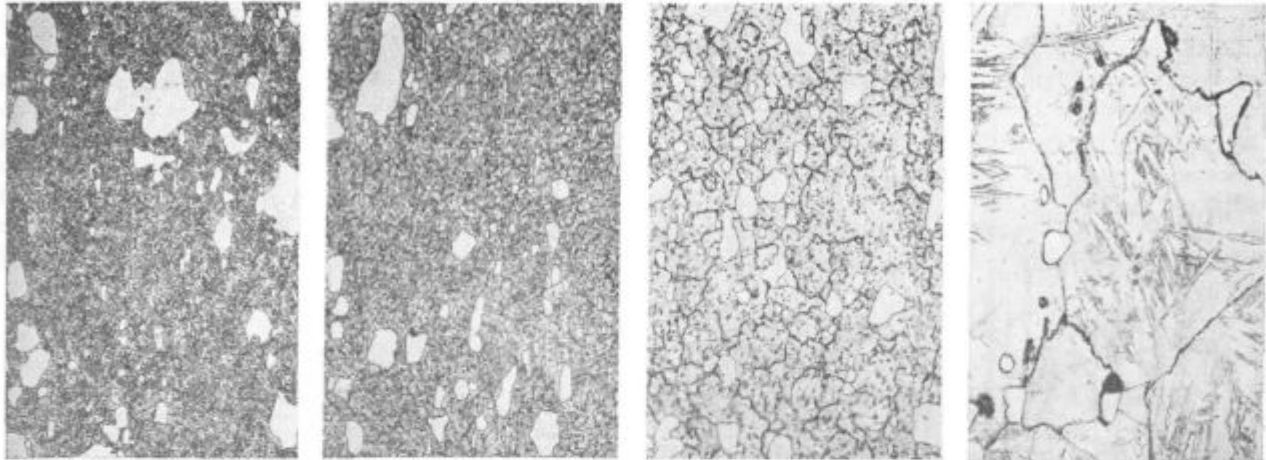


Slika 8  
Poprečne krivulje žilavosti za jeklo Č. 4850 — OCR 12 VM  
Fig. 8  
Mean toughness curves for Č. 4850 — OCR 12 VM steel





0,04mm



900°C      51HRC      1000°C      61HRC      1080°C      63HRC      1240°C      35HRC

Slika 9

Vpliv temperature kaljenja na mikrostrukturo jekla Č. 4850  
— OCR 12 VM

Fig. 9

Influence of the quenching temperature on the microstructure of Č. 4850 — OCR 12 VM steel

Nekaj primerov značilnih mikrostruktur jekla Č. 4850 — OCR 12 VM po kaljenju na zraku z različnih temperatur avstenitizacije kaže slika 9.

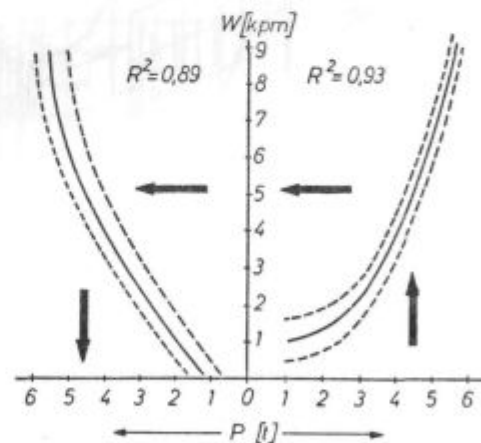
Karbidotvorni legirni elementi Cr, W, Mo in V v odnosu do vsebnosti ogljika zelo izrazito izražajo svoje vplive na trdoto po kaljenju in popuščanju. Bistvene so razlike v nagnjenosti k pregretju pri kaljenju, pa tudi v popuščni obstojnosti, kar smo posebej raziskovali s serijo eksperimentalnih šarž za študij vplivov posameznih elementov in njihovih kombinacij<sup>7,8</sup>.

Pri normalnih pogojih toplotne obdelave ugotavljamo dokaj očitno zvezo med trdoto in žilavostjo<sup>5,8</sup>, izraženo s tremi parametri:

- maksimalno silo loma  $P$ ,
- časom loma  $\tau$  in
- porabljenim delom  $W$ .

Ti parametri so povezani z izredno visokimi koeficienti korelacije, oz. determinacije, če korelacije omejimo na statistično dovoljene variacije vplivnih faktorjev (slika 10).

Raziskave v razširjenem področju variacij toplotne obdelave so dokazale, da pri raziskovanih



Slika 10

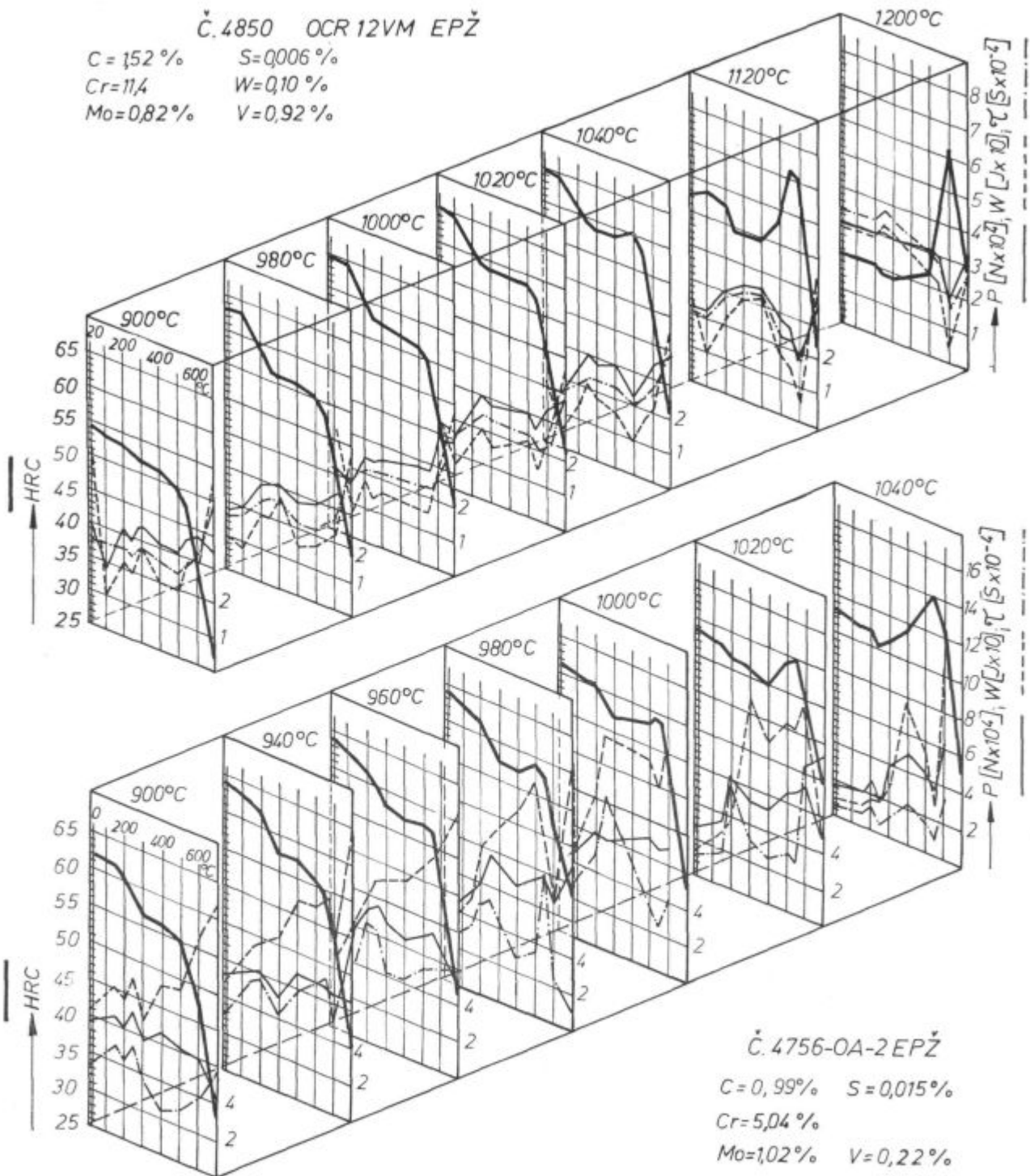
Korelacija med silo loma  $P$  in porabljenim delom  $W$  pri preizkušanju žilavosti v popuščenem stanju po metodi Zelezarne Ravne

Fig. 10

Correlation between the breaking force  $P$  and the absorbed energy  $W$  in toughness testing as tempered probes by the ZR method

orodnih jeklih nikakor ne velja zakonitost, ki je splošno veljavna pri mnogih vrstah konstrukcijskih jekel, da je visoka žilavost neposredno po-

gojena z nižjo trdoto jekla. To velja tudi za vrsto drugih orodnih jekel, posebno tistih z visoko vsebnostjo ogljika in močno legiranih, saj je



Slika 11  
 Trdota in žilavost jekel Č. 4850 — OCR 12 VM in Č. 4756 — OA 2 v odvisnosti od temperature kaljenja na zraku in popušanja

Fig. 11  
 Hardness and toughness of Č. 4850 — OCR 12 VM and Č. 4756 — OA 2 steels depending on the quenching temperature in air and on the tempering

odvisnost tehnološko poznana in je bila pri teh raziskavah le potrjena in dokazana z identificiranimi vplivi.

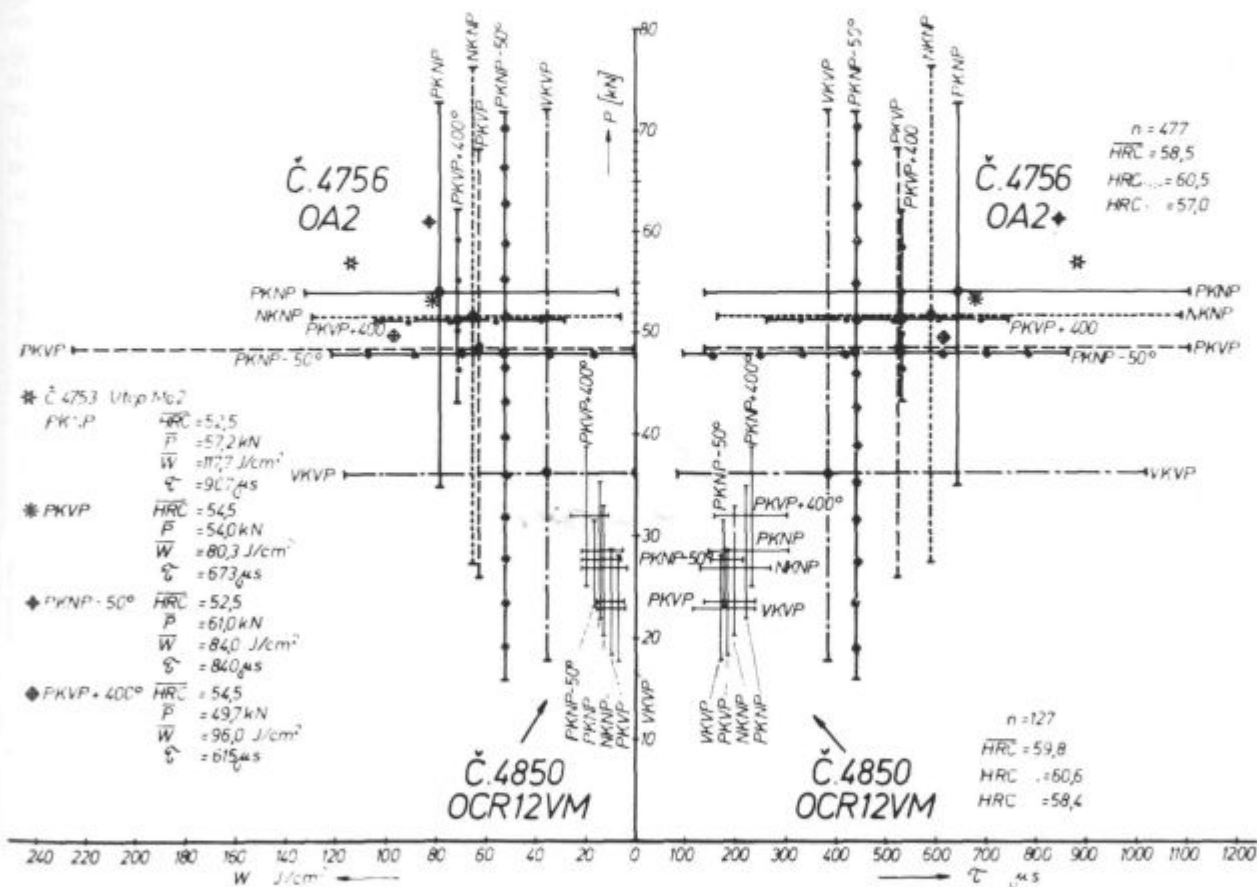
Rezultati kompleksnega preizkušanja z metodo ŽR so prikazani s prostorskimi modeli. Zanimiva je primerjava jekel OCR 12 VM in OA 2 na sliki 11.

Ob primerjavi žilavosti jekel OCR 12 VM in OA 2 moramo upoštevati, da je pri jeklu OA 2 zmanjšano merilo desnih ordinat za žilavost v razmerju 1:2. Žilavost jekla OA 2 je namreč pri enaki trdoti mnogo boljša; če pa bi primerjali odpornost proti obrabi, bi imelo pomembno prednost jeklo OCR 12 VM z veliko vsebnostjo karbidov, ki so nosilci te lastnosti. Obe vrsti orodnih jekel predstavljata vrhunec dosedanjega razvoja standardnih jekel na določenem področju specifične uporabe. Obe sta dokaj široko uporabljani, vsako od obeh jekel pa ima svoje značilnosti, ki jih je treba čimbolje poznati.

Ena od najpomembnejših lastnosti je prav gotovo žilavost pri zahtevani delovni trdoti. Zato so prikazana statistična območja žilavosti za posamezne kombinacije kaljenja in popuščanja, ki omogočajo enake trdote v koordinatah SILA — DELO — ČAS! (Slika 12).

Tak prikaz je kot rezultat velikoserijskega statistično planiranega preizkušanja zelo pomemben za objektivno in kvantitativno opredelitev področja uporabnosti jekla in za optimiranje toplotne obdelave. Obenem je to nov pristop k izbiri jekel, ki vodi tudi k tipizaciji asortimentov v proizvodnih programih in predstavlja objektivne kriterije za oceno ali kontrolo kakovosti in nudi izhodišča za razvoj kakovosti in zanesljivosti.

Moderne možnosti računalništva z bankami podatkov, sistemi statističnih obdelav in procesnimi računalniki v proizvodnji šele v zadnjih letih omogočajo realizacijo že dolgo poznanih principov integralnega krmiljenja kakovosti ter



Slika 12

Statistična območja žilavosti za posamezne kombinacije kaljenja in popuščanja jekel Č. 4756 — OA 2 in Č. 4850 — OCR 12 VM (za primerjavo še Č. 4753 — UTOP Mo 2) v koordinatah SILA — P, ČAS —  $\tau$  in DELO — W.

NKNP — nizko kaljeno, nizko popuščano; PKNP — pravilno kaljeno, nizko popuščano (— 50° preizkušano v hladnem); PKVP — pravilno kaljeno, visoko popuščano (+ 400° preizkušano v vročem); VKVP — visoko kaljeno, visoko popuščano

Fig. 12

Statistical range of toughnesses for single combinations of quenching and tempering Č. 4756 — OA and Č. 4850 — OCR 12 VM steels (for comparison still Č. 4753 — UTOP Mo 2 steel) in the force P, time  $\tau$ , and energy W coordinates.

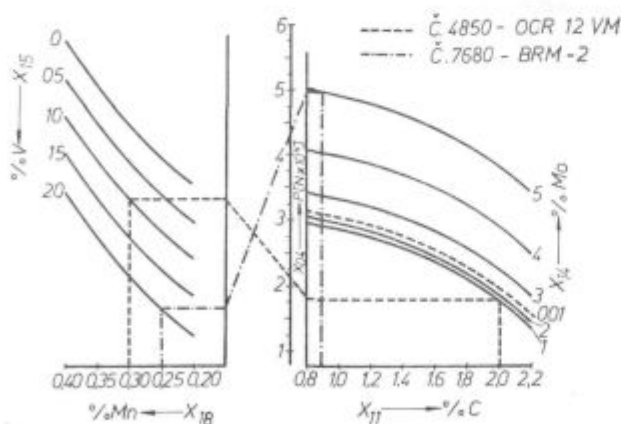
NKNP — low quenched, low tempered  
 PKNP — correct quenched, low tempered (—50° cold tested)  
 PKVP — correct quenched, high tempered (+ 400° hot tested)  
 VKVP — high quenched, high tempered

informativskih sistemov. Prav to odpira vrata neslutnemu razvoju metalurške tehnologije, novih proizvodov in kakovosti. Začenja se tekma, v kateri bodo nepripravljeni tako zaostali, da bodo težko ujeli korak napredka.

Ta razmišljanja prav gotovo daleč presegajo okvir obravnave in jih ne moremo naprej izvajati, ne moremo pa povsem mimo njih, ko utemeljujemo vsebino in pristop k raziskavam. Dosedanje izkušnje železarne Ravne predstavljajo veliko spodbudo k nadaljnjemu delu.

V celotnem območju variacij kemijske sestave raziskovanih jekel, ki je bilo prikazano na sliki 1, smo ugotovili ob tehnološko in statistično logičnih omejitvah zelo dobro kontinuiteto korelacij, kar omogoča spoznavanje določenih zakonitosti in povezovanje številnih vrst jekel v enoten sistem. Le za ilustracijo prikazuje naslednji nomogram (slika 13) primer ugotovljenih vplivov C, Mn, Mo in V v jeklu na žilavost. Na ta način smo odkrili območje posebne toplotne obdelave, ki daje brzoreznemu jeklu presenetljivo visoko žilavost, kar je ob njegovi poznani odpornosti proti obrabi in rezilnosti neprecenljivega pomena.

Žilavost je v ožjih območjih variacij toplotne obdelave predvsem funkcija izoblikovanja in količinskih razmerij strukturnih komponent. Pod vplivov toplotne obdelave je za žilavost odločilnega pomena tudi prisotnost nekaterih strukturnih komponent. Tako je pri jeklu z 1 % C, 5 % Cr in 1 % Mo z elektronskim uklonom dokazana prisotnost posameznih izločkov cementitnega tipa v obliki lokalnih koncentracij<sup>5,8</sup>. Pri maksimalni žilavosti tega jekla je pa ugotovljena strukturna posebnost, da je martenzit prisoten v obliki ploščic, da so te ploščice relativno majhne in po obliki bolj ovalne kot podolgovate. Meje med njimi so zabrisane, opazna pa je prisotnost transformacijskih dvojčkov. Ugotovljeno je, da šele



Slika 13

Vpliv kemijske sestave na maksimalno silo loma prob popuščenih na 400–700°C z omejitvijo trdote min. 40 HRC

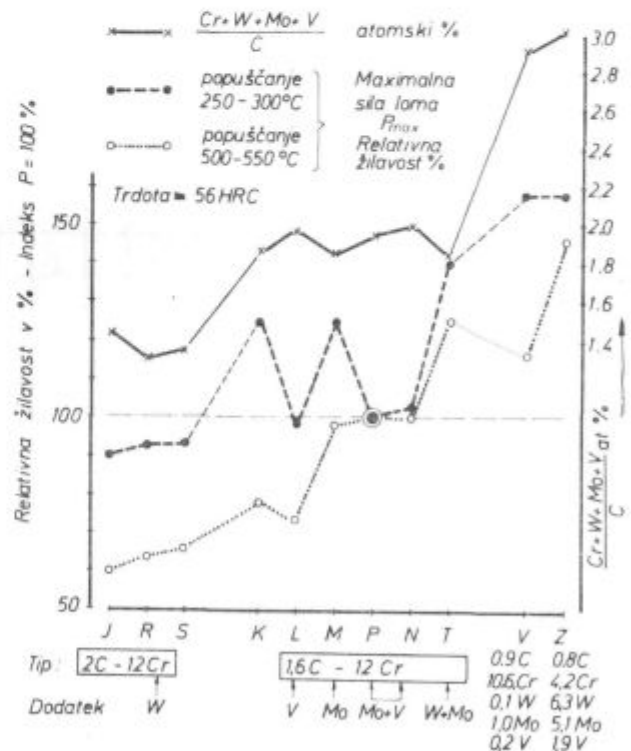
Fig. 13

Influence of chemical composition on the maximal breaking force for probes tempered at 400 to 700°C with limited hardness min. 40 HRC

prisotnost karbidov cementitnega tipa povzroči znižanje žilavosti jekla.

Pri ledeburitnih orodnih jeklih je presenetljiva, a s kvantitativno metalografijo utemeljena ugotovitev, da v normalnem območju žilavost tudi ni toliko funkcija povprečne porazdelitve in velikosti karbidov, kakor precej nedokumentirano navaja večina literaturnih virov tega področja. V območju trdot orodij za delo v hladnem je bolj funkcija kombinacije prisotnih elementov in predvsem razmerja vsote vseh karbidotvornih elementov proti ogljiku, seveda ob značilni mikrostrukturi v odvisnosti od pogojev toplotne obdelave — pri čemer so izvzete posledice nepravilne vroče predelave.

Na sliki 14 je enajst raziskovalnih ledeburitnih jekel razvrščenih po sestavi v značilne skupine. Zveza med razmerjem atomskih odstotkov karbidotvornih elementov in ogljika ter žilavostjo je očitna. Čim večji je tak kvocient, tem večja je žilavost. Obenem pa iz te slike izhaja zelo pomembna ugotovitev, da ta jekla dosežejo pri nizki temperaturi popuščanja ob enakih ali celo višjih trdotah boljšo žilavost kot pri popuščanju v območju višjih temperatur. Zal te izredno pomembne ter povsem nove ugotovitve prav pri nekaterih najpomembnejših orodjih v praksi ni mogoče vedno izkoristiti iz čisto praktičnih tehnoloških razlogov.



Slika 14

Primerjava žilavosti in razmerja karbidotvornih elementov z ogljikom

Fig. 14

Comparison of the toughness and the carbide-forming elements/carbon ratio

Zanimiva je ugotovitev na področju vplivov karbidotvornih legirnih elementov v ledeburitnih orodnih jeklih, da je popuščna obstojnost neposredno povezana z atomskim razmerjem Cr : (W + Mo + V), kar je bilo po ugotovitvi potrjeno tudi z analizo velikoserijskih kontrolnih meritev<sup>8</sup>. K tej osnovni ugotovitvi je bilo z multikorelacijsko analizo pojasnjenih še nekaj specifičnih ponašanj teh jekel v odvisnosti od dodatkov vanadija in molibdena ter njihovih vplivov na delež zaostalega avstenita.

Obsežne raziskave so ponudile možnost prispevkov k metodološkemu razvoju mikrofrakto-grafskih raziskav na specifičnem področju raziskovanih orodnih jekel.

Na osnovi poznanih publikacij o kategorizaciji lomov smo poskušali nova spoznanja specifičnih značilnosti orodnih jekel strniti v primerno sistematiko in vrste lomov povezati z značilnimi mehanizmi in morfologijo lomov raziskovanih jekel.

Ob sliki 15, ki tako daje osnovna izhodišča za kategorizacijo lomov, je treba pripomniti, da

je pri krhkem lomu namenoma prikazan namesto tipičnega razkolnega loma intergranularni krhki lom, ker se ta posebno pri ledeburitnih orodnih jeklih zelo pogosto pojavlja.

Glede na pot loma (transgranularni ter intergranularni) in značilne vrste lomov kaže naslednji shematični pregled (slika 16) morfološke značilnosti, ki odločajo o mehanizmih lomov. Le nekatere od teh kombinacij se pri orodnih jeklih pogosteje pojavljajo. To so:

- pri žilavih transgranularnih lomih: nastanek in združevanje mikropraznin v satovje jamic;
- pri mešanih transgranularnih lomih: raztržni robovi, grebeni in pobočja jamic;
- pri duktilnih intergranularnih lomih: mešani duktilni lom s satovjem jamic in z intergranularnimi področji;
- pri krhkih intergranularnih lomih: lomi po mejah zrn brez deformacij, katastrofalna krhkost, karbidi po mejah, obložene meje;
- zelo pogosto se pojavljajo kvazirazkolni ali rozetni lomi.

## KATEGORIZACIJA LOMOV

### Osnove klasificiranja

#### • Pot loma

- transgranularni
- intergranularni

#### • Lomni mehanizem

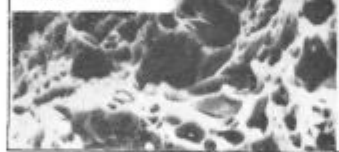
- nastanek in združevanje mikropraznin
- nastanek raztržnih robov, grebenov in pobočij
- razkol in cepljenje
- utrujanje

#### • Oblika lomne površine

- satovje, jamice
- raztržni robovi, grebeni in pobočja
- razkolne ploskve, rečni vzorci, jeziki, mikrovdajčki
- utrujenostne brazde

### Vrste lomov

#### • Žilavi lomi



#### • Krhki lomi



#### • Mešani lomi



#### • Lomi sukcesivnih mehanizmov (lokalno čisti tipični)



### Vplivi na mehanizem in morfologijo loma:

- Napetostno stanje
- Hitrost spreminjanja napetostnega stanja
- Načini učinkovanja
  - statično
  - dinamično
- Temperatura in temperature spremembe
- Okoliščine (korozija, obsevanje)
- Čas
- Mikrostrukturalna zgradba

Slika 15

Kategorizacija lomov

Fig. 15

Specification of fractures

## VRSTE LOMOV IN ZNAČILNOSTI LOMNIH MECHANIZMOV



### Lomi kombiniranih (mešanih, ne sukcesivnih čistih) mehanizmov



Slika 16

Vrste lomov in značilnosti lomnih mehanizmov

Fig. 16

Fracture types and characteristics of fracture mechanisms

Med lomi kombiniranih mehanizmov so najpogostejše naslednje kombinacije:

— žilavi lomi: združevanje mikropraznin v kombinaciji z raztržnimi robovi in pobočji,

— mešani lomi:

= razkolni lom v kombinaciji z združevanjem mikropraznin,

= razkolni lom v kombinaciji z raztržnimi robovi in pobočji,

= združevanje mikropraznin v kombinaciji z intergranularnim lomom.

— krhki lomi: razkolni lom v kombinaciji z intergranularnim lomom.

