

ŽELEZARSKI ZBORNIK

VSEBINA

	Stran
Prešern Alojz in sodelavci VLOGA IN ZNAČILNOSTI RAZISKOVALNEGA DELA ZA SLOVENSKO METALURGIJO	1
Segel Jože — Zelezarna Ravne UCINEK UPORABE PROCESNEGA RACUNAL- NIKA V PROCESU LEGIRANJA JEKLA	7
Vodopivec Franc in sodelavci — Metalurški inštitut Ljubljana O NASTANKU KROGLICASTIH VKLJUČKOV ALUMINIJEVEGA OKSIDA V JEKLIH	19
Vodeb Dušan, Z. Erjavec — Zelezarna Ravne B. Gašperšič — Fakulteta za strojništvo, Ljubljana IZRAČUN ADIABATSKE TEMPERATURE, ZGOREVANJA PLINSKE MEŠANICE IN VPLIV NA DOLŽINO PLAMENA	23
TEHNIČNE NOVICE	
Mesec Ivan — Zelezarna Jesenice NOVOSTI NA PODROČJU VARILNIH ŽIC ZA PLAMENSKO VARJENJE	35
Černe, Jocič, Bergant — Zelezarna Ravne SODOBNA DOMAČA KALILNA OLJA IN NJI- HOVA KONTROLA	37
DRUŠTVENE VESTI	41

LETO 13 ŠT.1 - 1979
ŽEZB BQ 13 (1) 1-44 (1979)



ŽELEZARSKI ZBORNIK

IZDAJAJO ZELEZARNE JESENICE, RAVNE, STORE IN METALURŠKI INSTITUT

LETO 13

LJUBLJANA

JANUAR 1979

Vsebina	Inhalt	Contents	Содержание
Stran	Seite	Page	
Prešern Alojz	Prešern Alojz	Prešern Alojz	Prešern Alojz
Vloga in značilnost raziskovalnega dela za slovensko metalurgijo	Die Rolle und die Eigenheiten der Forschung für die slowenische Metallurgie	The Role and the Characteristics of the Research Work for Slovenian Metallurgy	Роль и особенности работ по исследованию в области металлургии Словении.
1	1	1	1
Segel Jože	Segel Jože	Segel Jože	Segel Jože
Učinek uporabe procesnega računalnika v procesu legiranja jekla	Das Ergebnis der Anwendung des Prozessrechners im Legierungsverfahren bei der Stahlerzeugung	Effect of applying the process computer control in alloying steel	Эффективность применения управляющей вычислительной машины при процессе легирования стали.
7	7	7	7
UDK: 669.168.1.31.65.011.51 ASM/SLA: Uhk, X14, D5, A5f, 1-54, 18-74	UDK: 669.168.1.31.65.011.51 ASM/SLA: Uhk, X14, D5, A5f, 1-54, 18-74	UDK: 669.168.1.31.65.011.51 ASM/SLA: Uhk, X14, D5, A5f, 1-54, 18-74	UDK: 669.168.1.31.65.011.51 ASM/SLA: Uhk, X14, D5, A5f, 1-54, 18-74
Vodopivec Franc	Vodopivec Franc	Vodopivec Franc	Vodopivec Franc
O nastanku krogličastih vključkov aluminijevega oksida v jeklih	Über die Entstehung der kugeligen Aluminiumoxydeinschlüsse in Stählen	On formation of spheroidal inclusions of aluminium oxide in steel	О образовании шаровидных включений окиси алюминия в сталях.
19	19	19	19
UDK: 620.186.14 ASM/SLA: M21c, 9-69	UDK: 620.186.14 ASM/SLA: M21c, 9-69	UDK: 620.186.14 ASM/SLA: M21c, 9-69	UDK: 620.186.14 ASM/SLA: M21c, 9-69
Vodeb Dušan, F. Erjavec, B. Gasperšič	Vodeb Dušan, F. Erjavec, B. Gasperšič	Vodeb Dušan, F. Erjavec, B. Gasperšič	Vodeb Dušan, F. Erjavec, B. Gasperšič
Izračun adiabatske temperature zgorovanja plinske mešanice in vpliv na dolžino plamena	Ausrechnung der adiabatischen Verbrennungstemperatur einer Gas Mischung und deren Einfluss auf die Flammengänge	Calculation of the adiabatic combustion temperature and the influence on the flame length	Вычисление адиабатической температуры сгорания газовой смеси и влияние на длину пламени
23	23	23	23
UDK: 662.75:662.76:662.9 ASM/SLA: RM-m	UDK: 662.75:662.76:662.9 ASM/SLA: RM-m	UDK: 662.75:662.76:662.9 ASM/SLA: RM-m	UDK: 662.75:662.76:662.9 ASM/SLA: RM-m
Tehnične novice	Technische Nachrichten	Technical News	Технические новости
35	35	35	35
Društvene vesti	Vereinsnachrichten	Association News	Осведомления организации
41	41	41	41



SLOVENSKE ŽELEZARNE
ŽELEZARNA RAVNE
n. sol. o.
RAVNE NA KOROŠKEM

PROIZVAJAMO:

- EPŽ JEKLA
- JEKLENE ULITKE
- ODKOVKE
- KOVANO PALIČASTO JEKLO
- VALJANE PROFILE
- GRELNO ŽICO
- VLEČENO, LUŠČENO IN BRUŠENO JEKLO
- LISTNATE VZMETI
- STROJNE NOŽE
- BRZOREZNO ORODJE IN KROŽNE ŽAGE
- PILE IN RASPE
- VALJE ZA HLADNO VALJANJE
- PILGER VALJE IN TRNE
- STROJE IN ORODJA NA PNEVMATSKI POGON
- KOLESNE DVOJICE
- SESTAVLJENE DELE IN ELEMENTE STROJEV IN NAPRAV
- STROJE ZA MEHANSKO PREOBLIKOVANJE (RAZLIČNE STISKALNICE ZA PREOBLIKOVANJE KOVIN V HLADNEM IN VROCEM STANJU ITD.)

**S KVALITETO IN SOLIDNO PROIZVODNJO GARANTIRAMO DOBRO
SODELOVANJE IN SE PRIPOROČAMO!**



ŽELEZARNA JESENICE

Proizvaja:

debelo, srednjo in tanko pločevino
dinamo trakove
hladno valjane trakove
vlečeno, brušeno in luščeno jeklo
vlečeno žico
vlečeno žico — patentirano
pleteno patentirano žico za
prednapeti beton

hladno oblikovane profile
cestne varnostne ograje
jeklene podboje za vrata

dodajni material za varjenje:
— tehnični plin ARGON
žičnike
jekleni sekanec



Panorama Železarna Jesenice

**For Automation and Process
Technology from conceptual
design to turn key system**

Control systems for material,
materials management

Analyses laboratories

Electric arc furnaces

Basic oxygen furnaces

(BOF) SIP Converter,
AOD Converter

Energy dispatch and control

Pollution monitoring

Heat treating optimization

Tailor-made software and systems
for your specific requirements

**Za avtomacijo in procesno
tehnologijo od idejnih zasnov
do sistemov na ključ**

Kontrolni sistemi za
materialno gospodarstvo

Analitski laboratorij

Elektro obločne peči

Bazične kisikove peči

LD — konverter in kisikovi
žilavilni postopki s pihanjem
od spodaj

AOD — konverter

Kontinuirno litje

Sistemi razdelitve in kontrole
porabe energije

Krmiljenje čistilnih naprav

Optimizacija toplotne obdelave

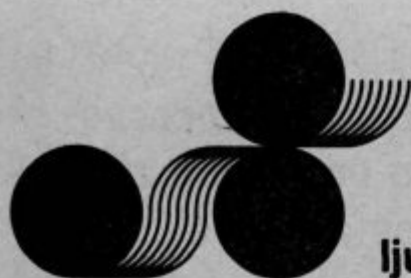
Software in sistemi prilagojeni
vašim posebnim zahtevam

**PROCESS CORPORATION
P. O. Box 11528
PITTSBURGH, PA 15238
U S A**

For more detailed information please
contact the European representative:

Za podrobnejše informacije se, prosimo,
povežite z zastopstvom za Evropo:

**I N T E C O — Internationale
Technische Beratung Ges. m. b. H.
Bahnhofstrasse 9
8600 Bruck/Mur, Austria
Telephone: (038 62) 53 1 10
Telex: 36 720**



slovenske železarne ljubljana

ŽELEZARNA JESENICE: proizvaja debelo in srednjo pločevino ter hladnovaljane trakove različnih kvalit. Vlečeno, luščeno in brušeno jeklo. Valjano in vlečeno žico v različnih kvalitetah in površinskih obdelavah. Hladno oblikovane profile, ograje za avtoceste in vratne podboje. Žične proizvode: žeblice, bodečo žico, žico, elektrode in praške za varjenje, vrvi in patentirane žice, jeklen pesek, tehnične pline: kisik in argon.

ŽELEZARNA RAVNE: proizvaja toplovaljane in kovane profile ter vlečene, brušene in luščene palice, v vseh vrstah kvalitetnih in plemenitih jekel, jeklene odlitke, industrijske nože, brzorezna orodja in krožne žage za obdelavo jekla, kovin in lesa; pile, vzmeti, pnevmatske stroje in orodja, valje za hladno valjanje kovin, univerzalne in kovaške ekscentrične stiskalnice, sestavne dele za vagončke, diske za poljedelske stroje...

ŽELEZARNA ŠTORE: proizvaja toplovaljane ter vlečene in brušene palice, v vzmetnih in ostalih kvalitetnih vrstah jekla, specialno surovo železo za livarne, ulitke iz sive in nodularne litine, litoželezne valje, ki jih lahko obdelajo in obrusijo, kontilite profile...

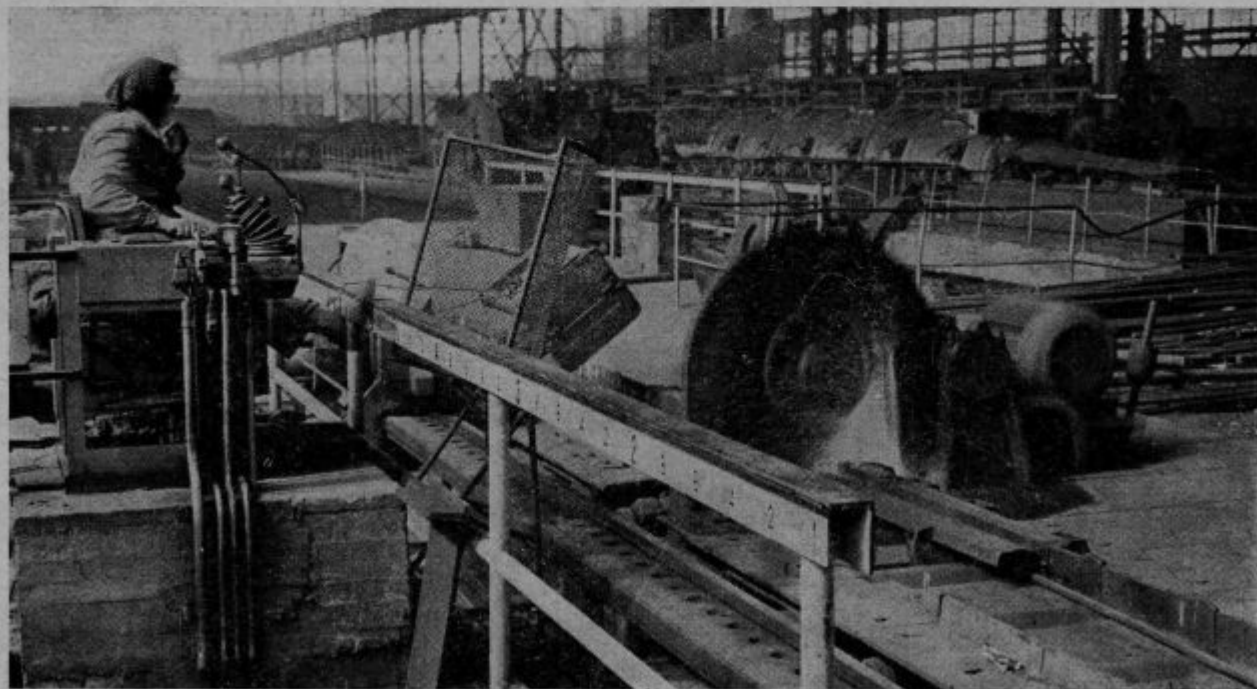
TOVARNA VERIG LESCE: proizvaja verige za široko potrošnjo, tehnične in siderne verige, opremo za verige, snežne in zaščitne verige za vozila, kovinske in lesne vijake, hangervijake, razcepke, kovice, odkovke in stiskance...

PLAMEN KROPA: proizvaja matične, nastavne in sponke vijake za splošne namene, matične in nastavne vijake srednje klase, matice in kovice.

TOVIL LJUBLJANA: proizvaja vijake za kovine in za pločevino z ravnim in križnim utorom, samorezne vijake, vijake za les in kovice...

ŽIČNA CELJE: proizvaja iz žice razna pletiva, tkanine, mrežaste armature in predfabrikate, gabione, vibracijska sita in mreže za rudarstvo, žične transportne trakove, vzmeti, žične vložke in drugo žično konfekcijo.

METALURŠKI INŠTITUT LJUBLJANA: raziskuje na področjih: priprava mineralnih surovin, surovega železa, proizvodnje jekla, barvne metalurgije, livarstva, termične obdelave in plastične predelave jekla in kovin. Vršiti kemijske, metalografske in fizikalne analize.



Na koncu valjavske proge v železarni Ravne

Vloga in značilnost raziskovalnega dela za slovensko metalurgijo

A. Prešern in sodelavci

UVODNO PREDAVANJE NA METALURŠKEM PO SVETOVANJU PORTOROŽ, OKTOBRA 1978

V zadnjih desetletjih so tehnološko tehnične spremembe izredno občutno spremenile klasično fizionomijo metalurške proizvodnje. Pri tem se vse bolj poudarja, da je osnovnega pomena za tak tempo razvoja skupinsko in koncentrirano delo znanstveno-raziskovalnih in razvojnih skupin, izkoriščanje vseh virov informacij in zadostno financiranje ter kadrovanje za dvig raziskovalnega potenciala. V smislu izboljšanja učinkovitosti raziskav morajo te raziskovalne skupine v DO, oziroma TOZD, pa tudi na znanstvenih zavodih, oz. inštitutih usmerjati raziskovalno delo k reševanju konkretnih problemov, kar povsem izključuje možnost zaprtega načina reševanja problemov in zahteva široko medsebojno povezavo. Tak način dovoljuje polni razmah iniciative, vendar v smislu usmerjenega raziskovalnega dela brez nepotrebne dupliranja. Prepričani smo, da samo usmerjena raziskava predstavlja učinkovito in sinhronizirano akcijo, pri tem pa je nujno postaviti zadolžitve posameznih udeležencev.

Splošna praksa potrjuje, da morata prevzeti odgovornost za pravilno odvijanje raziskav Inštitut in naročnik (preko svojega predstavnika), da pa se v okviru raziskovalnega dela poveri Inštitutu vlogo povezovalca, ki mora pripraviti in obdelati raziskovalno koncepcijo in precizirati pričakovane cilje.

Da bi zagotovili stalni napredek in razvoj DO ter dosegli predvidene cilje, morajo v DO določene raziskovalne skupine obdelovati kompletno problematiko iz zainteresiranih področij. Predvsem se moramo zavedati, da je napredek DO odvisen od lastnih prizadevanj, torej tudi od razpoložljivih lastnih strokovnih delavcev.

Praksa potrjuje in dokazuje, da je možno vključevati tuje institucije v reševanje razvojne in raziskovalne problematike v DO le tam, kjer je dovolj močna kadrovska zasedba strokovnjakov, ki je sposobna spoznati probleme, jih analizirati in dobljene raziskovalne rezultate vgraditi v celovito rešitev.

Pomen sodelovanja z zunanjimi inštituti, ki fragmentno ali celovito obdelujejo določene naloge, dobiva za DO gospodarske dimenzije šele takrat, ko se dognanja v lastni DO dodelajo v aplikativno obliko, izdelajo nato potrebni projekti in dokažejo učinki v polindustrijskem ali industrijskem merilu.

Smatram, da je nujno po pomenu postaviti ob določenih slučajih znanje za reševanje problemov in izvajanje raziskave celo pred finančno realizacijo. Pri tem mislim strogo le na aplikativno, oz. razvojno aplikativno dejavnost.

Iz navedenega sledi, da mora v DO obstajati lastni, pa čeprav le skromni raziskovalni kader, ki ne služi le občasnim ali rutinskim kontrolam, temveč usmerja svoje znanje in more izkoriščati, uporabljati znanje inštitutov v reševanju problematike, ki predstavlja v okviru razvojnega načrta DO ključne pozicije. Taka oblika je tudi sposobna koristiti konkretno povezavo s strokovnimi komisijami ter odbori za raziskave kot organizacijska telesa DO in s projektnimi sveti ter njihovimi komisijami kot organizacijska telesa RSS.

V Sloveniji moremo govoriti o zadovoljivem ekstraktivnem delu v črni metalurgiji, o razmeroma šibkejši predelovalni kapaciteti s tega področja; ugotavljamo manj razvito ekstraktivo in bolj razširjeno predelavo v barvni metalurgiji in v livarstvu. Toda če smemo za področje črne metalurgije vendarle ugotoviti vse bolj skupinski pristop k reševanju kompleksne problematike

med proizvajalci in predelovalci jekla do finalizacije in dalje ugotoviti, da prisvajamo določene oblike za konkretizacijo možnosti skupnega reševanja, pa tega za področje barvne metalurgije ne moremo docela trditi.

Področje barvne metalurgije je izredno razvejano, močno specializirano po posameznih kovinah, sodelovanje med posameznimi vejami je omejeno, enoten pristop k reševanju določene problematike je ad hoc narave. Pa vendar smo marsikje le malo znali uporabiti vsaj tiste oblike sodelovanja, ki so vsem enotne, to je vzpodbujanje strokovnega kadra k usmerjenim raziskavam, pristop k aktivnemu angažiranju in prisvajanju znanja inštitutov, želja po povezovanju z njimi s ciljem za kompleksno reševanje problematike itd. Česti so primeri, ko s težavo pripravljamo najnujnejše materiale za raziskovalne programe, da stalnih pregovorov okrog potrebnega sofinansiranja ne omenjam. Analiza takega stanja vse bolj poudarja dejstvo (ki jo priznavajo tudi najvišji strokovni kadri v DO barvne metalurgije), da v nekaterih DO ni niti osnovnega raziskovalnega kadra, ni potrebnih projektov za usmerjeno raziskovalno delo v okviru razvojnih programov.

V pripravi je študija o razvoju kompleksne dejavnosti na področju aluminija v Sloveniji (naročnik študije Unial v Mariboru), ki bo med drugim začrtala tudi usmerjenost raziskovalnega dela in s tem postavila konkretno osnovo za kadrovanje, za ev. razširitev raziskovalnih področij v DO, pa tudi za razširitev raziskovalnega kadra na MI. Prepričan sem, da bo uspešna študija prelomnica v resnosti pojmovanja in vrednotenja razvoja Al-kompleksa v Sloveniji nasploh in posebej še prelomnica v pojmovanju in vrednotenju raziskovalnega razvojnega dela v barvni metalurgiji Slovenije. Mnogi očitki o nepravilnem odnosu v sofinansiranju med črno in barvno metalurgijo, prigovori k nezadostnemu kadrovanju za raziskave iz barvne metalurgije na MI in končno prigovori o učinkovitosti izkoriščanja finančnih sredstev za do sedaj več ali manj ad hoc pripravljene raziskave za barvno področje bodo s tem odpravljeni.

Smatram, da živimo v času, ko ne združujemo samo materialnih dobrin, temveč moramo koncentrirati tudi znanje, brez tega ne bo tehnološkega napredka. Kljub specifičnostim v pogledu izkoriščanja domačih surovin, ob dejstvu, da imamo male proizvodne kapacitete, premajhno iniciativo v predelovalni industriji za novimi kvalitetnejšimi materiali, kljub zastarelemu asortimentu proizvodov in še vedno preveliki kvalitetni problematiki proizvodov, pa moramo priznati, da ponekod zelo počasi sledimo nujnosti po koncentraciji znanja, po želji, da v svoji DO vzpodbudimo raziskovalno delo v smislu vsebine razvojnih programov.

DO morajo z lastnimi raziskavami in angažiranostjo znanja inštitutov stalno obdelovati naslednja področja:

- obširnejše in učinkovitejše izkoriščanje odpadnih surovin za ponovno uporabo v primarni tehnologiji,
- povečana skrb za zmanjšanje onesnaženja ozračja in industrijskih voda,
- prilagoditev uporabi različnih izvorov energije,
- izboljšanje učinkovitosti proizvodnih enot z izboljšanjem sedanjih in razvojem novih proizvodnih in predelavnih tehnologij,
- raziskave tržišča, organizacija poslovanja,
- projekti in sinteze rezultatov raziskav in študijev.