Zbrali smo obilo zanimivih značilnih primerov za ilustracijo morfologije v zvezi z mehanizmi lomov, vendar bi podrobnejše opisovanje na tem mestu motilo pregled. Poglejmo le nekaj posamičnih zanimivejših ugotovitev:<sup>8</sup>

— Morfologija lomov je neposredno povezana z mikrostrukturo. Karbidi, izločeni po mejah zrn, dvojčkih in posebnih ploskvah mikrostrukturne zgradbe vplivajo na potek loma, še veliko bolj, kot bi pričakovali po dosedanjih izkušnjah.

— Iniciali notranjih razpok so grobi karbidi, ki se lomijo in drobijo. Zlomljeni karbid predstavlja inicial za notranjo mikro razpoko, ki se v odvisnosti od kohezije kristalne meje lahko ob tej zaustavi. Lom se širi interkristalno ali intrakristalno, samo konfiguracijo prelomne ploskve pa določa mehanizem iztrgavanja karbidov, iz bolj ali manj žilave osnove. Deformacijski pas ima poprečno ocenjeno širino, ki ustreza dva do trikratnemu premeru jamice, to je ležišča karbida.

— Deformacijski pas je funkcija velikosti in karakterja karbidov ter trdnosti osnovne matice. Optimalna je prisotnost bainita. Iz tega sledi, da je sam lomni mehanizem pri ledeburitnih orodnih jeklih odvisen od načina toplotne obdelave in s tem se menja tudi karakter loma.

Pri ledeburitnem orodnem jeklu s tipično sestavo 1,5 % C, 12 % Cr, 1 % Mo in 1 % V je prisotno 90 % karbidov tipa  $M_7C_3$ , relativno grobih s heksagonalno strukturo, ki se med toplotno obdelavo bistveno ne spremenijo. Nasprotno pa so prisotni pri jeklu z 1 % C, 5 % Cr in 1 % Mo izredno fini kompleksni karbidi tipa  $M_7C_3$  in 20 do 50 % karbidov  $M_{23}C_6$ , kar v odvisnosti od toplotne obdelave daje optimalno žilavost temu jeklu.

Pri obravnavanih raziskavah je bila pri nas prvič na področju identifikacije strukturnih procesov v visoko legiranih orodnih jeklih uvedena povezana uporaba rastrske elektronske mikroskopije, transmisijske elektronske mikroskopije in preiskav z elektronskim mikroanalizatorjem — mikrosondo. S sistematičnim povezovanjem teh raziskovalnih metod je dan odgovor na vprašanje, kaj pomeni rastrska in transmisijska elektronska mikroskopija v primerjavi z optičnim mikroskopom pri raziskavah orodnih jekel. Analize na elektronskem mikroanalizatorju in rentgenska difraktometrija strukturnih faz na kompaktnih vzorcih ter analize predhodno izoliranih karbidov predstavljajo pomembno dopolnitev te kombinacije metalografskih metod.

V pogledu metodologije lahko na osnovi rezultatov utemeljemo:

— da optične metalografije niti pri raziskavah niti pri kontroli orodnih jekel ne moremo pogrešati, ker predstavljajo metalografske ugotovitve najpristopnejši in odločilni kriterij za oceno kakovosti, oz. osnovnih karakteristik teh jekel,

— da je rastrska elektronska mikroskopija dejansko metoda, ki dopolnjuje optično mikroskopijo tako na prelomnih ploskvah kot na metalografskih obrusih, da pa je ločljivost tudi pri tej metodologiji omejena na identifikacijo strukturnih komponent, velikosti 5 nm, pri znanstvenem pristopu s posebnimi možnostmi in do 20 nm v praksi pri rutinskih preiskavah. Najbolj uporabna je povečava v območju 500—5000 $\times$ , medtem ko povečave nad 10.000 $\times$  kljub vložnemu

trudu ne dajejo pomembnega prispevka k identifikaciji struktur,

— da je transmisijska elektronska mikroskopija še vedno metoda, ki omogoča zasledovanje najbolj delikatnih strukturnih pojavov v jeklu, ki nastopajo pri kaljenju in popuščanju ter že pri nizkih temperaturah vplivajo na tehnološke lastnosti jekla, predvsem pa na žilavost. Delo z replikami pri TEM fraktografiji ima še vedno velik znanstveni pomen, posebno pri ugotavljanju inicialov loma v globokih jamicah satovja mikropraznin in pri identifikaciji drugih pojavov, ki so pri REM večkrat zakriti zaradi specifičnosti eksperimentalne tehnike;

— da analize z elektronskim mikroanalizatorjem prispevajo k spoznavanju mikrosegregacij, delno tudi k identifikaciji večjih karbidov, da pa je pojasnjevanje popuščnih efektov z izločanjem zunaj možnosti analiziranja z mikrosondo;

— da nam preiskave z rentgensko difrakcijo precej pripomorejo k ugotavljanju kvantitativnih deležev strukturnih faz, pri čemer je posebnega pomena poznavanje količinskih deležev in strukture karbidov, ki jih moramo poznati tudi za natančnejše določanje drugih strukturnih deležev. Zato smo v okviru raziskav omenjenega projekta s posebnimi nalogami izvršili sistematične in obsežne analize karbidnih izolatov, ker nam ti rezultati lahko trajno služijo za vnašanje korektur pri izračunih strukturnih deležev.

V okviru ocene rezultatov ni mogoče mimo ocene metodologije dela, ki je pokazala, da le kombinirana vsestranska metodologija strukturnih raziskav lahko obrazloži zapletene strukturne pojave in povezavo le-teh s tehnološkimi lastnostmi jekla.

#### Literatura:

1. Rodič J.: Praktične izkušnje pri raziskavah ledeburitnih orodnih jekel z uporabo kvantitativne metalografije, Zelezarski zbornik 9 (1975) št. 4., str. 217—238.
2. Rodič J.: Popuščni diagrami ledeburitnih orodnih jekel v razširjenem območju, Zelezarski zbornik 10 (1976) št. 1, str. 47—50.
3. Rodič J.: Uporaba rastrske elektronske mikroskopije pri raziskavah ledeburitnih orodnih jekel, Zelezarski zbornik 10 (1976) št. 3, str. 125—144.
4. Rodič J., F. Vodopivec, B. Ralič: Preiskave jekla C. 4850 — OCR 12 VM na elektronskem mikroanalizatorju, Zelezarski zbornik 10 (1976) št. 3, str. 145—156.
5. Krašovec V., J. Rodič: TEM raziskave popuščnih efektov orodnega jekla C. 4850 — OCR 12 VM, Zelezarski zbornik 11 (1977) št. 2, str. 103—111.
6. Rodič J., A. Rodič: Izkušnje s homogenizacijo brzoreznilnih jekel, Zelezarski zbornik 11 (1977) št. 4, str. 169—181.
7. Rodič J.: Razvoj orodnih jekel, Zelezarski zbornik 12 (1978) št. 4, str. 119—135.
8. Rodič J.: Mehanizem in morfologija lomov Cr-Mo-V orodnih jekel, Doktorska disertacija, Univerza v Ljubljani, maja 1978.

## ZUSAMMENFASSUNG

Im Artikel wird eine Übersicht über die Thematik des Forschungsprojektes der Werkzeugstähle mit einem breiten Analysengrenzenbereich und zwar von 0.8 bis 2.1 % C, 4 bis 13 % Cr, bis 6.5 % W, bis 5 % Mo und bis 5 % V gegeben.

Es werden so unmittelbar die angewendeten Literaturreferenzen miteinander verbunden und ergänzt.

Hoch betont werden die Untersuchungen der Zähigkeit der harten Werkzeugstähle. Die »ZR Messmethode« der Kerbschlagzähigkeitsuntersuchung mit der Registrierung der Kurve Kraft — Zeit am adaptierten Charpy-Hammer wird kurz beschrieben.

Die im Werk standardisierte Methodik der komplexen Prüfung der harten Werkzeugstähle hat zu einem bedeutenden Fortschritt auf dem Gebiet der Untersuchung des Bruchmechanismuses und der Bruchmorphologie beigetragen. Dabei ist die klassische Metallographie durch die REM und TEM Untersuchungen ergänzt worden. Auch ein Beitrag zu der methodologischen Entwicklung der

Mikrofraktographie einer kennzeichnenden Gruppe der Werkzeugstähle wird angegeben.

Im Rahmen dieses Projektes sind bedeutende Korrelationen zwischen der Härte dem Mikrogefüge und der Zähigkeitsparametern (maximalen Bruchkraft, der Bruchzeit und der dazu benötigten Arbeit) festgestellt worden.

Die statistischen Bereiche der Zähigkeitsparametern für die bezeichnenden Kombinationen der Abschrecktemperatur, der Anlass und der Prüfungstemperatur, bei der Beschränkung der minimalen Gebrauchshärte der Werkzeuge werden angegeben.

Interessant sind die Feststellungen in Verbindung mit dem Einfluss der Karbide und der chemischen Stahlzusammensetzung auf die Kerbschlagzähigkeit. Besonders augenfällig ist der Einfluss des Verhältnisses der Atomprozente der Karbidbildenden Elemente und des Kohlenstoffes auf die Kerbschlagzähigkeit. Die Anlassbeständigkeit der ledeburitischen Werkzeugstähle ist unmittelbar mit dem Atomverhältnis Cr : (W + Mo + V) verbunden.

## SUMMARY

Paper presents the review of the research project on tool steel with wide ranges of compositions: 0.8 to 2.1 % C, 4 to 13 % Cr, up to 6.5 % W, up to 5 % Mo, and up to 5 % V. Thus it directly combines and supplements the cited references.

A special emphasis is given to the toughness investigations of hard tool steel. The »ZR method« of instrumented testing with registering force — time curve on an adapted Charpy testing machine is shortly described.

Internally standardized methodics of the complex testing of hard tool steel enabled significant contribution to investigations of the mechanism and morphology of fractures. Standard metallography is thus complemented with the SEM and TEM investigations. Also the contribution to the methodological development of the microfractography of characteristic tool steel group is given.

The project gives significant correlations between the hardness, the microstructure and the toughness parameters (maximal breaking force, breaking time and absorbed energy).

Statistical ranges of toughness parameters for characteristic combinations of quenching temperatures, tempering temperatures and testing with limited minimal applied tool hardness are given.

Interested are the findings connected with the influence of carbides and the chemical composition of steel on the toughness. Especially evident is the influence of the ratio between the atomic percentage of carbide-forming elements and the carbon on the steel toughness. Tempering resistance of ledeburite tool steel is directly connected with the Cr/W + Mo + V atomic ratio.

Author's Abstract

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье дан обзор тематики исследовательского проекта инструментальных сталей с широким диапазоном содержания.

Таким образом выполнена непосредственная связь и дополнение к рекомендациям, которые упомянуты в специальной приведенной в дополнении литературе.

В особенности подчеркнута исследование вязкости твердых инструментальных сталей. Коротко описан »метод ЖР«, подтвержденный с регистрированием кривой усилия в отношении на время, утраченное при выполнении испытания на приспособленном маятниковом копке по Шарпи.

Стандартизованная внутри завода методика комплексного испытания твердых инструментальных сталей дала возможность выполнить важный дополнительный вклад в области исследования механизма и морфологии изломов. При этом классическая металлография дополнена с испытанием с РЕМ и ТЕМ методами.

Рассмотрен также вклад к методологическому развитию микрофрактографии значительной группы инструментальных сталей.

В соответствии с программой проекта определена важная корреляция между твердостью, микроструктурой и параметрами вязкости (наибольшее усилие излома, время излома и время, утраченное для выполнения работы). Рассмотрены также статистические области параметров вязкости для значительных комбинаций температуры закалки, отпуска и испытания при ограничении наименьшей твердости, примененного инструмента.

Не без интереса также определены в связи с влиянием карбидов и химического состава стали на вязкость. Особенно выразительно влияние соотношения атомистической процентной ставки карбидообразующих элементов и углерода на вязкость.

Устойчивость же ледеburитных инструментальных сталей на отпуск в непосредственной связи с атомистическим отношением с Cr : (W + Mo + V).



## Digitalni računalniki v proizvodnji jekla\*

UDK: 669.669.168.1.B1.65.011.51

ASM/SLA: U4k, X14, D5, A5f, 1—5h, 18—74

Dr. D. L. Schroeder

*Računalniška tehnologija je danes razvita veliko bolj, kot bi to lahko sklepali po uporabi računalnika v proizvodnji jekla. Poskušali smo analizirati današnjo uporabo aparaturne računalniške opreme in računalniških sistemov v proizvodnji jekla. Za primer smo vzeli vodenje elektropeči in peči z uporabo kisika (LD, BOF, AOD in Q — BOP). Rezultati krmilnih sistemov v teh procesih kažejo, da je računalnik postal sestavni del proizvodnega procesa v jeklarni.*

### UVOD

Prvotno smo uporabljali računalnike v primerih, ko je bila periferna in osrednja računalniška oprema ter programska oprema neprimerna za razpoložljivi tehnološki nivo procesa. Danes pa lahko mirno trdimo, da se je računalniška tehnologija razvila do take mere, da ni več izrabljena v zadostni meri. S skrbno analizo in uvedbo te računalniške tehnologije v krmilni sistem lahko proizvajalec jekla prihrani precej stroškov. V tem sestavku bomo spregovorili o načrtovanju in razvijanju krmilnih sistemov za kisik in proizvodnjo jekla v električnih pečeh.

### JEKLARSKO OKOLJE

Zaradi vročine, vlažnosti, prahu in drugih problemov, s katerimi se srečujemo med proizvodnim procesom, je okolje v jeklarni zelo neprimerno za elektronske instrumente.

V preteklosti smo elektronske instrumente, npr. digitalne računalnike, skušali izolirati znotraj jeklarne, vendar je taka oprema uspešno delovala le zelo kratek čas. Danes želimo računalniško opremo namestiti v prostoru, ki je ločen od jeklarne, ter prenašati signale iz jeklarne v računalnik s koaksialnim kablom.

Na sliki 1 vidimo shematiziran razpored prostorov, ko smo računalniško opremo namestili

## Digital Computers Applied to Steelmaking

D. L. Schroeder, Ph. D.

*The presently available computer technology far exceeds its level of application to steelmaking processes. An analysis is given of the application of computer hardware and operating systems to steelmaking environments. Control of electric furnace and oxygen (LD, BOF, AOD and Q-BOP) steelmaking processes are used as examples. Results given of control systems applied to these processes show that the computer has become an integral part of steelmaking.*

### INTRODUCTION

In the early days of process control in steelmaking areas, applications were attempted where the environment, computer hardware, and/or operating software for the computer exceeded the available technology. Now it can be safely said that computer technology exceeds the applications to which it is being placed in the steel industry. With careful analysis and implementation of this computer technology, the process control system can be the most cost effective tool the steelmaker can make available to his operation. This paper will go into the planning and the evolution of process control systems for oxygen and electric furnace steelmaking.

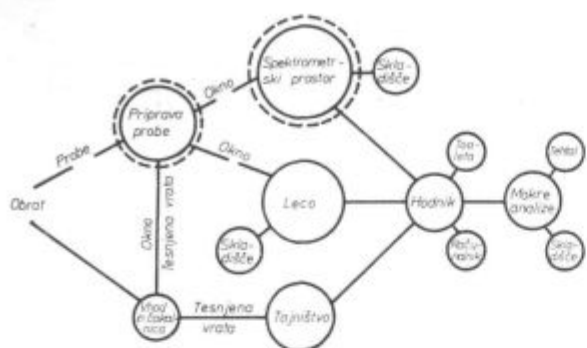
### STEELMAKING ENVIRONMENT

Due to the hot, humid, conductive dust and other environmental problems that are encountered, the steelmaking facility is very destructive to the operation of electronic instrumentation. Past attempts of isolating electronic instrumentation, i.e., digital computers within the steelmaking environment, have usually led to a minimum time of successful operation of the equipment. The present trend is to place the computer equipment separate from the meltshop and tele-meter the signals from the meltshop area to the computer by coax cables.

Figure 1 shows such an installation where the computer equipment has been placed in the same building, next to the meltshop, within the area that is also used for analytical analysis. This installation is contained within the meltshop but is

\* Referat na jeklarskem dnevu XXIV. strokovnega posvetovanja 6. oktobra 1978 v Portorožu.

Dr. D. L. Schroeder je predsednik firme Process Corporation iz Pittsburgha, ZDA



Slika 1

Funkcionalen raspored prostorov za kemijske analize in procesni računalnik

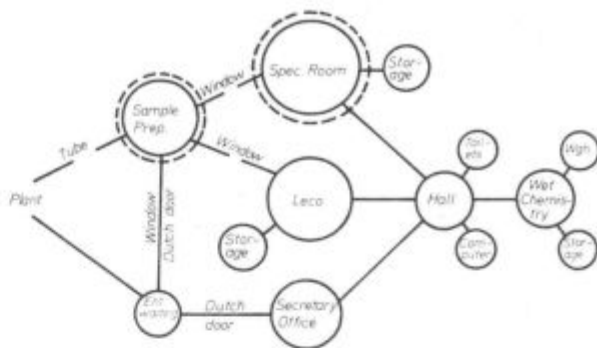


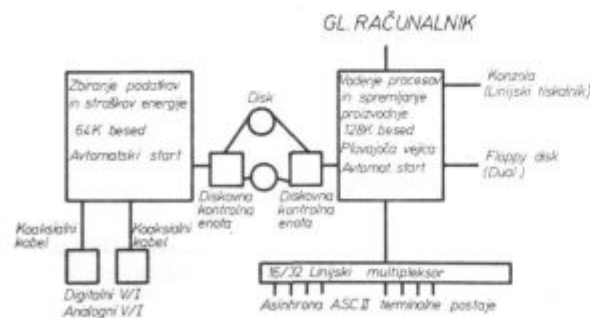
Fig. 1

Functional layout of Rooms for chemical analyses and process computer

v stavbo poleg jeklarne, in v prostoru, ki ga uporabljamo tudi za kemijske analize. Računalnik se tako nahaja v sami jeklarni, vendar je izoliran od neposrednega okolja s tem, da ima osebje poseben vhod in izhod. Na ta način preprečimo, da bi jeklarniška atmosfera vstopila v zaščiteno atmosfero. Prostor za analiziranje je ločen od stebrov in opornikov jeklarne, tako da se v opremo za analiziranje in/ali računalniško opremo ne prenašajo tresljaji z žerjava itd. Preko ločenega klimatizacijskega sistema prihaja v prostor zunanji zrak, ki vsebuje minimalno količino prahu. Oprema je pred tokovnimi nihanjem zavarovana z neprekinjeno oskrbo in stabilizirano energijo.

Kakor vidimo, lahko jeklarniško osebje vstopi v prostor z računalnikom le tako, da zapusti jeklarne in vstopi skozi vrata v zunanji steni jeklarne. Razen tega ima osebje dostop le do vhodnih pisarn in prostora za pripravo vzorcev in ima torej otežen dostop do prostora z opremo za kemijske analize in računalnik. Vse to do skrajnosti zmanjšuje možnosti za prenašanje jeklarniške atmosfere v ta prostor. Poleg tega s takšno namestitvijo zagotovimo tudi dovolj prostora za osebje, ki dela z računalnikom ali upravlja aparature za kemijske analize.

isolated from the meltshop environment with personnel entry and exit external to the meltshop to assure that the meltshop environment does not enter the protected environment. The analytical facility is isolated from the columns and supports of the meltshop so that no vibration from cranes, etc., is transmitted to the analytical equipment and/or the computer facilities. A separate air conditioning system draws make-up air from outside of the meltshop, assuring that a minimum level of particles is in the incoming make-up air. The facility is isolated from variations in current in electrical power via an uninterruptible power supply. As can be seen, ability of meltshop personnel to enter this facility is only possible by going outside the meltshop facility and entering the door that is contained in the outer wall of the meltshop facility. Then the personnel are limited to entry ways, offices, and sample preparation facilities. It is extremely hard for operating personnel to get access to either the analytical and/or computer facilities. This minimizes any carrying of meltshop environment into the facilities. It also assures that the facility can and will be kept clean for the type of personnel that will be required to maintain both the analytical and computer facility.



Slika 2

Hierarhični sistem vodenja proizvodnje jekla

- bračun sestave in tehtanje viažka (mikroračunalnik)
- Registrator temperature (mikroračunalnik)
- Kem. laboratorij, -spektrometri,avtomat analizatorji (mikro in miniračunalnik)
- Terminali (video terminali ali metrični tiskalni terminali)

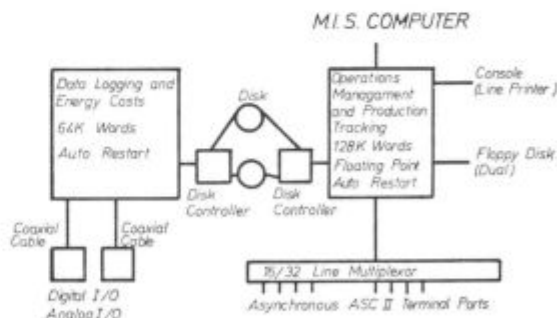


Fig. 2

Hierarchical Steelmaking Control System

- Raw Material Batching and Weighing (Microcomputer)
- Thermocouple Recorder (Microcomputer)
- Chemical Laboratory - Spectrometers, Automatic Analyzers (Micro and Minicomputers)
- Terminals (CRT's and Hardcopy Matrix Terminals)

Na sliki 2 vidimo hierarhični sistem za spremljanje proizvodnje, OPEN-LOOP TIME SHARING aplikacije, komunikacije med obema podsistemo- ma, terminali in obdelavo glavnih podatkov je- klarne. Ta sistem ima primaren in sekundaren spomin za rezervne datoteke. Operacijski sistem je »multi-task«, »interrupt level control«, lahko prenaša sporočila med terminali, istočasno dela več enakih ali različnih programov in v uporabi je več eksternih spominskih enot. Takšni sistemi so vedno na razpolago pri dobaviteljih miniračunalnikov.

Ta hierarhični sistem je uporaben za:

- krmiljenje proizvodnih procesov,
- komuniciranje z drugimi računalniki,
- vodenje materialnega poslovanja obrata,
- spremljanje proizvodnje in
- terminiranje proizvodnje.

Podsistemi so primarno bazirani na računalnikih, ki imajo samo spomin in zahtevajo zelo zanesljivo časovno odvisnost zaprtih zank v vodenju procesov. V takšno uporabo je vključena oprema za kemično analizo, tehtanje vložka, vodenje električne energije itd. Kadar je okolje čisto, postavimo računalniško opremo poleg procesa, ki ga vodimo. Če pa je okolje neprimerno, postavimo računalniško opremo v poseben prostor, signale pa preko koaksialnega kabla in multipleksorja povežemo z računalnikom.

V preteklosti so računalniške sisteme postavljali poleg procesa, ki so ga vodili, in to zato, ker je bilo potrebno zmanjšati stroške za kable. Z uvedbo oddaljenih vmesnikov, pri katerih se koaksialni kabel uporablja za prenos multipleksiranih signalov, pa postavitve računalnika ni več odvisna od proizvodnega procesa, ki ga želimo nadzirati. Na sliki 3 vidimo primer (takšnega) od računalnika oddaljenega vmesnika. Oddaljeni kabinet je odporen na industrijsko okolje. V tem primeru vsebuje vmesnik »multislote«, tako da kartice za digitalne in analogne signale sprejema in razporedi signale že v kabinetu. Na ta način lahko jeklarna izkorišča eno osrednjo lokacijo za računalnik in prenos analognih in digitalnih signalov različnih stopenj iz oddaljenega vmesnika, ki je z računalnikom povezana preko koaksialnega kabla.

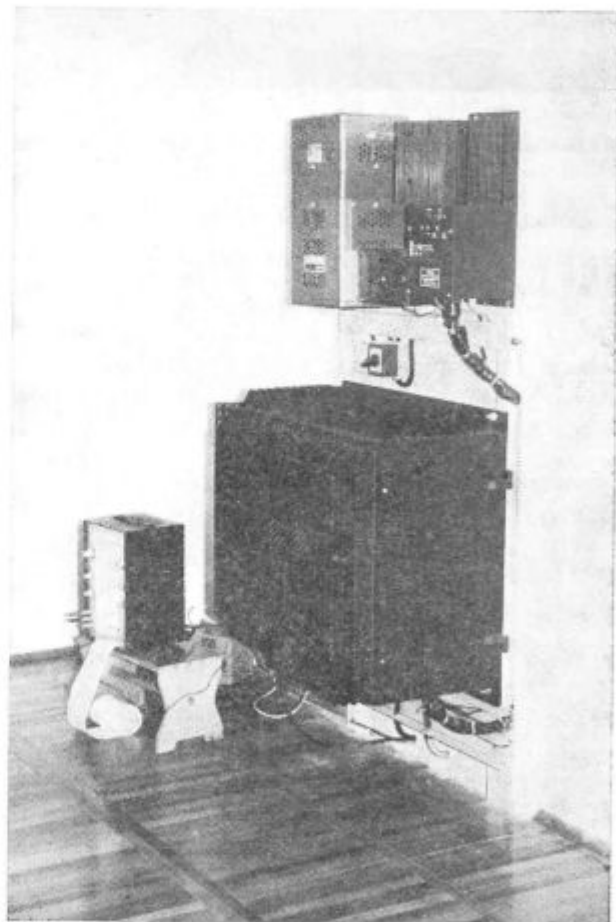
Terminale in konzole za izmenjavo sporočil med glavnim računalnikom in proizvodnim procesom so multipleksirani s standardnim asinhronim multipleksorjem ASC II. Pri razdaljah, ki so večje od približno 100 metrov, uporabljamo modeme, ki modificirajo in povišajo napetost signalov, tako da so med glavnim sistemom in njegovimi oddaljenimi terminali možne velike razdalje.

Video terminal na sliki 4 lahko namestimo kjerkoli v jeklarniškem okolju. Kontrolna enota za video terminal je tudi vključena v terminalski kabinet. Tastatura vsebuje komplet funkcijskih tipk, ki prenašajo asinhrono ASC II znake. Kot standardno dobavno opremo kontrolni enoti video terminala lahko uporabljamo funkcijsko

Figure 2 shows the type of hierarchial system that does the production tracking, open-loop time-sharing-type applications, and communications with both the subsystem, terminals, and the main data processing computer for the steel plant. This system has both primary memory and secondary memory for file maintenance. Its operating system is multi-task, interrupt level control, and able to support communication with multi-terminals, running multi-tasks at the same time, and driving multi-storage devices. Such operating systems are currently available from a wide-range of minicomputer suppliers. Applications that would be run on this system are:

- process control models
- communications to other computers
- materials management
- inventory control
- production tracking
- production scheduling

The subsystems are primary memory based only computers that require high reliability on time-dependent, closed loop, process control applications. These types of applications include



Slika 3  
Oddaljen industrijski vmesnik  
Fig. 3  
Remote industrial I/O Interface



Slika 4  
Industrijski video terminal NEMA 12 s funkcijskimi tipkami

Fig. 4  
Industrial CRT in NEMA 12 Cabinet with functional panel

in/ali običajno tastaturo. Za funkcijsko tastaturo je potreben samo en priključek. Dešifriranje ASC II številke se izvrši »softwaresko« v računalniškem programu. Na ta način spremenimo tipke tako, da enostavno spremenimo primerjalno tabelo tipk in znakov, s čimer se program le mini-



Slika 5  
Uporaba terminala z matričnim tiskalnikom v Jeklarni

Fig. 5  
Terminal with matrix printer in meltshop

running of analytical equipment for chemical analysis, weigh scale batching of materials, energy management control, etc. When the environment of the control function is clean, the computer mainframe would be located next to the equipment being controlled. When the environment is hostile, the equipment would be located within the computer room and the signals multiplexed into the equipment over coax cable.

In the past, computer systems have been located next to the process which they serve due to the desire to decrease cabling costs. With the advent of telemetered systems where a coax cable is used to multiplex multi-signals from a multiplexor back to a computer mainframe, the location of the computer became independent of the process. An example of such a multiplex arrangement is given in Figure 3. The remote cabinet is engineered to live within an industrial environment. The cabinet in this case contains multislots so that boards for signals that are digital and analog can be intermixed within this cabinet. In this way, the steel plant can utilize one central location to bring analog and digital signals of various levels to the remote telemetering device. From the remote telemetering device, the coax cable is run to the computer facilities.

Terminals and consoles for communications between the main computer and the process are multiplexed through the standard, asynchronous, ASCII multiplexor. When the distances are greater than approximately 100 meters, modems are used to modify and boost the signals so that greater distances can be maintained between the main system and its remote terminals. The CRT shown in Figure 4 is suitable to be located any place within a steelmaking environment. The CRT screen is contained with a NEMA 12 CABINET. The controller for the CRT panel is also contained within the cabinet. The panel is actually a set of function keys that transmit asynchronous ASCII characters. In this way, the standard port on the CRT controller can be used for either the panel and/or a normal keyboard. Only one port is required for the CRT with operating panel. All decoding of the ASCII characters is done at the task level within the software of the computer. This makes changing of keys simply changing the keycap in lettering along with a minimum change to software. In this way, as changes are required during the implementation and evolution of the control system, they are easily accommodated through the specialized design control consoles.

With the advent of matrix printers, the ability to put hardcopy printers out in the meltshop environments has increased. Less problems with maintenance of previous mechanically-complex terminals has been experienced. Figure 5 shows such a terminal in operation in a melt-shop environment. These terminals are low-maintenance, high-speed, and of minimum cost.

malno spremenjeni. Kadar so med uvajanjem in razvijanjem kontrolnih sistemov potrebne spremembe, jih dosežemo s specializirano obliko konzole.

Z uvedbo matričnega tiskalnika se je povečala možnost uporabe tiskalnih terminalov v jeklarni. Pri vzdrževanju nove vrste terminalov je manj težav. Slika 5 prikazuje takšen terminal, ki deluje v topilniškem okolju. Ti terminali so hitri, poceni in enostavni za vzdrževanje.

Razvoj računalniške tehnologije in možnosti, ki smo jih s tem dobili za kontrolo proizvodnih procesov, je spremljalo 25–30 % letno znižanje stroškov. Največ stroškov in dela imamo še vedno z razvojem programske opreme za računalnike.

### VODENJE KISIKOVEGA POSTOPKA IZDELAVE JEKLA

Na sliki 6 smo prikazali načrt aparature opreme računalnika za celoten sistem konvertorskega postopka. Takšna razporeditev aparature opreme je primerna za vse vrste uporabe, ki smo jih navedli v tabeli 1.

Zaradi vmesnikov in terminalov lahko ta sistem zasleduje in sprejema vse primarne informacije o proizvodnji s področja konvertorske izdelave jekla. Te informacije sistem nato posreduje osrednjemu računalniku jeklarne. Skrajšan je čas ponavljajočega se prenosa podatkov kemijskih analiz in proizvodnih podatkov med različnimi deli jeklarne in s tem čas od preboda do preboda šarže. Prvotno je izračun sestave vložka z materialnega in toplotnega stališča usmerjen v to, da se dobi več šarž že v prvi fazi v predpisanim območju.

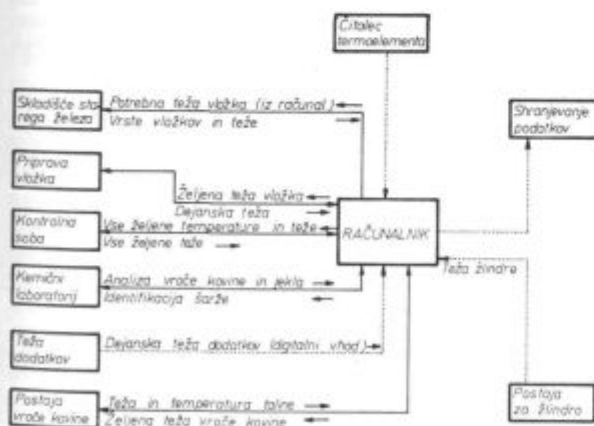
Zaradi upoštevanja boljših korelacij učinka kemične sestave žilindre na življenjsko dobo opeke za obzidavo so novejši modeli izračuna sestave vložka vključili te korelacije, s čimer smo podvojili in potrojili življenjsko dobo za obzidavo. V zadnjem času je postalo že običajno, da ena obzidava zdrži od 500 do čez 2000 šarž.

The advances in computer technology and capabilities available for process control have been accompanied by a compounded 25 percent decrease per year in cost. The majority of cost and effort is increasingly in application software development.

### OXYGEN STEELMAKING CONTROL

The hardware configuration for complete oxygen steelmaking control system is given in Figure 6. This hardware configuration will support the applications listed in Table 1. Due to the interfaces and terminals included, all primary production information from the oxygen steelmaking area would both be tracked and captured by this system. The system would then communicate it to the central computer for the steel works. The rapid communications of chemical analysis and operating data between the different parts of the oxygen steelmaking shop results in taking minutes off the tap-to-tap time for the steelmaking facility.

Early charge design calculation models were developed to bring more heats into carbon and temperature specifications at first turn-down from a material and thermal (thermochemical) standpoint. With the inclusion of better correlations of the effect of slag chemistry on refractory lining life, recent charge design models have included these correlations and have resulted in doubling and tripling the refractory life on oxygen vessels. It is not uncommon to take an oxygen vessel lining life from 500 heats to over 2,000 heats per lining. Modern charge designs also include options for superheating of the scrap, desulfurization correlations, blowing trajectories, etc. Results of the charge design model can be utilized to predict the bath weight, chemistry and temperature at the end of oxygen blowing. Utilizing this information, ferroalloys can be calculated and prebatched with the final trim being made when a spectrographic



Slika 6  
Sistem vodenja konvertorja

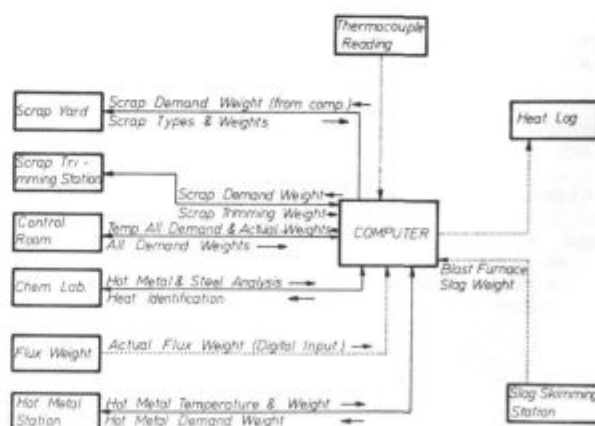


Fig. 6  
BOF control system

Tabela 1: Krmilne funkcije in vsebina programov AUTO B. O. P. procesne kontrole

Krmilna in/ali programska funkcija	Opis
*Datoteka prakse	Tehnologija za posamezne vrste jekla.
*Izračun sestave vložka	Izračun primerne mešanice materialov za izdelavo željene teže, temperature in vsebnosti ogljika pri jeklu in željene kemijske sestave žindre.
*Izračun dodatka ferolegur	Izračun najcenejšega dodatka ferolegur pri korekturi vsebnosti elementov v jekleni talini, za doseg končne kemijske sestave jekla.
Avtomatsko shranjevanje podatkov o šarži	Avtomatsko izpiše informacije o šarži, dobljene med izdelavo šarže.
Inštrumentacija kemijskih analiz	Priključitev inštrumentov, sekvenčna kalkulacija kemijske sestave in primeren prenos iz spektrometrov in inštrumentov dobljenih analiz v proizvodno področje.
Adaptacija vodenja	Adaptacija krmilnih funkcij pri napovedovanju, ki so dobljene na osnovi dejanskih rezultatov.
Prikazovanje in alarmiranje	Prikazovanje ključnih spremenljivk procesa in alarmiranje, ko so vrednosti izven normalnega dopustnega območja.
Podatkovna komunikacija z drugimi računalniki	V AUTO B. O. P. zajeti sistem informacij vodenja proizvodnje in naročil se lahko prenaša na drug računalnik.
Preverjanje mehanskih lastnosti	Preverjanje mehanskih lastnosti za dobljene kemijske sestave in nameravano obliko in dimenzijo proizvoda (natezna trdnost, kontrakcija itd.)
Analiziranje operativnih podatkov	Uporaba podatkov že izdelanih šarž za materialno in stroškovno bilanco (šaržo za šaržo).
Shranjevanje podatkov o dogodkih in zastojih	Shranjevanje podatkov o dogodkih in zastojih, tako kot so si sledili.
Preverjanje operativnih podatkov	Kontrola in dopolnjevanje operativnih podatkov ter operativnih funkcij pred prenosom podatkov na drug računalnik.
Evidenca odlitih ingotov	Evidenca ingotov po mestih skladiščenja v povezavi z materialnim poslovanjem.
Prikazovanje stanja v livni jami	Spremljanje in načrtovanje toplotnih pogojev v livni jami in prilagoditev proizvodnim zahtevam.
Nadzornik terminalov	Ta program obsega in ščiti vse komunikacije med terminali in računalnikom. Beleži aktivnosti, daje možnost prenosa sporočil med terminali, prikazuje motnje na linijah in varuje operacijski sistem računalnika.

\*Razpoložljiva s pomočjo odprtega TIME SHARING sistema

Table 1: Control Functions and programs Contained within the Auto B. O. P. Process Control System

Control Function and/or Programs	Description
*Practice File	The process constants which are placed on producing grades of metal.
*Charge Design Calculation	The calculation of a proper blend of materials to produce a specified weight, carbon and temperature, and a proper slag chemistry.
*Alloy Additions Calculation	The calculation of the least-cost alloy additions to be made to bring an analyzed metal bath to the final solidified steel grade specification.
Heat Summary Log	The summation via computer printout of the information generated during the production of the heat.
Instrumented Chemical Analysis	The instrument setup, sequencing, chemical composition calculation, and transmission to appropriate production area of chemical analysis obtained from spectrometers and instrumented analysis.
Adaptive Control	The using of the predicted versus the actual obtained results to adapt the control functions.
Monitor and Alarming	The monitoring of key process variables and the alarming when these variables are out of range.
Data Communication to Other Computers	The communication of the information captured within the AUTO B. O. P. system to other computer systems for production control and accounting purposes.
Physical Properties Verification	The verification that with the steel chemistry obtained and the intended product shape, the physical properties specification will be satisfied (tensile strength, elongation, etc.).
*Operating Data Analysis	The analysis of past heat information to determine material and cost balances on a heat-by-heat basis.
Event and Delay Log	The logging of delays and events as they occur.
Operating Data Verification	The checking and editing before releasing operating data to another computer system and/or function than operations.
Billet and Ingot Inventory	The tracking of billet and ingot inventories along with mapping of storage positions.
Soaking Pit Status and Monitoring	Tracking and mapping of the thermal conditions for the soaking pits and ingots in them. Firing control in pits to match production requirements.
Terminal Manager	This program captures and screens all communications between terminals and the computer. Activity accounting, interterminal messages, line noise monitoring, and system protection are handled by the terminal manager.

\*Available through timesharing computer services on world-wide basis.

Moderni izračun sestave vložka vključuje tudi možnosti za predgretje starega železa, korelacije za odžveplanje, pihalne poti itd. S pomočjo teh informacij lahko računamo dodatek ferolegur, ki jih dokončno določimo, ko dobimo rezultate spektrografske analize prvega vzorca. V zadnjem času dobivamo vzorec proti koncu vpihavanja kisika z uporabo drugega kopja, da izključimo prvo fazo dela. Od temperature, vsebnosti ogljika, včasih pa tudi od koncentracije kisika je odvisno, kdaj je treba končati vpihavanje kisika, da bo imelo jeklo pravilno temperaturo in vsebnost ogljika.

Z uporabo drugega kopja smo pri vsaki šarži skrajšali čas od preboda do preboda za tri minute. Večina konvertorskih jeklarn vključuje danes procesne računalnike pri izračunu sestave vložka.

V zadnjem času uporabljamo miniračunalnike za merjenje količine žilindrih dodatkov, ferolegur, registracijo temperature tako dobro kot za spektrometre. Z miniračunalniki smo zmanjšali obremenitev glavnega sistema ter omogočili posredovanje informacij v glavni sistem z ASC II asinhronsko podporo. Zaradi tega ne potrebujemo več digitalnih in analognih I/O, obenem pa smo zmanjšali tudi potrebo po posebnih upravljavcih.

#### AVTOMATIZIRANJE ELEKTRIČNE PEČI

V zadnjem času se avtomatizira vse več električnih peči. Običajno avtomatiziramo manjša področja v procesu električnega pridobivanja jekla. Posebno izstopa avtomatizacija kemijskega laboratorija, izračun dodatka ferolegur ali vodnje električne konice. Le redki proizvajalci jekla so skušali integrirati celotni sistem (slika 7). Slika 2 prikazuje načrt aparaturne opreme računalnika za celotno vodenje proizvodnje, s katero bi lahko avtomatizirali vse funkcije iz tabele 2. Osrednji veliki sistem služi za krmiljenje porabe energije, zbiranje in shranjevanje podatkov iz procesa in v kemijskem laboratoriju. V zadnjem letu ali dveh smo ugotovili, da je primerno (zaradi boljše aparaturne in programske opreme računalnikov), da priključimo na osrednji sistem deset do dvajset terminalov za aplikacije, kot je materialno poslovanje. Ta vključuje dodatek ferolegur, optimalno izbiro jekla, sestavo vložka in nabavo surovin. Spremljanje in prikazovanje proizvodnje vključuje terminale in informacije, od tehtanja vložka do javljanja podatkov o litju šarže. Zbiranje, shranjevanje in prikazovanje podatkov lahko služi v centralnem sistemu za dajanje proizvodnih povratnih informacij jeklarne.

Z računalniškim izračunavanjem dodatka ferolegur v procesu električnega pridobivanja jekla se je razširjanje v končni kemični analizi zmanjšalo za polovico, število šarž z enim ali več zgrešenih elementov pa za tretjino (sl. 8).

analysis is obtained from the first turn-down sample. Recent developments have included the use of secondary lance to obtain a sample towards the end of an oxygen blow so as to eliminate the first turn-down step. The temperature, carbon indication, and sometimes oxygen concentration determine when the oxygen blow should be terminated and the steel will be at the proper carbon and temperature level. The use of secondary lance has cut as much as three minutes per heat off the tap-to-tap cycle.

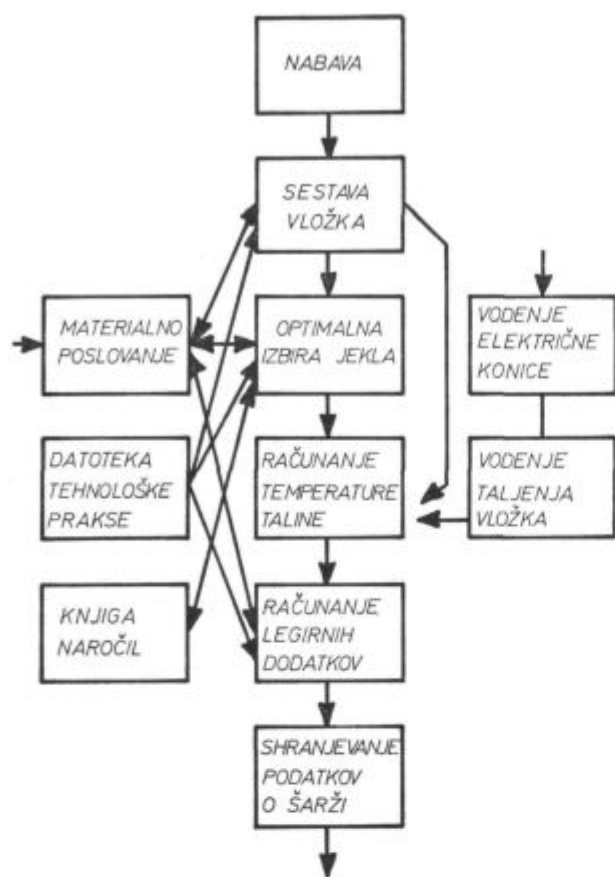
Most oxygen steelmaking jobs now include process control computers for the charge design calculation.

Recently, microcomputers have been applied to scales, flux and ferroalloy weighing systems, thermocouple recorders, as well as spectrometers. These microcomputers have both decreased the process control load on the main system and communicated the data captured to the main system via ASCII asynchronous ports. This eliminates previously used digital and analog I/O along with minimizing the special handlers required.

#### ELECTRIC FURNACE AUTOMATION

Increasingly, electric furnace shops are being automated. The normal approach, though, is to automate small areas within the electric furnace steelmaking operation. Typically selected for automation are chemical labs, alloy additions, or power demand requirements. Few have tried to integrate the complete system (Figure 7). Figure 2 shows a complete process control hardware configuration which would automate all the functions given in Table 2 of this report. The large central system would be used for energy management, process data logging, and chemical laboratory control. Within the last year to two years, it has become reasonable (because of hardware and operating software improvements) to hang ten to twenty terminals on the central system to do materials management type applications. Materials management includes alloy additions, optimum heat assignment, charge design, and purchasing models for raw materials. The tracking and production monitoring includes terminals starting at the receipt of raw materials through the laying down of the first cast product. With the data logging and production monitoring information being fed back through the main central system, it is available to be transmitted then to the management information system of the steel plant.

In going to a computerized alloy additions calculation in electric furnace steelmaking, it has been found that the scatter in final analysis is cut to one-half of its previous level and the number of heats with one or more elements out of specification are cut to one-third the previous level (Figure 8). Cost savings from computerized alloy additions result from:



Slika 7

Blok diagram za vodenje elektro peči

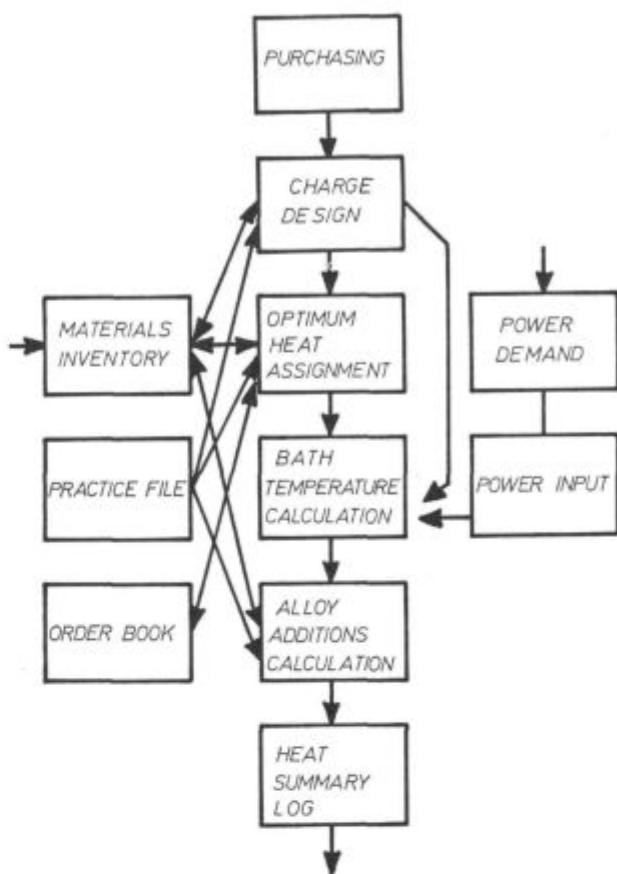


Fig. 7

Electric furnace control function flow diagram

Tabela 2: Krmilne funkcije in vsebina programov AUTO MET Process control system

Krmilna in/ali programska funkcija	Opis
*Model naročanja	Določitev optimalnih naročil za vložek, zaloge in pričakovanega nivoja proizvodnje.
*Knjiga naročil in preskrbe	Naročila za izdelavo in omejitve pri zaporedju izdelave jekel.
*Datoteka prakse	Omejitve kemijske sestave in dodatkov materialov za posamezne vrste jekla.
*Zaloge materialov	Zaloge materialov z opisom kemijskih in fizičnih značilnosti.
Spremljanje in rokovanje z materialom	Beleženje porabe materiala za preverjanje proizvodnje in spremljanje materialov v integralnem proizvodnem ciklusu.
*Izračun sestave vložka	Računanje najcenejše sestave vložka za izdelavo želene teže in kemijske sestave taline po raztalitvi vložka.
*Optimalna izbira naročila	Na osnovi knjige naročil, datoteke prakse in razpoložljivih materialov določiti najprimernejše naročilo.
*Izračun dodatka ferolegur	Računanje najcenejšega dodatka ferolegur za izdelavo želene in predpisane končne kemijske sestave.

Table 2: Control Functions and Programs Contained within the Auto met Process Control System

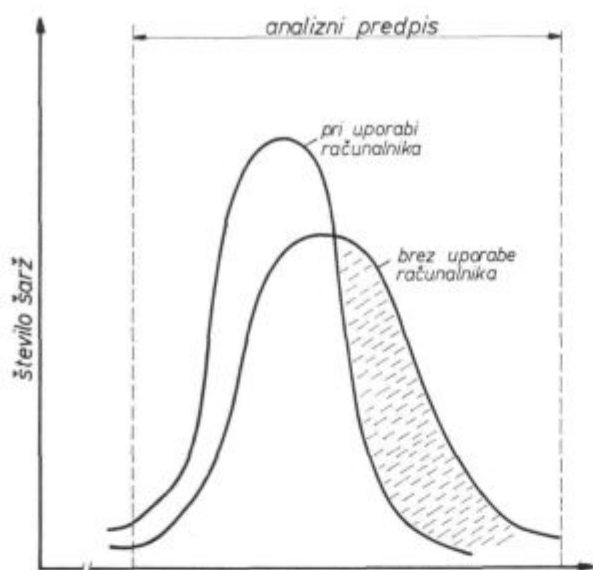
Control Function and/or Programs	Description
*Purchasing Model	Determining the optimum purchases based on raw materials market, inventory and anticipated production levels.
*Order Book and Providing	The orders to be produced and the restrictions upon the sequence in which they can be produced.
*Practice File	The chemistry and material constraints that are placed on producing grades of metal.
*Materials Inventory	The inventory of materials with their chemical and physical characteristics.
Material Handling and Tracking	The accounting of materials as they are committed to production and the tracking of materials as they are integrated into the production cycle.
Charge Design Calculation	The calculation of a least-cost blend of materials to produce a specified weight and chemistry after melting.
*Optimum Heat Assignment	The determination of the least-cost order to be fulfilled based upon the orderbook, practice file, and materials available.