Kratek vpogled v značilnosti razvojnih programov metalurške dejavnosti v ekstraktivni in predelavi dovoljuje naslednje ugotovitve:

ČRNA METALURGIJA

Slovenske železarne bodo do leta 1985 povečale proizvodnjo na letno 1 milij. ton, oziroma 939.000 ton blagovne proizvodnje. V planu je povečana oskrba s polizdelki v blagovni proizvodnji in strukturalno izboljšanje proizvodnje. Predvideva se v vsaki od slovenskih železarn zaključeni cikel proizvodnje in specializacije. Izboljšanje kvalitetnega asortimenta bo omogočilo, da bodo združene železarne mogle bolje oskrbovati predelovalne DO z reprodukcijskim materialom. Delež končnih izdelkov, orodij, strojnih komponent in podobno se bo povečal od sedanjih 30 na 50 % celotnega prihodka združenih slovenskih železarn.

V razvojnem programu slovenskih železarn je posebna pozornost usmerjena predelovalni industriji v širšem smislu, to je razvoju kovinske in elektroindustrije, za kar je predvideno večje vzpodbujanje izkoriščanja kvalitetnih in plemenitih jekel zlasti v Sloveniji. Moramo pa prisvojiti dejstvo, da tudi ob prestrukturiranju predelave jekla v prihodnosti ni možno pričakovati bistvenega povečanja deleža slovenskih železarn pri oskrbovanju slovenskega tržišča. Še naprej bodo veliki porabniki slovenskega jekla industrijske dejavnosti (avtomobilska industrija, oborožitev, strojogradnje, ladjedelnice itd.) v drugih republikah.

Za slovenske železarne je v prihodnosti najvažnejša kakovost jekla in čimveč predelave v končne izdelke. Taka usmeritev opredeljuje tehnologijo in s tem osnovne surovine in energijo. Slovenske železarne bomo opustile SM postopek (proizvodnjo grodlja v plavžih), prešle v celoti na elektroobložne peči, uvedle optimizacijo ponovčne metalurgije (vakuumiranje, vakuumska oksidacija in dezoksidacija), uvedle

kontinuirano litje gredic in slabov (kjer je to ekonomsko utemeljeno), optimizacijo prvostopenjske vroče predelave (kontrolirano valjanje in hlajenje produkta), računalniško vodenje posameznih ali kompleksnih tehnoloških faz v proizvodnem ciklusu.

V okviru celotnega proizvodnega ciklusa od surovin do polfabrikata, oziroma končnega produkta moramo navesti naslednje specifičnosti razvoja posameznih tehnoloških faz kot osnovo za izbor raziskovalnih projektov, oziroma raziskovalnih področij:

a) železarstvo

Pri visokih in elektroduktivnih pečeh postaja aktualno vprašanje večje prilagodljivosti uporabi raznih surovin in raznih vrst energije. Posvetiti je treba pozornost boljši pripravi rudnega zasipa, prisvojiti je modifikacije tehnologije s ciljem prihranka koksa, v določenem smislu bomo morali prisvajati tehnologijo direktne redukcije rud, kar sicer ne bo nadomestilo VP procesa, moremo pa ob uporabi trdnih reductentov dobiti železovo gobo iz rud, ki so manj primerne za uporabo v visokih pečeh; obstaja celo možnost pridobivanja gobe iz železovih prahov.

Poseben poudarek je v razvojnem programu dan izboljšanju ekoloških pogojev in večji učinkovitosti čiščenja industrijskih voda.

V razvojnem programu je posebno poudarjeno izboljšanje ekoloških pogojev.

b) jeklarstvo

Nujna je večja produktivnost elektroobločnih peči pri obstoječih kapacitetah. Ustvaritev te zahteve je možna z večjo mehanizacijo priprave nekovinskih in kovinskih surovin, hitrem načinu in prenosu kemijskih rezultatov, kontroli proizvodnje z uvajanjem on-line — vodenja procesa.

V ospredju je nenehna skrb za zmanjšanje in enakomernejšo porabo električne energije. V proizvodnji kvalitetnega jekla s ciljem za dosego večje produktivnosti in večjega izkoristka ferolitnih vse bolj potrjuje prednost tzv. dupleks postopek, to je taljenje vložnih surovin do faze oksidacije ali pa vključno z njo v elektro-obločni peči, ostale operacije sekundarne rafinacije pa v jeklarski ponovci.

Posebno mesto v proizvodnji visoko kvalitetnih jekel zavzema EPŽ taljenje, ki ga uvajamo predvsem v proizvodnjo težkih kovaških ingotov z zelo čisto površino.

Vse bolj se uveljavlja kontinuirno litje jekla za čim širši asortiment jekla (tudi nerjavno jeklo).

Področje strjevanja in legiranja jekla s točno definiranimi cilji (preprečitev neželjene segregacije, omogočanje izločanja novih faz med

litjem, strjevanjem in nadaljno predelavo) bo tudi v bodoče zelo široko in kompleksno obravnavano raziskovalno področje.

Učinkovitost v izvajanju moderne jeklarske tehnologije je vezana na široko poznavanje fizikalnih in kemičnih procesov ter splošne in specifične raziskave materiala.

V pogledu izboljšanja namenske uporabe posameznih kvalitetnih skupin jekla stopajo v ospredje:

— jekla s povišano mejo plastičnosti in dobre varivosti,

— borova jekla, specialna orodna jekla,

— nerjavna in visoko-silicirana jekla,

— visoko kvalitetna jekla za kemično industrijo in zmrzovalno tehniko (Ni-Mo jekla),

— jekla za potrebe atomskih central (Jugoslavija je aktivno vključena v gradnjo atomskih central),

— jekla s posebnimi površinami, oz. s površinsko zaščito.

Reševanje energetskega vprašanja in toplotno tehnične problematike bo še naprej važno raziskovalno področje.

c) predelava

Povečana poraba kvalitetnejših jekel zahteva rekonstrukcije oz. nove valjarne, ki bodo v stanju proizvajati homogene proizvode večjih dimenzij, ožjih toleranc in boljše kvalitete površin. Nova visokotrdnostna jekla z izboljšano varivostjo zahtevajo visoko stopnjo deformacije pri relativno nizkih temperaturah, kontrolirano enakomerno ohlajanje kot tudi kontrolirano nadaljnjo toplotno obdelavo.

V razvojnem programu stopa v ospredje naslednje:

— hladno valjana pločevina za avtomobilsko industrijo in gospodinjstvo, uvajanje kontinuirnega žarjenja za dosego boljše žilavosti, boljše površine in enakomernejših lastnosti,

— izboljšati bo treba lastnost odpornosti jekla proti površinskim poškodbam, koroziji, izboljšati lastnosti globokega vleka z razvojem novih kvalitet,

— splošne zahteve ekonomike valjarniških naprav so obsežene v kontinuirnem valjanju konti vlitih gredic ali bram, boljšem vodenju žarilnih peči in visoko učinkovitem procesnem vodenju valjanja, segrevanja, kalibriranja itd.

d) kvalitetne zahteve predelovalcev (finalizacija)

— konstrukcijska jekla z visoko mejo tečenja do 700 N/mm² bodo mogli predelovalci uporabljati, če bo zadoščeno naslednjim zahtevam: izboljšanje varivosti in deformacijske sposobnosti debele pločevine v smeri debeline, da

preprečimo pri obremenitvi pravokotno na površino nevarnost slojevega loma; povečanje elastičnosti pri konstrukcijskih jeklih (v povezavi z visoko mejo tečenja); povečana odpornost proti napetostni koroziji,

— izboljšati je treba stabilizirana avstenitna jekla v pogledu varivosti in stabilnosti strukture tudi po hladni deformaciji,

— predvideva se nadaljnji razvoj visoko trdnostnih jekel z minimalno mejo tečenja preko 530 N/mm², izboljšanje Ni-Cr-Mo jekel, nadaljnje razširjanje uporabnosti feritnih-avstenitnih jekel, razvoj korozijsko odpornih Ni-zlitin,

— razvoj in stabilizacija tehnologije jekel za atomske centrale (nizkoogljivična jekla z dobro varivostjo, visoko legirana Ni-Mo-Cr jekla za reaktorje in reaktorske tlačne posode, nestabilizirana avstenitna Cr-Mo-Ni jekla itd.),

— v ospredje stopa kvaliteta jekla za hidrocentrale, in sicer nerjavna in nizko legirana jeklena litina za zelo velike odlitke in velike debeline, določene (tudi nerjavne) kvalitete jekla za litje velikih turbin z dobro varivostjo, visoko mejo tečenja, pločevina iz visoko trdnostnih toplo valjanih trakov s povečano mejo tečenja, osvajanje jekel s preko 1300 N/mm²,

— za motorno industrijo je treba razvijati tanko pločevino s povečanimi zahtevami po oblikovanju, s povečano mejo tečenja, z garantirano sposobnostjo za točkasto varjenje. Važna postaja površinsko oplemenitena fina pločevina. Pri cementacijskem jeklu za dele motorjev, pogonov, osi, vzmeti je treba stremeti za enakomernjšo kvaliteto, sposobno za dobro mehansko obdelavo. Poenostaviti je treba različne načine toplotne obdelave.

— V strojništvu so tendence obsežene v naslednjem:

— zmanjšanje kvalitetnega asortimenta,

— večja enakomernost lastnosti (zrnovitost, stabilnost proti razogljčenju itd.),

— optimizacija površinske obdelave,

— uvajanje preizkuševalnih metod na že izpostavljenih strojnih delih,

— izboljšanje trajne trdnosti in zanesljivosti strojnih delov.

BARVNA METALURGIJA

Razvoj barvne metalurgije v SRS in v tem okviru proizvodnja in predelava **aluminija** ni potekala vzporedno z razvojem ostalih industrijskih dejavnosti. Temeljni vzroki za zaostajanje na tem področju so nedvomno v pomanjkanju osnovnih surovin, električne energije in ne nazadnje v do sedaj premalo učinkovitem povezovanju vseh aktivnih dejavnikov v razvoju Al-kompleksa v SRS.

V osnovi sta za bodoči razvoj aluminija odločilna dva elementa, in sicer:

— vertikalno povezovanje od proizvodnje preko predelave, finalizacije do trgovine,

— organiziranje in vzpodbujanje razvojno-raziskovalnega dela v celotnem Al-kompleksu v SRS.

S študijo, ki je v teku, želita predvsem TGA in Impol oceniti pomen aluminija v slovenskem gospodarstvu, oblikovati kompleks kot organizacijsko povezavo in dati osnove za sestavo srednjeročnih in dolgoročnih razvojnih programov.

S proizvodnjo okrog 56.000 ton aluminija ali 16 % jugoslovanske proizvodnje do leta 1985 ter nujno prilagoditvijo (ekonomski imperativ) tendencam razvoja v SFRJ, temelji razvoj aluminijeve industrije v Sloveniji na naslednjih ključnih zahtevah:

a) proizvodnja, surovine

— avtomatizacija, mehanizacija, krmiljenje tehnoloških procesov glinice in aluminija,

— znižanje specifične porabe električne energije v proizvodnem procesu,

— osvajanje livarskih in gnetnih Al-zlitin,

— saniranje mikro in makro klimatskih razmer v tej proizvodnji,

— predelava in obdelava sekundarnih surovin,

— povečani učinek izkoriščanja odpadnih surovin (rdeče blato).

b) predelava aluminija

— predelava z valjanjem (uvredba konti valjalnega postopka),

— predelava s stiskanjem, vlečenjem, kovanjem Al-polproizvodov,

— osvajanje novih kaljivih zlitin.

Specifičnost v razvoju proizvodnje **bakra** v SRS je v dejstvu, da se zaradi pomanjkanja bakra iz primarnega izvora usmerja ML k sekundarnemu bakru in je odnos v razmerju potrošnje primarnega in sekundarnega bakra 35:65, proti jugoslovanskemu razmerju 85:15.

Tej zahtevi o specifičnem pridobivanju osnovne surovine je ML namenila zelo zahtevno in zaključeno tehnologijo predelave sekundarnih surovin, ki jih izkorišča do največje možne stopnje. Zaradi pomanjkanja bakra je v proizvodni program vključen tudi aluminij in cink, pri čemer se tudi za pridobivanje Al uporablja v velikem obsegu sekundarni Al, pridobljen iz odpadne kovine.

Značilnosti razvojnega programa so v naslednjem:

— program Cu I: razvoj proizvodnih skupin in tehnologije metalurške predelave bakra s pripravo surovin in odpadkov, talištvom, litjem,

stiskanjem, vlečenjem in kovanjem, vključno s stranskimi problemi (varstvo okolja, delovni pogoji itd.),

— program Cu II: razvoj proizvodnih skupin in tehnologije pri finalizaciji polfabrikatov v razne finalne izdelke,

— program Al: modernizacija predelave sekundarnega Al, optimizacija tlačnega litja.

Razen teh glavnih dejavnosti je predvideno razvijanje pomožnih in stranskih dejavnosti s poudarkom na izdelavi orodij, urejanju energetskih vprašanj, utrjevanju marketing pozicij itd.

Raziskovalna aktivnost mora predvsem iz potrebe po optimalnem izkoriščanju novih kapacitet iz navedenih programov slediti:

a) splošni in specifični metalurški predelavi bakra in optimizaciji procesa

— izboljšanju ekoloških pogojev,

— povečanim možnostim izkoriščanja filternih prahov,

— zahtevam po primernejši kvaliteti domačih peskov;

b) razvoju proizvodnih skupin in tehnologije pri finalizaciji polfabrikatov

— postopkom za čiščenje industrijskih voda,

— postopkom za ugotavljanje obrabnih trdnosti;

c) metalurški predelavi in finalizaciji Al

— možnostim ponovnega izkoriščanja žlindre in ostankov talilniške predelave Al,

— izboljšanju ekoloških pogojev,

— programskim potrebam vključitve v razvoj Al-kompleksa v SRS.

Trend razvoja ekstraktivne primarne proizvodnje **cinka** je usmerjen v hidrometalurške postopke pridobivanja in v velike kompleksne pirometalurške enote za pridobivanje cinka, svinca in ostalih prisotnih kovin v surovinah. Zaradi pomanjkanja domačih surovin in ekološko nesprejemljivih razmer je v cinkarni Celje usmerjen razvoj pridobivanja cinka v sekundarno proizvodnjo. Značilnosti celotnega razvojnega programa TOZD metalurgije cinka so v naslednjem:

a) usmerjenost v proizvodnjo žveplene kisline po najmodernejšem postopku dvojne katalize na bazi žvepla (zaostritev ekoloških pogojev)

— predelovanje ferosulfatnih odpadkov iz proizvodnje TiO_2 v H_2SO_4 ,

— predelava piritnih ogorkov.

b) predelava cinka

— izgradnja moderne tračne valjalne proge (izboljšanje kvalitete, opustitev paketnega valjanja),

— razširitev cinkovih polizdelkov.

c) proizvodnja keramičnih ognjeodpornih tuljav za gradbeno industrijo

— modernizacija tehnoloških postopkov.

Razvojne možnosti na področju metalurgije **svinca** pri rudniku Mežica sledijo splošnim tendencam, ki so obsežene v čim večji predelavi vseh vrst sekundarnih surovin, kompleksni predelavi surovin s ciljem pridobiti iz surovine čim več koristnega, v iskanju novih načinov predelave ali prisvajanju modificiranih obstoječih postopkov, intenzifikaciji in avtomatizaciji proizvodnje, izboljšanju delovnih pogojev in prilagajanju kvalitet proizvedenega svinca in zlitin potrebam za njihovo nadaljnjo predelavo.

Značilnosti v predvidenem razvoju so v naslednjem:

a) proizvodnja svinca in zlitin v višini 26.000 ton letno za zadostitev potrebam predelave v lastnih delovnih organizacijah svinčevih izdelkov

— aktivirati je treba do optimuma le sedanje metalurške naprave brez nesmotrnega povečanja,

— uvesti je potrebno avtomatizacijo in izboljšavo priprave vložkov za pražarno, bobnaste peči in visoke peči.

b) uporabljene surovine je potrebno prilagoditi po kvaliteti in razmerju proizvodnemu asortimentu: 2/3 svinca iz primarnih in 1/3 iz sekundarnih surovin

— pogoji nabave primarnih surovin so težki in treba bi bilo dolgoročno zagotoviti konstantno kvaliteto in količino,

— ni mogoče predelovati surovin, ki vsebujejo nekatere neželjene primesi zaradi neugodne lokacije topilnice in zaščite okolja,

— povečati je treba stopnjo predelave pridobljenega srebra in zlata, vsaj do anodnega srebra (če že ne do končne rafinacije z elektrolizo).

c) urediti je treba mikroklimo na vseh delovnih mestih do maksimalnih tehničnih možnosti:

— organizirati učinkoviti kontrolni sistem vstopnih surovin, medfaznih polizdelkov in končnih produktov.

Program razvoja **metalurgije v TD Rušah** temelji na:

— povečanju proizvodnje vseh kvalitet $FeSi$,

— povečani proizvodnji $FeCrC$,

— pridobivanju predlegur, modifikatorjev in kompleksnih dezoksidantov,

— proizvodnji $SiCa$,

— proizvodnji nekaterih plemenitih ferozlitin,

— proizvodnja kapacitete CaC_2 ostane na sedanji višini.

Značilnosti skupnega razvojnega programa so obsežene v naslednjem:

a) v največji meri izkoriščati domače surovine

— najti primerne kvarce bližje Rušam, ugotoviti njih zaloge in kvalitete,

— optimizirati pridobivanje in nadaljnjo pripravo kromovih koncentratov,

— povečati izkoriščanje odpadnih in sekundarnih produktov iz proizvodnje FeSi, FeCr,

— najti potrebne surovine za proizvodnjo predlegur,

— kvantificirati razpoložljive domače surovine za proizvodnjo nekaterih plemenitih kovin.

b) optimizirati in po potrebi uvesti nove tehnološke postopke, avtomatizacijo

— ovrednotiti kvaliteto reductentov in njih reaktivnost,

— prilagoditi tehnologijo (kjer je to potrebno) novim postopkom v proizvodnji jekel,

— pripraviti proizvodne postopke za pridobivanje predlegur,

— podrobno proučiti in osvojiti najprimernejšo tehnologijo izdelave SiCa,

— ugotoviti specifičnost v zvezi z izborom programa proizvodnje plemenitih ferozlitin.

c) razširitev uporabe in predelave kalcijevega karbida

d) izboljšanje ekoloških razmer.

LIVARSTVO

Srednjeročni programi razvoja livarstva v večjih slovenskih livarnah predvidevajo znatno povečanje proizvodnje ulitkov, pri čemer je določen delež namenjen kritju potreb v lastni, oziroma sestavljeni DO, znaten delež je namenjen razširitvi asortimenta, določen delež je namenjen za izvoz.

Specifičnost programov je v določeni meri zasnovana na teh ugotovitvah:

— tržišče zahteva vedno več ulitkov boljše kvalitete, oziroma novih kvalitet (industrija motornih vozil, gospodinjske opreme, elektro industrija, industrija težkih strojev, v transportu, rudnikih, gradbeništvu, atomske — in hidrocenrale),

— integracijski procesi omogočajo specializacijo proizvodnje, med večjimi livarnami prihaja do delitve programa,

— obstaja velika možnost izvoza, posebno na konvertibilno področje. Zato se mora kvaliteta prilagoditi nivoju industrijsko razvitih dežel, kar terja usmerjeno in kompleksno raziskovalno delo.

Značilnost bodočega razvoja **jeklolivarn** je v:

— osvojitvi tehnologije izdelave najtežjih odlitkov: deli turbin, deli za ladjedelništvo, za metalurške agregate,

— povečani proizvodnji srednje težkih in težkih odlitkov za viličarje, preše, turbine, atomske centrale, raznih delov strojegradnje,

— osvajanju vrste specialnih zlitin,

— povečani proizvodnji odlitkov teže 0,5 kg do 5 t, in to: armatur, ulitkov za hidravliko, vrtnalne garniture, gosenične verige, v osvajanju trde litine.

Značilnost razvoja **sivih livarn** je v:

— osvajanju novih tipov valjev, povečani proizvodnji odlitkov sive in nodularne litine za motorno in avtomobilsko industrijo (bloki, karterji, tankostenski odlitki), traktorsko industrijo, za potrebe elektro industrije, v proizvodnji delov za vozila, gradbene elemente, v osvajanju kompletnih strojnih delovnih objektov itd.