Krmilna in/ali programska funkcija	Opis	Control Function and/or Programs	Description
Automatsko zbiranje in izpisovanje podatkov o šarži	Računalnik izpiše informacije o šarži, dobljene med izdelavo šarže.	*Alloy Additions Calculation	The calculation of the least-cost alloy additions to be made to bring an analyzed metal bath to the final solidified steel grade specification.
Inštrumentacija kemijskih analiz	Priključitev inštrumentov, sekvenčna kalkulacija kemijske sestave in primeren prenos iz spektrometrov in inštrumentov dobljene analize v proizvodno področje.	Heat Summary Log	The summation via computer printout of the information generated during the production of the heat.
Računanje mehanskih lastnosti	Računanje in določitev ciljne kemijske sestave za izračun dodatka ferolegur na osnovi kemijske analize predprobe in želenih mehanskih lastnosti jekla.	Instrumented Chemical Analysis	The instrument setup, sequencing, chemical composition calculation, and transmission to appropriate production area of chemical analysis obtained from spectrometers and instrumented analysis.
*AOD kontrola	Postavitev vpihavanja in računanje dodatka materialov tekom AOD procesa.	Physical Properties Calculation	The calculation of the aim points for alloy chemistry based upon the preliminary analysis of a molten bath.
Adaptacija vodenja	Adaptacija krmilnih funkcij pri napovedovanju, ki so dobljene na osnovi dejanskih rezultatov.	*AOD Control	The setup of blowing cycle and calculation of materials addition during the AOD process.
Automatsko raztapljanje vložka	Računanje potrebne energije in krmiljenje avtomatskega raztapljanja vložka.	Adaptive Control	The using of the predicted versus the actual obtained results to adapt the control functions.
Računanje temperature taline	Računanje in prikaz temperature taline hitrega ogrevanja in faze rafinacije.	Power Input Calculation and Control	The calculation of the required power cycle and its control.
Krmiljenje električne konične obtežbe	Krmiljenje porabe električne energije in to tako, da ne pride do prekoračitve dopustne porabe energije.	Bath Temperature Calculation	The calculation and display of bath temperature during the super heat and refining cycle.
Prikazovanje in alarmiranje	Prikazovanje ključnih spremenljivk procesa in alarmiranje, ko so vrednosti izven normalnega dopustnega območja.	Power Demand Control	The control of energy usage so that it does not exceed a predetermined demand limit.
Podatkovna komunikacija z drugimi računalniki	V AUTO MET zajeti sistem informacij vodenja proizvodnje in naročil se lahko prenaša na drug računalnik.	Monitor and Alarming	The monitoring of key process variables and the alarming when these variables are out of range.
Preverjanje mehanskih lastnosti	Preverjanje mehanskih lastnosti za dobljeno kemijsko sestavo in nameravano obliko ter dimenzijo izdelka (matezna trdnost, kontrakcija, žilavost itd.).	Data Communication to Other Computers	The communication of the information captured within the AUTO MET system to other computer systems for production control and accounting purposes.
*Analiziranje operativnih podatkov	Uporaba podatkov že izdelanih šarž za materialno in stroškovno bilanco (šarža za šaržo).	Physical Properties Verification	The verification that with the steel chemistry obtained and the intended product shape, the physical properties specification will be satisfied (tensile strength, elongation, etc.).
Shranjevanje podatkov o dogodkih in zastojih	Kronološko shranjevanje dogodkov in zastojev.	*Operating Data Analysis	The analysis of past heat information to determine material and cost balances on a heat-by-heat basis.
Preverjanje operativnih podatkov	Kontrola in dopolnjevanje operativnih podatkov ter operativnih funkcij pred prenosom podatkov na drug računalnik.	Event and Delay Log	The logging of delays and events as they occur.
Evidenca odlitih ingotov	Evidenca ingotov po mestih skladiščenja v povezavi z materialnim poslovanjem.	Operating Data Verification	The checking and editing before releasing operating data to another computer system and/or other function than operations.
Prikazovanje stanja v livni jami	Spremljanje in načrtovanje toplotnih pogojev v livni jami za ingote. Vodenje ogrevanja v jami in prilagoditev proizvodnim zahtevam.	Billet and Ingot Inventory	The tracking of billet and ingot inventories along with mapping of storage positions.
Nadzornik terminalov	Ta program obsega in ščiti vse komunikacije med terminali in računalnikom. Beleži aktivnosti, daje možnosti prenosa sporočil med terminali, prikazuje motnje na linijah in varuje operacijski sistem računalnika.	Soaking Pit Status and Monitoring	Tracking and mapping of the thermal conditions for the soaking pits and ingots in them. Firing control in pits to match production requirements.
		Terminal Manager	This program captures and screens all communications between terminals and the computer. Activity accounting, interterminal messages, line noise monitoring, and system protection are handled by the terminal manager.

\*Razpoložljivo s pomočjo odprtega TIME SHARING sistema

\*Available through timesharing computer services on world-wide basis.



Slika 8  
Konzentracija legirnih elementov

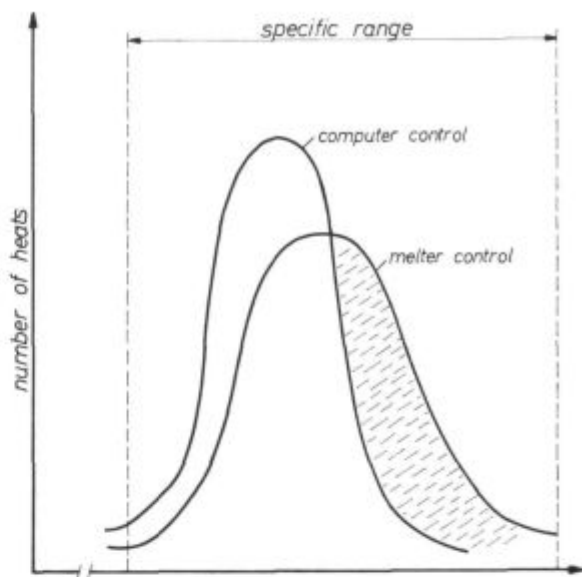


Fig. 8  
Element concentration

Pri računalniškem določanju legirnih dodatkov prihranimo stroške, ker:

- dodajamo manjše količine legirnih elementov,
- pridobivamo elemente iz cenejših virov in
- izdelamo manj šarž slabše kvalitete, oz. izmečka.

Pri dodajanju legirnih elementov v ponev računamo, da bo efekt ohladitve pri dodatku ferolegur upoštevan pri temperaturi. Zaradi natančnejšega računalniškega določevanja končne kemične sestave in ker imamo na razpolago sredstva za izračunavanje enačb, ki so odvisne od kemične sestave, se vse več jeklarn z električnimi pečmi odloča za izračunavanje fizikalnih lastnosti materiala, da lažje določajo zaželeno končno kemično sestavo, ki zagotavlja zahtevane fizikalne lastnosti. Pri konstrukcijskih jeklih lahko na ta način izboljšamo natezno trdnost, pri jeklih za globoko vlečenje vlečne lastnosti, zadnje čase pa se tega poslužujemo tudi pri jeklih za cementiranje.

V jeklarnah z električnimi pečmi uporabljajo sorodne enačbe, kot se uporabljajo za izračun dodatka ferolegur, da bi pri tem raziskali korelacije fizikalnih lastnosti glede na kemično sestavo in zaželeni izdelek. Računalnik omogoča integriranje teh enačb istočasno z izračunavanjem količine dodatka ferolegur. S specifikacijo želenih legirnih elementov dobimo želene fizikalne lastnosti, obenem pa izbiramo tudi najcenejše dodatke.

Optimalna izbira jekla temelji na kemični analizi po raztalitvi vložka in je povezana s knjigo naročil ter daje najboljše naročilo pri danih omejitvah jeklarne.

Ugotovimo lahko, da kemične sestave ni mogoče vnaprej natančno določiti iz izračuna sestave vložka. Zaradi ogljika in variiranja ostalih

- adding less pounds of the alloying elements
- obtaining the elements from cheaper sources
- less missed and/or downgraded heats

When adding alloys in the ladle, the chilling effect of the ferroalloys is also calculated to come up with a temperature to tap the heat from the furnace. With the narrowing and positioning of the final chemistry more exactly under computerized control and the availability of a device that can calculate equations dependent on chemistry, more and more electric furnace meltshops are including calculations on physical properties of materials so as to modify their final aim chemistry to obtain specific physical properties. We have seen this happen in structural steels to obtain tensile strengths, in deep drawing steels to obtain drawability indices, and now in case hardening steels.

Electric furnace meltshops are now using the same equations that the alloy development group used to develop the correlations of physical properties vs. chemistry and product desired. The calculating power of the computer allows these equations to be integrated at the same time that the calculation for the amount of each additions is being calculated. By modifying the aim points of the added elements, specified desired physical properties are obtained along with the cheapest cost additions.

Optimum heat assignment is taking the meltdown chemistry and integrating the orderbook to determine the best order to be filled with the meltdown chemistry and the constraints of the meltshop. This approach is realizing that the meltshop chemistry is not totally predictable from the charge design calculation. The variations in residual elements and carbon will cause the pre-specified grade to be more expensive to make than

elementov je izdelava predvidene vrste jekla dražja kot morda izdelava druge vrste jekla ali naročila iz načrtovane proizvodnje. Optimalna izbira jekla ima naslednje prednosti:

— Idealna startna osnova za dodajanje ferolegur. Iz datoteke naročenih vrst jekla in preliminarne kemične sestave se optimalno izbere najcenejša rešitev. Z optimalno izbiro jekla določamo najcenejšo vrsto jekla, ko zasledujemo kemične analize od taljenja do končnega proizvoda.

— Skrajšamo čas za pihanje kisika ali rude. Z optimalno izbiro jekla računamo stroške za vpihovanje kisika ali rude in ti stroški so upoštevani v zmanjšanju stroškov od taljenja do legirnih elementov.

— V izračunavanju količine legirnih elementov se upoštevajo oligo elementi. V nekaterih primerih so oligo elementi zaželeni elementi v kemični sestavi končnega proizvoda. Nekateri od teh elementov npr. nikelj, krom in mangan, lahko dobimo v kemijski sestavi po taljenju vložka. V optimalni izbiri jekla se to upošteva pri določevanju najcenejše rešitve za legirne dodatke.

— Premija na stroške vložka. Proizvajalci jekla imajo premijo na izkoriščanje nizke vsebnosti oligo elementov. Kadar slučajno dobimo šarže z nizko vsebnostjo oligo elementov v cenem vložku, se takšna sestava vložka še vedno pogosto uporablja za poceni jeklo. Maksimalna izbira jekla upošteva stroške za izdelavo premiranega vložka in jih vključuje v izračunavanje legirnih dodatkov, da se okoristi z vrstami jekla, ki vsebujejo v predpisu malo oligo elementov, in jih upošteva pri določevanju premirane vrste jekla.

— Razvija stabilnejše proizvodne procese.

Na sliki 9 vidimo primer za izračun optimalne izbire jekla. Računalnik izbere tri najboljše vrste jekla glede na kemično sestavo pri taljenju. Jeklarju je omogočena izbira ene od teh vrst ali pa kakšne druge vrste. Glede na čas vpihovanja kisika in glede na to, kakšna bo kemična analiza ob koncu vpihovanja kisika, izračunava računalnik tudi predvidene potrebne legirne dodatke, tako da jih topilec lahko pripravi za končni dodatek ferolegur.

Z upoštevanjem izračuna sestave vložka zagotovimo uspešno izkoriščanje neoksidacijskih metalov iz vložka, obenem pa tudi dober in cenejši končni izdelek. Z razvojem modelov izračuna sestave vložka in na osnovi izkušenj z izdelanimi šaržami je mogoče bolje napovedati potrebe po nabavi surovin na trgu.

Proizvajalec dobi tudi zagotovilo, da so njegove surovine najcenejša kombinacija surovin, ki se dobijo na tržišču, da uporablja izračun sestave vložka predvsem na osnovi najcenejših mate-

some other grade and/or order on the production schedule. The application of optimum heat assignment has resulted in the following segments:

— Ideal start-of-additions chemistry. Within the grade files of the optimum heat assignment, the preliminary chemistry which gives the lowest cost for the alloy additions stated. The optimum heat assignment functions determine the least-cost grade to be made from the meltdown chemistry to the final specified chemistry.

— Minimize oxygen blowing and/or oreing time. The optimum heat assignment calculates the cost of oxygen blowing or oreing and this cost is considered in the minimizing of the cost from going from the meltdown to alloy additions.

— Takes advantage of residual elements in calculating the amount of alloy additions that has to be made. In some cases, the residual elements are actually specified as aim point elements in the final chemistry. Some of these elements such as nickel, chrome, and manganese can be recovered from the meltdown chemistry. The optimum heat assignment considers this in determining the least-cost alloy additions solution.

— Premium charge materials cost. Steelmakers have premium charges to obtain low residual heats. When low residual heats are obtained by accident from a low-cost charge, many times the residual chemistry is still applied to a low-cost steel grade. The optimum heat assignment considers the cost of making up the premium charges and adds this into the alloy additions calculation to take advantage of meltdown chemistries that are low in residuals and applying them to premium grades of steel.

— Develops consistent standard practices.

Figure 9 contains an example of an optimum heat assignment calculation. Based on the meltdown chemistry, the computer selects the three best grades to be made. The melter is still free to choose any of these three or another grade. Based on the oxygen blowing time, and where the prelim chemistry will be at the end of the oxygen blow, the computer also calculates the alloy additions required so that melters can batch these in preparation for the final prelim analysis.

The applying of charge design calculations to blending of raw materials assures both that the highest recovery of elements from these raw materials will result in the most useful and cost-effective form in the ultimate steel. By utilizing the constraints developed for the charge design calculation on a heat-by-heat basis and determining what should be purchased from the marketplace, the user also assures that his raw materials usage reflects the cheapest combination that exists in the marketplace, to use the charge design to design charges based on the least-cost

ALI SI AZURIRAL KNJIGO NAROČIL?  
 3-NOV-76  
 SO LITE SARZE DELANE SEDAJ? N  
 SARZA? 12345  
 VNESI TEZO SARZE 384000  
 VNESI ANALIZO PRVE PROBE:  
 1 C? .92  
 2 MN? .33  
 3 CR? .08  
 4 P? .02  
 5 S? .03  
 6 NI? .05  
 7 CU? .22

OPTIMALNA JEKLA IN NAROCILA SO:

IZBIRA	NAROCILO	JEKLO	TIP	ZADNJI DATUM ZA POLNJENJE
1	3 30BHQ	FN30B223	2 7/8"	11/05/06
2	3 10RIQ	NR10R201	3 IN	11/05/06
3	3 06RIQ	NR06R201	3 IN	11/05/06

KATERO STE IZBRALI?

Slika 9.1  
Optimalna izbira jekla

ČAS VPIHAVANJA KISIKA = 33.68  
 POROČILO ZA SARZO 12345 KVALITETA FN30BB223  
 Z ZVEZDO OZNAČENI ELEMENTI SO IZVEN CILJA  
 VENDAR SE V PREDPISU

MATERIAL	DODATI	ZE DODANO	ENOT
AL	274.		
GR79	805.		
CR-X	2200.		44.
FEMN	239.		
SIMN	4896.		

SKUPAJ DODATI 8415.  
 CELOTNA TEZA KOVINE BO .352436.  
 CENA LEGIRNIH DODATKOV JE 3011.47  
 CENA/TONO = 22.13 PLAN. CENA = 19.70  
 TEMPERATURA IZPUSTA NAJ BO 2943. F

DODANO ELEM.	PREDPR.	KONČNA	CILJ	PREDPIS	IZPLEN	
*C =	184.41	0.3000	0.3396	0.3200	0.2900/0.3400	88.1400
MN =	3517.47	0.1551	1.0500	1.0500	0.9500/1.1500	90.0000
S =	4.58	0.0300	0.0307	-0.0400	0.0000/0.0400	100.0000
SI =	1002.45	0.0100	0.2800	0.2800	0.2300/0.3300	95.0000
CR =	1112.12	0.0463	0.3609	-0.4000	0.3600/0.4000	100.0000
CU =	14.73	0.2200	0.2194	-0.3500	0.0000/0.3500	100.0000
FE =			97.7194	IZRAVNAVA		

Slika 9.2  
Optimalna izbira jekla (stran 2)

RUN CORD  
 DID YOU UPDATE THE ORDER BOOK?  
 OSEL V1.0 3-NOV-76  
 ARE CASTING HEATS TO BE MADE NOW? N  
 ENTER HEAT NO 12345  
 ENTER WEIGHT CHARGED? 384000  
 ENTER MELTDOWN ANALYSIS  
 1 C? .92  
 2 MN? .33  
 3 CR? .08  
 4 P? .02  
 5 S? .03  
 6 NI? .05  
 7 CU? .22  
 OPT V1.0 3-NOV-76

OPTIMUM GRADES AND ORDERS TO FILL ARE

CHOOSE	ORDER	GRADE	TYPE	LAST DATE TO FILL
1	3 30BHQ	FN30B223	2 7/8"	11/05/06
2	3 10RIQ	NR10R201	3 IN	11/05/06
3	3 06RIQ	NR06R201	3 IN	11/05/06

WHICH ONE DO YOU CHOOSE? 1

Figure 9.1  
Optimum heat assignment

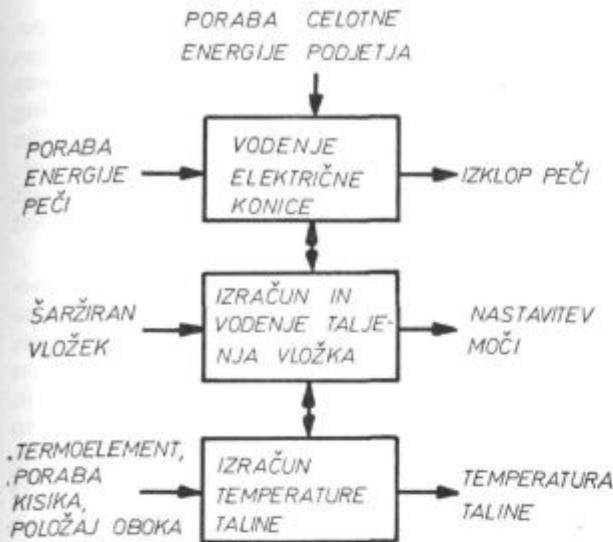
OXYGEN BLOW TIME = 33.68 MIN  
 REPORT FOR HEAT 12345 GRADE FN30BB223  
 ASTERISKED ELEMENTS HAVE BEEN MOVED OFF  
 AIM BUT IN SPEC

MATERIAL	POUNDS TO ADD	ALREADY ADDED	UNITS
AL	274.		
GR79	805.		
CR-X	2200.		44.
FEMN	239.		
SIMN	4896.		

TOTAL POUNDS TO ADD 8415.  
 TOTAL METAL WEIGHT WILL BE 352436.  
 ALLOY ADDITIONS COST IS 3011.47  
 COST/TON = 22.13 PAR COST = 19.70  
 TAP TEMPERATURE SHOULD BE 2943. F

LBS ADDED	SPEX-RANGE					RECOVERY
	PREL	FINAL	AIM	SPEX-RANGE	RECOVERY	
*C =	184.41	0.3000	0.3396	0.3200	0.2900/0.3400	88.1400
MN =	3517.47	0.1551	1.0500	1.0500	0.9500/1.1500	90.0000
S =	4.58	0.0300	0.0307	-0.0400	0.0000/0.0400	100.0000
SI =	1002.45	0.0100	0.2800	0.2800	0.2300/0.3300	95.0000
CR =	1112.12	0.0463	0.3609	-0.4000	0.3600/0.4000	100.0000
CU =	14.73	0.2200	0.2194	-0.3500	0.0000/0.3500	100.0000
FE =			97.7194	BALANCE		

Figure 9.2  
Optimum heat assignment (Page 2)



Slika 10

Blok diagram za vodenje porabe energije

riolov, ki so trenutno na zalogi, da uporablja metodo zasledovanja za kontrolo, če se zares uporabljata najcenejši izračun sestave vložka in naročanja materiala, če pa ne, skuša ugotoviti vzrok.

Vodno hlajene plošče na električnih pečeh so omogočile, da lahko računalnik vodi peč s kontrolo vložene energije od šaržiranja do taljenja in dogrevanja. Slika 10 pojasnjuje, kako deluje sistem krmiljenja energije pri električnem pridobivanju jekla. Glede na karakteristike šaržirnega vložka je vodenje raztapljanja vložka po vnaprej postavljenih trajektorijah vhodne moči. Povišanje temperature hladilne vode opozori, kdaj je treba skrajšati oblok, da se uredi maksimalno črpanje toplote za ogrevanje tekoče ko-

Tabela 3: Odstotki možnih prihrankov pri računalniškem vodenju materialnega poslovanja v jeklarni

Področje stroškov	Odstotek v skupnih stroških	Odstotek prihrankov na področje stroškov (načrtovano)	Odstotek prihrankov na skupne stroške (načrtovano)
Staro železo	58.1	8	4.648
Ferolegure	3.6	15	0.54
Kisik	0.7	30	0.21
Žlindra	1.7	20	0.34
Investicije	1.6	10	0.19
Delavci	1.9	10	0.19
Obstojnost obz.	1.6	10	0.16
<b>Skupaj</b>			<b>6.248</b>

Total Plant Energy Usage

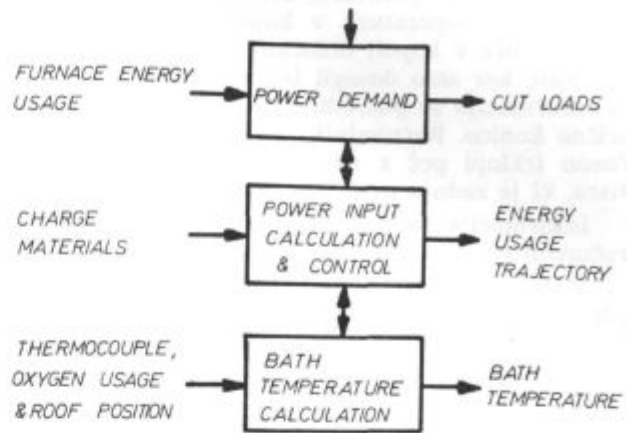


Fig. 10

Energy management flow diagram

inventory that presently exists, to use the tracking function to check whether the least-cost charge design and the least-cost purchasing designs are actually being utilized in production and, if not, who is at fault.

The recent availability of watercooled panels on electric furnaces has made it possible to have the computer reliably drive the furnace through power input control from charging through melt-down and superheat. Figure 10 is a functional representation of how the energy management system works in electric furnace steelmaking. Based on scrap charge characteristics, the power input systems drives the furnace through a set trajectory of power input. The raise in cooling water temperature signals when the arc should be shortened to pump maximum heat to the liquid bath for superheating. A thermocouple reading using the microprocessor to translate millivolts

Table 3: Percent Savings Possible by Computerized Materials Management

Cost Center	Percent of Total Cost	Percent Savings Cost Center (projected)	Percent Savings to Total Cost (projected)
Scrap	58.1	8	4.648
Ferrous alloys	3.6	15	0.54
Oxygen	0.7	30	0.21
Flux	1.7	20	0.34
Investment	1.6	10	0.16
Labor	1.9	10	0.19
Refractories	1.6	10	0.16
<b>Total</b>			<b>6.248</b>

pele. Termoelement s čitalcem, ki s pomočjo mikroprocesorja spreminja milivolte v temperaturo, podaja temperaturo, ki služi kot osnova za računanje temperature v kopeli. Z računanjem temperature v kopeli določamo, kdaj prenehamo ogrevati, ker smo dosegli temperaturo izpusta in ta informacija se posreduje do dela, ki vodi električno konico. Računalnik pri vodenju konice začasno izklopi peč z najmanjšo prioriteto, to je tisto, ki je zadnja pričela raztapljanje.

Informacija se posreduje nazaj v osrednji računalniški sistem.

V tabeli 3 je prikazan pregled izboljšav, ki jih je dosegel proizvajalec jekla z računalniško kontrolo procesov pri pridobivanju jekla v električnih pečeh. Zaradi vseh omenjenih prihrankov so se mu investicije obrestovale v nekaj dneh. Vendar pa je za uvedbo vseh kontrol v topilnici z električno pečjo bilo potrebnih 18—24 mesecev.

### ZAKLJUČEK

Digitalni računalnik je postal zelo pomemben v proizvodnji jekla. Računalniška tehnologija je že v obliki računalniške aparature in programske opreme premostila omejitve v proizvodnji jekla. Naloga proizvajalcev jekla je, da upoštevajo razvoj računalniške tehnologije in jo razumno ter ekonomično uvedejo v proizvodni proces.

to temperature is used to give a datum temperature to base the bath temperature calculation on. The bath temperature calculation determines when the furnace will be cut for being at tapping temperature and this information is given to the power demand function. The power demand function cuts the furnace of lowest priority at the last instant to shed. The information is communicated back to the main computer system.

Table 3 contains a summation of the improvements that a carbon steelmaker has been able to show under computerized process control in his electric furnace steelmaking operation. Based on these savings, his return on investment was in a matter of days. The time required, though, to implement all of the control functions within his electric furnace shop was between 18 and 24 months.

### CONCLUSION

The digital computer has become a very powerful tool in steelmaking. Computer technology in terms of hardware and operating software have far outstripped the applications that have been developed for steelmaking processes. The challenge to the steelmaking community is to take the computer technology and apply it judiciously and economically to the steelmaking process to assist as another tool in steelmaking.

### ZUSAMMENFASSUNG

Die Rechentechnologie ist heutzutage viel weiter entwickelt als das aus der Anwendung der Rechner in der Stahlerzeugung erschlossen werden kann. Es ist ein Versuch gemacht worden die Anwendung der Rechereinrichtungen und der Rechnersysteme in der Stahlerzeugung zu analysieren. Als Beispiel dient uns die rechnerge-

steuerte Führung des Lichtbogenofens und der Sauerstoffkonvertern (LD, BOF, AOD und Q-BOP).

Die Ergebnisse der Kontrollsysteme dieser Prozesse zeigen, dass der Rechner ein Bestandteil des Erzeugungsprozesses im Stahlwerk geworden ist.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вычислительная технология развита в настоящее время гораздо больше, чем это можно заключить на основании применения вычислительной машины в производстве стали.

Сделана попытка проанализировать современное применение оборудования вычислительных приборов, и примененных вычислительных систем при производстве стали.

Как пример взято управление ходом электропечи и агрегатов для производства стали с применением кислорода (LD, BOF, AOD и Q — BOP).

Результаты контрольных систем этих процессов показали, что счетная машина получила роль составной части производственного процесса в сталеплавильном цехе.

# Vpliv strukture in dimenzij preizkušanca, napetosti in hitrosti preizkušanja na žilavostne vrednosti

UDK: 620.178.7  
ASM/SLA: Q5, J1, J29

F. Uranc

Dejanske odpornosti snovi proti porušenju z udarci ne poznamo, dokler ne vemo, kakšne vrste udarcev delujejo na izdelek in kako se izdelek dane oblike, dimenzij in strukturne sestave obnaša proti danim vrstam udarcev.

Vemo, da z zvojnimi preizkusi laže kot z upogibnimi razlikujemo krhke snovi, ni pa zagotovo znano, ali morda popuščanje ne spreminja upogibne žilavosti drugače kot zvojno.

O efektu hitrosti preizkušanja je veliko napisanega, toda ne vemo ničesar o odvisnosti odpornosti različnih struktur proti različno hitrim udarcem.

Ni znan vpliv debeline preizkušanca na občutljivost žilavostnega preizkušanja pri različnih strukturnih spremembah in pri različnih trdotah.

Zelo malo vemo o odpornosti proti zlomu kot energiji, ki še ne povzroči zloma.

Skušajmo zožiti to nevednost o lastnostih snovi!

## 1. EFEKT ZVEČEVANJA ODPORNOSTNEGA MOMENTA NA ODPORNOST PROTI UDARCEM

Pri enaki energiji nihala, udarjajočega na tenek ali debel preizkušavec se za porušenje prvega porabi manj dela kot za zlom drugega. Delo pa je v najbolj preprosti obliki produkt

$$F \cdot s = F \cdot v \cdot t$$

kar pomeni, da je pri približno enakih časih za zlom tenkega in debelega preizkušanca razlika med produktoma  $F \cdot v$  za oba precejšnja. Zadelj spreminjanja  $F \cdot t$  in  $m \cdot v$  po istem zakonu ter  $m \cdot v$  in  $m \cdot v^2/2$  tudi po skupnem zakonu, lahko sklepamo, da je razlika med silama  $F$  za zlom tenkega in za zlom debelega preizkušanca velika.