Značilnost razvoja **livarn barvnih kovin** je v:

— povečani proizvodnji ulitkov iz Al, Cu in njihovih zlitin za potrebe transporta, strojne industrije, elektrotehnike, gradbeništvu, kemijske in prehranske industrije, embalaže itd.,

— osvajanju in proizvodnji raznih armatur, grelnih teles,

— osvajanju novih zlitin.

Po navedenih splošnih mislih o vlogi raziskovalnega dela za metalurške potrebe in kratkem pregledu razvojnih programov s popisom značilnosti usmeritve moremo definirati pripadajoča raziskovalna področja, ki predstavljajo za realizacijo razvojnih zadolžitev v ekstraktivni, predelavi in finalizaciji ključne postavke in tako sestaviti zanesljive raziskovalne projekte z večletno veljavo.

Sodelavci: Slovenske železarne

Unial, Maribor

Cinkarna Celje

Mariborska livarna, Maribor

Tovarna dušika Ruše,
TOZD Metalurgija

Rudnik svinca in topilnica Mežica,
TOZD Topilnica

Litostroj Ljubljana, TOZD Jeklo in
siva livarna

Železarna Ravne, TOZD Jeklolivarna

Železarna Jesenice,
TOZD Jeklolivarna

Železarna Štore, TOZD livarna

SŽ — Metalurški inštitut Ljubljana

Učinek uporabe procesnega računalnika v procesu legiranja jekla

UDK: 669.168.1.31,65.011.51
ASM/SLA: U4k, X14, D5, A5f, 1-54, 18-74

Jože Šegel

Neposredna uporaba procesnega računalnika in matematičnih metod optimiranja v procesu legiranja ima izreden ekonomski in kakovostni učinek. Kljub temu, da so razmere v jeklarni za uporabo računalnika vse prej kot idealne, lahko dosežemo znatne prihranke pri porabi ferolegur, izboljšamo lahko enakomernost končne kemijske sestave in znižamo odstotek kemijsko zgrešenih šarž.

Pričujoči članek spada v serijo člankov, ki so ali še bodo objavljeni v Železarskem zborniku na temo »uporaba procesnega računalnika v elektro-jeklarni« in opisuje izkušnje Železarne Ravne na tem področju.

MATEMATIČEN MODEL OPTIMIZACIJE IZRAČUNA DODATKA FEROLEGUR

Za celoten koncept uporabe procesnega računalnika v jeklarni je značilno, da se je treba posluževati različnih matematičnih metod optimiranja. Pri izračunu dodatka ferolegur še posebej izstopa kombinacija uporabe metod linearnega programiranja in statističnih regresijskih enačb.

Ciljna funkcija linearnega programa so minimalni stroški:

$$g = f(S_1, S_2, S_3, \dots, S_n) \Rightarrow \min. \text{ ali} \quad (1)$$

$$g = \sum_{j=1}^n C_j \cdot X_j \Rightarrow \min \quad (2)$$

pri čemer pomeni S_1, S_2, S_3, \dots strošek dodatka posamezne komponente legiranja

(C_j = cena, X_j = količina j -te komponente).

Omejitev linearnega modela je predpisana končna kemijska sestava jekla, ki ima za en kemijski element naslednjo obliko:

$$SM_{el} \leq VP + IZ_{el} \cdot \sum_{i=1}^n (d_i \cdot X_i) \leq ZM_{el} \quad (3)$$

SM_{el} = zahtevana spodnja meja za element (kg/t)

ZM_{el} = zahtevana zgornja meja za element (kg/t)

VP = vsebnost elementa v talini pred legiranjem (kg/t)

Jože Šegel, dipl. inž. met.: vodi službo za organizacijo in avtomatizacijo proizvodnih procesov v Železarni Ravne

IZ_{el} = izkoristek elementa pri legiranju
 d_i = delež elementa v i -t feroleguru (kg/t)
 X_i = količina i -t ferolegure (kg/t)

Pri obravnavanem modelu mora biti vsota vseh elementov v jeklu enaka 1 toni:

$$d_{lit} \cdot \sum_{j=1}^n IZ_{el-j} \cdot \sum_{i=1}^m (d_{i,j} \cdot X_{i,j}) \leq 1000 \quad (4)$$

d_{lit} = izplen litja

Dodatne omejitve linearnega modela optimiranja so razpoložljive količine posameznih surovin (enačba 5) in obvezno jemanje surovin zaradi tehnoloških razlogov (enačba 6):

$$X_{su,i} \leq Q_{su,i} \quad (5)$$

$$d_{su,i} \leq X_{su,i} \leq D_{su,i} \quad (6)$$

$d_{su,i}$ = minimalen dodatek i -t ferolegure (kg/t)
 $D_{su,i}$ = maksimalen dodatek i -t ferolegure (kg/t)
 $X_{su,i}$ = dodatek i -t surovine (kg/t)
 $Q_{su,i}$ = razpoložljiva količina i -t ferolegure (kg/t)

Predpisana (zahtevana) kemijska sestava in tehnološko predpisani dodatki se med jekli razlikujejo. Zato je tudi dimenzija matrike, ki nastopa v linearnem programu, spremenljiva. Matrika je velika tudi do 30 vrstic \times 80 kolon in razvita iz zgoraj opisanih neenačb (1 do 6).

Osnovnemu linearnemu matematičnemu modelu je dodan statističen model v obliki večkomponentnih nelinearnih regresijskih enačb, ki pojasnjujejo zakonitosti v procesu izdelave jekla in povečujejo matematično determiniranost procesov in zanesljivost izračunov.

Regresijske enačbe (7) je mogoče poiskati s pomočjo obstoječih računalniških programov in podatkov iz proizvodnje. Za izračun dodatka ferolegur ima enačba izplena posameznega legiranega elementa naslednjo obliko:

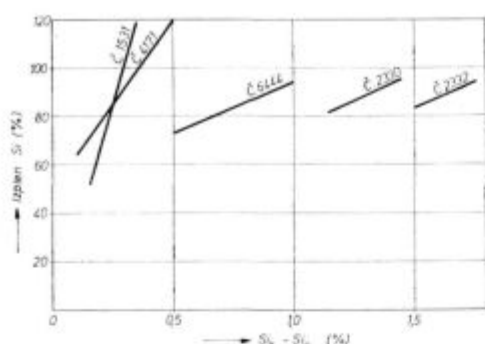
$$Izplen = A_0 + A_1 \cdot \% C_{pr} + A_2 \cdot \% ME_{pr} + A_3 \cdot (\% ME_{ko} - \% ME_{pr}) + A_4 (\% ME_{ko} - \% ME_{pr})^2 \quad (7)$$

kjer pomeni:

A_0, A_1, A_2, A_3, A_4 = koeficient regresijske enačbe

$\% C_{pr}$ = vsebnost ogljika pred legiranjem (%)

$\% ME_{pr}$ = vsebnost metala v predpreizkušancu (%)



Slika 1
Izplen silicija pri različnih skupinah jekla
Fig. 1
Yield of silicon in various steel groups

$\% ME_{ko}$ = ciljana končna vsebnost metala v jeklu (%)

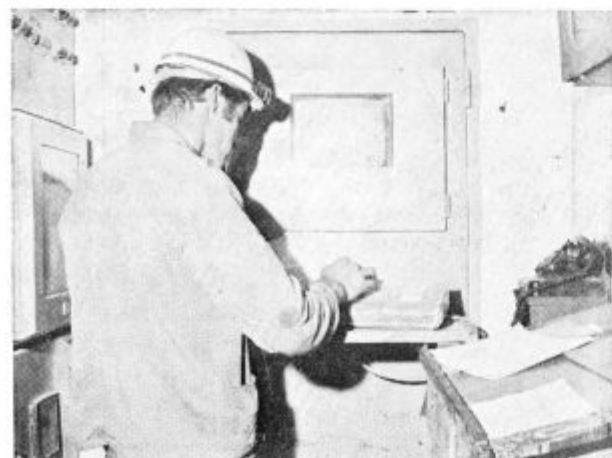
Slika 1 prikazuje odvisnost izplena silicija od porasta vsebnosti silicija med legiranjem. Za posamezne predstavnike skupin jekel so vrisane preme, ki ponazarjajo linearne regresijske enačbe:

$$Izplen_{Si} = A_0 + A_3 \cdot (\% Si_{ko} - \% Si_{pr}) \quad (8)$$

Iz splošnejše enačbe (7) smo dobili za izplen silicija razmeroma preprosto regresijsko enačbo. Za druge legirne elemente imajo regresijske enačbe drugačne oblike, vendar vse v okviru splošne enačbe (7).

Matematično statistični model regresijskih enačb, ki so mu dodane praktične izkušnje v obliki omejitev, je dinamičen, saj je koristno in potrebno občasno iskati nove regresijske enačbe, ki pojasnjujejo novosti v tehnološkem procesu. V Železarni Ravne je že izdelana II. in za nekatera jekla III. generacija regresijskih enačb izplenov.

V regresijsko enačbo so vključeni poleg izplena tudi drugi korekturni parametri, kot sistematične napake teže vložka, kemijska analiza in podobno. Zato izraz izplen ni povsem točen in pride do tega,



Slika 2
Talilec pri uporabi video terminala
Fig. 2
Smelter using video terminal

da dajo enačbe včasih tudi preko 100 % »izplen«. V takšnih primerih seveda ne gre za izplen, temveč le za korekcijski faktor.

Način uporabe računalnika

Z računalniškega vidika je uporabljen on-line open loop model (enolinijski model odprte zanke). To je model neposredne uporabe računalnika v toku proizvodnega procesa, pri katerem gredo informacije iz računalnika do človeka in ne direktno v proces.

Delovodja ali talilec pokliče računalniški program »LEGI« za izračun dodatka ferolegur preko video terminala (slika 2). Pokliče ga lahko kadarkoli. Običajno je to takrat, ko je pri ročnem izračunavanju pristopil k uporabi logaritmičnega računalja. Izračun lahko po potrebi večkrat ponovi.

```
----/LEGI
IZRAČUN DODATKA FEROLEGUR 24-SEP-78 12:05
SARŽA ? 22420
JEKLO ? ECM0100
```

CILJANA KEMIJSKA SESTAVA JEKLA: ECM0100

EL.	CILJ,%	ANAL.	PREDPIS	ENAC.
C	0.210	0.180	0.230	3.
S	0.035MAX	0.000	0.035	1.
SI	0.320	0.150	0.400	4.
CR	1.200	1.100	1.400	2.
CU	0.350MAX	0.000	0.350	1.
MN	1.040	0.900	1.200	4.
MO	0.235	0.200	0.300	2.
P	0.035MAX	0.000	0.035	1.
NI	0.300MAX	0.000	0.300	1.

PREDPISANA TEMPERATURA IZLIVA: ...1650.
IZPLEN VLOZKA(%): 90.00

PREDPISANI DODATEK KG/T:
MATERIAL V PEC V PON.
ALZV 1.35 0.40
CASI 0.00 1.50

ALI ZELIS POPRAVITI VREDNOSTI - D/N ? N

SKUPAJ SARŽIRANO /KG/ ? 47000

KEMIJSKA SESTAVA PREDPROBE:

- 1 C ? 0.12
- 2 S ? 0.025
- 3 SI ? 0.01
- 4 CR ? 0.42
- 5 CU ? 0.28
- 6 MN ? 0.40
- 7 MO ? 0.19
- 8 P ? 0.032
- 9 NI ? 0.08

Legenda:

— vtipka delovodja

ALI ZELIS POPRAVITI VREDNOSTI - D/N ? N

V NAPREJ DODANO PO PREDPROBI:

1 NAZIV ?

Slika 3
Dialog računalnik-talilec pri vnosu podatkov za izračun dodatka ferolegur

Fig. 3
Dialog between the computer and the smelter in data input for the calculation of ferroalloy additions

SARZA: 72420 JEKLO: ECM100 CAS: 12:07 DATUM: 24-SEP-78

MATERIAL		DODATI KG	ZE DODANO KG	STROSKI
ALZV		58.		1229.60
ALZV	V PONOVCU	16.		339.20
CASI	V PONOVCU	63.		2142.00
FENO		35.		7350.00
FECRA		31.		666.50
FECRC		431.		6120.20
SINH		477.		4626.90
SICR		97.		1503.50

SKUPAJ: 1208. 23977.90

TEZA VLOZKA 47000.
 TEZA SARZE V PONOVCU BO 43268.
 STROSKI LEGIRANJA (DIN/KG) 0.55
 PADEC TEMPERATURE PRI LEGIRANJU ... 55.

	DODANO KG	PREDPR.	IZRACZ	CILJ	ANAL.	PREDPIS	IZPLEN
C	37.59	0.120	0.210	0.210	0.180	0.230	106.671
S	0.02	0.025	0.024	-0.035	0.000	0.035	100.000
SI	160.10	0.010	0.320	0.320	0.150	0.400	83.840
CR	347.92	0.470	1.200	1.200	1.100	1.400	92.090
CU	0.03	0.280	0.274	-0.350	0.000	0.350	100.000
MN	316.63	0.400	1.040	1.040	0.900	1.200	88.678
MO	25.11	0.190	0.235	0.235	0.200	0.300	84.847
P	0.01	0.032	0.031	-0.035	0.000	0.035	100.000
NI	0.00	0.080	0.078	-0.300	0.000	0.300	100.000
FE			96.587	IZRAVNAVA			

ALI BOŠ IZRACUN UPORABIL PRI LEGIRANJU - D/N ? D

Slika 4
 Rezultat izračuna dodatka ferolegur
 Fig. 4
 Result of calculation of ferroalloy addition

To pride v poštev takrat, kadar želi zaradi priprave ferolegur dobiti orientacijski izračun. Klicanje programa »LEGI« pri predlegiranju je samostojno in se od končnega legiranja loči v toliko, da je pred nazivom jekla črka P (predlegiranje). Za to novo oznako jekla ima računalnik pripravljen povsem samostojen model izračuna dodatka ferolegur.

Delovodja vtipka v video terminal po načelu vprašanje — odgovor osnovne vhodne podatke:

- številko šarže,
- oznako jekla,
- težo vložka in
- kemijsko sestavo zadnjega predpreizkušanca.

Kot kaže slika 3, je mogoče v primernem trenutku začasno prilagoditi računalniški model izračuna posebnim zahtevam ali situacijam pri peči. Zniža ali poviša se ciljana kemijska sestava posameznega elementa, prepove ali vsili se dodatek

določene ferolegure itd. Takšne manipulacije pri legiranju nastopajo razmeroma redko. V Železarni Ravne je v teku projekt direktne povezave procesnih računalnikov v kemijskem laboratoriju z glavnim računalnikom jeklarne. Ta povezava bo omogočila neposreden prenos kemijske analize predpreizkušanca v program »LEGI« in se bo s tem ročno vtipkavanje podatkov skrajšalo.

Na sliki 4 je prikazan rezultat izračuna dodatka ferolegur. Razdelimo ga lahko v dva dela:

— V prvem delu so izpisani podatki, koliko posameznih ferolegur je potrebno vreči v peč ali ponovcu. Dopisani so tudi stroški legiranja.

— V drugem delu so podrobnejši podatki izračuna. Podatki povedo: koliko čistega legiranega elementa bo dodano (DODANO KG), kemijska analiza predpreizkušanca (PREDPR.), računski končni kemijski analiza (IZRAC %), ciljana kemijska analiza (CILJ), analizi predpis (ANAL. PREDPIS) in izračunan izplen elementa (IZPLEN).

Rezultat izračuna se shrani v eksterni računalniški spomin in ga je mogoče kasneje vrniti nazaj na video terminal. Poleg tega se rezultat izračuna zaradi dokumentacije in kasnejših analiz izpiše na papir glavnega terminala jeklarne. Vsi pomembnejši podatki iz računalnika se beležijo na ta terminal, ki predstavlja istočasno tudi rezervni terminal za primer izpada video terminala.

Uporaba računalniškega izračuna dodatka ferolegur je za delovodje ali talilce **neobvezno**. Delovodja se sam odloči, ali bo izračun uporabil v celoti ali samo delno, kajti samo on ve, ali je šarža normalno vodena, on je vtikal v računalnik ključne podatke za izračun in je še vedno odgovoren za končno kemijsko analizo jekla.

POSTOPEK UVAJANJA UPORABE PROCESNEGA RAČUNALNIKA

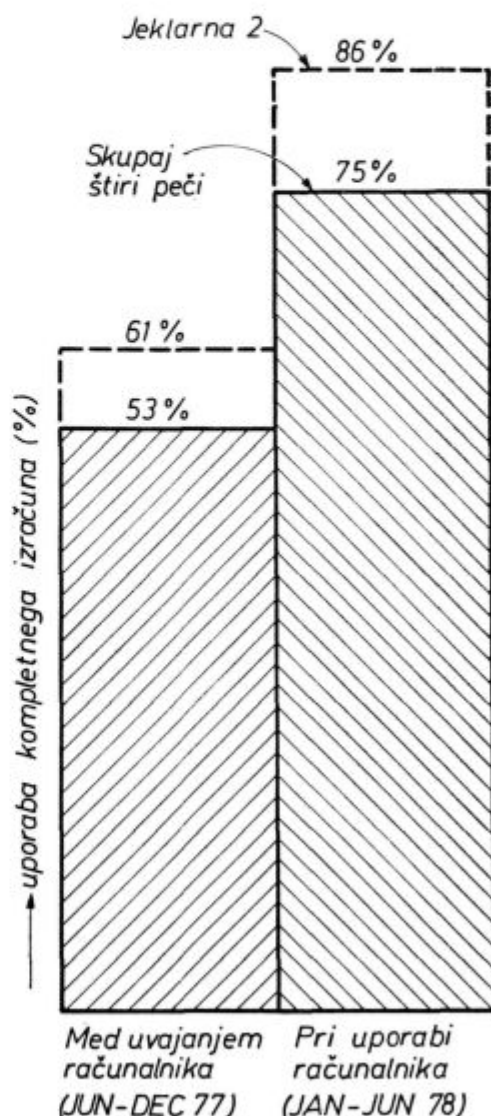
Za uvajanje izračuna dodatka ferolegur s pomočjo matematičnega modela in procesnega računalnika so značilne izredno zahtevne in obširne priprave. Priprava in umeritev matematičnih modelov izračuna dodatka ferolegur je povezana z obširnimi večkomponentnimi nelinearnimi analizami regresije. Takšna analiza je za podatke iz preko 3000 šaržnih kartonov izvedljiva praktično le s pomočjo večjega računalnika. Dela bi bilo še več, če v železarni ne bi izkoristili banke podatkov TKR na IBM računalniku, v kateri so shranjeni podatki o kemijski sestavi, mehanskih, metalografskih in drugih lastnostih izdelkov Železarne Ravne za obdobje več kot štirih let. V železarni se že več kot šest let pogosto uporablja računalnik pri matematično statističnih analizah, zato to delo ni bilo novo, vsekakor pa je bil nenavaden obseg analiz. Za preko 150 najbolj pogosto delanih jekel smo morali izdelati model izračuna dodatka ferolegur, pri čemer je potrebno usmeriti izračun vsakega legiranega elementa posebej. Med temi jekli je dobra tretjina takšnih, pri katerih nastopa dvakraten izračun dodatka ferolegur: predlegiranje in legiranje. Predlegiranje, ki zahteva posebne enačbe izplenov legirnih elementov in modelov izračuna dodatka ferolegur je sicer manj obsežno, vendar nič manj pomembno.

Skupaj s predlegiranjem je bilo potrebno pripraviti, umeriti in skrbno kontrolirati preko 800 modelov izračunov dodatka ferolegur. Pri tem predstavlja en model izračun dodatka več različnih ferolegur, za en legirni element in pri eni vrsti jekla. Tudi vseh 130 regresijskih enačb izplenov je bilo potrebno preveriti s testiranjem »za mizo«. Nekatere enačbe so se pokazale kot neuporabne in iskati je bilo potrebno nove. Še posebej intenzivna je bila kontrola modelov izračuna takoj po inštalaciji računalnika na Ravnah. V tem času je bil za vse delovodje in talilce organiziran tečaj uporabe računalnika pri legiranju. Da bi v modele izračunov dodatka ferolegur vgradili najboljši način le-

giranja, so bili v pripravljajna dela intenzivno vključeni izkušeni jeklarji.

Samo šest tednov po inštalaciji računalnika na Ravnah, to je 12. junija 1977, se je pričela na vseh štirih elektroobločnih pečeh neprekinjena uporaba računalnika pri legiranju in teče še danes, kar pomeni preko 13000 ur obratovanja računalnika. Računalnik dela 24 ur na dan in je delno izklopljen samo pri preventivnem vzdrževanju. Delovodja in talilci se poslužujejo računalnika neposredno sami, brez posredovanja računalniškega operaterja, ki dela tako samo na eno izmeno.

Naslednje tri mesece ni bila uvedena nobena druga aplikacija uporabe računalnika v jeklarni, kajti vsa pozornost je veljala neprekinjeni kontroli uporabe računalnika pri legiranju. Tudi javljanje rezultatov analiz preizkušancev iz kemijskega laboratorija se je na računalnik uvedlo kasneje.



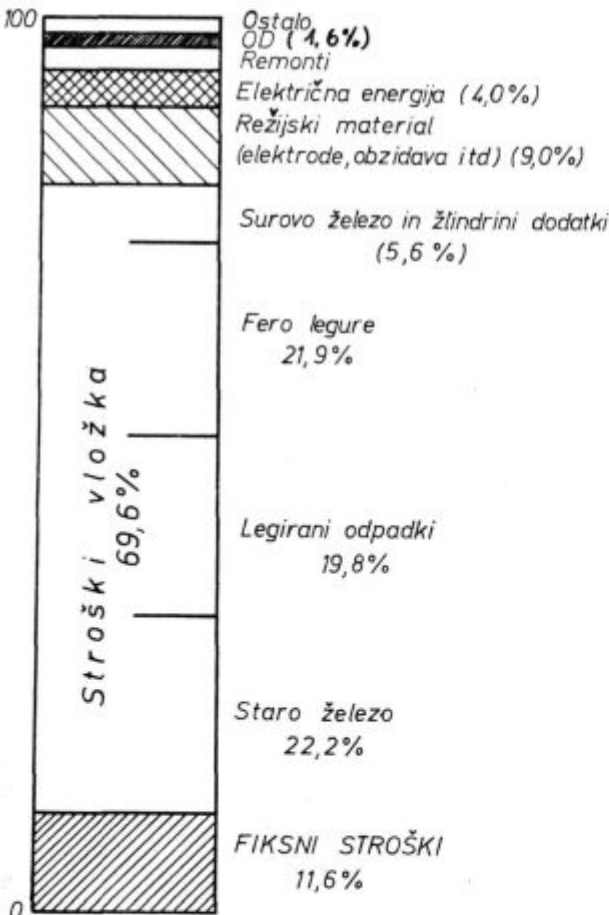
Slika 5
Pogostost uporabe kompletnega računalniškega izračuna
Fig. 5
Frequency of application of the complete computer system

To je takrat, ko je bila uporaba računalnika za legiranje osvojena in je postala sestavni del procesa izdelave jekla.

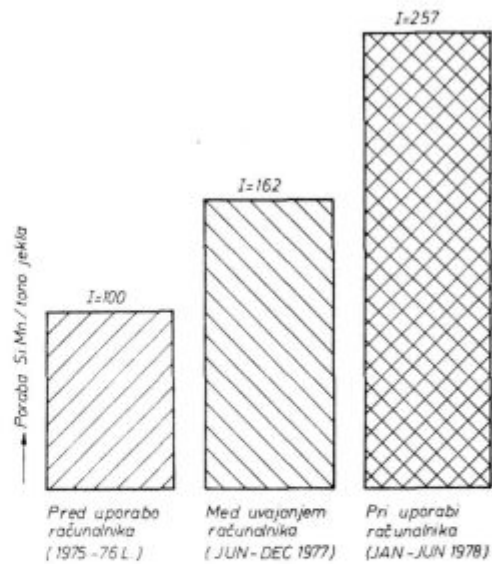
Eno od možnih meril uspešnosti uporabe računalnika pri legiranju je pogostost uporabe kompletnega računalniškega izračuna za dodatek ferolegur. V nekaterih ameriških jeklnah² se pogostost uporabe kompletnega izračuna giblje pri ogljikovih in nizko legiranih jeklih med 60 in 70 odstotkov. V Železarni Ravne (slika 5) je povprečna uporaba kolpletnega izračuna za vse vrste jekla in štiri peči enaka 75 %, samo za ogljikova in nizkolegirana jekla pa je 86 %. Na sliki 5 je prikazan tudi povprečen odstotek uporabe kompletnega izračuna med uvajanjem uporabe procesnega računalnika.

Sprememba strukture porabe ferolegur

V jeklni so stroški ferolegur v primerjavi z ostalimi stroški izredno visoki. Zato imajo spremembe strukture v porabi ferolegur močan vpliv na skupne stroške izdelave jekla. Na sliki 6 vidimo, da predstavljajo v železarni Ravne stroški ferolegur povprečno kar 22 % vseh stroškov surovega jekla. Zato ima znižanje porabe in spremem-



Slika 6
Struktura stroškov izdelave surovega jekla
Fig. 6
Cost structure in manufacturing raw steel



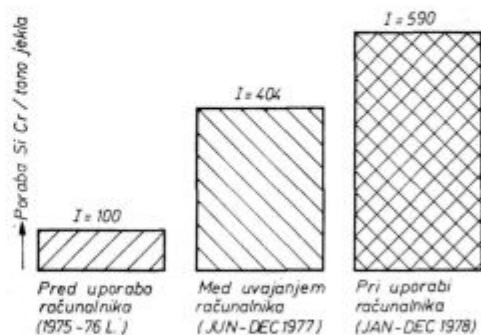
Slika 7
Povečanje porabe SiMn/tono jekla
Fig. 7
Increased consumption of SiMn per ton steel

ba struktur porabe ferolegur izredno močan ekonomski učinek. Razmeroma drag krom v FeCr suraffinē in mangan v FeMn suraffinē želimo, kolikor je le mogoče, zamenjati z večjo porabo cenejšega kroma v FeCr carburē in SiCr ter mangana v SiMn in FeMn carburē.

Neposreden učinek uporabe linearnega programiranja in procesnega računalnika na spremembo strukture porabe dragih in cenenih ferolegur nam kažejo slike od 7 do 12.

Na sliki 7 vidimo povečanje povprečne porabe SiMn/tono jekla. Indeks (I) porabe te ferolegure je narastel iz 100 pred uporabo računalnika na 257. To pomeni, da se je povprečna poraba te ferolegure povečala za 2,6 krat.

SiCr se je pred uvedbo računalnika uporabljal zelo redko in v glavnem le takrat, kadar je bil predpisan s tehnološkim procesom. Slika 8 kaže skoraj 6 kraten porast povprečne porabe SiCr/tono jekla. Že med uvajanjem se je poraba dvignila 4 krat. Tako močna sprememba porabe SiCr je za

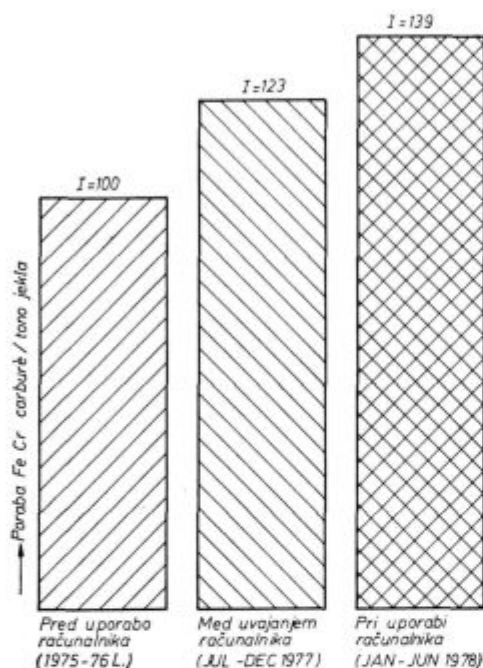


Slika 8
Povečanje porabe SiCr/tono jekla
Fig. 8
Increased consumption of SiCr per ton steel

vsakdanjo prakso zelo nenavadna in povezana z zaskrbljenostjo, ali bo res vse v redu. Pokazalo se je, da je bila zaskrbljenost odveč.

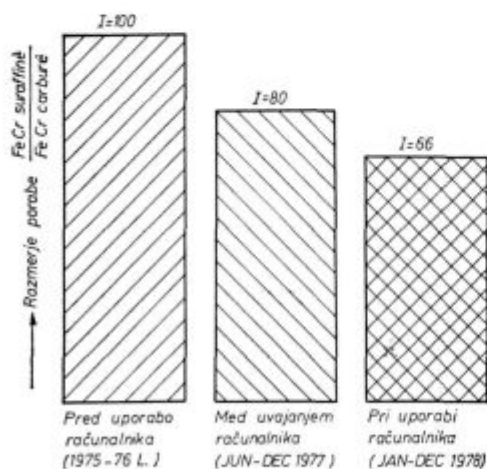
Tudi poraba FeCr carburè se je povečala, vendar le za 40 %. Onstotek sicer ni tako velik, vendar je to razumljivo, saj je bila poraba FeCr carburè pred uvedbo računalnika neprimerno večja kot poraba SiMn in SiCr (slika 9).

Na porabo ferolegur vpliva proizvodni program, zato je za objektivnejšo sliko primerno vzeti daljše obdobje in analizirati, kakšna je sprememba porabe drage ferolegure v primerjavi s porabo



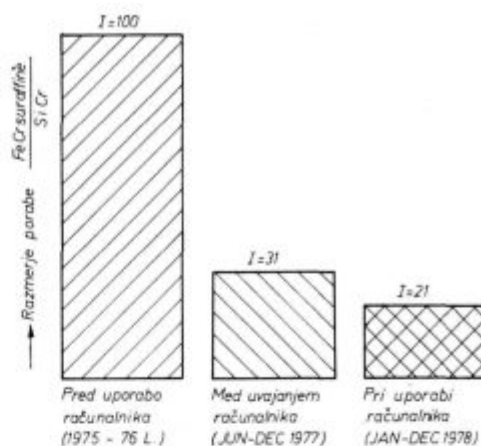
Slika 9
Povečanje porabe FeCr carburè/tono jekla

Increased consumption of FeCr carburè per ton steel

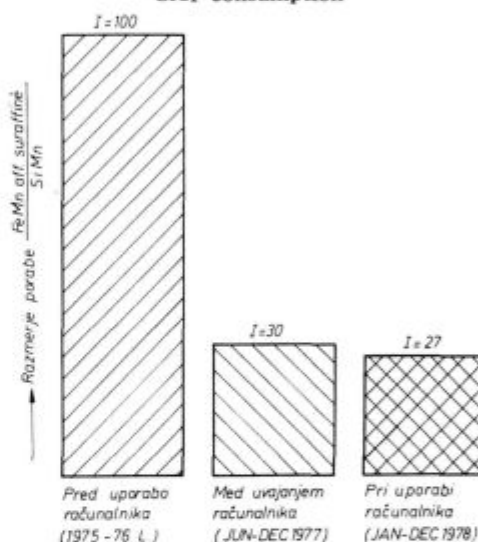


Slika 10
Znižanje porabe FeCr surrafinè v primerjavi s porabo FeCr carburè

Reduced consumption of FeCr surrafinè compared to FeCr carburè consumption



Slika 11
Znižanje porabe FeCr surrafinè v primerjavi s porabo SiCr
Fig. 11
Reduced consumption of FeCr surrafinè compared with SiCr consumption



Slika 12
Znižanje porabe FeMn aff + surrafinè v primerjavi s porabo SiMn
Fig. 12
Reduced consumption of FeMn aff + surrafinè compared with SiMn consumption

cene ferolegure. Na to razmerje imajo spremembe proizvodnega programa manjši vpliv.

Razmerje porabe FeCr surrafinè/FeCr carburè je prikazano na sliki 10. Že med uvajanjem je bilo prvič porabljen na mesec več FeCr carburè kot FeCr surrafinè. Razmerje se je v korist znižanja porabe drage ferolegure in povečanja porabe cene ferolegure znižalo za 34 %.

Kot kaže slika 11, se je razmerje porabe FeCr surrafinè/SiCr znižalo kar za 5 krat! To lahko pripišemo predvsem izrednemu povečanju porabe SiCr. Podoben učinek vidimo na sliki 12 pri spremembi razmerja FeMn aff + surrafinè/SiMn. Že med uvajanjem je opazen takojšen učinek uporabe računalnika in linearnega programiranja, saj se je razmerje med omenjenima ferolegurama spremenilo za 2/3 v korist znižanja porabe drage ferolegure v primerjavi s porabo cenejšega SiMn.

**POVEČANJE ENAKOMERNOSTI
KEMIJSKE SESTAVE IN ZNIŽANJE
ODSTOTKA KEMIJSKO ZGREŠENIH ŠARŽ**

Uporaba računalnika pri legiranju učinkuje na porazdelitve vsebnosti posameznih kemijskih elementov na več načinov:

a) S spremembo lege porazdelitve v ugodnejše področje:

- se zniža odstotek kemijsko zgrešenih šarž,
- zniža se povprečna vsebnost elementa in
- regulirajo se lahko nekatere lastnosti jekla.

b) S samo zožitvijo porazdelitve se zniža odstotek kemijsko zgrešenih šarž. Kakovost jekla je enakomernejša.

c) Zožitev in premaknitev porazdelitve v ugodnejše področje je najučinkovitejše, vendar ne vselej izvedljivo.

Zožitev porazdelitve se mora najprej zanesljivo dokazati in če je dovolj velika, sledi sprememba lege porazdelitve. Kadar širina porazdelitve ne dovoljuje spreminjati lego porazdelitve znotraj predpisane kemijske sestave, se zadovoljimo s tem, da ciljamo pri izračunu dodatka ferolegur v sredino

analiziranega predpisa in tako znižamo odstotek zgrešenih šarž na stvarni minimum.

Ugotavljanje dejanske porazdelitve posameznega elementa za vsako vrsto jekla posebej je povezano z obdelavo velikega števila podatkov. Obdelava podatkov mora biti dinamična. Ko je na razpolago dovolj podatkov, sledi analiza porazdelitve in analiza možnosti premaknitve porazdelitve v ugodnejše področje. V Železarni Ravne opravlja večino tega dela IBM 370 računalnik. S pomočjo posebnega programa obdelava vse končne kemijske analize in izpiše predloge za spremembo ciljne kemijske sestave. Primer takšnega izpisa kaže slika 13. Računalnik išče možnost spremembe ciljne kemijske sestave bližje spodnji predpisani meji, kar pa kljub predlogu ni vedno izvedljivo, saj lahko pri nekaterih jeklih s pretiranim nižanjem vsebnosti vseh legirnih elementov ogrozimo druge lastnosti jekla.

V nadaljevanju bo opisan za vse pomembnejše legirne elemente, skupine jekel in tehnologije izdelave, učinek uporabe računalnika. Za primerjavo sta vzeti dve obdobji:

— obdobje pred uporabo računalnika (leto 1975 in 1976) in

ŽELEZARNA RAVNE

KEM110A

DATUM: 01.08.78

PREDLOG SPREMEMBE CILJANE KEMIJSKE SESTAVE

JEKLO : Čo 4172 PROKRo 3

KODA - 8005

1o ANALIZNI PREDPIS: 12,000 - 14,000 %CR

2o STATISTIČNI PODATKI:

ŠTEVILO ŠARŽ	N=	30	
SREDNJA VREDNOST	X=	13,0265	
STANDARDNA DEVIACIJA	S=	0,2455	
SPODNJA MEJA (X-1,96*S)	=	12,5453	(X-3*S)= 12,2900
ZGORNJA MEJA (X+1,96*S)	=	13,5076	(X+3*S)= 13,7630

3o NA OSNOVI STAT. ANALIZE PREDLAGAMO SPREMEMBO CILJANE VREDNOSTI:

CILJANO VREDNOST ZMANJŠATI PRI 95% SIGURNOSTI ZA: 0,545

PRI 99,9% SIGURN. ZA: 0,290

Slika 13
Predlog spremembe ciljne kemijske sestave
Fig. 13
Proposal for changed aimed chemical composition

— pri 6-mesečni uporabi računalnika (od jan. do jun. 1978).

Za nekatere elemente in jekla je bilo premalo časa in izdelanih premalo šarž, da bi lahko bila pri zoženih porazdelitvah tudi že izvršena premaknitev porazdelitve v ugodnejše področje. Na slikah 1 do 19 je s puščico označeno, da je bil dobljen predlog spremembe ciljane kemijske sestave.

Ogljik

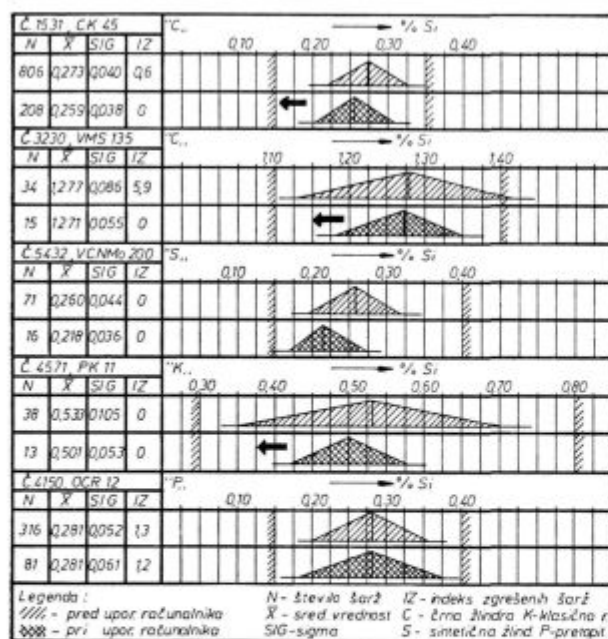
Spremembe porazdelitve vsebnosti ogljika pri uvedbi računalnika so vidne predvsem v ugodni spremembi lege porazdelitve. Pri nekaterih jeklih je ta sprememba lege porazdelitve vzrok občutnemu znižanju odstotka zgrešenih šarž.

Pri ogljiku ni dosežena, ne glede na vrsto tehnologije ali skupine jekla, pomembna zožitev porazdelitve.

Računalnik lahko uporabljamo le za spremembo lege porazdelitve, ki pa daje glede na velikost standardne deviacije razmeroma majhen manevrski prostor, uporabljen predvsem za zmanjšanje odstotka zgrešenih šarž in manj za izboljšanje mehanskih in drugih lastnosti jekla.

Silicij

Za silicij so dobljeni različni učinki uporabe računalnika, odvisno od povprečne vsebnosti elementa in tehnologije izdelave jekla (slika 14). Porazdelitev se je zožila pri vseh predstavnikih, razen pri jeklu Č 4150, ki se dela po pretalivnem postopku. Posebej ugodno izstopa jeklo Č 3230 in Č 4571. Prvo jeklo se dela na »črno žilindro« in ima



Slika 14

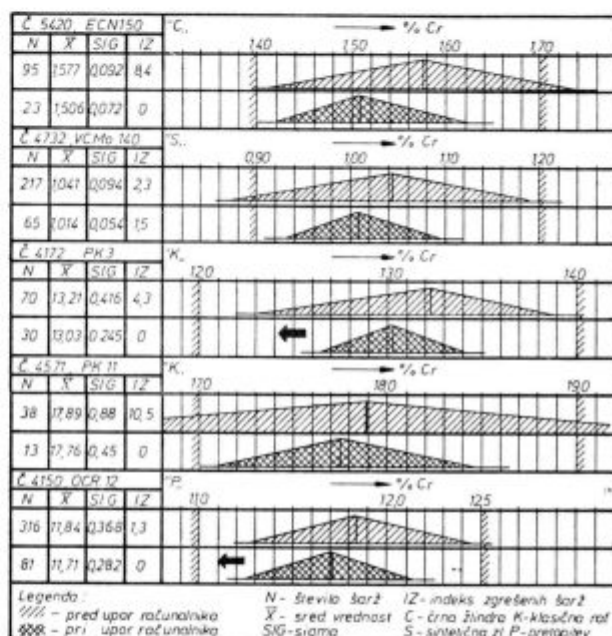
Sprememba porazdelitve vsebnosti silicija učinka uporabe procesnega računalnika.

Fig. 14

Changed distribution of silicon content

razmeroma visok predpisan odstotek silicija. Drugo jeklo se dela po klasični rafinaciji. Za obe vrsti jekla je značilen visok koeficient determinacije in kvalitetne regresijske enačbe izplena. Zato je izračun dodatka silicijevih ferolegur natančnejši in zanesljivejši. Lego porazdelitve lahko premaknemo bližje spodnji meji s spremembo ciljane kemijske sestave v modelu izračuna dodatka silicija. Kako je razmeroma ozka porazdelitev vsebnosti silicija pomaknjena bližje spodnji meji, vidimo na sliki 14 za jeklo Č 5432. Pri tem jeklu lahko smatramo, da je dobil model izračuna dodatka silicija »končno« obliko, ki se lahko spremeni le, če se bistveno spremeni standardna deviacija.

Občutno se je znižal odstotek zgrešenih šarž pri jeklu Č 3230.