Preizkušavec dvakrat večjega prereza terja pri sobni temperaturi od nihala manj kot dvakrat večjo energijo za zlom debelejšega kot za zlom tanjšega preizkušanca (1), če sta maksimalni napetosti (na površini preizkušanca) enaki, t. j.

$$\frac{1}{2} \cdot \frac{m \cdot \Delta v_1^2}{2} \leq \frac{m \cdot \Delta v_2^2}{2}$$

$\Delta v_1 \dots$  zmanjšanje hitrosti nihala ob zlomu debelejšega preizkušanca,

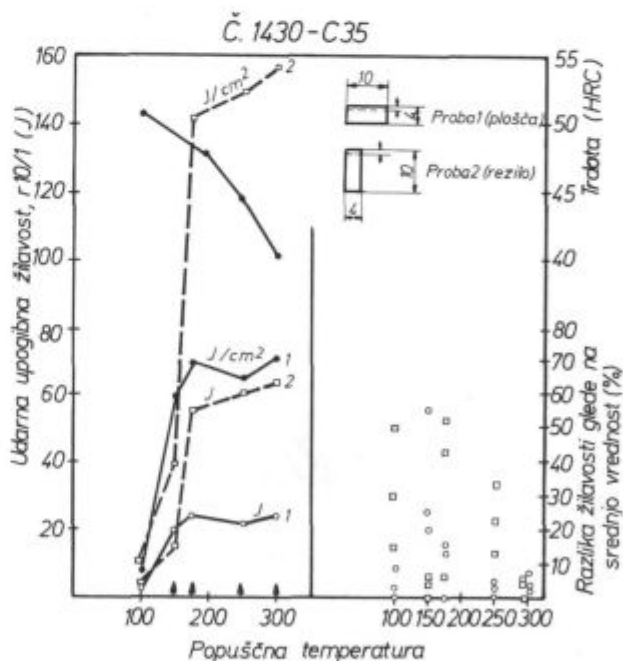
$\Delta v_2 \dots$  zmanjšanje hitrosti nihala ob zlomu pol tanjšega preizkušanca.

To velja, če je debelina preizkušancev v smeri udarca enaka, torej je v smeri pravokotno na smer udarca pri debelejših preizkušancih dvakrat večja kot pri tanjših.

To pomeni, da so tenki preizkušanci razmeroma bolj žilavi kot tolsti. To smo dokazali tudi s poskusi pri jeklu Č. 1840 (OC 80).

Čisto drugačne so razmere pri preizkušancih, ki nimajo enakih debelin v smeri udarca: debelejši preizk. vzamejo od nihala nesorazmerno veliko energije.

Slika 1: Žilavost dveh vrst tenkih preizkušancev iz Č. 1430 (C 35), preizkušanih v smeri večjega ali



Slika 1  
Žilavost tenkih prob jekla Č. 1430 (C 35) kaljenih z 850°C v vodi

Fig. 1  
Toughness of Č. 1430 (C 35) steel thin probes quenched in water from 850°C

manjšega odpornostnega momenta, je lahko zelo različna, predvsem pri bolj žilavem stanju (višje popuščanjem).

Relativnega minimuma žilavosti (pri popuščni temperaturi 250°C) ne opazimo v krivulji za rezilaste preizkušance (t. j. tiste z večjim odpornostnim momentom v smeri udarca, s prerezom v udarni ravnini 4 × 9 mm<sup>2</sup>).

Vzrok tega je vpliv večje ukrivljenosti tenkih preizkušancev, preizkušenih v tej smeri, kot je vpliv ukrivljenosti pri udarjanju na ploščato stran — to kaže desna stran diagrama z vrisanim razponom žilavostnih vrednosti. Samo preizkušanci, popuščeni na 150°C (popustitev napetosti) se obnašajo drugače kot drugi: ploščati preizkušanci so bolj žilavi od rezilastih in tudi variacija žilavosti je večja!

Žilavost na enoto prereza je pri rezilastih preizkušancih za 100 % večja kot pri ploščatih (70 J oz. 140). Torej je tudi sila za zlom pri rezilastih preizkušancih veliko večja kot pri ploščatih.

Slika 2 kaže udarno upogibno žilavost tenkih ploščatih in rezilastih preizkušancev jekla Č. 6441 (OW 3) ter navadnih preizkušancev (prez 9 × 10 mm<sup>2</sup>) z zaokroženo zarezo, polmera 10 mm in globine 1 mm.

Ploščati preizkušanci s preizkusnim prerezom 3 × 10 mm<sup>2</sup>, popuščeni na 150, oz. na 180°C, so pokazali žilavost okoli 1,3 J, enako popuščeni re-

zilasti pa 3,3 J, t. j. za 150 % večjo (pri tem je ome-niti, da so bili rezilasti preizkušanci kaljeni v olju in zato malo manj žilavi).

Preizkušanci s preizkusnim prerezom 9 × 10 mm<sup>2</sup> (spodnja krivulja) so pokazali pri enakem popuščanju žilavosti okoli 10 J, kar je malo manjša specifična žilavost kot pri rezilastih preizkušancih.

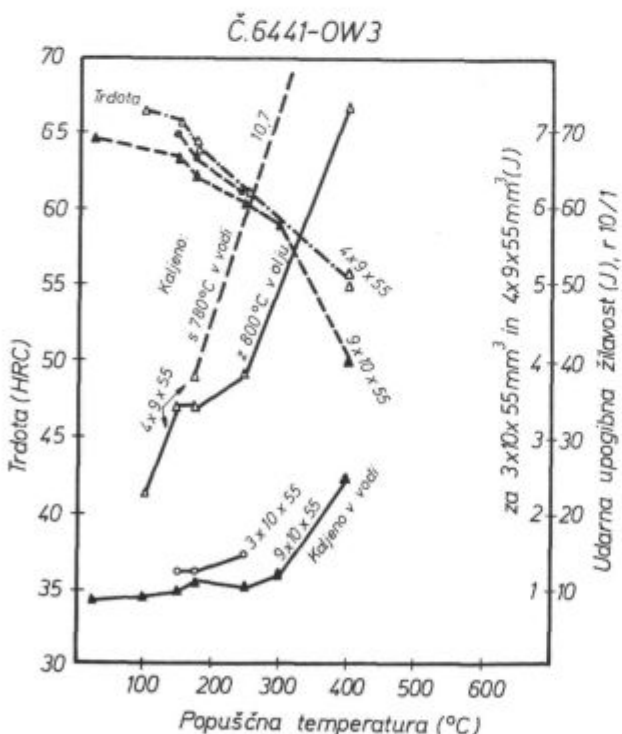
Trše jeklo (Č. 6441 (OW 3) zahteva v primerjavi z mehkejšim glede na trdoto nesorazmerno veliko energijo in silo za upogibni zlom, če pri obeh jeklih enako povečamo odpornostni moment. Zato so lahko orodja oblikovana s sorazmerno majhnim odpornostnim momentom, tudi če grozi nevarnost nasilnega zloma — gledano tako, kakor ocenjuje varnost proti zlomu uporabnik konstrukcijskih jekel.

## 2. ODPORNOST PROTI RAZLIČNIM RAZMERJEM STRIŽNE IN NORMALNE NAPETOSTI

Primerjajmo udarno upogibno žilavost z zvojno žilavostjo nelegiranega jekla!

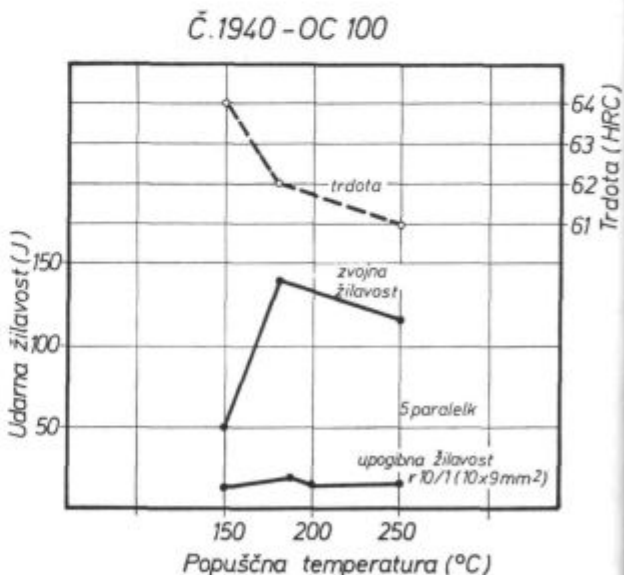
Slika 3 kaže podobnost krivulj zvojne in upogibne udarne žilavosti jekla Č. 1940 (OC 100). Zvojne žilavosti nismo določali pri preizkušancih, ki bi bili popuščeni na 200°C, odtod majhna razlika v obliki obeh krivulj.

Slika 4 kaže upogibno in zvojno žilavost jekla Č. 7680 (BRM 2). Primerjajmo krivuljo za preizkušance, kaljene s 1230°C na zraku ali v termalni kopeli (upogibni preizkušanci) s krivuljo za preizkušance, kaljene s 1240°C na zraku (zvojni preizkušanci). Minimum upogibne žilavosti nastopa



Slika 2  
Žilavost jekla Č. 6441 (OW 3) kaljenega z 800°C v olju ali s 780°C v vodi

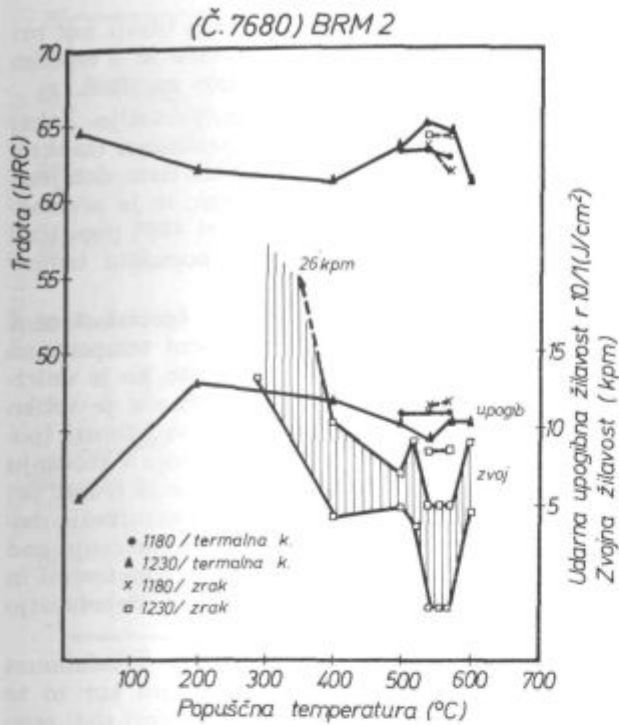
Fig. 2  
Toughness of Č. 6441 (OW 3) steel quenched in oil from 800°C and water from 780°C



Slika 3  
Zvojna in upogibna žilavost jekla Č. 1940 (OC 100), kaljenega s 780°C v vodi

Fig. 3  
Torsional and bending toughness of Č. 1940 (OC 100) steel quenched in water from 780°C





Slika 4

Zvojni in upogibna žilavost jekla Č. 7680 (BRM 2)

Fig. 4

Torsional and bending toughness of Č. 7680 (BRM 2) steel

pri popuščanju na 540°C (če so bili preizkušanci kaljeni v termalni kopeli). Minimum upogibne žilavosti preizkušancev, kaljenih na zraku, pa je po popuščanju 540—580°C. Pri isti popuščni temperaturi nastopa tudi minimum preizkušancev, kaljenih enako in preizkušanih na zvoj.

Ni videti bistveno različnega obnašanja preizkušancev pri zvojni ali upogibni obremenitvi, zato lahko samo ovržemo dosedanja mnenja o različnem efektu popuščanja na zvojno in upogibno žilavost. Zvojni žilavost se s popuščanjem spreminja veliko intenzivneje kot upogibna.

### 3. OBNAŠANJE RAZLIČNIH STRUKTURNIH SESTAVIN OB ZLOMU PREIZKUŠANCA

Primerjajmo lastnosti nelegiranega orodnega jekla Č. 1940 (OC 100) z lastnostmi jekla Č. 4150 (OCR 12).

Slika 5 kaže zvojno in udarno upogibno žilavost (različnih tipov jekla Č. 1940 (OC 100) z odpornostjo proti sunkom.

Preizkusi na Izodovem stroju so dali v najboljšem primeru, t. j. z gladkimi preizkušanci, podobno krivuljo kot preizkusi tenkih preizkušancev (plošč s preizkusnim prerezom  $3 \times 10 \text{ mm}^2$ ): razlika je le v tem, da so pri Izodovem stroju dobili krivuljo premaknjeno za 50°C k višjim popuščnim temperaturam.

Krivulja meje vzdržnosti pri večkratnem udarjanju teče paralelno krivulji udarne upogibne

žilavosti tenkih preizkušancev — pri popuščnih temperaturah nad 150°C. Krivulja meje loma pa je za 50°C premaknjena k nižjim popuščnim temperaturam.

Lahko pa rečemo tudi, da leži krivulji žilavosti tenkih ploščatih preizkušancev paralelno tudi krivulja meje loma, in sicer do popuščne temperature 180°C.

Tako vidimo, da kaže krivulja žilavosti tenkih preizkušancev v območju popuščnih temperatur 150 do 180°C istočasno potek krivulje vzdržnosti in krivulje loma.

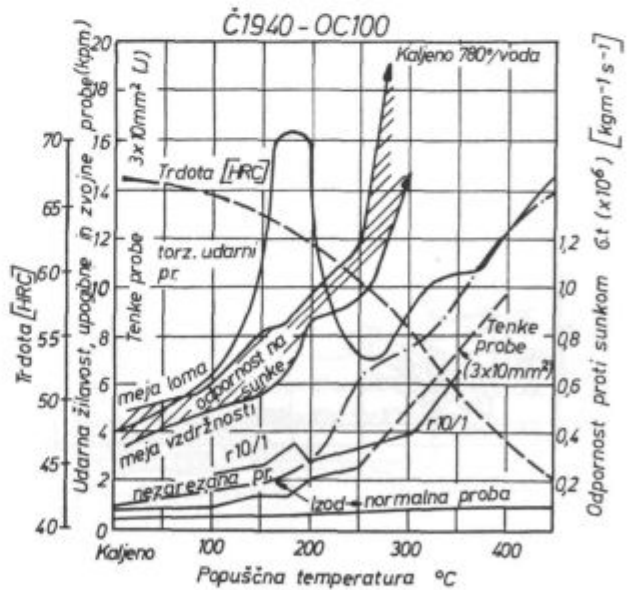
Kot je videti, občutimo z merjenjem dela za zlom predvsem spremembe (odpravljanje) napetosti v preizkušancih, z merjenjem vzdržnosti pa efekte izločanja (epsilon karbida) in pretvorb (avstenita v martenzit).

Žilavostni krivulji upogiba preizkušancev s prerezom  $9 \times 10 \text{ mm}^2$  ali zvoja preizkušancev debeline  $\varnothing 6 \text{ mm}$  občutita efekt odprave napetosti in efekt tvorbe epsilon karbida pri eni popuščni temperaturi, tj. pri popuščanju na 180°C.

Popuščni efekti delujejo torej na tenke in debele preizkušance različno; na prve ločeno, na druge združeno.

Največji razdalji med krivuljama vzdržnosti in loma sta pri popuščnih temperaturah najbolj strmega porasta ali malo nad padcem krivulje udarne zvojni (in upogibne s preizkušanci, zarez r10/1 mm) žilavosti.

Meja vzdržnosti (ali kratko vzdržnost) proti udarcem se znatno poveča šele s popuščanjem na 200°C in nato se nadalje poveča šele s popuščanjem na 250°C. Za zlom rabijo veliko energije že



Slika 5

Odpornost proti lomu in žilavost jekla Č. 1940 (OC 100), kaljenega s 780°C v vodi

Fig. 5

Fracture resistance and toughness of Č. 1940 (OC 100) steel quenched in water from 780°C

preizkušanci, ki so popuščeni na 150°C in imajo nizko mejo vzdržnosti.

Preizkus tenkih preizkušancev na Charpy klavivu je dal krivuljo vzdržnosti, preizkus debelih preizkušancev (9 × 10 mm<sup>2</sup> preizkusnega prereza) je dal krivuljo, ki je podobna meji loma.

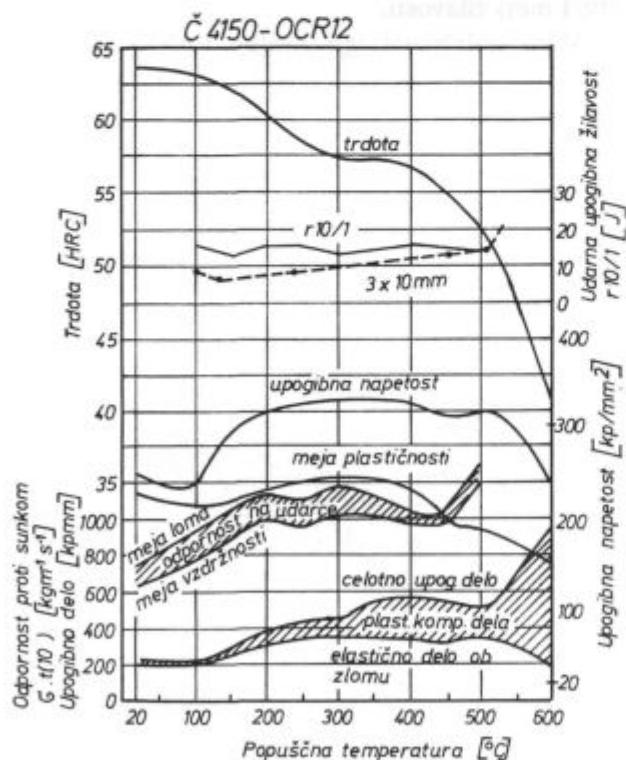
Sklepamo: preizkus tenkih preizkušancev daje bolj resnično podobo odpornosti proti udarcem kot preizkus normalno debelih preizkušancev. Vzrok tega je možnost prekaljenja tenkih preizkušancev (za preizkusne meje odpornosti in preizkuse tenkih preizkušancev na Charpy klavivu).

Preizkusi vzorcev, debeline 10 mm, so pokazali maksimum žilavosti že po popuščanju na 180°C — verjetno zavoljo ohranjene trdnosti nekajenega jedra.

Zato je prav preizkušati vzorce z enakimi strukturnimi sestavinami, kot so v orodju (ali drugačnem izdelku), katerega lastnosti bi radi spoznali. Za nelegirana orodna jekla so tenki preizkušanci, prereza 3 × 10 mm<sup>2</sup> primernejši od do zdaj uporabljenih žilavostnih preizkušancev s prerezom v zarezu 9 × 10 mm<sup>2</sup> (ali 7 × 10 mm<sup>2</sup>).

Slika 6 kaže za jeklo Č. 4150 (OCR 12) udarno in statično upogibno žilavost ter odpornost proti udarcem.

Meja loma in meja vzdržnosti (proti udarcem) tečeta paralelno, zato obravnavajmo za primerjavo samo eno. Paralelni sta verjetno zato, ker so efekti



Slika 6

Odpornost proti lomu, statična in udarna upogibna žilavost jekla Č. 4150 (OCR 12)

Fig. 6

Fracture resistance, static and impact bending toughness of Č. 4150 (OCR 12) steel

popuščanja napetosti pri tem jeklu blažji kot pri OC 100, ter se zato vzdržnost poveča že z enakim popuščanjem, ki poveča tudi delo za zlom.

Preizkušanci, debeline 10 mm, prekalijo. Zakaj je krivulja, dobljena s temi preizkušanci (zaokrožitev zarezu r10/1 mm) drugačna kot tista, dobljena z lomljenjem tenkih preizkušancev, to je premaknjena za 50° (pri 300°), oz. 100° (pri 400°) popuščne temperature (na desno) k višji popuščni temperaturi?

Minimum udarne žilavosti (preizkušancev 9 × 10 mm<sup>2</sup>, r10/1 mm) pri popuščni temperaturi 300°C sovпада z dosegom nizke trdote, ko je vzdržnost na maksimumu!. Vzrok vzdržnosti je veliko elastično delo za zlom. Minimum vzdržnosti (popuščanje na 250°C) je posledica zastoja v zvečanju elastičnega dela ob istočasnem padanju trdote pri zviševanju popuščne temperature. Zmanjšanje dviganja elastičnega dela za zlom pri popuščanju nad 250°C je v zvezi z že odpravljenimi napetostmi in s postopno povečujočo se zavorno dejavnostjo popustnih izločkov.

Za debele žilavostne preizkušance je minimum pri 300°C popuščne temperature, zato ker so se pri debelih preizkušancih šele tedaj (pri tisti temperaturi) prenehale intenzivno zmanjševati napetosti (torej se je ustavljal porast elastičnega dela za zlom).

Drugi minimum vzdržnosti se ujema s padcem elastičnega dela za zlom in je v zvezi z večanjem trdote ob izločanju posebnih karbidov.

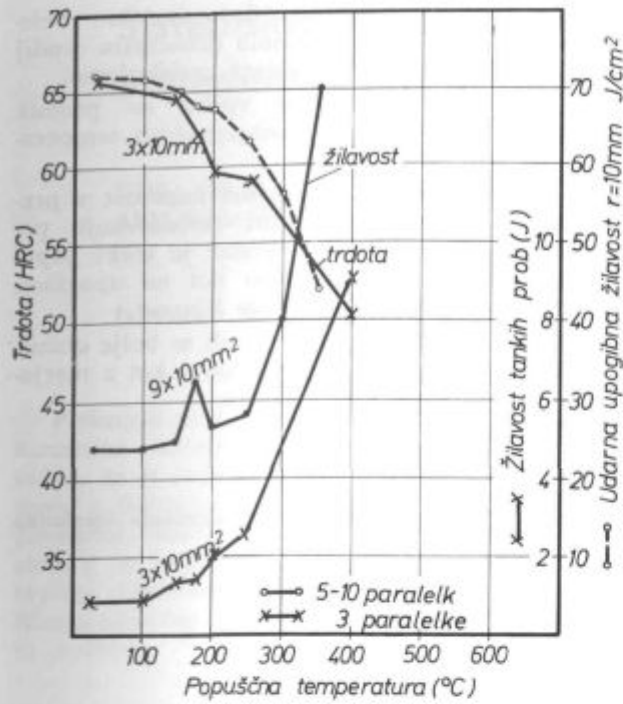
Sklep: Merjenje vzdržnosti proti lomu, oz. proti večkratnemu udarjanju, je veliko zanesljivejši kazalec strukturnih sprememb, ki nastopajo v nelegiranem ali v visokolegiranem jeklu, kot določanje dela za zlom. Preizkušanci naj bodo zadosti tenki, da dobimo po kaljenju strukture, kakršne resnično želimo preizkušati.

#### 4. ODPORNOST PROTI OBREMENTIVAM RAZLIČNIH HITROSTI

Delovanje dveh stopenj hitrosti upogibanja na žilavostno obnašanje različnih preizkušancev smo ugotavljali s preizkusi jekla Č. 1940 (OC 100).

Slika 7 kaže udarno upogibno žilavost različno popuščenih preizkušancev (po tri enako popuščeni preizkušanci), izdelanih z blago zarezu (zaokrožitev 10 mm, globina 1 mm). Risba kaže žilavost in trdoto preizkušancev s preizkusnim prerezom 9 × 10 mm<sup>2</sup> ter lastnosti tenkih preizkušancev ploščate oblike, s prerezom 3 × 10 mm<sup>2</sup> na mestu, določenem za zlom.

Posebnosti prvih dveh krivulj (debelejšega preizkušanca) sta pojav maksimuma žilavosti za preizkušance, popuščene na 180°C, in strm padec krivulje trdote med popuščnima temperaturama 150°C in 180°C. V poprečju je padec krivulje trdote do popuščne temperature 200°C povsem enakomeren, s tem da je precej strmo dviganje žilavosti in padanje trdote pri popuščanju do



Slika 7

Žilavost tenkih in debelih prob jekla Č.1940 (OC 100), kaljenega s 780°C v vodi

Fig. 7

Toughness of thin and thick probes of Č.1940 (OC 100) steel quenched in water from 780°C

180°C. Popuščanje na 200°C skoraj ne spremeni trdote v primerjavi s popuščanjem na 180°C, pač pa zmanjša žilavost, kar je posledica razpada zaostalega avstenita v bainitu podoben produkt.

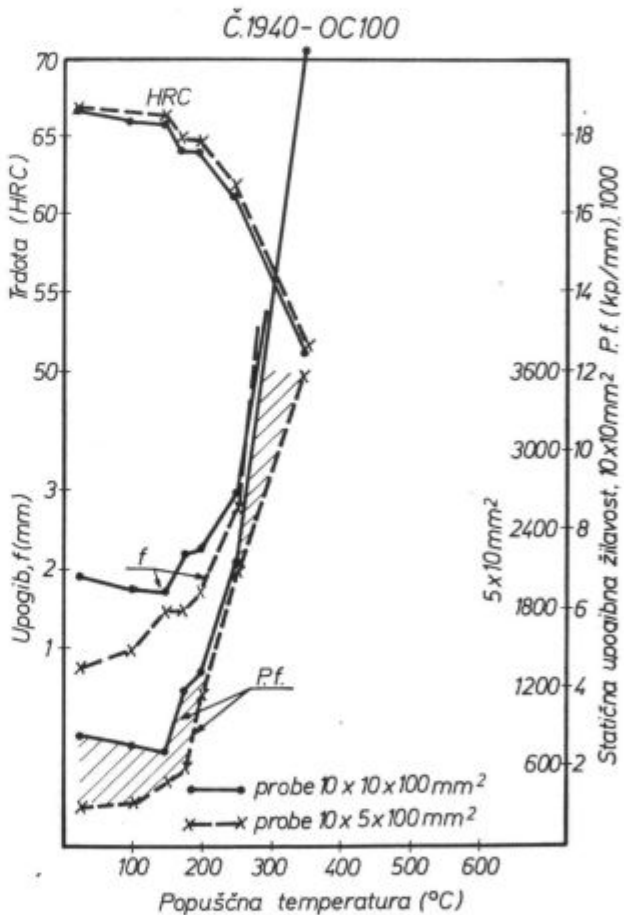
Drugi par krivulj (za tenke žilavostne preizkušance ima v zanimivem območju drugačen potek: krivulja trdot strmo pada od popuščne temperature 150°C do 200°C, krivulja žilavosti pa se strmo dvigne samo od popuščne temperature 180°C do 200°C, nato se zložno dviga. Pri tenkih preizkušancih je manj zadržanega avstenita, zato tudi ni zmanjšana strmina padca trdote po popuščanju med 150 in 180°C. Napetosti se pri tenkih preizkušancih odpravljajo pri popuščanju do 150°C, medtem ko pri debelih do 180°C. Pri debelih je efekt odpravljanja napetosti tudi večji kot pri tenkih prekaljenih preizkušancih.

Slika 8 kaže rezultate statičnih, t. j. počasnih upogibnih preizkusov vzorcev iz tega jekla. Trdoti tenkih in debelih preizkušancih se podobno spreminjata s spreminjanjem popuščne temperature. To kaže na možnost napake pri popuščanju tenkih preizkušancev za udarne žilavostne preizkuse. Žilavostna krivulja kot produkt porušne sile in upogiba kaže za tenke preizkušance spremembe pri nižjih popuščnih temperaturah kot za debele! Očitno v tanjših preizkušancih začne nekaj dvigati žilavost že pri nižji popuščni temperaturi kot v debelejših preizkušancih.

Tanjši preizkušanci se manj upognejo kot debelejši in porabijo za zlom komaj tretjino dela, ki gre za zlom debelejših preizkušancev. To pomeni v razmerju do prereza povečanje žilavosti za 150 %, če povečamo razdaljo prijemališča maksimalne napetosti od nevtralne osi za 100 %.

Razmerja žilavosti so podobna kot pri udarnem upogibnem preizkusu. Pa tudi premik žilavostnih krivulj tenkih preizkušancev k nižjim popuščnim temperaturam je navzoč tako pri udarnih kot pri statičnih preizkusih, tako pri nelegiranih kot pri legiranih jeklih.

Vidimo, da je obnašanje tenkih preizkušancev podobno obnašanju debelih pri počasnem preizkušanju v tem smislu, da krivulje žilavosti nimajo relativnega maksimuma po popuščanju na 150°C (oz. 180°C), temveč kažejo le zastoj dviga žilavosti s popuščanjem na malo višji temperaturi. Vidimo podobnost krivulj žilavost-popuščna temperatura preizkušancev, zlomljenih hitro ali počasi.



Slika 8

Počasi upogibanje prob jekla Č.1940 (OC 100), kaljenega s 780°C. Obremenjevanje v treh točkah, razdalja fiksnih podpor 80 mm, hitrost obremenjevanja 200 kp/min.

Fig. 8

Slow bending of probes of Č.1940 (OC 100) steel quenched from 780°C. Loading in three points, distance between fixed supports is 80 mm, loading rate 200 kp/min

Vidimo razliko med popuščajnima temperatura-  
ma, ki povzročita zastoj žilavosti pri tankih ali  
debelih preizkušancih.

### SKLEPI

1. Poskusi z nelegiranim jeklom Č. 1430, Č. 1940  
(C 35, OC 100) kažejo strm porast žilavosti plošča-  
tih preizkušancev, ki jih popustimo na 150°C —  
vzrok je odprava napetosti. Rezilasti preizkušanci  
še ne čutijo te odprave, ker se med preizkušanjem  
ustvarjajo v vzorcih jekla velike večosne napetosti.  
Vpliv večanja odpornostnega momenta na žilavost  
raste s trdnostjo.

2. Popuščajne efekte moremo s preizkusi tankih  
preizkušancev posamezno zasledovati: pri debelih  
preizkušancih sovpadata efekta odprave napetosti

in izločanja epsilon karbida. Zato moramo preiz-  
kušati vzorce debelin, podobnih debelinam orodij  
ali konstrukcijskih delov, katere raziskujemo.

3. Hitrost preizkusa ne vpliva na premik  
maksimumov krivulje žilavost-popuščajna tempera-  
tura.

4. Razmerje strižna-normalna napetost v pre-  
izkušancih ni pomembno pri zasledovanju po-  
puščajnih efektov na jeklu, vendar je efekt popu-  
ščanja veliko večji na zvojno kot na upogibno  
obremenjenih delih, kar zadeva žilavost.

5. Vpliv strukturnih sprememb se bolje občuti  
z merjenjem odpornosti proti lomu kot z merje-  
njem dela za zlom preizkušanca.

Vir:

1. Nicodemi W.: Metallovedenie i termičeskaja obrabotka  
metallov, 1966, No. 10, str. 76—77.

### ZUSAMMENFASSUNG

Der Vergleich der Kerbschlagzähigkeitswerte erhalten  
durch die dynamischen und statischen Biege und Verdreh-  
versuche, die Schlagversuche und Biegeversuche der dünnen  
und dicken Proben zeigt die Vorteile der einzelnen Unter-  
suchungsmethoden für die an Sonderfällen vorgesehenen  
oder erwünschten Beanspruchungen der Fertigerzeugnisse.

Der Einfluss des Widerstandmomentes auf die Kerb-  
schlagzähigkeit wächst mit der Festigkeit.

Die Biegeversuche an dünnen Proben machen die

Unterscheidung der Wirkung der Verminderung der Eigen-  
spannungen von den Ausscheidungs- bzw. Struktureffekten  
möglich.

Die Verdrehzähigkeit verändert sich durch das Anlas-  
sen verhältnismässig mehr, jedoch ähnlich wie die Biege-  
zähigkeit.

Der Einfluss der Strukturänderungen ist bei der  
Messung des Bruchwiderstandes besser zu spüren als bei  
der Messung der zum Bruch der Probe benötigten Arbeit.

### SUMMARY

Comparison of toughness values obtained by the  
dynamic and static, bending and torsional tests, multiple  
impact and bending tests of thin and thick probes gives  
the advantages of single methods for special cases of  
expected or desired loading of single products.

Influence of the moment of resistance on the tough-  
ness gains importance with the strength. Bending tests of  
thin probes enable to distinguish effects of reduced in-

ternal mechanical stresses from the structural or precipi-  
tation effects.

Torsional toughness varies with tempering in a similar  
way as the bending one but the changes are more pro-  
nounced.

Influence of structural changes is better determined  
by measuring the resistance to breaking than by measuring  
the breaking energy.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сравнения значений вязкости тонких и толстых образцов  
путем испытания при динамических и статических условиях на  
изгиб и кручение показали определенные преимущества способов  
на отдельные примеры примененных или желаемых нагрузок из-  
делий. Влияние момента сопротивления увеличивается с повы-  
шением твердости.

Испытание тонких образцов на изгиб дает возможность

различать эффекты уменьшения внутренних напряжений от  
эффектов растворения, от структурных эффектов. Хотя по-  
добна изгибу, но сравнительно больше изменяется крутильная  
вязкость.

Влияние структурных изменений более выразительно с из-  
мерением сопротивления разрыву, чем при измерении работы,  
необходимой на разрушение образца.

# Sistemske rešitve izkoriščanja odpadnih toplot v železarni Ravne

UDK: 620.98  
ASM/SLA: B11r

D. Vodeb, B. Gašperšič, Z. Erjavec, F. Medl

*Prikazani so energetski tokovi primarne in sekundarne energije v železarni. Iz prikaza je razvidno, da je smiselno izkoriščati odpadno toploto samo v določenih obratih, skozi katere gre večina primarne energije. Dane so termodinamične osnove za različne načine izkoriščanja odpadne toplote. Obdelani so trije različni sistemi izkoriščanja odpadne toplote: toplotna črpalka, kotlarna in toplarna.*

## 1. UVOD

Železarna Ravne potrebuje za nemoten tehnološki proces velike količine primarne energije. Glavni energetski viri za železarno Ravne so električna energija ter tekoča in plinasta goriva. Del dovedene primarne energije se izkorišča v visokotemperaturnem območju za tehnološke namene, del pa za pretvorbo v sekundarne vire energije, paro in toplo vodo.

Pri vsakem toplotnem agregatu nastanejo toplotne izgube, ker izstopajočega toplotnega toka ne ohladimo do temperature okolice. Velikost toplotnih izgub je odvisna od izstopne temperature, s katero zapušča toplotni tok agregat. V primeru, da izstopajoči toplotni tok vodimo, preden zapusti agregat, še skozi enega ali več toplotnih izmenjevalcev, lahko pridobimo koristno energijo. Uvedba sistemov za izkoriščanje odpadnih toplot je možna tedaj, ko imamo visokotemperaturne toplotne vire in porabnike nizkotemperaturne toplote. V železarni Ravne iščemo optimalno rešitev izkoriščanja odpadne toplote v dveh smereh, in sicer:

— analiza toplotnih virov in porabnikov toplote (kataster odpadne toplote),

— iskanje optimalne rešitve izkoriščanja odpadnih toplot.

Prvo področje posega v delo metalurških naprav in agregatov, zato to nalogo raziskujemo z metalurškim inštitutom v Ljubljani. Naloga je zelo obsežna, saj zajema vse velike in male energetske naprave. Končni cilj naloge je, da dobimo pregled nad vsemi energetskimi napravami in karakteristikami dela, ki so potrebni za nadaljnjo analizo. Najvažnejša podatka sta velikost izstopajočega toka odpadne toplote in časovni potek dela toplotnega agregata.

Drugo področje bomo v nadaljevanju podrobneje obdelali na različnih možnih sistemih prenosa toplotne energije iz višjega temperaturnega nivoja na nižji temperaturni nivo. Osnova za primerjavo posameznih variant bo enaka in bazira na do sedaj opravljenih meritvah toplotnih agregatov in porabe primarne energije v letu 1978. Razvoj tehnologije na področju prenosa toplote in energije je napredoval tako, da sedaj lahko razmišljamo o takšnih variantah izkoriščanja odpadne toplote, ki v prejšnjih letih niso bile možne.

## 1. TOK ENERGIJE V ŽELEZARNI

V železarno Ravne dovajamo energijo na različne načine in v različnih oblikah. Na posameznih toplotnih agregatih se dovedena energija direktno izkoristi ali pa se pretvarja v sekundarni energetski medij. Primarni energetski mediji so:

- električna energija,
- zemeljski plin,
- tekoči naftni plin,
- mazut,
- voda.

To so glavni nosilci; ostali mediji, ki jih dobavljamo v manjših količinah, so:

- butan-propan v jeklenkah,
- koks,
- karbid,
- acetilen v jeklenkah,
- kurilno olje.

Sekundarni energetski mediji so:

- higienska topla voda,

Mag. Dušan Vodeb, dipl. ing. stroj., TOZD raziskave in razvoj Železarne Ravne

Prof. dr. Branko Gašperšič, dipl. ing. stroj., Fakulteta za strojništvo v Ljubljani

Zvonko Erjavec, ing. stroj., TOZD raziskave in razvoj Železarne Ravne

Ferdo Medl, dipl. ing. stroj., TOZD raziskave in razvoj Železarne Ravne

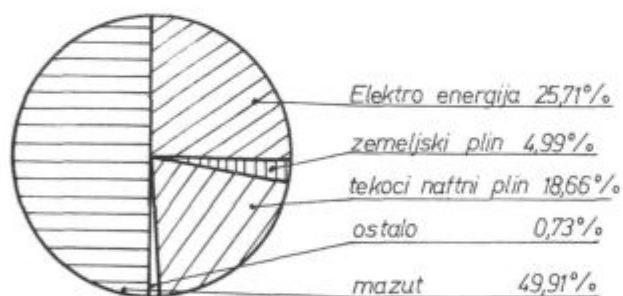
Referat podan na XXVI. jesenskem posvetovanju strokovnjakov črne in barvne metalurgije ter livarstva Slovenije, Portorož, 18. in 19. oktobra 1979.

- para,
- centralno ogrevanje,
- kisik,
- dušik,
- komprimiran zrak.

Primarni energetske mediji se uporabljajo v enakem stanju, kot se dobavljajo, ali pa so nekoliko modificirani. Zemeljski plin se uporablja čist ali pa v plinski mešanici z zrakom. Tekoči naftni plin uporabljamo v železarni kot tekočo fazo, plinsko fazo ali pa plinsko mešanico z zrakom. Voda se tudi deli na industrijsko vodo in pitno vodo. V železarni uporabljamo, če upoštevamo še CO<sub>2</sub> in argon, 22 različnih energetskih medijev.

Na sliki 1 vidimo procentualno udeležbo primarnih energetskih medijev za leto 1978 in na sliki 2 za isto leto procentualno udeležbo sekundarnih energetskih medijev.<sup>1</sup>

Torej imata v oskrbi železarne zelo velik delež mazut in plinasto gorivo, skupaj 73,56 %. Delež zemeljskega plina se bo z leti dvigal, vendar na račun tekočega naftnega plina in mazuta, struktura porabe proti električni energiji pa se ne bo spremenila. Glavni delež v porabi sekundarnih medijev ima centralno ogrevanje s 57,58 % in paro z 32,56 %.



Slika 1

Procentualna udeležba primarnih energetskih medijev za leto 1978

Fig. 1

Percentage portion of the primary energy media in 1978



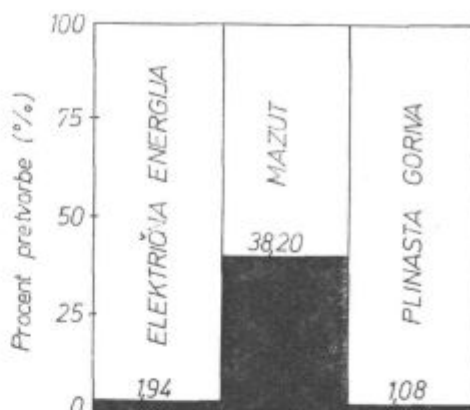
Slika 2

Procentualna udeležba sekundarnih energetskih medijev za leto 1978

Fig. 2

Percentage portion of the secondary energy media in 1978

Za proizvodnjo sekundarnih energetskih medijev uporabljamo primarne energetske medije, delež te pretvorbe prikazujemo na sliki 3, in sicer za električno energijo, mazut in plinasta goriva.



□ Tehnološka uporaba

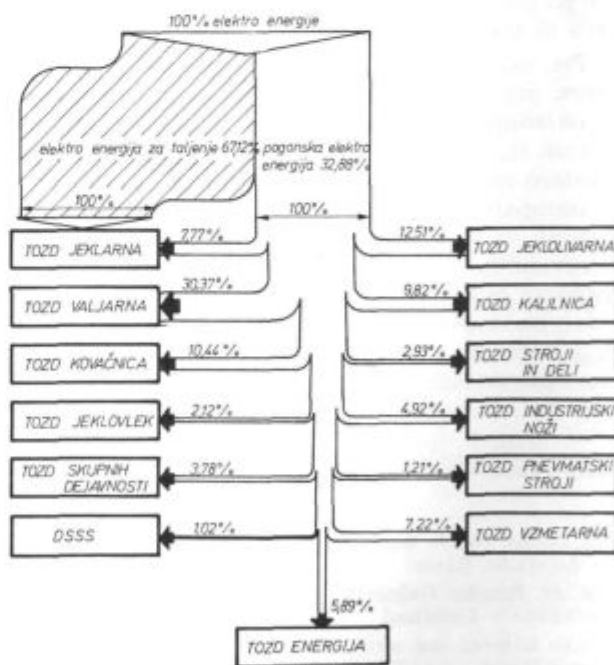
■ Pretvorba v sekund. energetske medije

Slika 3

Delež potrebne primarne energije v sekundarno energijo po medijih v železarni Ravne v letu 1978

Fig. 3

Portion of the necessary primary energy into the secondary energy by single media in the Ravne Ironworks in 1978



Slika 4

Tok električne energije v železarni Ravne za leto 1978

Fig. 4

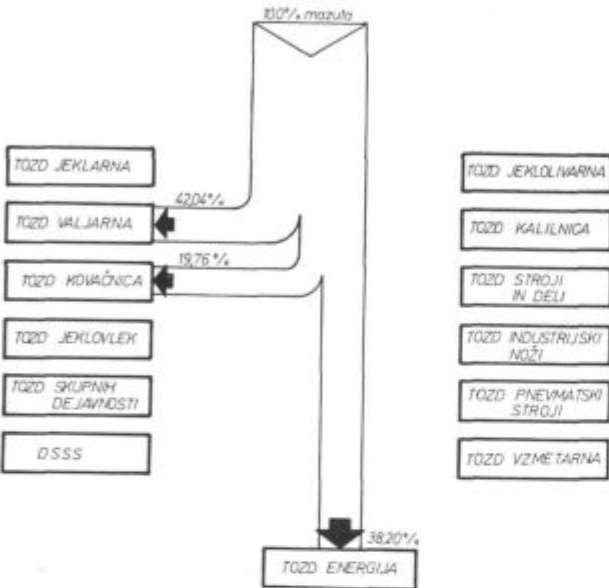
Flowsheet of electric energy in the Ravne Ironworks in 1978

Iz slike 3 je vidno, da je pri mazutu najvišji delež pretvorbe v sekundarne energetske medije, medtem ko se elektro energija in plinasta goriva uporabljajo izključno za tehnološke namene. Tok primarnih energetskih medijev v železarni je viden na naslednjih slikah. Na sliki 4 je prikazan tok elektro energije, na sliki 5 tok mazuta in na sliki 6 tok plinastih goriv.

Primarna dovedena energija, ki znaša 17,54 % od celotno dovedene energije z gorivi in električno

Struktura odvedene energije  
 57,58% centralna ogrevanje  
 32,56% para  
 3,37% kisik  
 2,74% kompriman zrak  
 0,57% aceten  
 3,18% higienska topla voda

Struktura dovedene energije  
 2,31% elektro energije  
 96,35% mazuta  
 1,30% plinske energije  
 0,04% ostalo

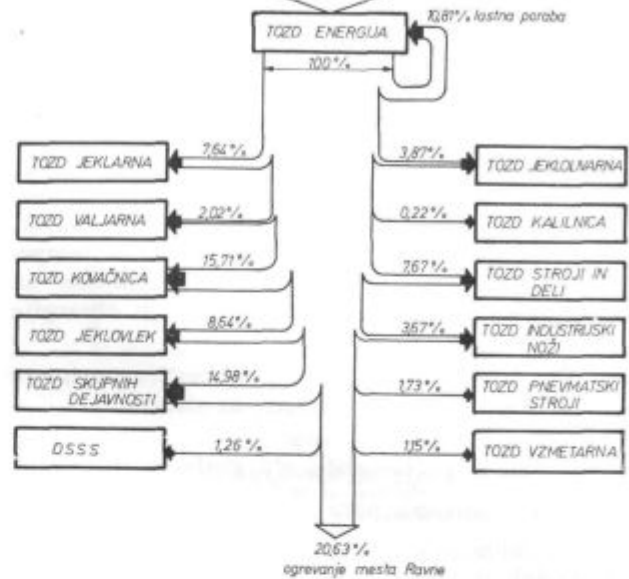


Slika 5

Tok tekočih goriv v Železarni Ravne za leto 1978

Fig. 5

Flowsheet of liquid fuels in the Ravne Ironworks in 1978



Slika 7

Tok sekundarne energije v Železarni Ravne za leto 1978

Fig. 7

Flowsheet of secondary energy in the Ravne Ironworks in 1978

energijo, se v TOZD energija pretvori v sekundarno energijo.

Na sliki 7 prikazujemo tok sekundarne energije v železarni.

## 2. MEJNE VREDNOSTI PRI IZKORIŠČANJU ODPADNIH TOPLOT

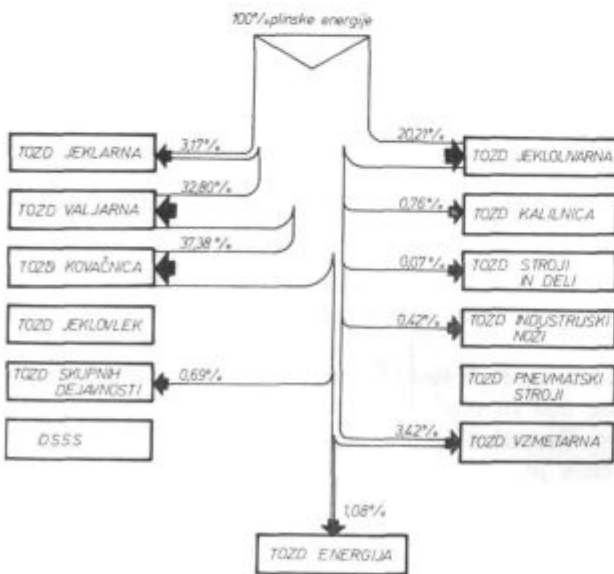
Vsako obliko energije lahko opišemo s poznavanjem vrednosti eksurgije in anergije. Po prvem glavnem zakonu termodinamike ostane vsota obeh energijskih deležev med procesom pretvarjanja konstantna. Drugi glavni zakon termodinamike pa nam določa povračljivost, oziroma nepovračljivost procesa. Pri nepovračljivih procesih se nam eksurgija pretvori v anergijo, to je energijo, ki se ne da pretvoriti v eksurgijo. Delež pretvorbe eksurgije v anergijo je odvisen od tehničnih in gospodarskih dejavnikov in se ga da določiti za vsak posamezen primer posebej.

Eksurgija toplote je:<sup>2</sup>

$$E_{12} = \int_1^2 \left(1 - \frac{T_{ok}}{T}\right) dQ_{12} \quad (1)$$

in anergija toplote

$$B_{12} = T_{ok} \int_1^2 \frac{dQ_{12}}{T} \quad (2)$$



Slika 6

Tok plinastih goriv v Železarni Ravne za leto 1978

Fig. 6

Flowsheet of gas fuels in the Ravne Ironworks in 1978

Celotna energija je vsota eksergije in anergije

$$Q_{12} = E_{12} + B_{12} \quad (3)$$

V enačbi (3) nam eksergija  $E_{12}$  predstavlja neomejeno pretvorljivi del energije, anergija  $B_{12}$  pa je toplota pri stanju okolice in je ne moremo več pretvarjati. Bistvo racionalne porabe energije je, da tehnološki proces vodimo ali izberemo tako, da bi bile eksergijske izgube čim manjše. Tej zahtevi bomo zadostili tedaj, ko bomo glede na tehniške možnosti čim bolj popolno izkoriščali vsebino eksergije, kar zahteva porabo toplote pri enakomerno padajoči temperaturi. Nedopustno je, da privedemo eksergijo toplote na nižji temperaturni nivo, tako da dodajamo anergijo, ker na ta način samo zmanjšujemo razmerje eksergije proti anergiji.

V nadaljevanju obdelamo tri različne primere izkoriščanja odpadne toplote, in sicer:

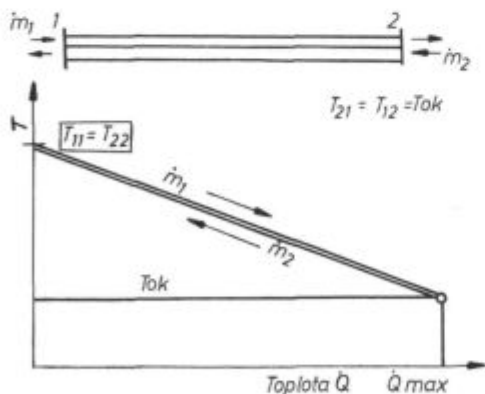
- gretje,
- pridobivanje mehanskega dela in
- pridobivanje pare.

Pri tehnološkem procesu nastalo odpadno toploto lahko izkoristimo za gretje masnega toka snovi, ki ima na svojem vstopu temperaturo okolice. V primeru, da imamo idealen izobaren povračljiv proces, kjer poteka prenos toplote pri zanemarljivo majhnih temperaturnih razlikah  $T_1 - T_2 \rightarrow 0$ , je največji razpoložljiv toplotni tok procesa gretja enak

$$Q_{max} = m_1 c_{p1} (T_{11} - T_{ok}) = m_2 c_{p2} (T_{22} - T_{ok}) \quad (4)$$

V enačbi (4) je  $T_{12} = T_{21} = T_{ok}$  in velja le v primeru, da je razmerje specifičnih toplot obeh tokov v obravnavanem temperaturnem območju konstantno. Iz enačbe potem tudi sledi, da je razmerje masnih tokov dano in je

$$\mu = m_2/m_1 = c_{p1}/c_{p2} \quad (5)$$



Slika 8

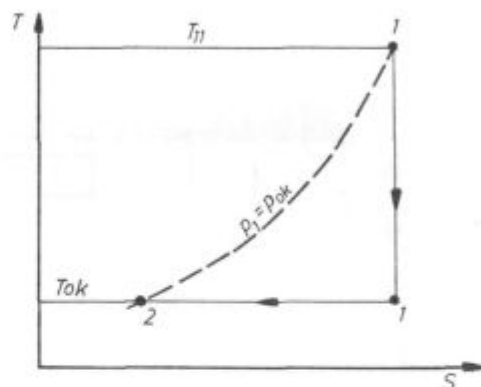
Diagram T, Q za povračljiv prenos toplote pri konstantni specifični toploti obeh medijev

Fig. 8

T, Q diagram for reversible heat transfer at the constant specific heat of both media

Mejni primer popolnega izkoriščanja odpadne toplote za namene gretja prikazujemo na sliki 8 v diagramu T, Q. Zaradi prenosa toplote pri neskončno majhnih temperaturnih razlikah med obema fluidoma nimamo eksergijskih izgub.

Drug možen način izkoriščanja odpadne toplote je pridobivanje mehanskega dela v toplotnem stroju. Maksimalno delo dobimo pri povračljivem procesu tako, da plin tlaka  $p = p_{ok}$  najprej izentropno ekspandiramo v turbini na temperaturo okolice, potem pa ga izotermno komprimiramo nazaj na tlak okolice. Proces je viden na sliki 9.