Slika 15

Sprememba porazdelitve vsebnosti kroma

Fig. 15

Changed distribution of chromium content

Krom

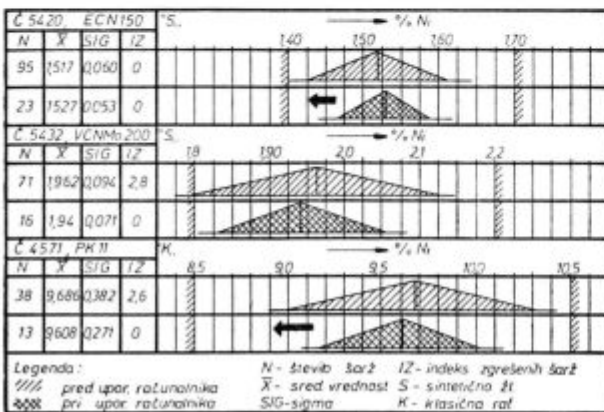
Za 20 do 50 % zoženje porazdelitve vsebnosti kroma kaže na izredno pozitiven učinek računalnika (slika 15). Očitno je močno znižanje odstotka kemijsko zgrešenih šarž in premaknitev ali možnost premaknitve lege porazdelitve bližje spodnji predpisani meji. Kar pri štirih od petih obravnavanih jekel je padel odstotek zgrešenih šarž na nič. To je še posebej pozitivno pri jeklih, ki so imela pred uporabo računalnika zelo visok indeks (IZ) zgrešenih šarž. Pri vseh obravnavanih jeklih je bila že dosežena delna premaknitev srednje vrednosti k nižjim vsebnostim elementa, vendar še niso izkoriščene vse možnosti, saj lahko npr. pri Č 4172 in Č 4150 še znatno znižamo povprečno koncentracijo kroma. Krom je tipičen primer možnosti, ki jih daje uporaba procesnega računalnika.

Dosežena je:

- sprememba lege porazdelitve,
- zožitev porazdelitve in
- kombinacija zožitev in spremembe lege porazdelitve (Č 4571).

Nikelj

V vseh primerih je dosežena pomembna zožitev porazdelitve in znižanje odstotka kemijsko zgrešenih šarž. Znižanje povprečne vsebnosti je doseženo pri jeklu Č 5420 in Č 4571. Dodatno je mogoče znižati vsebnosti razmeroma dragega niklja pri jeklih Č 4571 in Č 5420 (slika 16).



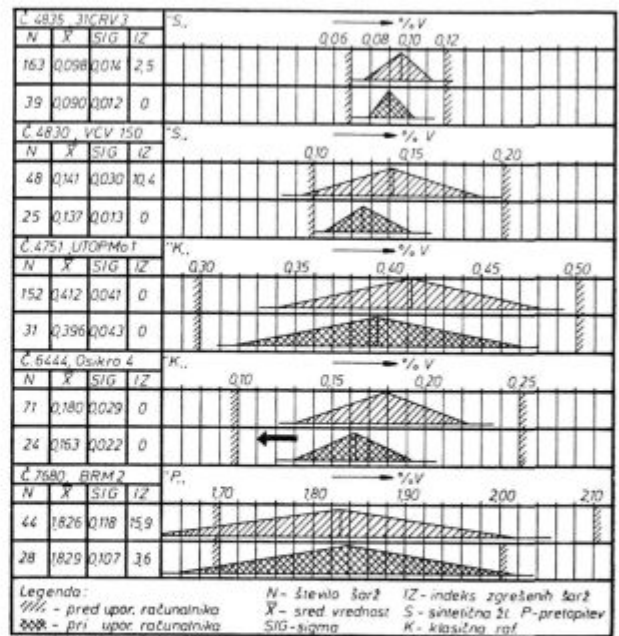
Slika 16
Sprememba porazdelitve vsebnosti niklja
Fig. 16
Changed distribution of nickel content

Vanadij

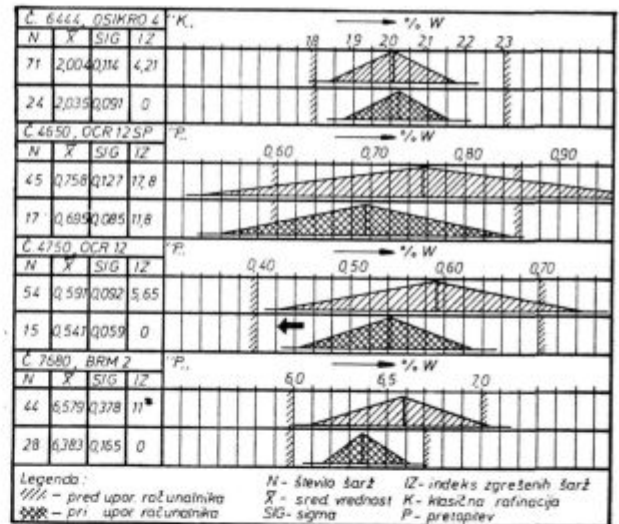
Podobno kot pri ostalih elementih lahko na sliki 17 vidimo izredno učinkovito zoženje porazdelitve, znižanje odstotka zgrešenih šarž in znižanje povprečne vsebnosti vanadija. Povprečna vsebnost vanadija se ni znižala pri Č 7680, kajti pri tem jeklu, kakor tudi pri Č 4830 je bilo treba najprej doseči znižanje odstotka zgrešenih šarž. To je bilo doseženo v obeh primerih. Lege porazdelitve pri jeklu Č 7680 ne smemo spreminjati, kajti premaknitev srednje vsebnosti iz sredine analiziranega predpisa bi povzročila nepotrebno povečanje odstotka zgrešenih šarž.

Volfram

Pri vseh obravnavanih jeklih (na sliki 18) je bilo treba najprej doseči znižanje odstotka zgrešenih šarž in šele v drugi fazi po možnosti znižati vsebnost dragega volframa. Znižanje zgrešenih šarž je doseženo pri vseh jeklih. Edino jeklo, pri katerem odstotek ni padel na nič, je Č 4650, vendar s premaknitvijo ciljne vrednosti v modelu izračuna dodatka volframa v sredino analiznega predpisa, lahko pričakujemo še dodatno znižanje odstotka kemijsko zgrešenih šarž. Tik pred uvedbo računalnika je prišlo pri jeklu Č 7680 do stro-



Slika 17
Sprememba porazdelitve vsebnosti vanadija
Fig. 17
Changed distribution of vanadium content

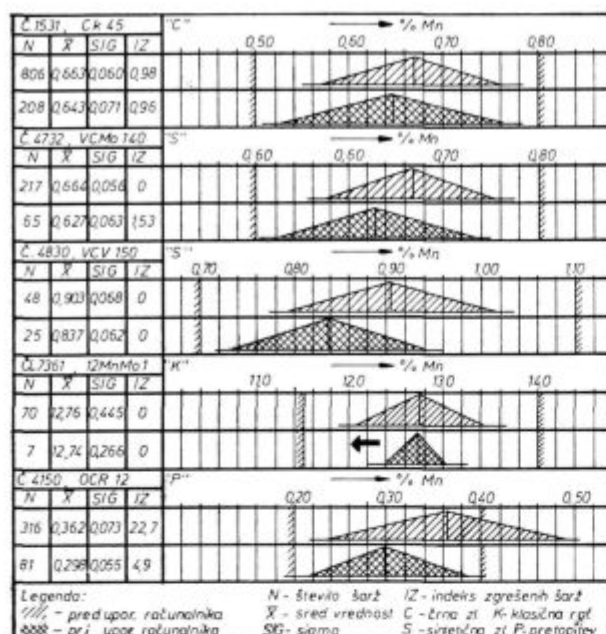


Slika 18
Sprememba porazdelitve vsebnosti volframa
Fig. 18
Changed distribution of tungsten content

žjega analiznega predpisa, ki bi pri obstoječi porazdelitvi imel katastrofalne posledice. Pričakovali bi lahko okoli 1/3 zgrešenih šarž. Zaradi uporabe računalnika pa je padel odstotek na nič; Očiten prihranek, ki ga je mogoče še povečati, je dosežen pri jeklu Č 4750.

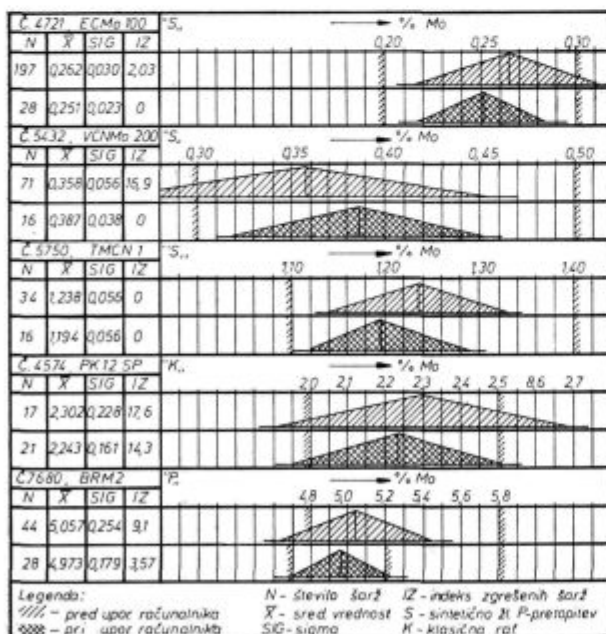
Mangan

Pri analizi regresije izplenov mangana se je pokazalo, da je to najbolj »problematičen« element. To je razlog, da kar pri treh jeklih na sli-



Slika 19
Sprememba porazdelitve vsebnosti mangana
Fig. 19
Changed distribution of manganese content

ki 19 ni prišlo do zoženja porazdelitve. Boljši rezultati so doseženi pri jeklih, ki se delajo s klasično rafinacijo ali po pretalitvenem postopku. Pri jekleni litini ČL 7361 je doseženo 40 % in pri jeklu Č 4150 25 % zoženje porazdelitve. Pomembna sprememba odstotka zgrešenih šarž je dosežena samo pri jeklu Č 4150, kjer je odstotek zgrešenih



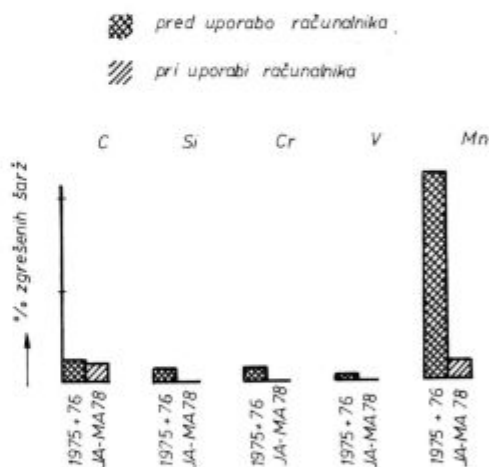
Slika 20
Sprememba porazdelitve vsebnosti molibdena
Fig. 20
Changed distribution of molybdenum content

šarž padel za 4,6 krat. Povprečna vsebnost mangana se je znižala zaradi ugodnejše lege porazdelitve. Pri vseh obravnavanih jeklih, razen pri jekleni litini ČL 7361, kjer pa nam puščica nakazuje, da je mogoče znatno spremeniti ciljano kemijsko sestavo dodatka FeMn.

Molibden

Pri tem elementu je doseženo do 30 % zoženje porazdelitve in 20 do 100 % znižanje odstotka kemijsko zgrešenih šarž. Povprečna vsebnost molibdena je padla, kot nam kaže slika 20, pri vseh jeklih, razen pri jeklu Č 5432, kjer je bilo potrebno v prvi vrsti doseči znižanje odstotka zgrešenih šarž. Pri brzoreznem jeklu Č 7680 je tik pred pričetkom uvajanja procesnega računalnika prišlo do zožitve analiznega predpisa. Zato bi pri nespremenjeni širini porazdelitve lahko pričakovali dosti višji odstotek zgrešenih šarž. Zaradi uvedbe računalnika se to ni zgodilo.

Postopoma, v odvisnosti od števila izdelanih šarž, lahko za posamezno vrsto jekla dosežemo znižanje odstotka kemijsko zgrešenih šarž. Pri jeklih, ki se delajo pogosteje, je to doseženo običajno prej kot pri jeklih, ki se delajo občasno.



Slika 21
Znižanje odstotka zgrešenih šarž jekla Č.4150 pri uvedbi procesnega računalnika

Fig. 21
Reduced portion of wrongly composed melts of Č.4150 steel by introducing computer control

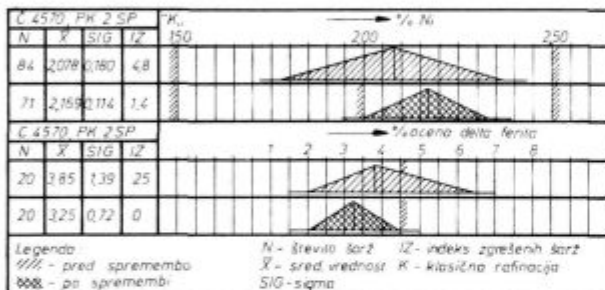
Poleg tega je uspeh odvisen od vrste tehnologije izdelave jekla in jakosti legiranja (povprečne vsebnosti legiranih elementov). Primer občutnega znižanja odstotka zgrešenih šarž nam kaže slika 21. Še posebej drastično je znižanje zgrešenih šarž pri manganu; pri siliciju, kromu in vanadiju pa je odstotek padel na nič.

Primerjalni podatki so vzeti za prvih pet mesecev 1978 in povprečje dveh let pred uporabo računalnika.

MOŽNOST REGULACIJE NEKATERIH LASTNOSTI JEKLA

Brez dvoma ima kemijska sestava jekla vpliv na mehanske, metalografske in druge lastnosti jekla, vendar nihanja kemijske sestave znotraj predpisanih mej nimajo na omenjene lastnosti vedno izrazitega vpliva. Močnejše vplive imajo drugi, predvsem tehnološki parametri. Pozornost na te vplive je zmanjšana tudi zato, ker imamo običajno opraviti s porazdelitvami kemijske sestave, ki pokrivajo celotno širino posameznega analiznega predpisa in je zato manevrski prostor za spreminjanje povprečne vrednosti zelo majhen.

Eden od pomembnih učinkov uporabe računalnika pri legiranju je zoženje porazdelitve končne kemijske sestave, ki znaša 50 % in več. To je novi moment pri možnostih reguliranja nekaterih lastnosti jekla, kajti glede na željene lastnosti nekaterih jekel lahko povprečje posameznega elementa premaknemo bližje zgornji ali spodnji predpisani meji, ne da bi ogrozili zadetje analize.



Slika 22

Povezava spremembe vsebnosti delta ferita ob spremembi vsebnosti niklja pri jeklu C.4570

Fig. 22

Relation between the changed content of delta ferrite and the changed nickel content in C.4570 steel

Na prekaljivost jekla ima kemijska sestava jekla znaten vpliv. Zato lahko pričakujemo pri pravilni uporabi procesnega računalnika manjše odstopanje od željene prekaljivosti in boljše prilagajanje predpisanim pasovom kaljivosti. Posebej pozorni moramo biti na Cr, Mn in C, kjer se gibljejo skupni koeficienti determinacije od 0,40 do 0,60, v odvisnosti od jekla in globine meritve trdote.⁴

Ugotovljen je tudi pomemben vpliv Si in C na žilavost in velikost avstenitnega zrna pri cementacijskih jeklih. Vpliv ni tako močan, kot ga kaže aluminij (ki z uporabo računalnika nima praktično nobene zveze), vendar je vreden pozornosti.³

Pri nerjavem jeklu C 4570 ima odstotek delta ferita pomemben vpliv na predelavnost jekla. Problematično je lahko valjanje na bloomingu. Zaželjen je nizek odstotek delta ferita, ki naj bo vsaj pod 10 % (ocene 5). Na odstotek delta ferita v jeklu ima močan vpliv vsebnost niklja in kro-

ma. Nižji odstotek delta ferita dobimo, če imamo nikelj blizu zgornje meje in krom blizu spodnje meje analiznega predpisa. Pred uporabo in v prvih tednih uporabe računalnika je bilo valjanje jekla C 4570 zelo kritično. Analize so pokazale, da imajo šarže razmeroma nizko vsebnost niklja in pogosto visok odstotek delta ferita.

Sprejet je bil nov ožji interni predpis vsebnosti niklja od 2,00 do 2,50 %. Temu predpisu se je prilagodila nova ciljana vsebnost niklja v modelu izračuna dodatka ferolegur na procesnem računalniku. Na sliki 22 je prikazana porazdelitev vsebnosti niklja in delta ferita pred spremembo predpisa za nikelj in po njej. Učinek spremembe predpisa in uporabe računalnika je dobro viden. Ožja porazdelitev in premaknitev porazdelitve v zgornjo polovico JUS analiznega predpisa za nikelj zelo ugodno vpliva na nižjo vsebnost delta ferita v jeklu. Od preiskovanih šarž imajo vse šarže oceno delta ferita pod 5. Tako so problemi pri valjanju ingotov praktično rešeni.

Nova širina porazdelitve niklja v jeklu C 4570 nam daje skoraj dvakrat večji manevrski prostor, poleg tega pa je očitno, da ni pri vsakem jeklu in elementu mogoče porazdelitve premakniti čim bližje spodnji predpisani meji, ampak je potrebno pri pripravi modela izračuna dodatka ferolegur upoštevati in izkoriščati še kvalitetne momente jekla.

Zaključek

V razmeroma kratkem času se je v jeklarni Železarnе Ravne pokazala učinkovitost uporabe procesnega računalnika na področju legiranja. Že v prvih mesecih uporabe računalnika je doseženo znatno znižanje materialnih stroškov, povečana je enakomernost končne kemijske sestave in znižan je odstotek kemijsko zgrešenih šarž. Poraba dragih ferolegur kroma in mangana se je znižala v primerjavi s porabo cenjenih ferolegur 1,5 do 6 krat!

Pri uporabi računalnika so porazdelitve končne kemijske sestave pogosto tudi za polovico ožje.

Učinek lahko pripišemo naslednjim funkcijam:

— računalnik je neposredno vključen v proces izdelave jekla (24 ur na dan),

— v vsakdanji in pogosti uporabi so matematične metode optimiranja (linearno programiranje),

— uporabljeni so matematični modeli izračuna izplena ferolegur in

— uporaba računalnika je poenotila postopek in ciljane vsebnosti legirnih elementov pri izračunu dodatka ferolegur.

Rezultati kažejo, da je investicija v procesni računalnik izredno ekonomična in dosega ali celo presega pričakovanja.

Literatura:

1. Segel J.: Approaches to Computer Control in Meltshop Steelmaking, 3rd International Iron and Steel Congress, 1978, Chicago
2. Shroeder D. L., Lendman T. T.: Materials Management in Electric Furnace Steelmaking, A. I. S. E. Steel Show, Cleveland, Ohio, sep. 1977
3. Segel J.: Analiza kakovostnega nivoja in vpliv kemijske sestave na ZF 6. Interna dokumentacija železarne Ravne, 1976
4. Segel J.: Kontrola pasov garantirane kaljivosti in analiza vpliva kemijske sestave na kaljivost, Zelezarski zbornik, (Jesenice), 9, 1975
5. Segel J.: Uporaba procesnega računalnika v elektrojeklarni, Zelezarski zbornik (Jesenice) 12 (1978) 2, str. 37-47

ZUSAMMENFASSUNG

In verhältnismässig kurzer Zeit hat sich im Stahlwerk des Hüttenwerkes Ravne der Nutzeffekt der Anwendung des Prozessrechners auf dem Gebiet des Legierungsverfahrens gezeigt. Schon in den ersten Monaten der Anwendung des Rechners ist eine beträchtliche Verminderung der materiellen Kosten erzielt worden, die Gleichmässigkeit der Stahlzusammensetzung in der Endanalyse hat sich vergrössert und der Prozentanteil der Fehlschargen vermindert.

Die Stahlerzeugungskosten sind stark von der Struktur der Einsatzstoffe und der Ferrolegierungen abhängig und gerade auf diesem Gebiet ist ein grosser Erfolg erzielt worden.

Der Verbrauch von teureren Ferrolegierungen wie Chrom und Mangan hat sich zu Gunsten der billigeren Ferrolegierungen um 1,5 bis 6 Mal vermindert.

Bei der Anwendung des Prozessrechners ist die Verteilung der chemischen Endzusammensetzung häufig um die Hälfte enger.

Dieses Ergebnis kann folgenden Tatsachen zugeschrieben werden:

— der Rechner ist unmittelbar und ununterbrochen in den Stahlerzeugungsprozess eingeschlossen (24 Stunden am Tag)

— die mathematischen Optimierungsmethoden (lineare Programmierung) werden täglich und häufig angewendet

— die mathematischen Modelle werden für die Ausrechnung der Ferrolegierungsausbeute angewendet und

— die Anwendung des Prozessrechners hat das Verfahren und die gezielten Gehalte der Legierungselemente bei der Ausrechnung der Ferrolegierungszugabe vereinfacht.