Slika 9

Povračljiv proces pri katerem pridobimo maksimalno mehansko delo

Fig. 9

Reversible process for the recovery of maximal mechanical energy

Maksimalno pridobljeno delo je enako eksergiji, ki jo izračunamo po enačbi:

$$e_t = h_1 - h_{ok} - T_{ok} (s_1 - s_{ok}) \quad (6)$$

V primeru, da je  $p_1 = p_{ok}$  in  $c_p = c_{p1}$  konst., potem je entalpijska razlika

$$h_1 - h_{ok} = c_{p1} (T_{11} - T_{ok}) \quad (7)$$

in sprememba entropije je

$$s_1 - s_{ok} = c_{p1} \ln \frac{T_{11}}{T_{ok}} \quad (8)$$

Z vstavljanjem enačb (7) in (8) v enačbo (6) dobimo maksimalno delo

$$e_t = c_{p1} \left[ (T_{11} - T_{ok}) - T_{ok} \ln \frac{T_{11}}{T_{ok}} \right] \quad (9)$$

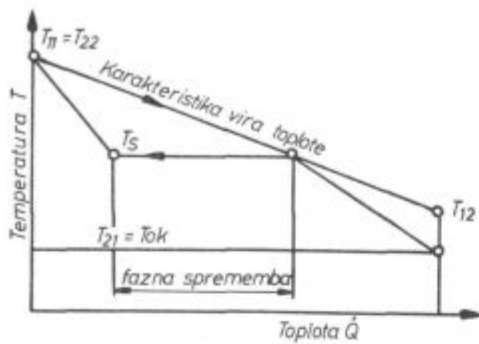
Termični izkoristek tega povračljivega procesa je:

$$\eta_{th' pov} = \frac{e_t}{q_{max}} = 1 - \frac{T_{11} - T_{ok}}{T_{ok}} \ln \frac{T_{11}}{T_{ok}} \quad (10)$$

in je funkcija samo temperatur  $T_{11}$  in  $T_{ok}$ .

S toploto dimnih plinov lahko proizvajamo tudi paro. Idealni proces izmenjave toplote med dimnimi plini in vodo je prikazan na sliki 10.





Slika 10

Diagram T, Q za gretje tekočine s fazno spremembo

Fig. 10

T, Q diagram for heating liquid by a phase transformation

Voda vstopa v sistem pri temperaturi  $T_{21} = T_{ok}$ . Vstopna voda se najprej predgreje na temperaturo vrelišča  $T_s$ , pri kateri poteka proces uparjanja. Moko paro še pregrejemo na vstopno temperaturo plina  $T_{11} = T_{22}$ .

Pri tem izobarnem procesu ležita na karakteristiki toplotnega vida samo dve točki. Za prenos toplote v uparjalniku in pregrevalniku pare velja naslednja enačba:

$$m_1 c_{pl} (T_{11} - T_s) = m_2 [h_{22}(t_{22}) - h_2'(t_s)] \quad (11)$$

in za grelnik vode se bilančna enačba glasi:

$$m_1 c_{pl} (T_s - T_{12}) = m_2 [h_2'(t_s) - h_{21}(t_{21})] \quad (12)$$

Pri tem je določeno razmerje masnih tokov pare in dimnega plina

$$\mu = \frac{m_1}{m_2} = \frac{c_{pl} (T_{11} - T_s)}{h_{22} - h_2'} \quad (13)$$

ter enako končna temperatura dimnega plina, ki sledi iz enačb (11) in (12), torej

$$T_{12} = T_s - \frac{h_2' - h_{21}}{h_{22} - h_2'} (T_{11} - T_s) \quad (14)$$

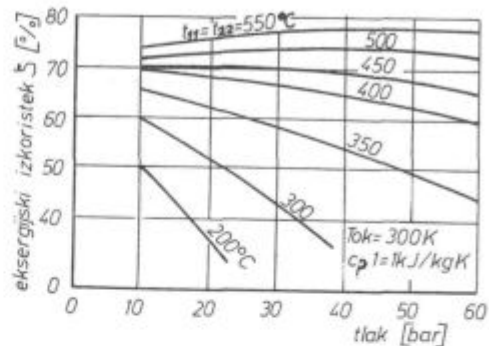
V obravnavanem primeru prenos toplote od dimnega plina na vodo, oziroma paro ni več povračljiv, zato je eksergijski tok pare manjši od eksergijskega toka plina,

$$m_2 e_{22} < m_1 e_{11} \quad (15)$$

Razmerje obeh tokov je definirano kot eksergijski izkoristek

$$\xi = \frac{m_2 e_{22}}{m_1 e_{11}} = \mu \frac{e_{22}}{e_{11}} \quad (16)$$

Na sliki 11 je vidna odvisnost eksergijskega izkoristka od tlaka nasičenosti in temperature plina. Opazen je vpliv temperature  $t_{11}$ ; če pada, se nam eksergijski izkoristek slabša, ker se povečuje uparjalna toplota vode, oziroma odsek konstantne temperature nasičenosti  $t_s$ .



Slika 11

Eksergijski izkoristek  $\xi$  v odvisnosti od tlaka nasičenosti  $p$ , in temperature plina  $t_{11}$  pri idealnem izkoriščanju toplotnega vira za proizvodnjo pare

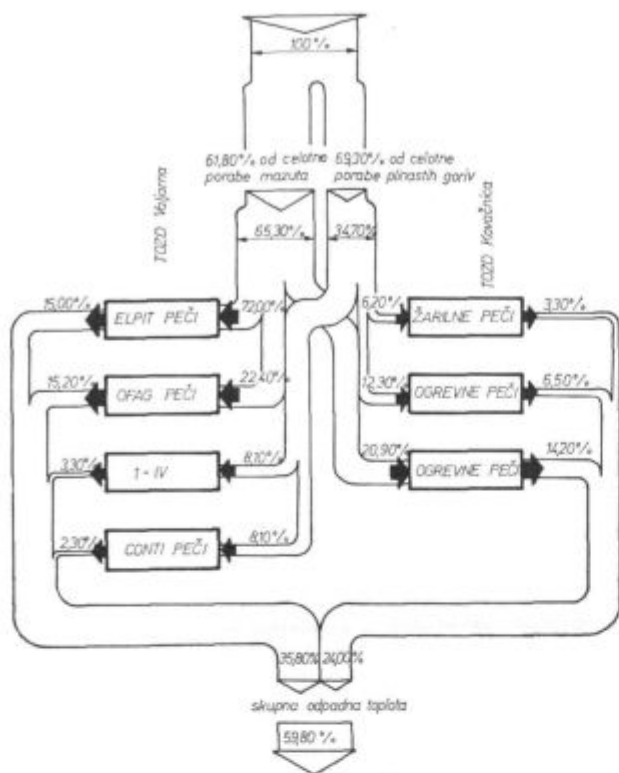
Fig. 11

Exergy yield  $\xi$  depending on the saturation pressure  $p$ , and the gas temperature  $t_{11}$  in an ideal exploiting heat source for the steam production

### 3. TOPLOTA DIMNIH PLINOV NA IZSTOPU IZ PEČI

Za prvo fazo izkoriščanja odpadnih toplot je za železarno interesantna toplota dimnih plinov iz peči. Iz predhodnih diagramov je razvidno, da so glavni porabniki primarne energije TOZD valjarna, TOZD kovačnica in TOZD jeklarna. Prvi dve TOZD uporabljata za svoje tehnološke namene mazut in plinasta goriva, TOZD jeklarna pa izključno elektro energijo. Posamezne velike porabnike v TOZD valjarna in TOZD kovačnica ter tok primarne energije z oceno odpadne toplote prikazemo na sliki 12. Ocena velikosti odpadne toplote je podana na osnovi meritev peči in proizvodnih podatkov za leto 1978. Upošteevane so samo odpadne toplote dimnih plinov, računana z razmernikom  $\lambda = 1$  in kurilnost mazuta 41,54 MJ/kg, ter kurilnostjo tekoče faze PB 46,05 MJ/kg.

Glede na predhodno obdelane možnosti izkoriščanja odpadnih toplot naj bi bila poraba eksergije čim bolj brezstopenjska. Koliko lahko dobimo več ali manj popolno rešitev, je odvisno od velikosti investicijskih vlaganj, ki pri ukrepih racionalne porabe energije igrajo veliko vlogo. Ponavadi se energijski optimum ne ujema s stroškovnim, toda z večanjem stroškov za energijo se optimuma približujeta. V železarni odide letno okoli 1.400.000 GJ toplote, katere del bi lahko koristno zajeli nepovratno v okolico. Možnosti izkoriščanja odpadnih toplot pa so odvisne od toplotnega vira in porabnika.



Slika 12

Tok primarne energije skozi TOZD valjarna in TOZD kovačnica z ocenitvijo velikosti odpadne toplote

Fig. 12

Flowsheet of the primary energy in rolling plant and forge with the estimation of the magnitude of waste heat

#### 4. MOŽNOSTI IZKORIŠČANJA ODPADNIH TOPLOT

Odpadno toploto, ki nastane pri pečeh, lahko uporabimo za notranjo rekuperacijo peči ali pa za proizvodnjo vročega zraka oziroma tople vode ali pare. Kot notranja rekuperacija peči pride v poštev predgrevanje zraka in goriva. Predgrevanje zemeljskega plina ali PB pride le delno v poštev, ker pri temperaturah nad 300° C začno razpadati ogljikovodiki.<sup>3</sup> Zaradi istega vzroka je omejeno tudi predgrevanje zraka, ki ga zato lahko izvedemo z dimnim plinom nižje temperature.

Za železarno Ravne je veliko bolj zanimiva druga možnost, s pomočjo dimnih plinov pridobivati paro ali toplo vodo, kar lahko realiziramo s:

- toplotno črpalko,
- kotlarno,
- toplarno.

V nadaljevanju podrobneje obdelamo posamezne variante.

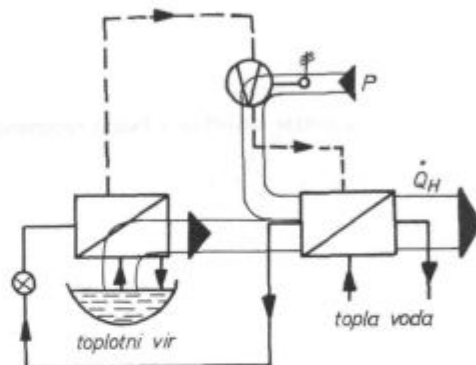
##### 4.1 Toplotna črpalka

Izkoriščanje odpadne toplote fluidov, katerih temperatura je le nekaj stopinj višja od temperature okolice, postaja vse bolj pomembno. Te

toplote so primeren vir za obratovanje različnih sistemov toplotnih črpalk. S toplotno črpalko dobimo grelno toploto pri višji temperaturi, kot jo ima toplotni vir, da mu dodamo z levim krožnim procesom eksergijo. Dodajanje eksergije izvedemo s kompresorjem ali pa izkoristimo za kompresijo odpadno toploto, ki vsebuje še zadosten delež eksergije. Delovanje toplotne črpalke voda/voda je prikazano na sliki 13. Za toplotno črpalko je pomembno razmerje<sup>2</sup>

$$\epsilon_H = \frac{Q_H}{P}$$

ki ga imenujemo grelno število.



Slika 13

Shema delovanja toplotne črpalke

Fig. 13

Operation scheme of heat pump

Če uporabljamo odpadno vodo kot toplotni vir črpalke, leži grelno število praviloma med 3 in 8.

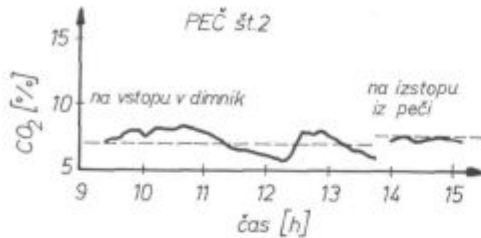
Za nas je zanimiva uporaba vročetečkočinskega ejektorja, ki služi kot kompresor za pogon toplotne črpalke.<sup>4</sup>

Na sesalni strani je mokra para, ki je komprimirana s pomočjo vroče tekočine visokega tlaka. Na izstopu iz ejektorja imamo dvofazni tok, parametri tega toka tudi leže v področju mokre pare, vendar ima višjo temperaturo od vstopnega toka na sesalni strani. Za ogrevanje prostorov in sanitarne vode uporabljamo kondenzacijsko toploto pare, ki jo ločimo od kapljevine. Toploto dimnih plinov uporabimo za pripravo vroče tekočine. S tem sistemom se doseže 50 % prihranek goriva proti klasičnemu ogrevalnemu sistemu. Investicija se amortizira v 4 do 6 letih.

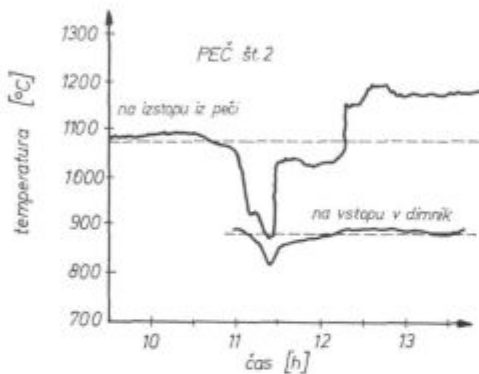
##### 4.2 Kotlarna

Toploto dimnih plinov lahko izkoristimo za pridobivanje pare ali tople vode. S takim načinom izkoriščanja odpadne toplote bi v poletnih mesecih trošili proizvedeno paro za tehnološke namene in tako povečali obratovalno izkoriščenost naprave. Kot toplotni vir sta zanimivi Elpit peč in Ofag peč; podrobneje bomo prikazali možnost izkoriščanja odpadne toplote na Elpit peči.<sup>5,6</sup>

V železarni Ravne se Elpit peči uporabljajo za ogrevanje ingotov na temperaturo 1250° C in so kurjene z mazutom. Časovno karakteristiko obratovanja Elpit peči št. 2 prikazujemo na slikah 14 in 15. Na sliki 14 je narisana časovni potek spremembe CO<sub>2</sub> v dimnih plinih, na sliki 15 pa je prikazan temperaturni diagram.



Slika 14  
Analiza CO<sub>2</sub> v dimnih plinih  
Fig. 14  
CO<sub>2</sub> analysis in flue gases



Slika 15  
Časovni potek temperature dimnih plinov na izstopu iz peči in vstopu v dimnik

Time diagram of flue gas temperature at the furnace exit and stack entrance

Iz podatkov meritev lahko ocenimo velikost odpadne toplote, ki jo zajamemo v dimnih plinih, in sicer za:

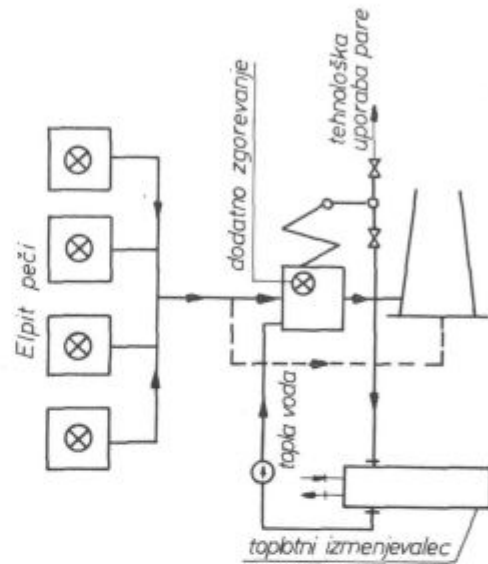
- maksimalno obratovanje peči 9600 kW
- minimalno obratovanje peči 5503 kW
- poprečno obratovanje 8380 kW

oziroma z upoštevanjem izkoristka toplotnega izmenjalca koristno preneseno toploto za:

- maksimalno obratovanje peči 7700 kW
- minimalno obratovanje peči 3400 kW
- poprečno obratovanje peči 5300 kW

Letno se vrne v sistem železarne, če računamo s poprečnim obratovanjem peči 110.000 GJ toplote, temperatura ohlajenih dimnih plinov znaša 200° C. Ravno toliko energije bomo zajeli tudi na Ofag pečeh. Sistem, ki ga lahko uporabimo, je vročevodni ali parni kotel z dodatnim kurjenjem ali

brez dodatnega kurjenja. Najugodnejša varianta je parni kotel in toplotni izmenjevalec za pripravo tople vode. Ker je obratovanje Elpit peči zelo oscilirajoče in je v dimnih plinih velik presežek zraka, je umestno za izenačevanje odvzema toplote vgraditi v sistem dodatni gorilnik. S takim sistemom bi na Elpit pečeh dobili okoli 9000 kg/h pare poleti in 10.500 kg/h pare pozimi, parametrov 300° C in 16 bar. Z dodatno grajenim gorilnikom so vedno zagotovljene zadostne količine pare. Sistem kotlarne je shematsko prikazan na sliki 16.



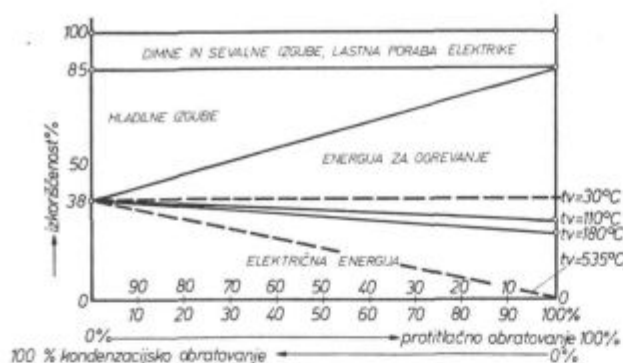
Slika 16  
Shema kotlarne na Elpit pečeh v valjarni

Fig. 16  
Scheme of steam plant at Elpit furnaces in the rolling plant

### 4.3 Toplarna

V toplarni izkoriščamo toploto dimnih plinov za proizvodnjo pare, oz. električne in ogrevalne energije. Ta sistem ima prednost predvsem v popolnejšem izkoriščanju visokih temperatur dimnih plinov in veliki prilagodljivosti sistema glede na vsakokratne trenutne potrebe po različnih vrstah sekundarne energije. Na sliki 17 prikazujemo kvalitativno povezanost med proizvodnjo električne energije in toplotne energije. V sistemu imamo konstantne izgube okoli 15 % primarne energije goriva zaradi izgub dimnega plina, sevanja ter lastne rabe. Pri kondenzacijskem načinu, ko proizvajamo samo električno energijo, znaša celoten izkoristek okoli 38 %, ostalih 47 % so hladilne izgube. S čistim protitlačnim delovanjem nimamo nobenih hladilnih izgub in pretvorimo 85 % dovedene energije z gorivom v električno in ogrevalno energijo.

Bistvo optimizacijskega procesa je določevanje temperature pare, kjer zasledujemo eksergetski izkoristek v odvisnosti od investicijskih in obratovalnih stroškov. Eksergetski izkoristek se

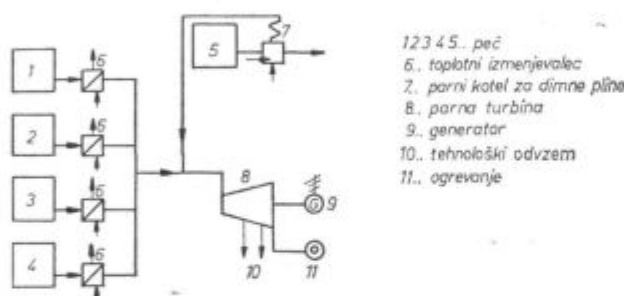


Slika 17

**Energijske razmere pri toplarni s protitlačno kondenzacijskim načinom obratovanja**

Fig. 17

**Energy conditions in the heating station with a counter-pressure condensation operation**



Slika 18

**Shema toplarne na odpadno toploto**

Fig. 18

**Scheme of a heating station for waste heat**

bistveno ne povečuje s tlakom pri temperaturah pare, višjih od  $450^{\circ}\text{C}$ , medtem ko stroški nad tem območjem bistveno narastejo. Najprimernejša temperatura pare je okoli  $450^{\circ}\text{C}$  in le pri večjih enotah gremo nad to temperaturo.

V svetu so se uveljavili sistemi  $40\text{ bar}/470^{\circ}\text{C}$  ali  $64\text{ bar}/520^{\circ}\text{C}$ , ko ima eksrgijski izkoristek svoj maksimum<sup>7, 8</sup>. Za razmere v železarni je zanimiva prva varianta, sistem toplarne pa prikazemo na sliki 18.

## 5. OPTIMALNA REŠITEV ZA ŽELEZARNO

Izbira optimalnega sistema je odvisna od zahtevanih tehničnih parametrov in velikosti investicijskih stroškov. Osnova za tehnično izbiro je toplotna premica — slika 8, ki se ji moramo čim bolj približati. Pri odločitvi o velikosti investicije pa moramo upoštevati etapno gradnjo, pri kateri visoke investicijske stroške funkcionalno razbije mo na daljše obdobje. Tehnično najboljše rezultate dobimo s toplarniškim sistemom, ko lahko pokrivamo za železarniške potrebe del električne energije, tehnološke pare, higienske tople vode,

predgrevalo zrak za zgorevanje in toplote za ogrevanje. S takim sistemom se najbolj približamo toplotni premici, ker visokotemperaturni del izkoristimo za pridobivanje pare  $40\text{ bar}/470^{\circ}\text{C}$ , ki jo nato vodimo skozi turbino, kjer pridobimo električno energijo, moč generatorja  $10\text{ MW}$ , tehnološko paro  $16\text{ bar}/300^{\circ}\text{C}$  in toplo vodo za ogrevanje  $135/80^{\circ}\text{C}$ . Za čim funkcionalnejšo vključitev toplarne v energetske sistem železarne bomo morali uporabiti sistem z dodatnim kurjenjem. S tem bo dan minimum proizvodnje toplarne in zagotovljena optimalna proizvodnja glede na porabo. Poraba tehnološke pare bo vse leto konstantna, medtem ko bomo v poletnih mesecih proizvajali več električne energije, v zimskih pa več toplotne energije. Obstoječi agregati ostanejo in so rezerva za primere pokrivanja končnih porab in izpadov v toplarni.

Izgradnja toplarne poteka etapno; najprej zajamemo peči v valjarni, nato peči v kovačnici in na koncu ostale porabnike. Pri pečeh v valjarni moramo zgraditi tak kotel na odpadne dimne pline, ki bi imel vgrajen še dodaten gorilnik, pri ostalih porabnikih to ne bi bilo več potrebno. Proizvedeno paro nato centraliziramo in jo vodimo skozi turbino, kjer se odvisno od porabe energije usmerja toplotni tok skoznjo.

Iz začetnih podatkov za leto 1978 vidimo, da smo  $27,77\%$  primarne energije pretvorili v sekundarno energijo. Iz tehnološko uporabljene energije dobimo koristne odpadne toplote  $39,05\%$ , ki pa vse ne moremo zajeti in tudi ne ohladiti do temperature okolice. Koristno se lahko izrabi samo  $50\%$  te toplote, kar pomeni, da prihranimo okoli  $20\%$  primarne energije. Prihranek pomeni  $14.500$  ton mazuta, kar znaša pri trenutni ceni za mazut  $30.000.000$  din. Dokončna odločitev bo zahtevala še veliko dela in dodatnih raziskav. Sistem izkoriščanja odpadnih toplot ne sme motiti redne proizvodnje — povzročati slabo kvaliteto ali izpad proizvodnje. Tehnično so še ostala odprta nekatera vprašanja, posebno transport in skladiščenje energije, ker gre razvoj v povsem nove rešitve, ki se pa pri tako zahtevnem projektu morajo upoštevati.

Ves svet stoji pred energetskim problemom. Do sedaj, ko je bilo energije zadosti in v stroških tovarne ni pomenilo velike postavke, ni bilo potrebno vlagati v sisteme za racionalnejše izkoriščanje energije. Samo pri velikih porabnikih so uvajali sisteme izkoriščanja odpadnih toplot. S sedanjo situacijo se razmere bistveno slabšajo in se bodo taki sistemi začeli uvajati povsod, kjer se pojavi odpadna toplota. Možnosti izkoriščanja teh odpadnih toplot so zelo različne in so odvisne od posameznega primera.

Za železarno Ravne je najprimernejša rešitev s toplarno, kjer maksimalno izkoristimo odpadno toploto dimnih plinov, sedanji razvoj tehnologije pa nam omogoča realizacijo takega zahtevnega sistema.

## Literatura:

1. Letni energetski bilten Zelezarne Ravne 1978, Ravne, januar 1979.
2. M. Oprešnik: Termodinamika, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana 1974.
3. M. Boenecke, H. J. Pohle: Rationeller Gaseinsatz in der Stahlindustrie — Beispiele zur Verwirklichung, Gas Wärme International 24 (1975), št. 7/8, str. 316—322.
4. Jahrsuch der Wärmerückgewinnung, 3. izdaja 1977/78, Vulkan-Verlag, Essen, 1977.
5. F. Pavlin, T. Kolenko: Toplotno tehnične meritve na globinskih pečeh. VTO Montanistika, Ljubljana, julij 1977.
6. F. Pavlin s sodelavci: Študij meritev in regulacij toplotno tehničnih veličin pri avtomatizaciji metalurških peči. II. del. Poročilo MI Ljubljana, Ljubljana, december 1978.
7. Energie — Kongres »Möglichkeiten der industriellen Kraft-Wärme — Kopplung«, München, oktober 1978.
8. K. Treiber: Die Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlage d. Hacker-Pschorr Bräu A 6, München Energie — Kongress, München, oktober 1978.

## OZNACBE VELIČIN:

B	J	energija
$c_p$	J/kgK	spec. toplota
E	J	eksergija
e	J/kg	spec. eksergija
h	J/kg	spec. entalpija
m	kg/s	masni tok
Q	J	toplota
q	J/kg	spec. toplota
s	J/kgK	spec. entropija
T	K	temperatura
t	°C	temperatura
$\epsilon$		grelno število
$\xi$		eksergijski izkoristek
$\eta_{th}$		termični izkoristek
$\mu = m_2/m_1$		razmerje masnih tokov

## ZUSAMMENFASSUNG

Das Hüttenwerk benötigt für den ungestörten Betrieb elektrische Energie, flüssige und gasförmige Brennstoffe. Die gesamte zugeführte Primärenergie mit der elektrischen Energie und der gasförmigen Brennstoffe wird im Hochtemperaturbereich für den technologischen Bedarf angewendet, 40 % der mit flüssigen Brennstoffen zugeführten Energie wird in sekundäre Energiequellen umgewandelt.

Aus den Energieflüssen des Hüttenwerkes ist ersichtlich, dass die Energie wie folgt verbraucht wird:

Stahlwerke verbrauchen 68 % der elektrischen Energie, Walzwerk und die Schmiede verbrauchen 60 % der flüssigen und 70 % der Gasbrennstoffe und in der Energieabteilung werden 40 % der flüssigen Brennstoffe für die Erzeugung von Warmwasser und Dampf verbraucht.

Die Grenzwerte bei der Ausbeutung der Abfallwärme werden durch den ersten und zweiten Gesetz der Thermodynamik bestimmt.

Die Abfallwärme kann für die Heizung, für die Erzeugung von Dampf und mechanischer Arbeit ausgenutzt werden. Jede von den angewendeten Arten der Ausnutzung von Abfallwärme hat nach den thermodynamischen Gesetzmäßigkeiten sein Optimum bei welchem die Verluste am niedrigsten sind, was durch eine gleichmäßige Abkühlung des Wärmeträgers erzielt wird.