Die Ergebnisse zeigen, dass sich die Investition in den Prozessrechner als sehr ökonomisch erwiesen hat und die Erwartungen erreicht, oder sogar übertroffen worden sind.

SUMMARY

In a relatively short time, the application of the process computer control in alloying processes showed results in the steel plant of Ravne Ironworks. Already the first months of computer control indicated substantial reduction of cost, increased uniformity of final chemical composition, and reduced portion of chemically wrongly composed melts.

Manufacturing costs of steel are highly influenced by the consumption structure of feed and ferroalloys. Here an extraordinary success was achieved:

Consumption of expensive chromium and manganese ferroalloys in comparison with cheaper ferroalloys was reduced for 1,5 to 6 times. Computer control reduced the

variation of final chemical composition to a half. The effect can be ascribed to:

— computer is directly and constantly controlling the manufacturing process of steel (24 hours per day),

— often mathematical methods of optimisation are applied (linear programming),

— mathematical models are applied in determining the yield of ferroalloys, and

— computer control unified the processes and the aimed values of alloying elements in calculation of the additions of ferroalloys. The results clearly show that investment into the process computer was very profitable and it even exceeds the expectations.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сравнительно в коротком промежутку времени в сталеплавильном цехе металлургического завода Железарна Равне установлена эффективность применения вычислительной машины в области стали. Уже в первых месяцах употребления вычислительной машины замечено значительное снижение расходов на материал, увеличена равномерность химического состава и уменьшен процент неудачных плавов. Полученные в этой области значительные результаты показали, что в сравнении с дешевыми ферросплавами расход Ферросплавов хрома и марганца уменьшился в 1,5 до 6 раз. При применении счётной машины оказалось, что отклонения при конечном химическом составе на половину уже.

Эффект можно причислить следующим факторам:

— счётная машина непосредственно и непрерывно включена в процесс изготовления стали (24 ч в сутки),

— ежедневному и частому применению математического метода оптимизации (линейное программирование),

— применению математических моделей для вычисления выхода ферросплавов.

Применение счётной машины вызвало унификацию самого способа, и достижение целевых величин легированных элементов при вычислении добавки ферросплавов.

Результаты показали, что вложения в управляющую вычислительную машину, что касается экономии достигли и даже превзошли ожидания.

O nastanku krogljčastih in prozornih vključkov aluminijevega oksida v jeklih

UDK: 620.186.14
ASM/SLA: M21c, 9—69

F. Vodopivec, B. Koroušič, B. Ralič in J. Arh

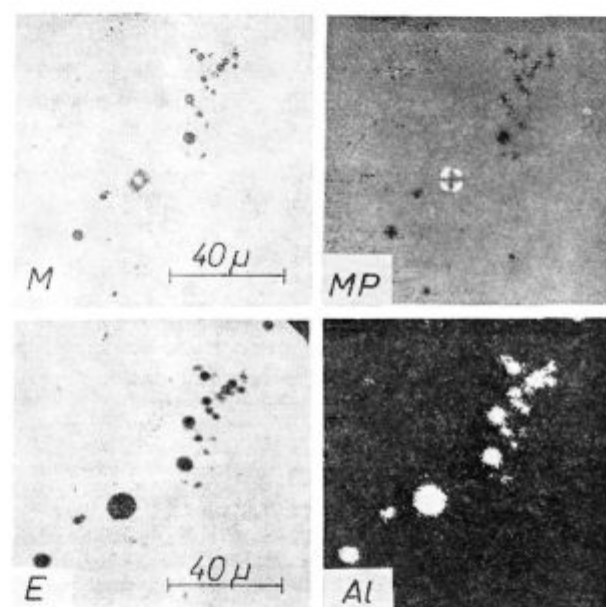
Kratek pregled literature. Opis oblike vključkov na osnovi opazovanj v optičnem in raster mikroskopu. Sestava vključkov in jekel v katerih so nastali. Razprava o pogojih za nastanek vključkov in njihovo ohranitev v jeklu.

Krogljčaste vključke s premerom do $2\ \mu\text{m}$ sta opazila Plöckinger in Wahlster v ostanku kisle raztopitve jekel, pomirjenih z aluminijem (1), krogljčaste vključke aluminijevega oksida so opazili tudi Ooi, Sekine in Kasai (2). Pred nekaj časa smo opazili krogljčaste vključke na metalografskih obruskah jekel, ki so kristalizirala v laboratorijski kokili po desoksidaciji z aluminijem (3,4). Steinmetz in Lindenberg sta ugotovila (5), da med desoksidacijo mirujoče taline čistega železa z aluminijem nastajajo krogljčasti vključki z reakcijo med kisikom v raztopini v talini in dodanim aluminijem (5). Ko se podaljša čas reakcije, nastajajo vključki z dendritno obliko in končno se ti razvijajo v zrnate vključke, kakršne najdemo normalno v jeklih, dezoksidiranih z aluminijem.

Izvršili smo nekatere raziskave z namenom, da opredelimo pogoje, v katerih se lahko v jeklu razvijajo krogljčasti vključki aluminijevega oksida. Vzorce za preiskave smo vzeli iz jeklene taline po različnih tehnoloških posegih, npr.: pihanje kisika in dodatek desoksidantov. Če jeklo ni bilo predhodno dezoksidirano z aluminijem, smo desoksidacijo s tem elementom izvršili v laboratorijski kokili, v katero smo vlili vzorce za preiskave in analize. V tabeli 1 je sestava vseh preiskanih jekel. Količina prostega kisika je bila izračunana s predpostavko, da je bila talina brez aluminija, ta je bil dodan v laboratorijsko kokilo, in pri 1600°C v ravnotežju z vsebino ogljika in silicija, kolikor je teh elementov pokazala kemijska analiza strjenega jekla.

Metalografske preiskave so pokazale različne vrste oksidnih vključkov v jeklih: krogljčaste vključke manganovega alumosilikata; krogljčaste vključke kalcij-aluminijevih silikatov, vključke kalcijevega aluminata, galaksitne vključke, zrnate vključke aluminijevega oksida in krogljčaste in prozorne vključke s premerom do ca. $20\ \mu\text{m}$ (sl. 1 in 2). Ti vključki so pokazali pri mikroskopiranju v polarizirani svetlobi križ, ki je značilen za silikatne vključke. Opazovanje jedkanih površin obruskov v raster elektronskem mikroskopu je

pokazalo, da je bila površina krogljčastih vključkov gle v posamičnih primerih popolnoma gladka. Često so iz površine rastle zaobljene protuberance, krogljčasti vključki pa so bili povezani v pare in v večje sprege (sl. 3, 4, 5, 6 in 7).



Slika 1

Mikroposnetek v navadni (M) in polarizirani svetlobi pod navzkrižnimi nikoli (MP), elektronski posnetek sestave (E) in specifični X posnetek za Al (Al). Različno veliki prozorni in prosojni krogljčasti vključki aluminijevega oksida. Jeklo 2.

Fig. 1

Microphotograph in ordinary (M) and polarized light under crossed nicols (MP), electron picture (E) and specific X-ray picture for Al (Al). Transparent and translucent spheroidal inclusions of aluminium oxide of various sizes. Steel 2.

Analiza v elektronskem mikroanalizatorju je pokazala, da so krogljčasti vključki brez silicija, kalcija, mangana, žvepla in drugih elementov ter da je v njih največ $0,1\ \%$ železa. Analiza je bila izvršena s snopom s premerom pod $1\ \mu\text{m}$ in z energijo $15\ \text{kV}$. Kljub temu je lahko majhna količina železa posledica analitske napake zaradi fluorescence matriksa med analizo v elektronskem mikroanalizatorju. Zato je mogoče iz analize sklepati, da so krogljčasti vključki čisti aluminijev oksid. Ni bilo preverjeno, ali je to oksid tipa Al_2O_3 ali kak drug aluminijev oksid. Iz podatkov v tabe-

li 1 je mogoče sklepati, da na nastanek krogličastih in prozornih vključkov aluminijevega oksida ne vpliva prisotnost različne količine ogljika, silicija, mangana in različnih nečistoč v jekleni talini. Tudi nima vpliva prisotnost drugih vrst vključkov v jekleni kopeli, na primer silikatov, aluminatov ali zrnatih vključkov Al_2O_3 . Vključki nastajajo v širokem intervalu koncentracije kisika v talini in pri zelo različnih dodatkih aluminija za desoksidacijo jeklene taline.

To je nekoliko v protislovju s podatkom iz reference 5, da nastajajo krogličasti vključki aluminijevega oksida le pri določeni količini kisika, raztopljenega v jekleni talini. To nesoglasje je najverjetneje posledica razlike v kristalizaciji jekla. Kristalizacija se je izvršila pri preiskusih, opisanih v referenci 5, zelo počasi, v našem primeru pa so se jekla zelo hitro strdila.

V paralelnih vzorcih jekla, ki niso bili desoksidirani v laboratorijski kokili, smo opazili le vključke brez aluminijevega oksida in zrnate vključke tega oksida. V vzorcih, ki so bili vzeti po desoksidaciji jekla iz ponovce, smo našli pretežno zrnate vključke aluminijevega oksida, posamične

in zelo redke krogličaste vključke aluminijevega oksida in nobenih prozornih vključkov tega oksida. Enako velja za vzorce jekla, ki so bili odrezani od blokov istih jekel.

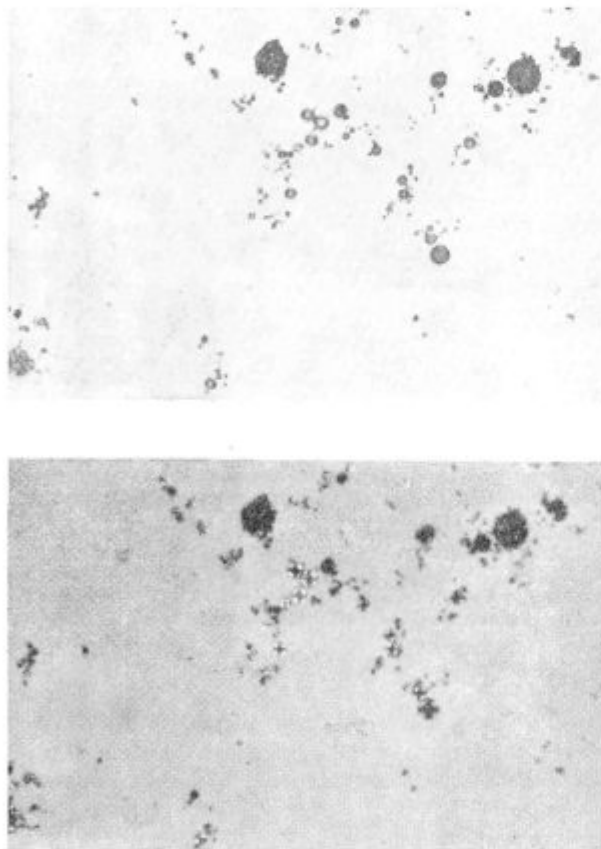
Metalografska preiskava ni pokazala nobenih posebnih značilnosti v porazdelitvi krogličastih vključkov aluminijevega oksida, često pa so bili zbrani v gruče. V krogličastih in prozornih vključkih nismo nikdar opazili zrastkov drugih oksidov, ki so bili sicer prisotni v jeklu kot samostojni vključki. Kaže torej, da nastanejo krogličasti in prozorni vključki aluminijevega oksida z reakcijo med kisikom, ki je raztopljen v jekleni talini in aluminijem, ki je bil dodan za dezoksidacijo, kot navaja vir 5, in ne z redukcijo drugih oksidov, prisotnih v talini pred dodatkom aluminija. Lahko torej sklepamo, da v ravnotežnih pogojih nastajajo krogličasti vključki pri določenem potencialu kisika v jekleni talini, pri intenzivni desoksidaciji, ki se izvrši v laboratorijski kokili, pa predstavljajo krogličasti vključki prvo stopnjo reakcije med kisikom raztopljenim v talini, in aluminijem, ki je bil dodan za dezoksidacijo ter zato njihov nastanek ni pogojen z določeno aktivnostjo kisika v talini.

SKLEP

V jeklih, ki so bila desoksidirana z aluminijem in hitro strjena v laboratorijski kokili, smo opazili krogličaste in prozorne vključke aluminijevega oksida, ki so na metalografskih obruskih zelo podobni prozornim silikatnim vključkom. Na nastanek krogličastih in prozornih vključkov aluminijevega oksida ne vpliva prisotnost drugih vrst oksidnih vključkov v jeklu ter različna množina ogljika, silicija in mangana in nečistost v jekleni talini. Vključki nastanejo v širokem intervalu koncentracije kisika in v širokem intervalu količine aluminija, ki je bil dodan za dezoksidacijo jeklene taline. Na osnovi sedanjih spoznanj sklepamo, da nastajajo vključki v začetku intenzivne dezoksidacijske reakcije med kisikom, ki je raztopljen v jekleni talini, in aluminijem, ki je bil dodan za dezoksidacijo.

Viri

1. E. Plöckinger in M. Wahlster: *Stahl und Eisen* 80, 1960, 639—
2. H. Ooi, T. Sekine in G. Kasai: *Trans. ISIJ* 15, 1975, 371—379
3. F. Vodopivec in B. Ralić: *Železarski Zbornik* 6, 1972, št. 4, 215—229
4. F. Vodopivec, J. Arh in B. Ralić: *Železarski Zbornik* 9, 1975, št. 3, 167—179
5. E. Steimetz in H. U. Lindenberg: *Archiv Eisenhüttenwesen* 47, 1976, april, 199—204

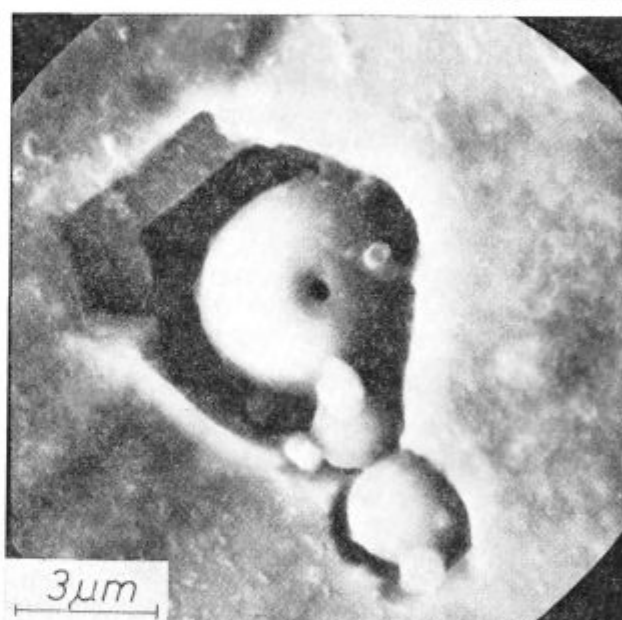
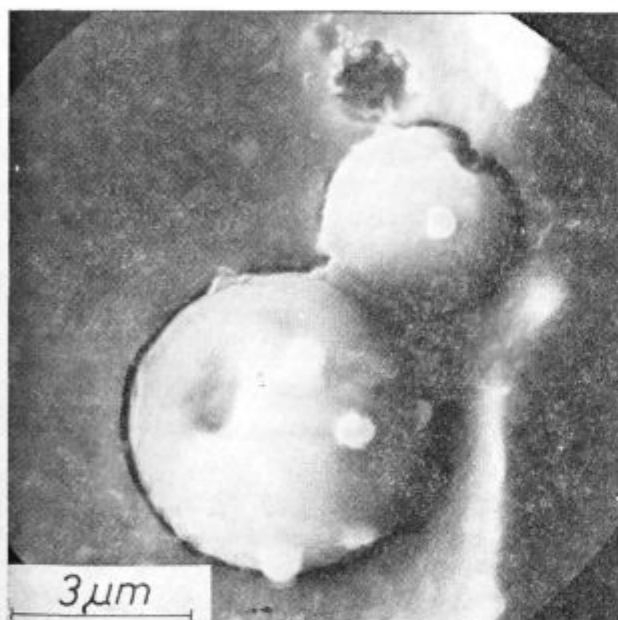
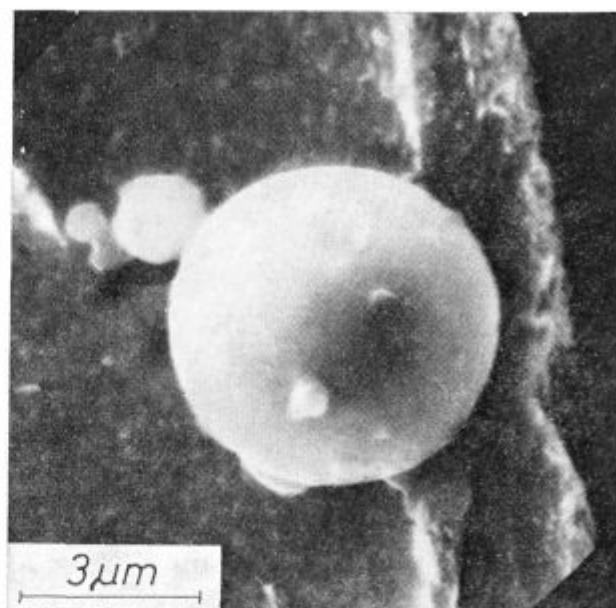
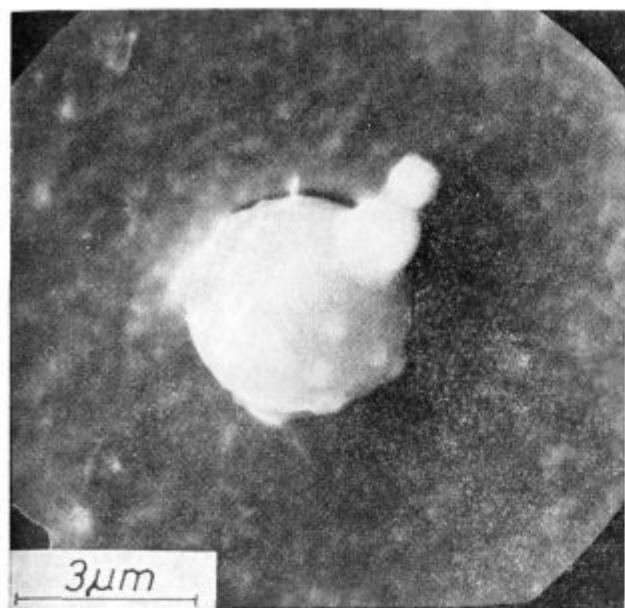


Slika 2

Mikrosposnetki v navadni in polarizirani svetlobi pod navzkrižnimi nikoli, krogličasti vključki aluminijevega oksida in vključki galaksita.

Fig. 2

Microphotographs in ordinary and polarized light under crossed nicols, spheroidal inclusions of aluminium oxide and galaxite inclusions.



Slika 3, 4, 5, 6 in 7
Posnetki krogličastih vključkov aluminijevega oksida v
raster mikroskopu.

Fig. 3, 4, 5, 6 and 7
Pictures of spheroidal inclusions of aluminium oxide in
the scanning microscope.

Tabela: Sestava jekel v %

	C	Si	Mn	O ¹	O ²	Al ³	Vključki
1	0,06	0,19	0,21	0,049	0,0114	0,057	A
2	0,13	0,28	1,41	0,032	0,0069	0,18	B
3	0,15	0,35	1,12	0,015	0,0069	0,034	C, D
4	0,62	0,26	0,59	0,031	0,0091	0,14	A, D
5	0,04	0	0,28	0,072	0,0506	0,12	B, C, D
6	0,12	0	0,15	0,065	0,017	0,06	D
7	0,16	0,38	1,16	0,047	0,0067	0,06	B, C
8	0,06	0,27	0,45	0,053	0,009	0,24	D
9	0,12	0,22	1,13	0,015	0,0072	0,055	A, C, D
10	0,71	0,34	0,49	0,029	0,003	0,24	C, D
11	0,16	0,38	1,16	0,009	0,0067	0,076	A, C, D
12	0,05	0	0,22	0,072	0,0405	0,26	B, C

1. Skupna količina kisika v jeklu

2. Izračunana količina kisika, ki je pri 1600 °C v ravnotežju z ogljikom in silicijem v jekleni talini

3. Kislinotopen aluminij (dodan za dezoksidacijo jekla v laboratorijski kokilici)

4. Vključki v jeklu poleg krogličastih in prozornih vključkov aluminijevega oksida

A — zrnati vključki aluminijevega oksida, B — galaksit, C — krogličast kalcijev aluminat, D — krogličast kalcij-aluminijev silikat

ZUSAMMENFASSUNG

Die Untersuchungen an einem mit Aluminium vollbeurteilten und in der Probeentnahmekokille schnellerstarrenden Stahl zeigten das Vorhandensein kugelig und durchsichtiger Einschlüsse, deren Elektronenmikroanalyse nicht anderes als nur Aluminiumoxyd ergab. Die Einschlüsse sind in Stählen mit verschiedenen Gehalten an Kohlenstoff, Silizium, Mangan und anderen Begleitelementen entstanden, bei verschiedenem Aluminiumzusatz für die Desoxydation und bei verschiedenem Sauerstoffgehalt, welches zur Zeit der Desoxydation in der Stahlschmelze gelöst war. Solche Einschlüsse sind auch in der Stahlschmelze entstanden in welcher schon früher andere Sor-

ten oxydischer Einschlüsse, so wie auch körnige Aluminiumoxydeinschlüsse anwesend waren.

Die Untersuchungen im Rastermikroskop ergaben, dass die Oberfläche dieser Einschlüsse nicht glatt ist sondern, dass aus der Oberfläche abgerundete Protuberanzen heraus wachsen. Die Beobachtungen zeigten, dass diese Einschlüsse wahrscheinlich am Anfang der intensiven Desoxydationsreaktion zwischen dem in der Schmelze gelöstem Sauerstoff und dem Aluminium, welcher zur Desoxydation zugegeben worden ist entstanden sind und sind im Stahl wegen der grossen Abkühlgeschwindigkeit desselben in der Probeentnahmekokille erhalten geblieben.

SUMMARY

Investigations of steel deoxidized by aluminium and rapidly cooled in a laboratory mould revealed spheroidal and transparent inclusions which composition determined by electron microanalyzer was only aluminium oxide. The inclusions were formed in steel with various contents of carbon, silicon, manganese and impurities, at various additions of deoxidizing aluminium and various contents of dissolved oxygen in the melts. Such inclusions were

formed also in steel melts containing other oxide inclusions and also grained inclusions of aluminium oxide. Investigation by scanning microscope revealed that surface of inclusions is not smooth but rounded protuberances grow out of it. Observations show that inclusions were probably formed in the initial stages of intensive deoxidizing reaction between the aluminium and the dissolved oxygen in the melt, and they were preserved in steel due to rapid cooling in the laboratory mould.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования показали, что стали, предварительно раскисленные с алюминием и быстро отвержденные в лабораторных изложницах содержат шаровидные и прозрачные включения. Анализ этих включений, выполненный с электронным микроанализатором указал, что эти включения составляют только чистую окись алюминия. Образование этих включений происходит в сталях с различным содержанием углерода, кремния, марганца и примесей, также при различной прибавке алюминия для раскисления и при различном содержании кислорода, который был растворен в расплаве стали во время раскисления. Такие включения обра-

зовались также в расплаве стали, который уже содержал включения окисей других видов, а также зернистые включения окиси алюминия. Исследования с раствором микроскопом показали, что поверхность включений не гладкая: на поверхности прорастания закрученных протуберансов.

Исследования также показали, что включения возможно образовались в начале интенсивной реакции раскисления между алюминием и кислородом в растворе расплава стали, и сохранились в стали вследствие быстрого отверждения в лабораторных изложницах.

Izračun adiabske temperature zgorovanja in dolžine plamena plinske mešanice

UDK: 662.75:662.76:662.9

ASM/SLA: RM-m

Dušan Vodeb, Zvonko Erjavec, Branko Gašperšič

UVOD

Za računalniško vodenje plinskih žarilnih in ogrevnih peči moramo točno poznati posamezne vplive na dogajanje pri zgorovanju plinske mešanice in prenosu toplote v peči. Sestava plinske mešanice, za katero analiziramo vpliv disociacije na adiabsko temperaturo zgorovanja, se časovno spreminja. Iz dobljenih rezultatov, ki so osnova za nadaljno obdelavo prenosa toplote v peči in optimizacijo ogrevanja vložka, vodenje kurjenja in kontrolo atmosfere v peči s pomočjo kisikove sode, določimo vpliv disociacije dimnih plinov na adiabsko temperaturo zgorovanja in dolžino plamena. Parametri, potrebni za izračun adiabske temperature zgorovanja, so določeni v temperaturnem območju zgorovanja plinskih mešanic zemeljski plin — zrak in propan-butan — zrak.

V prvem delu izvedemo matematične algoritme za izračun adiabskih temperatur zgorovanja

- brez upoštevanja disociacije dimnih plinov
- delno upoštevanje disociacije dimnih plinov
- popolno upoštevanje disociacije dimnih plinov.

Adiabsko temperaturo zgorovanja izračunamo iz toplotne bilance plamena brez upoštevanja predgretja zraka in goriva. Upošteevamo samo kalorično energijo goriva in temperaturno odvisnost srednje specifične molne toplote, ki jo izrazimo v obliki interpolacijskega polinoma tretje stopnje. Temperaturno odvisnost ravnotežnih konstant računamo samo za model zgorovanja z delnim upoštevanjem disociacije in za model s popolnim upoštevanjem disociacije. Odvisnost ravnotežnih konstant od temperature izrazimo v obliki eksponentne interpolacije. Za navedene tri modele zgorovanja izračunamo adiabsko temperaturo zgorovanja in reducirano dolžino plamena za spremenljivo sestavo plinske mešanice zemeljski plin — zrak in propan-butan — zrak parametrov, ki bodo praktično nastopili v železarni Ravne po uvedbi zemeljskega plina.

Matematična izvajanja, vrednosti za specifično molno toploto in vstavljanje vstopnih parametrov za izračun adiabske temperature zgorovanja so prilagojeni za primer zgorovanja rezultirajoče plinske mešanice v železarni Ravne.

Zato smo napravili določene poenostavitve; ne upoštevamo predgretja plina in zraka, vrednosti interpolacijskega polinoma veljajo v temperaturnem intervalu od 1200 °C do 2100 °C in vrednosti eksponentnega polinoma ravnotežnih konstant veljajo v temperaturnem intervalu od 1200 °C do 2500 °C. Z navedenimi poenostavitvami smo zmanjšali univerzalnost obdelanih modelov zgorovanja, vendar je naš osnovni namen, ki ga obdelamo, določitev vpliva disociacije na adiabsko temperaturo zgorovanja plinskih mešanic.

1.0 IZRACUN ADIABATSKE TEMPERATURE ZGOREVANJA

Adiabsko temperaturo zgorovanja izračunamo iz toplotne bilance plamena, ki jo zapišemo

$$H + c_g \cdot t_g + \lambda \cdot Z_{\min} \cdot t_z = c_d \cdot t_a \quad (1)$$

Temperaturo zgorovanja izrazimo v obliki temperaturne difference

$$t_a = T_a - T_o \quad (2)$$

kjer vzamemo za temperaturo okolice 0 °C. Za primer, da zrak in gorivo ne predgrevamo, $T_g = T_o$ in $T_z = T_o$, se nam enačba (1) poenostavi v

$$H = c_d \cdot t_a \quad (3)$$

in iz enačbe (3) je adiabska temperatura

$$t_a = \frac{H}{c_d} \quad (4)$$

ki jo računamo za spremenljivo vstopno sestavo plinske mešanice, določeno s stopnjo mešanja x pri različnih razmernikih zraka λ .

$$t_a = f(x, \lambda) \quad (5)$$

Za izračun adiabske temperature predpostavimo tri osnovne modele zgorovanja: 1, 2, 3, 4

— zgorovanje plinske mešanice brez disociacije dimnih plinov

— zgorovanje plinske mešanice pri delni disociaciji dimnih plinov

Mag. Dušan Vodeb, dipl. ing. strojništva, je projektni inženir v TOZD raziskave in razvoj v železarni Ravne.

Zvonko Erjavec, ing. strojništva, je toplotni tehnik v službi energetskega gospodarstva v železarni Ravne.

doc. dr. Branko Gašperšič, dipl. ing. strojništva, je predstojnik katedre za toplotno in procesno tehniko na fakulteti za strojništvo v Ljubljani.

— zgorevanje plinske mešanice pri popolni disociaciji dimnih plinov.

V nadaljevanju za vsako od teh vrst zgorevanja izvedemo algoritem, ki definira potrebne podatke za enačbo (4) za določena vstopna stanja po enačbi (5).

1.1 ZGOREVANJE PLINSKE MEŠANICE BREZ UPOŠTEVANJA DISOCIACIJE DIMNIH PLINOV

Izračun adiabatske temperature za model zgorevanja, kjer ne upoštevamo disociacije, delimo na dva dela:

- izračun adiabatske temperature za $\lambda \geq 1$
- izračun adiabatske temperature za $\lambda < 1$, za katera poiščemo algoritem.

Zgorevanje plinske mešanice za $\lambda \geq 1$

Pri popolnem zgorevanju plinske mešanice s presežkom zraka so dimni plini sestavljeni iz CO₂, H₂O, O₂ in N₂.

Hitrost zgorevanja plinske mešanice v plinskem gorilniku je veliko večja od hitrosti iztekanja plina in zraka, zato zanemarimo prirastek tlaka zaradi vpliva zgorevanja. Predpostavimo, da je vsota tlakov vseh komponent dimnih plinov enaka atmosferskemu tlaku.⁵

$$\Sigma p = 1 \tag{6}$$

Za obravnavani model zgorevanja je vsota parcialnih tlakov

$$p_{CO_2} + p_{H_2O} + p_{O_2} + p_{N_2} = \Sigma p \tag{7}$$

Zaradi nizkih tlakov in relativno visokih temperatur smatramo nastale dimne pline kot idealen plin; velja splošna plinska enačba

$$p_i \cdot V = m_i \cdot R \mu \cdot T \tag{8}$$

Podobno enačbo zapišemo tudi za »atomski tlak«, oziroma ustrezno vsoto atomov

$$P_j \cdot V = \Sigma Z_j \cdot R \mu \cdot T, \tag{9}$$

kjer je definiran »atomski tlak«

$$P_j = \sum_{i=1}^k A_{ji} \cdot p_i \tag{10}$$

in vsota atomov pred zgorevanjem

$$\sum_j Z_j = \sum_{i=1}^4 i \cdot \bar{v}_{pi} \tag{11}$$

Za obravnavani primer zgorevanja zapišemo naslednje enačbe: »atomski tlak« za ogljik

$$P_C = p_{CO_2} + p_{CO} \tag{12}$$

in za ostale elemente

$$\begin{aligned} P_H &= 2 \cdot p_{H_2O} + 2 \cdot p_{H_2} \\ P_O &= 2 \cdot p^{CO_2} + p_{CO} + p_{H_2O} \end{aligned} \tag{13}$$

$$P_N = 2 \cdot p_{N_2} \cdot$$

Vsota atomov pred zgorevanjem

$$\begin{aligned} \Sigma H &= \sum_{i=1}^4 (2i + 2) \bar{v}_{pi} \\ \Sigma C &= \sum_{i=1}^4 i \cdot \bar{v}_{pi} \\ \Sigma O &= 2 \cdot v_5 + 2 \cdot \lambda \cdot O_{2min} \\ \Sigma N &= 2 \cdot v_6 + 2 \cdot 3,76 \cdot \lambda \cdot O_{2min} \end{aligned} \tag{14}$$

v enačbi (14) smo zanemarili vpliv vlage, ki je v zraku.

Tvorimo razmerja atomskih tlakov, definiranih po enačbah (12) in (13) ter z upoštevanjem enačb (8) in (9) za določen element in pogoja, da sta temperatura in volumen konstantna, dobimo naslednjo zvezo

$$\begin{aligned} \frac{P_C}{P_O} &= \frac{p_{CO_2} + p_{CO}}{2p_{CO_2} + p_{CO} + p_{H_2O}} = \\ &= \frac{m_{CO_2} + m_{CO}}{2m_{CO_2} + m_{CO} + m_{H_2O}} = \frac{\Sigma C}{\Sigma O} \end{aligned} \tag{15}$$

Podobno tvorimo razmerja za ostale osnovne elemente.

$$\frac{P_C}{P_H}, \frac{P_C}{P_N}, \frac{P_C}{\Sigma p_i}, \dots = \frac{\Sigma C}{\Sigma H}, \frac{\Sigma C}{\Sigma N}, \frac{m_i}{\Sigma m_i}, \dots \tag{16}$$

Za obravnavani primer zgorevanja imamo poleg osnovne enačbe za vsoto parcialnih tlakov (7) še naslednje enačbe

$$\begin{aligned} \frac{\Sigma C}{\Sigma H} &= \frac{p_{CO_2}}{2p_{H_2O}} \\ \frac{\Sigma C}{\Sigma O} &= \frac{p_{CO_2}}{2p_{CO_2} + p_{H_2O} + 2p_{O_2}} \\ \frac{\Sigma C}{\Sigma N} &= \frac{p_{CO_2}}{2p_{N_2}} \end{aligned} \tag{17}$$

Za postavljeni model zgorevanja so »atomski tlaki«

$$\begin{aligned} P_C &= p_{CO_2} \\ P_H &= 2p_{H_2O} \\ P_O &= 2p_{CO_2} + p_{H_2O} + 2p_{O_2} \\ P_N &= 2p_{N_2} \end{aligned} \tag{18}$$

Enačbe (7), (17) in (18) tvorijo sistem štirih enačb s štirimi neznanimi parcialnimi tlaki p_{CO₂},

p_{O₂}, p_{N₂} in p_{H₂O}. Rešitev sistema je

$$\begin{aligned} p_{CO_2} &= 2 \cdot \Sigma p \cdot \Sigma C \cdot \\ p_{H_2O} &= \Sigma p \cdot \Sigma H \cdot A \\ p_{O_2} &= \Sigma p \cdot \left(\Sigma O - 2 \Sigma C - \frac{1}{2} \Sigma H \right) \cdot A \\ p_{N_2} &= \Sigma p \cdot \Sigma N \cdot A, \end{aligned} \tag{19}$$

kjer pomeni A

$$A = 1 / \left(\frac{1}{2} \Sigma H + \Sigma O + \Sigma N \right). \quad (20)$$

Sistem je enostavno rešljiv za podane vstopne pogoje. Iz znanih vrednosti parcialnih tlakov izračunamo molske mase predpostavljenih komponent dimnih plinov za obdelani model zgorevanja. Z upoštevanjem enačbe (8) in razmerij (16) dobimo naslednja razmerja

$$\frac{m_i}{p_i} = \frac{\Sigma m_i}{\Sigma p_i} = \frac{\Sigma C}{P_C} = \frac{\Sigma H}{P_H} = \frac{\Sigma O}{P_O} = \frac{\Sigma N}{P_N}, \quad (21)$$

iz katerih je molska masa posameznih komponent dimnih plinov

$$m_i = p_i \frac{\Sigma C}{P_C} \quad (22)$$

Za obravnavani primer zgorevanja je

$$m_{CO_2} = p_{CO_2} \cdot \frac{\Sigma C}{P_C} = p_{CO_2} \cdot \frac{\Sigma C}{P_{CO_2}} = \Sigma C$$

$$m_{H_2O} = \frac{\Sigma H}{2}$$

$$m_{O_2} = \frac{1}{4} (2\Sigma O - 4\Sigma C - \Sigma H) \quad (23)$$

$$m_{N_2} = \frac{\Sigma N}{2}$$

S spoznavanjem vrednosti molskih mas posameznih komponent dimnih plinov izračunamo molsko specifično toploto po enačbi (48) in po enačbi (4) adiabatno temperaturo zgorevanja.

Zgorevanje plinske mešanice za $\lambda < 1$

Pri tem modelu zgorevanja pride do nepopolnega zgorevanja in v dimnih plinih imamo poleg CO_2 , H_2O in N_2 še nezgorele produkte CO in H_2 .

Za ta primer veljajo iste predpostavke in izpeljave kot prej. Vsota parcialnih tlakov komponent v dimnih plinih je

$$p_{CO_2} + p_{CO} + p_{H_2O} + p_{H_2} + p_{N_2} = \Sigma p \quad (24)$$

Zveza med vsoto elementov pred zgorevanjem in parcialnimi tlaki po zgorevanju je po enačbah (12), (13) in (16)

$$\frac{\Sigma C}{\Sigma H} = \frac{p_{CO_2} + p_{CO}}{2p_{H_2O} + 2p_{H_2}}$$

$$\frac{\Sigma C}{\Sigma O} = \frac{p_{CO_2} + p_{CO}}{2p_{CO_2} + p_{CO} + p_{H_2O}} \quad (25)$$

$$\frac{\Sigma C}{\Sigma N} = \frac{p_{CO_2} + p_{CO}}{2p_{N_2}}$$

Sistem štirih enačb (24) in (25) je nedoločen, ker je število neznank večje od števila enačb. Uvedemo dodatno enačbo, ki povezuje medsebojno ravnotežno stanje nezgorelih komponent CO in H_2 ,

$$K_W = \frac{K_{CO}}{K_{H_2}} = \frac{p_{CO_2}}{p_{H_2}} = \frac{p_{CO} \cdot p_{H_2O}}{p_{CO_2} \cdot p_{H_2}} \quad (26)$$

ki je za ta primer neodvisna od temperature zgorevanja.

Sistem je sedaj rešljiv in ga rešujemo po naslednji matematični shemi, ki jo izvedemo iz sistema enačb (24), (25) in (26)

$$p_{CO_2} = \frac{B}{1 + \left(\frac{p_{CO}}{p_{CO_2}} \right)}$$

$$p_{CO} = B - p_{CO_2}$$

$$p_{H_2O} = B \frac{\Sigma O}{\Sigma C} - 2 \cdot p_{CO_2} - p_{CO} \quad (27)$$

$$p_{H_2} = D - p_{H_2O}$$

kjer je

$$B = p_{CO_2} + p_{CO}$$

$$D = p_{H_2O} + p_{H_2} \quad (28)$$

in manjkajoči parcialni tlak za dušik je

$$p_{N_2} = \Sigma p \frac{\Sigma N}{2\Sigma C + \Sigma H + \Sigma N} \quad (29)$$

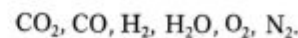
Pri podani shemi izračuna sta neznanki razmerja parcialnih tlakov p_{CO} in p_{CO_2} ; vmesne rešitve testiramo z enačbo (26) tako dolgo, da je izpolnjen pogoj $K_W = 1$.

Molske mase komponent dimnih plinov določimo po enačbi (21). Kurilnost plinske mešanice, ki jo potrebujemo za rešitev enačbe (4), moramo za ta model zmanjšati za vrednost nezgorelega v dimnih plinih

$$H_d = H - \sum_i m_i \cdot H_i \quad (30)$$

1.2 ZGOREVANJE PLINSKE MEŠANICE Z UPOŠTEVANJEM DELNE DISOCIACIJE DIMNIH PLINOV

Za model zgorevanja z upoštevanjem delne disociacije dimnih plinov predpostavimo, da imamo v dimnih plinih naslednje komponente:



Upoštevamo disociacijo samo ogljikovega dioksida CO_2 in vodne pare H_2O . Nastavimo osnovne enačbe:

$$p_{CO_2} + p_{CO} + p_{H_2O} + p_{H_2} + p_{O_2} + p_{N_2} = \Sigma p \quad (31)$$

$$\frac{\Sigma C}{\Sigma H} = \frac{p_{CO_2} + p_{CO}}{2p_{H_2O} + 2p_{H_2}}$$

$$\frac{\Sigma C}{\Sigma O} = \frac{p_{CO_2} + p_{CO}}{2p_{CO_2} + p_{CO} + p_{H_2O} + 2p_{O_2}} \quad (32)$$

$$\frac{\Sigma C}{\Sigma N} = \frac{p_{CO_2} + p_{CO}}{2p_{N_2}}$$

Sistem je nedoločljiv; imamo šest neznank in samo štiri enačbe; vpeljemo dve ravnotežni enačbi za CO in H₂.

$$K_{CO} = \frac{p_{CO}}{p_{CO_2} p_{O_2}^{-1/2}} \quad (33)$$

$$K_{H_2} = \frac{p_{H_2}}{p_{H_2O} p_{O_2}^{-1/2}}$$

Z uvedbo enačb (33) postane sistem rešljiv in matematična shema reševanja poteka po naslednjih pomožnih enačbah, ki jih izvedemo iz enačb (31), (32) in (33)

$$p_{CO_2} = \frac{\Sigma p - p_{O_2}}{1 + K_{CO} p_{O_2}^{-1/2}} \cdot \frac{2\Sigma C}{2\Sigma C + \Sigma H + \Sigma N}$$

$$p_{CO} = p_{CO_2} \cdot K_{CO} p_{O_2}^{-1/2}$$

$$p_{N_2} = (p_{CO_2} + p_{CO}) \frac{\Sigma N}{2\Sigma C}$$

$$p_{H_2O} = \frac{(p_{CO_2} + p_{CO}) \Sigma H}{2 \cdot (1 + K_{H_2} p_{O_2}^{-1/2}) \Sigma C} \quad (34)$$

$$p_{H_2} = p_{H_2O} K_{H_2} \cdot p_{O_2}^{-1/2}$$

Spremenljivka, s katero rešujemo matematično shemo (34), je parcialni tlak p_{O₂}, vmesne rezultate pa testiramo z enačbo (32), ki je nismo upoštevali pri izvajanju enačb (34)

$$\frac{\Sigma C}{\Sigma O} = \frac{p_{CO_2} + p_{CO}}{2 \cdot p_{CO_2} + p_{CO} + p_{H_2O} + 2 \cdot p_{O_2}} \quad (35)$$

Nadaljnji izračun adiabatske temperature poteka enako kot v primeru zgorevanja brez upoštevanja disociacije pri razmerniku λ < 1.