Aus dem Hüttenwerk geht jährlich eine Wärmemenge von 140000 GJ unwiederbringlich in der Atmosphäre verloren. Ein Teil dieser Wärme könnte durch eine Wärmepumpe, eine Dampfkesselanlage oder durch eine Heizkraftwerk nützlich eingefasst werden.

Unter den angewendeten drei Varianten ist energetisch gesehen das Heizkraftwerk, im welchen Dampf, Warmwasser und elektrische Energie erzeugt werden, die günstigste.

Die Auswahl der Anlagengröße hängt vom Warmwasser und Dampfverbrauch in der Wintersaison ab, in der Sommerzeit kann die Kesselanlage zur Erzeugung der elektrischen Energie dienen.

Durch die Einführung eines Systemes für die Ausbeutung der Abfallwärme kann etwa 20 % der Primärenergie eingespart werden, da die sekundären Energiequellen aus der Hochtemperaturabfallwärme, welche bei dem technologischen Verfahren an den Öfen entsteht, gewonnen werden.

Die Investitionskosten für das Heizkraftwerk, mit einem Anschluss an das bestehende Energienetz des Hüttenwerkes, werden auf 100.000.000 din geschätzt. Der Wert der eingesparten Energie errechnet nach den jetzigen Preisen beträgt rund 50.000.000 din.

## SUMMARY

The ironworks need for their uninterrupted technological process electric energy, and liquid and gaseous fuels. Total primary energy including electric energy and gas fuels is used in high-temperature processes, while 40 % of the input energy by liquid fuels is transformed into the secondary energy sources.

Energy flows heats in the ironworks show that the following categories of consumers exist: steel plant which consumes 68 % of electric energy, rolling and forging plants consuming 60 % of liquid and 70 % of gas fuels, energy plant which transforms 40 % of liquid fuels into hot water and steam.

Limiting values for the recovery of waste heat are given by the first and the second law of thermodynamics.

Waste heat can be used for heating, for transformation into mechanical energy and into steam. Each of the suggested ways has its optimum according to thermodynamic laws when the energy losses are the lowest. This can be obtained by an uniform cooling of the heat source.

About 1.400.000 GJ of heat goes irreversibly from the ironworks into environment per year. Part of this heat could be usefully recovered by a heat pump, heating station or steam plant. The heating station is energetically the most favourable since it produces steam, hot water and electric energy. Selection of the station size depends on the hot water and steam consumption in winter while in summer the station is directed into the production of electric energy.

Introduction of a system for the recovery of waste heat conserves about 20 % of the primary energy since secondary energy sources can be obtained from the high-temperature waste heat of technological processes in furnaces. Estimated investments in a heating station with connections to the existing energy system in the ironworks are 100 million Dinars. The value of the recovered energy system in the ironworks are 100 million Dinars. The value of the recovered energy according to the present prices is about 50 million Dinars.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для ненарушаемый технологический процесс металлургического завода необходима электрическая энергия, а также жидкие и газовые топлива. Общая, приведенная первичная энергия с электрической энергией и высококалорийный газ используются в высокотемпературной области для технологических целей. Между тем как 40 % приведенной энергии с жидкими топливами преобразуются в источники вторичной энергии.

При рассмотрении потоков энергии в металлургическом заводе очевидно, что в заводе следующие категории потребителей энергии: ТОЗД сталеплавильный цех где используется 68 % электрической энергии, ТОЗД-ы прокатных и кузнечных цехов, которые поглощают 60 % жидких и 70 % газообразных топлив и ТОЗД энергетических установок где 40 % жидких топлив служат для производства теплой воды и пара. Предельные значения использования отходящего тепла определяет первый и второй главные законы термодинамики.

Отходящую теплоту можно использовать для нагрева, для получения разных видов механической работы и для пара. Каждый из упомянутых способов имеет в соответствии с термодинамическими закономерностями свои оптимальные значения, при которых потери, еще применимой для работы энергии мини-

мальные, что достигается с равномерным охлаждением теплоносителя. Потеря теплоты в металлургическом заводе составляет прибл. 1.400.000 ГДж в год. Часть этой теплоты можно бы было полезно захватить, отн. использовать с насосом теплообмена, в котельной или в силовой термо-установки. Между этими тремя упомянутыми вариантами с энергетической точки зрения самое выгодное решение: силовая термо-установка, т. е. тепловая электростанция, в которой производится пар, теплая вода и электрическая энергия. Выбор величины установки зависит от расхода теплой воды и пара в течении зимнего сезона, в то время как в летнее время котельный агрегат переориентируется на производство электрической энергии. Введение системы для использования отходящего тепла дает возможность сэкономить прибл. 20 % первичной энергии так как источники вторичной энергии образуются от высокотемпературной отходящей теплоты, которая получается при технологических процессах в печах. Оценка средств, необходимых как капитальное вложение для тепловой электростанции с приключением на существующую энергетическую систему завода составляет около 100.000.000 дин, а ценность сэкономленных средств по теперешних ценах, представляет прибл. 50.000.000 дин в год.

## V spomin na Janeza Barboriča



Februarja letos nas je pretresla novica, da nas je na vrhuncu življenjskih sposobnosti poln izkušenj in delovnega elana za vedno zapustil Janez Barborič, metalurški inženir in naš prvi sourednik ter oblikovalec *Železarskega zbornika*.

Rodil se je 3. decembra 1931 v Ljubljani. Kot otrok se je s starši preselil v Novo mesto, kjer je živel, dokler ni odšel študirat v Ljubljano. Dokončal je I. letnik medicine, a se je nato prepisal na študij metalurgije in diplomiral 1961. leta.

Po zaposlitvi v Ljubljani ga življenjska pot pripelje oktobra 1963 v *Železarno Store* kot strokovnjaka, usmerjenega v livarstvo. Sposobnost, pripravljenost do dela in napredka v stroki ga vodi od asistenta do obratovodje *Livarne I* in zatem do glavnega inženirja sklopa livarske panoge. Bil je član *Izvršnega odbora* in *nadzornega odbora Društva livarjev Slovenije* od leta 1968 do 1977.

Kot aktivni družbenopolitični delavec je opravljal v železarni vrsto nalog. V letu 1964—1967 je bil predsednik sindikalne organizacije *Železarne Store* in večletni član komiteja *ZK železarne*. Bil je tudi predsednik občinskega odbora sindikata delavcev kovinske industrije v Celju in leta 1973 izvoljen za predsednika republiškega sveta *ZSS*. Leta 1978 do aprila 1979 je bil predsednik *ZSJ*, potem do svoje prerane smrti koordinator v predsedstvu *ZSJ* za vprašanja družbenoekonomskega razvoja, dohodkovnih odnosov, življenjskih in delovnih pogojev, inovacij, izobraževanja in kulture. Bil je član *CK ZKJ*, *RS ZSS*, zveznega sveta za gospodarski razvoj in ekonomsko politiko in komisije skupščine *Jugoslavije* za družbeno planiranje ter družbenoekonomski razvoj.

Za svoje požrtvovalno delo je prejel zlati znak *ZSS* in bil odlikovan z *Redom dela z rdečo zastavo*. Na letošnjem srečanju samoupravljalcev *Jugoslavije* v *Kragujevcu* so mu podelili diplomu *Kluba samoupravljalcev za privrženost interesa delavskega razreda in za uresničevanje samoupravnih socialističnih odnosov*.

*Tov. Barboriča* ni več med nami. Njegovo delo na strokovnem in družbenopolitičnem področju nam ostaja kot trajna zapuščina, nas — njegove delovne tovariše, prijatelje, znance pa obvezuje, da nadaljujemo delo, ki mu je bil tako predan in usmerjen.

Ostal nam bo v trajnem spominu kot dober, skromen, vesten delovni tovariš, prijatelj, strokovni in politični sodelavec.

Orgovorni urednik: Jože Arh, dipl. inž. — Člani dr. Jože Rodič, dipl. inž., Franc Mlakar, dipl. inž., dr. Aleksander Kveder, dipl. inž., Edo Žagar, tehnični urednik  
Oproščeno plačila prometnega davka na podlagi mnenja Izvršnega sveta SRS  
— sekretariat za informacije št. 421-1/172 od 23. 1. 1974  
Naslov uredništva: ZPSŽ — Železarna Jesenice, 64270 Jesenice, tel. št. 81-341  
int. 880 — Tisk: TK »Gorenjski tisk«, Kranj



# VSEBINA

UDK: 669.14.018.25:620.178.74:620.184.6  
ASM/SLA: TSh, M 21c, M 23p, Q 26, Q 6n

Metalurgija — orodna jekla — preizkušanje žilavosti — fraktografija  
J. Rodič

## Mehanizem in morfologija loma Cr-Mo-V orodnih jekel

Železarski zbornik 14 (1980) 3 s 117—128

Članek podaja pregled tematike raziskovalnega projekta orodnih jekel s širokim območjem vsebnosti 0,8—2,1 % C, 4—13 % Cr, do 6,5 % W, do 5 % Mo, do 5 % V in tako neposredno povezuje in dopolnjuje navedene literaturne reference.

Poseben poudarek je na raziskavah žilavosti trdih orodnih jekel. Kratko je opisana »metoda ZR« instrumentiranega preizkušanja z registriranjem krivulje sila — čas na adaptiranem Charpy-jevem kladivu.

Interno standardizirana metodika kompleksnega preizkušanja trdih orodnih jekel je omogočila pomemben prispevek na področju raziskovanja mehanizma in morfologije lomov. Pri tem je klasična metalografija dopolnjena z REM in TEM preiskavami. Podan je tudi prispevek k metodološkemu razvoju mikrofraktografije značilne skupine orodnih jekel.

V okviru projekta so ugotovljene pomembne korelacije med trdoto, mikrostrukturo in parametri žilavosti (maksimalno silo loma, časom loma in porabljenim delom).

Podana so statistična območja parametrov žilavosti za značilne kombinacije temperatur kaljenja, popuščenja in preizkušanja ob omejitvi minimalne uporabne trdote orodij.

Zanimive so ugotovitve v zvezi z vplivom karbidov in kemijske sestave jekla na žilavost. Posebno očiten je vpliv razmerja atomskih odstotkov karbidotvornih elementov in ogljika na žilavost. Popuščna obstojnost ledeburitnih orodnih jekel pa je neposredno povezana z atomskim razmerjem Cr: (W + Mo + V).

Avtorski izvleček

UDK: 620.98  
ASM/SLA: W 11g

Metalurgija — splošna energetika — rekuperacija energije

D. Vodeb, B. Gašperšič, Z. Erjavec, F. Medl

## Sistemske rešitve izkoriščanja odpadnih toplot v železarni Ravne

Železarski zbornik 14 (1980) 3 s 149—158

Članek daje pregled stanja na področju uvajanja sistemov za izkoriščanje odpadnih toplot v železarni. Prikazani so energetski tokovi primarne in sekundarne energije, iz katerih je razvidno, kje je smiselno izkoristiti odpadno toploto.

Podane so termodinamične osnove za različne načine izkoriščanja odpadne toplote.

Opisani so trije različni sistemi izkoriščanja odpadne toplote, toplotna črpalka, kotlarna in toplarna.

Avtorski izveček

UDK: 669.669.168.1.B1, 65.011.51  
ASM/SLA: U4k, X14, D5, A5f, 1—5h, 18—74

Metalurgija — proizvodnja jekla — sistemi procesnih računalnikov

D. L. Schroeder

## Digitalni računalniki v proizvodnji jekla 14 (1980) 3

Železarski zbornik 14 (1980) s 129—142

Računalniška tehnologija je danes razvita veliko bolj, kot bi to lahko sklepali po uporabi računalnika v proizvodnji jekla. Poskušali smo analizirati današnjo uporabo aparature računalniške opreme in računalniških sistemov v proizvodnji jekla. Za primer smo vzeli vodenje elektropeči in peči z uporabo kisika (LD, BOF, AOD in Q—BOP). Rezultati kontrolnih sistemov v teh procesih kažejo, da je računalnik postal sestavni del proizvodnega procesa v jeklarni.

Avtorski izveček

UDK: 620.178.7  
ASM/SLA: Q5, J1, J29

Metalurgija — žilavost — popuščanje

F. Uranc

## Vpliv strukture in dimenzij preizkušanca, napetosti in hitrosti preizkušanja na žilavostne vrednosti

Železarski zbornik 14 (1980) 3 s 143—148

V članku so primerjani rezultati hitrih in počasnih preizkušanj debelih in tenkih upogibnih prob: vpliv večanja odpornostnega momenta na večanje žilavosti raste s trdnostjo jekla. S tenkimi probami moremo ločevati efekt popuščenja mehanskih napetosti od efekta izločanja, katerega bolj občutimo z merjenjem odpornosti proti lomu kot z merjenjem dela za zlom!

Zvojnica žilavost se s popuščanjem spreminja podobno kot upogibna, le bolj kontrastno.

Avtorski izveček

# INHALT

UDK: 620.98  
ASM-SLA: W11g

Metallurgie — allgemeine Energetik — Energierecuperierung  
D. Vodeb, B. Gašperšič, F. Erjavec, F. Medl

**Die Lösung der Ausbeutung der Abfallwärme im Hüttenwerk Ravne**  
Zelezarski zbornik 14 (1980) 3 s 149—158

Im Artikel wird eine Übersicht über die Einführung der Systeme für die Ausbeutung der Abfallwärme im Hüttenwerk gegeben. Die Energieflüsse der primären und sekundären Energie, aus welchen ersichtlich ist, wo die Ausbeutung der Abfallwärme sinnvoll ist, werden dargestellt.

Auch die thermodynamischen Grundlagen für verschiedene Arten der Ausbeutung der Abfallwärme werden angegeben.

Drei verschiedene Systeme für die Ausbeutung der Abfallwärme werden beschrieben, die Wärmepumpe, das Kraftwerk und das Heizkraftwerk.

Auszug des Autors

UDK: 669.14.018.25:620.178.74:620.184.6  
ASM-SLA: TSh, M21C, M23p, Q26, Q6n

Metallurgie — Werkzeugstähle — Kerbschlagzähigkeitsuntersuchungen — Fraktographie  
J. Rodič

**Mechanismus und Morphologie der Brüche bei den Cr-Mo-V Werkzeugstählen**  
Zelezarski zbornik, 14 (1980) 3 s 117—128

Im Artikel wird eine Übersicht über die Thematik des Forschungsprojektes der Werkzeugstähle mit einem breiten Analysengrenzenbereich und zwar von 0,8 bis 2,1 % C, 4 bis 13 % Cr, bis 6,5 % W, bis 5 % Mo und bis 5 % V gegeben. Es werden so unmittelbar die angewendeten Literaturreferenzen miteinander verbunden und ergänzt.

Hochbetont werden die Untersuchungen der Zähigkeit der harten Werkzeugstähle. Die »2R Messmethode« der Kerbschlagzähigkeitsuntersuchungen mit der Registrierung der Kurve Kraft — Zeit am adaptierten Charpy-Hammer wird kurz beschrieben.

Die im Werk standardisierte Methodik der komplexen Prüfung der harten Werkzeugstähle hat zu einem bedeutenden Fortschritt auf dem Gebiet der Untersuchung des Bruchmechanismus und der Bruchmorphologie beigetragen. Dabei ist die klassische Metallographie durch die REM und TEM Untersuchungen ergänzt worden. Auch ein Beitrag zu der Methodologischen Entwicklung der Mikrofraktographie einer kennzeichnenden Gruppe der Werkzeugstähle wird angegeben.

Im Rahmen dieses Projektes sind bedeutende Korrelationen zwischen der Härte dem Mikrogefüge und der Zähigkeitsparametern (der maximalen Bruchkraft, der Bruchzeit und der dazu benötigten Arbeit) festgestellt worden.

Die statistischen Bereiche der Zähigkeitsparametern für die bezeichnenden Kombinationen der Abschrecktemperatur, der Anlass und der Prüfungstemperatur, bei der Beschränkung der minimalen Gebrauchshärte der Werkzeuge werden angegeben.

Interessant sind die Feststellungen in Verbindung mit dem Einfluss der Karbide und der chemischen Stahlzusammensetzung auf die Kerbschlagzähigkeit. Besonders augenfällig ist der Einfluss des Verhältnisses der Atomprozente der karbidbildenden Elemente und des Kohlenstoffes auf die Kerbschlagzähigkeit. Die Anlassbeständigkeit der ledeburitischen Werkzeugstähle ist unmittelbar mit dem Atomverhältnis Cr: (W + Mo + V) verbunden.

Auszug des Autors

UDK: 669.669.168.1.B1, 65.011.51  
ASM-SLA: U4k, X14, D5, A5f, 1—5h, 18—74

Metallurgie — Stahlerzeugung — Prozessrechnersysteme  
D. L. Schroeder

**Digitale Rechner in der Stahlerzeugung**

Zelezarski zbornik, 14, (1980) 3 s 129—142

Die Rechentechnologie ist heutzutage viel weiter entwickelt, als das aus der Anwendung der Rechner in der Stahlerzeugung erschlossen werden kann. Es ist ein Versuch gemacht worden, die Anwendung der Rechneinrichtungen und Rechnersysteme in der Stahlerzeugung zu analysieren. Als Beispiel dient uns die Rechnergesteuerte Führung des Lichtbogenofens und der Sauerstoffkonvertern, (LD, BOF, AOD und Q-BOF).

Die Ergebnisse der Kontrollsysteme dieser Prozesse zeigen, dass der Rechner ein Bestandteil des Erzeugungsprozesses im Stahlwerk geworden ist.

Auszug des Autors

UDK: 620.178.7  
ASM-SLA: Q5, J1, J29

Metallurgie — Zähigkeit — Anlassen

F. Uranc

**Einfluss des Gefüges und der Probenabmessungen des Spannungszustandes und der Versuchsgeschwindigkeit auf die Kerbschlagzähigkeitswerte**  
Zelezarski zbornik 14 (1980) s 143—148

Im Artikel werden die Ergebnisse der schnellen und langsamen Untersuchungsmethoden an dicken und dünnen Biegeproben verglichen. Der Einfluss des wachsenden Widerstandsmomentes auf die Steigerung der Zähigkeit wächst mit der Festigkeit des Stahles. Mit den dünnen Proben kann der Effekt der Entspannung von dem Ausscheidungseffekt unterschieden werden. Der Ausscheidungseffekt wird durch die Messung der Bruchfestigkeit besser als durch die für den Bruch benötigte Arbeit erfasst.

Die Verdrehzähigkeit verändert sich durch das Anlassen ähnlich wie die Biegezähigkeit, nur kontrastreicher.

Auszug des Autors

# CONTENTS

UDK: 669.14.018.25:620.178.74:620.184.6  
ASM/SLA: TSh, M 21c, M 23p, Q 26, Q 6n

Metallurgy — Tool steel — Toughness Tests, — Fractography  
J. Rodič

**Mechanism and Morphology of Fractures in Cr-Mo-V Tool Steel**  
Zelezarski zbornik 14 (1980) 3 p 117—128

Paper presents the review of the research project on tool steel with wide ranges of compositions: 0.8 to 2.1 % C, 4 to 13 % Cr, up to 6.5 % W, up to 5 % Mo, up to 5 % V. Thus it directly combines and supplements the cited references.

A special emphasis is given to the toughness investigations of hard tool steel. The «2R method» of instrumented testing with registering force — time curve on an adapted Charpy testing machine is shortly described.

Internally standardized methodics of the complex testing hard tool steel enabled significant contribution to investigations of the mechanism and morphology of fractures. Standard metallography is thus complemented with the SEM and TEM investigations. Also the contribution to the methodological development of the microfractography of characteristic tool steel group is given.

The project gives significant correlations between the hardness, the microstructure and the toughness parameters (maximal breaking force, breaking time, and absorbed energy).

Statistical ranges of toughness parameters for characteristic combinations of quenching temperatures, tempering temperatures and testing with limited minimal applied tool hardness are given.

Author's Abstract

UDK: 620.98  
ASM/SLA: W 11g

Metallurgy — General Energetics — Heat recovery  
D. Vodeb, B. Gašperšič, Z. Erjavec, F. Medl

**System Solutions for Recovery of Waste Heat in Ravne Ironworks**  
Zelezarski zbornik 14 (1980) 3 p 149—158

The paper gives the review of the state existing in the introduction of systems for the waste heat recovery in the ironworks. Energy flows heats of the primary and the secondary energy are presented which gives the evidence where the waste heat recovery is sensible.

Thermodynamic fundamentals for various ways of the waste heat recovery are given.

Three various systems for the waste heat recovery are described, i. e. heat pump, heating station, and steam plant.

Author's Abstract

UDK: 669.669.168.1.B1, 65.011.51  
ASM/SLA: U4k, X14, D5, A5f, 1—5h, 18—74

Metallurgy — Steelmaking — Systems of process computers  
D. L. Schroeder

**Digital Computers in Steelmaking**  
Zelezarski zbornik 14 (1980) 3 p 129—142

The presently available computer technology far exceeds its level of application to steelmaking processes. An analysis is given of the application of computer hardware and operating systems to steelmaking environments. Control of electric furnace and oxygen (LD, BOF, AOD, and Q-BOP) steelmaking processes are used as examples. Results given of control systems applied to these processes show that the computer has become an integral part of steelmaking.

Author's Abstract

UDK: 620.178.7  
ASM/SLA: Q5, J1, J29

Metallurgy — Toughness — Tempering  
F. Uranc

**Influence of the Testpiece Structure and Dimensions, of the Stress, and the Testing Rate on the Toughness Values**  
Zelezarski zbornik 14 (1980) 3 p 143—148

The paper presents the comparison of results of fast and slow bend tests of thick and thin probes: Influence of the increased moment of resistance on the increased toughness increases with the steel hardness. Thin probe tests enable to distinguish the effects of reduced mechanical stresses and the precipitation effects which is better determined by measuring the resistance to breaking than the breaking energy. Torsional toughness varies with tempering in a similar way as the bending one but the changes are more pronounced.

Author's Abstract

# СОДЕРЖАНИЕ

УДК: 620.98  
АСМ/САА: В 11г

Металлургия — общая энергетика — рекуперация энергии.

D. Vodeb, B. Gašperšič, F. Erjavec, F. Medl

Системные решения использования отходящего тепла в металлургическом заводе Железарна Равне.

Železarski zbornik 14 (1980) 3 с 149—158

В статье подан обзор положения исследований в области введения систем использования отходящего тепла в металлургическом заводе.

Рассмотрены потоки первичной и вторичной энергии и выяснена целесообразность использования отдельных источников отходящего тепла.

Даны термодинамические основы для различных способов использования отходящего тепла.

Дано также описание трех различных систем использования отходящего тепла, насос теплообмена, котельная и силовая термо-установка.

Автореф.

УДК: 669.14.018.25:620.178.74:620.184.6.  
АСМ/САА: ТСх, М 21г, М 23л, Q 26, Q 6л.

Металлургия — инструментальные стали — испытание вязкости — фрактография.

J. Rodič

Механизм и морфология изломов Cr—Mo—V инструментальных сталей.

Železarski zbornik 14 (1980) 3 с 117—128

В статье дан обзор тематики исследовательского проекта инструментальных сталей с широким диапазоном содержания от 0,8 до 2,1 % С, 4—13 % Cr, 6,5 % W, до 5 % Mo и до 5 % V. Таким образом в статье дана непосредственная связь и дополнение к рекомендациям, которые упомянуты в специальной литературе. В особенности подчеркнуто исследование вязкости твердых инструментальных сталей. Коротко описан метод ЖРс, подтвержденный с регистрированием кривой усилия в отношении на время, утраченное при выполнении испытания на приспособленном маятниковом копре по Шарпи.

Стандартизованная внутри завода методика комплексного испытания твердых инструментальных сталей дала возможность выпонить важный дополнительный вклад в области исследования механизма и морфологии изломов. При этом классическая металлография дополнена с испытаниями с РЕМ и ТЕМ методами. Рассмотрен также вклад к методологическому развитию микрофрактографии значительной группы инструментальных сталей. В соответствии с программой проекта определена важная корреляция между твердостью, микроструктурой и параметрами вязкости (наибольшее усилие излома, время излома и время, утраченное для выполнения работы). Рассмотрены также статистические области параметров вязкости для значительных комбинаций температуры закалки, отпуска и испытания при ограничении наименьшей, примененной твердости инструмента. Не без интереса также определены в связи с влиянием карбидов и химического состава сталей на вязкость. Особенно выразительно влияние соотношения атомистической процентной ставки карбидообразующих элементов в углерода на вязкость. Устойчивость же азбестурных инструментальных сталей на отпуск в непосредственной связи с атомистическим соотношением с Cr: (W + Mo + V).

Автореф.

УДК: 669.669.168.1.Б1, 65.011.51  
АСМ/САА: У4к, Х14, А5, А5ф, I—5х, 18—74

Металлургия — производство сталей — системы вычислительных машин для управления процессом.

D. L. Schroeder

Цифровые вычислительные машины при производстве сталей.

Železarski zbornik 14 (1980) 3 с 129—142

Развитие вычислительной технологии в настоящее время гораздо обширнее, чем это можно заключить на основании применения вычислительной машины при производстве сталей. Работа охватывает попытку проанализировать современное положение применения вычислительных приборов и вычислительных систем при производстве сталей.

Для примера взято управление ходом электродов и агрегатов для производства сталей при применении кислорода ((LD, BOF, AOD и Q — BOP).

Проверка применения вычислительной технологии и вычислительных систем при этих процессах указала, что счетная машина получила роль составной части при производстве сталей в сталеплавильном цехе.

Автореф.

УДК:  
АСМ/САА: Q5, J1, J29

Металлургия — вязкость — отпуск

F. Urgan

Влияние структуры и размер, напряжения и быстроты испытания на коэффициенты вязкости.

Železarski zbornik 14 (1980) 3 с 143—148

В статье рассмотрены результаты сравнения быстрых и медленных испытаний толстых и тонких образцов на изгиб. Установлено, что с увеличением прочности стали повышается влияние момента сопротивления на увеличение вязкости. При тонких образцах надо различать эффект отпуска механических напряжений от эффекта растворения, который более выразителен при измерении сопротивления разрыву, чем с измерением работы на разрушение.

С отпуском изменяется крутильная вязкость. Это изменение подобно изменению при изгибу, хотя более контрастно.

Автореф.