Upošteevamo dejansko kalorično vrednost plina po enačbi (30) in temperaturno odvisnost ravnotežnih enačb (33).

V tem primeru je računski postopek nekoliko zamudnejši, ker poleg reševanja sestave nastalih dimnih plinov upošteevamo tudi temperaturni razpad CO₂ in H₂O.

1.3 ZGOREVANJE PLINSKE MEŠANICE S POPOLNO DISOCIACIJO DIMNIH PLINOV

Pri tem modelu zgorevanja upošteevamo popolno disociacijo dimnih plinov in predpostavimo naslednje komponente v dimnih plinih: CO₂, H₂O, O₂, H₂, CO, N₂, OH, NO, C, H, O, N.

Za ta primer moramo nastaviti 12 enačb, s pomočjo katerih bomo lahko rešili problem. Postavimo naslednje enačbe

$$p_{CO_2} + p_{H_2O} + p_{O_2} + p_{N_2} + p_{CO} + p_{H_2} + p_{OH} + p_{NO} + p_C + p_H + p_O + p_N = \Sigma p$$

$$\frac{\Sigma C}{\Sigma H} = \frac{p_{CO_2} + p_{CO} + p_C}{2 \cdot p_{H_2O} + 2 \cdot p_{H_2} + p_{CH} + p_H}$$

$$\frac{\Sigma H}{\Sigma O} = \frac{2p_{H_2O} + 2p_{H_2} + p_{OH} + p_H}{2p_{CO_2} + p_{CO} + p_{H_2O} + p_{OH} + 2p_{O_2} + p_{NO} + p_O}$$

$$\frac{\Sigma O}{\Sigma N} = \frac{2p_{CO_2} + p_{CO} + p_{H_2O} + p_{OH} + 2p_{O_2} + p_{NO} + p_O}{2p_{N_2} + p_{NO} + p_N}$$

$$p_{CO} = K_{CO} p_{CO_2} p_{O_2}^{-1/2} \quad (36)$$

$$p_{H_2} = K_{H_2} p_{H_2O} p_{O_2}^{-1/2}$$

$$p_{OH} = K_{OH} p_{H_2O}^{1/2} p_{O_2}^{1/4}$$

$$p_{NO} = K_{NO} p_{O_2}^{1/2} p_{N_2}^{1/2}$$

$$p_C = K_C p_{CO_2} p_{O_2}^{-1}$$

$$p_H = K_H p_{H_2O}^{1/2} p_{O_2}^{-1/4}$$

$$p_O = K_O p_{O_2}^{1/2}$$

Matematično reševanje sistema enačb (36) poteka po naslednji matematični shemi.

Izberemo vrednosti za parcialna tlaka p_{O₂} in p_{H₂O} in izračunamo vse parcialne tlake komponent dimnih plinov, v katerih je vodik, p_{OH}, p_H, p_{H₂} po definicijskih enačbah v sistemu (36) ter parcialni tlak disociiranega kisika p_O.

Iz znanih vrednosti parcialnih tlakov dobimo naslednje kvociente

$$\frac{p_{CO}}{p_{CO_2}} = K_{CO} p_{O_2}^{1/2} \quad (37)$$

$$\frac{p_{NO}}{p_{N_2}^{-1/2}} = K_{NO} p_{O_2}^{1/2} \quad (38)$$

$$\frac{p_C}{p_{CO_2}} = K_C p_{O_2}^{-1} \quad (39)$$

in »atomski tlak« vodikovih atomov

$$p_H = 2p_{H_2O} + p_{OH} + 2p_{H_2} + p_H \quad (40)$$

s pomočjo katerega iz splošne enačbe (16) izračunamo

$$p_C = p_H \frac{\Sigma C}{\Sigma H} \quad (41)$$

$$p_N = p_H \frac{\Sigma N}{\Sigma H}$$

Podsistem enačb (37), (38), (39) in (41) nam omogoča določitev parcialnih tlakov komponent dimnih plinov, v katerih je vsebovan ogljik p_{CO₂}, p_{CO} in p_C.

$$p_{CO_2} = \frac{p_C}{1 + \left(\frac{p_{CO}}{p_{CO_2}}\right) + \left(\frac{p_C}{p_{CO_2}}\right)}$$

$$p_{CO} = p_{CO_2} \left(\frac{p_{CO}}{p_{CO_2}}\right) \quad (42)$$

$$p_C = p_{CO_2} \left(\frac{p_C}{p_{CO_2}}\right)$$

Manjka parcialni tlak dušika in vseh komponent dimnih plinov, v katerih je vsebovan dušik. Izračunamo »atomski tlak« dušika.

$$P_N = 2 \cdot p_{N_2} \quad (43)$$

»Atomski tlak« izrazimo

$$P_N = p_{N_2} + 0,5 p_{NO} + 0,5 p_N \quad (44)$$

in iz zvez (36) dobimo kvadratno enačbo, katere rešitev je

$$p_{N_2}^{1/2} = -0,25 (K_N + K_{NO} p_{O_2}^{1/2}) + [0,25 (K_N + K_{NO} p_{O_2}^{1/2})^2 + 0,5 p_N]^{1/2} \quad (45)$$

Iz dobljenih vrednosti enačbe (45) poiščemo manjkajoča parcialna tlaka p_{NO} in p_N

$$p_{NO} = \left(\frac{p_{NO}}{p_{N_2}^{1/2}} \right) p_{N_2}^{1/2} \quad (46)$$

$$p_N = K_N p_{N_2}^{1/2}$$

Delne rezultate testiramo z enačbami iz sistema (36), ki ju še nismo uporabili

$$\sum_i p_i = \Sigma p \quad (47)$$

$$\frac{p_O}{p_H} = \frac{\Sigma O}{\Sigma H}$$

Ko izračunamo parcialne tlake, poteka račun adiabatske temperature enako kot v prejšnjem primeru — z delno disociacijo.

2.0 IZRACUN MOLNE SPECIFIČNE TOPLOTE IN RAVNOTEŽNIH KONSTANT

V poglavju 1.0 smo obdelali posamezne primere zgorevanja. Dobili smo sestavo dimnih pli-

nov za različne modele zgorevanja, za izračun adiabatske temperature po enačbi (4) pa moramo obdelati še postopek določitve srednje molne specifične toplote in temperaturno odvisnost ravnotežnih konstant.

Srednjo molno specifično toploto dimnih plinov izračunamo po enačbi

$$c_d = \sum_{i=1}^n C_{pi} \cdot m_i,$$

kjer molno maso komponent dimnih plinov dobimo po prej opisanem postopku. Temperaturno odvisnost molne specifične toplote komponent dimnih plinov določimo s pomočjo interpolacijskega polinoma

$$c_{pi} = a_i + b_i \vartheta + c_i \vartheta^2 + d_i \vartheta^3 + \dots \quad (49)$$

iz tabelaričnih podatkov tabele 1.

V interpolacijskem koeficientu je ϑ definiran

$$\vartheta = \frac{T - 273}{1000}$$

Temperaturno odvisnost molske srednje specifične toplote komponent dimnih plinov O, H, C in N zanemarimo in za izračun vzamemo

$$c_{pO} = 21,35 \quad \text{kJ/kmol K}$$

$$c_{pH} = 20,93 \quad \text{kJ/kmol K}$$

$$c_{pC} = 20,93 \quad \text{kJ/kmol K}$$

$$c_{pN} = 20,93 \quad \text{kJ/kmol K}$$

Koeficiente interpolacijskega polinoma izračunamo za temperaturni interval od 1473 K do 2373 K. Temperaturna omejitev nam poveča natančnost izračunanih vrednosti. V tabeli 2 so podane vrednosti posameznih koeficientov interpolacijskega polinoma za nekatere pline po tabeli 1.

Tabela 1

Srednja molna specifična toplota $[C_{pi}]_0^T$ plinov med 273 K in 3273 K pri nizkih tlakih

Temper.		Srednja molna specifična toplota							
°C	K	CO ₂	H ₂ O	O ₂	N ₂	CO	H ₂	OH	NO
0	273	36,09	33,49	29,27	29,14	29,14	28,64	29,98	29,98
300	573	41,95	34,58	30,44	29,39	29,52	29,06	29,64	30,23
600	873	45,97	36,22	31,78	30,15	30,48	29,31	29,68	31,23
900	1 173	48,78	38,02	32,87	31,07	31,40	29,64	30,06	32,24
1200	1 473	51,00	39,82	33,66	31,86	32,24	30,10	30,56	33,03
1500	1 773	52,63	41,49	34,29	32,53	32,91	30,65	31,15	33,62
1800	2 073	53,93	43,04	34,88	33,08	33,45	31,23	31,74	34,12
2100	2 373	54,89	44,38	35,34	33,54	33,87	31,74	32,28	34,58
2400	2 673	55,52	45,51	35,76	33,91	34,25	32,24	32,74	34,92
2700	2 973	56,40	46,64	36,22	34,33	34,58	32,74	33,16	35,17
3000	3 273	57,32	47,65	36,59	34,58	34,83	33,16	33,58	35,38

Tabela 2: Vrednost koeficientov a_i, b_i, c_i, d_i interpolacijskega polinoma za izračun c_{p_i} komponent dimnih plinov $CO_2, H_2O, O_2, N_2, CO, H_2, OH, NO$ v temperaturnem območju od 1473 K do 2373 K.

PLIN	Koeficient interpolacijskega polinoma			
	a_i	b_i	c_i	d_i
CO ₂	10,1159	1,9129	-0,0753	-0,0746
H ₂ O	8,0059	0,9694	0,3832	-0,1222
O ₂	6,7579	1,7765	-0,7252	0,1241
N ₂	6,2679	1,8098	-0,7252	0,1241
CO	6,7600	0,9833	-0,1667	—
H ₂	7,3739	-0,9581	0,8944	-0,1864
OH	6,7361	0,4689	0,0016	-0,0012
NO	6,9228	1,1918	-0,3979	0,0636

Na enak način določimo temperaturno odvisnost ravnotežnih konstant, ki jih potrebujemo pri izračunu adiabske temperature z delno in popolno disociacijo.

Interpolacijsko enačbo za ravnotežne konstante poiščemo v obliki

$$K_p = a_j \cdot \theta(b_j + c_j + d_j + \dots) \quad (51)$$

Tabelarnični podatki za ravnotežne konstante v odvisnosti od temperature so v tabeli 3, iz katerih smo določili koeficient interpolacijske enačbe (51), ki so prikazani v tabeli 4.

Tabela 4 — Vrednosti koeficientov a_j, b_j, c_j, d_j interpolacijske enačbe (51) za izračun ravnotežnih konstant v temperaturnem območju od 1500 K do 2800 K.

Ravnotežna konstanta	Koeficient			
	a_j	b_j	c_j	d_j
K_{CO}	4,2600.10 ⁻⁸	34,5918	-13,0837	2,3542
K_{H_2}	3,0900.10 ⁻⁸	29,8501	-11,1020	2,0314
K_{OH}	2,1270.10 ⁻⁵	28,6255	-14,4325	2,8598
K_{NO}	8,3816.10 ⁻⁴	7,8203	-1,4132	0,1273
K_C	2,0403.10 ⁻¹⁸	80,1731	-44,6290	9,3653
K_H	6,5380.10 ⁻¹⁰	13,6717	7,3595	-2,3007
K_O	8,3780.10 ⁻⁹	44,9225	-20,7106	3,8838
K_N	5,2000.10 ⁻¹²	20,1963	3,5577	-1,5443

Tabela 3 — Vrednosti za ravnotežne konstante za temperaturno območje od 1500 K do 3273 K

Temperatur.		Ravnotežna konstanta za posamezne komponente dimnih plinov							
°C	K	K_{CO}	K_{H_2}	K_{OH}	K_{NO}	K_C	K_H	K_O	K_N
1227	1500	5,15.10 ⁻⁶	1,92.10 ⁻⁶	8,00.10 ⁻⁴	3,15.10 ⁻³	1,59.10 ⁻¹⁴	2,40.10 ⁻⁸	4,69.10 ⁻⁶	4,50.10 ⁻¹⁰
1500	1773	1,58.10 ⁻⁴	4,17.10 ⁻⁵	4,90.10 ⁻³	9,50.10 ⁻³	2,25.10 ⁻¹²	2,25.10 ⁻⁶	8,00.10 ⁻⁵	4,00.10 ⁻⁸
1727	2000	1,39.10 ⁻³	2,90.10 ⁻⁴	1,70.10 ⁻²	1,95.10 ⁻²	4,73.10 ⁻¹¹	2,80.10 ⁻⁵	7,00.10 ⁻⁴	7,50.10 ⁻⁷
2000	2273	1,00.10 ⁻²	1,73.10 ⁻³	5,00.10 ⁻²	3,80.10 ⁻²	7,10.10 ⁻¹⁰	3,90.10 ⁻⁴	4,50.10 ⁻³	1,20.10 ⁻⁵
2227	2500	3,86.10 ⁻²	5,98.10 ⁻³	1,09.10 ⁻¹	5,86.10 ⁻²	6,02.10 ⁻⁹	2,00.10 ⁻³	1,60.10 ⁻²	6,80.10 ⁻⁵
2500	2773	1,33.10 ⁻¹	1,87.10 ⁻²	2,20.10 ⁻¹	8,80.10 ⁻²	4,00.10 ⁻⁸	1,02.10 ⁻²	5,10.10 ⁻²	3,90.10 ⁻⁴
2727	3000	3,25.10 ⁻¹	4,42.10 ⁻²	3,70.10 ⁻¹	1,21.10 ⁻¹	1,43.10 ⁻⁷	3,32.10 ⁻²	1,27.10 ⁻¹	1,37.10 ⁻³
3000	3273	8,00.10 ⁻¹	1,04.10 ⁻¹	6,30.10 ⁻¹	1,61.10 ⁻¹	5,50.10 ⁻⁷	1,08.10 ⁻¹	2,85.10 ⁻¹	4,80.10 ⁻³

3.0 IZRACUN ADIABATSKIH TEMPERATUR ZA PLINSKO MEŠANICO

V železarni Ravne smo izdelali računske programe za izračun adiabske temperature zgorevanja po opisanih treh modelih zgorevanja.⁶ Pri tem smo upoštevali za določitev srednje molne specifične toplote in temperaturne odvisnosti ravnotežnih konstant izračunane vrednosti koeficientov za oba interpolacijska polinoma. Za izračun smo upoštevali rezultirajočo plinsko mešanico, sestavljeno iz dveh osnovnih plinskih mešanic, zemeljski plin — zrak in propan-butan — zrak, ki se bo dejansko uporabljala v železarni. Podatki za sestavo rezultirajoče plinske mešanice so v tabeli 5, kjer je sestava osnovnih plinskih mešanic zemeljski plin — zrak in propan-butan — zrak prikazana od 0 do 100 % stopnje emšanja PBZ.

Tabela 5 — Podatki o sestavi rezultirajoče plinske mešanice v odvisnosti od medsebojne stopnje mešanja, za katero izračunamo adiabsko temperaturo zgorevanja

Stopnja mešanja x	Sestava rezultirajoče plinske mešanice v _i v vol %					
	\bar{v}_1	\bar{v}_2	\bar{v}_3	\bar{v}_4	\bar{v}_5	\bar{v}_6
% PBZ	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	O ₂	N ₂
0	51,028	1,805	0,384	0,339	9,514	36,930
10	45,943	1,642	1,125	1,737	10,191	39,363
20	40,857	1,479	1,866	3,135	10,868	41,796
30	35,772	1,315	2,607	4,533	11,545	44,228
40	30,686	1,152	3,348	5,931	12,222	46,661
50	25,601	0,989	4,089	7,329	12,899	49,094
60	20,516	0,826	4,829	8,726	13,576	51,527
70	15,430	0,663	5,570	10,124	14,253	53,960
80	10,345	0,499	6,311	11,522	14,930	56,392
90	5,259	0,336	7,052	12,920	15,607	58,825
100	0,174	0,173	7,793	14,318	16,284	61,258

Sestava zemeljskega plina in tekočega naftnega plina, ki smo jo vzeli za izračun rezultirajoče plinske mešanice, in postopek izračuna je bil obdelan.⁷

Rezultirajoča planska mešanica sestave, podana v tabeli 5, ima naslednje fizikalne lastnosti, ka-

tere potrebujemo za izračun adiabatске temperature zgorovanja.

Tabela 6 — Osnovni fizikalni podatki rezultirajoče plinske mešanice

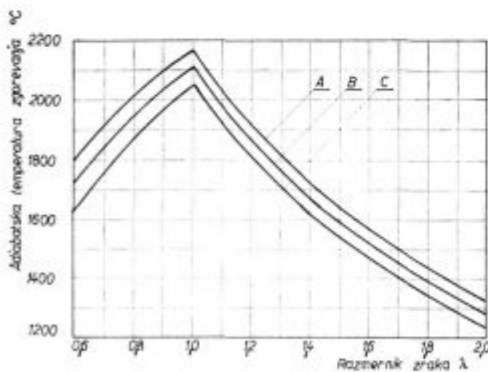
Stopnja mešanja x	Molek. masa M_{PRPM}	Plinska konstanta R_{PRPM}	Kurilnost H_{PRPM}	Gostota ρ_{PRPM}	d = $\frac{\rho_{PRPM}}{\rho_{ZR}}$	Relativna gostota	Dinamična viskoznost $\eta \cdot 10^6$
% PBZ	kg/kmol	kJ/kgK	kJ/kmol	kg/m ³	—	—	kg/ms
0	22,486	369	453 530	1,0071	0,7793		13,460
10	23,657	351	464 447	1,0621	0,8216		13,423
20	24,831	335	475 364	1,1168	0,8637		13,386
30	26,004	320	482 281	1,1714	0,9061		13,350
40	27,176	306	497 198	1,2260	0,9483		13,313
50	28,349	293	508 115	1,2807	0,9906		13,276
60	29,522	282	519 032	1,3353	1,0329		13,239
70	30,694	271	529 949	1,3900	1,0752		13,202
80	31,867	261	540 866	1,4445	1,1173		13,166
90	33,039	252	551 783	1,4992	1,1597		13,129
100	34,212	243	562 700	1,5538	1,2019		13,092

Rezultate izračunov prikažemo grafično v obliki diagramov za posamezne modele zgorovanja v odvisnosti od stopnje mešanja in razmernika zraka, kjer upoštevamo naslednja območja za

— stopnjo mešanja x v mejah od 0 % do 100 % PBZ

— razmernik zraka λ v mejah od 0,6 do 2

Na sliki 1 prikažemo odvisnost adiabatске temperature zgorovanja od razmernika zraka za določene stopnje mešanja. Postopek izračuna za ta model zgorovanja je razdeljen na dva dela, na zgorovanje pri razmerniku zraka $\lambda < 1$ in zgorovanje



- A stopnja mešanja x = 100 % PBZ
B stopnja mešanja x = 50 % PBZ
C stopnja mešanja x = 0 % PBZ

Slika 1

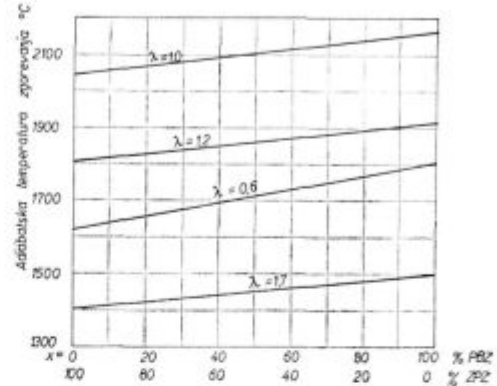
Adiabatška temperatura zgorovanja za model zgorovanja brez upoštevanja disociacije dimnih plinov

Fig. 1

Adiabatic combustion temperature for the model which does not take into account the dissociation of flue gases

pri razmerniku $\lambda \geq 1$, zato je funkcija za adiabatško temperaturo v točki pri $\lambda = 1$ lomljena in ni zvezna.

Iz slike 1 je razvidno, da se nam adiabatška temperatura zgorovanja spreminja tako v odvisnosti od razmernika zraka kot od sestave rezultirajoče plinske mešanice, kar prikažemo na sliki 2.

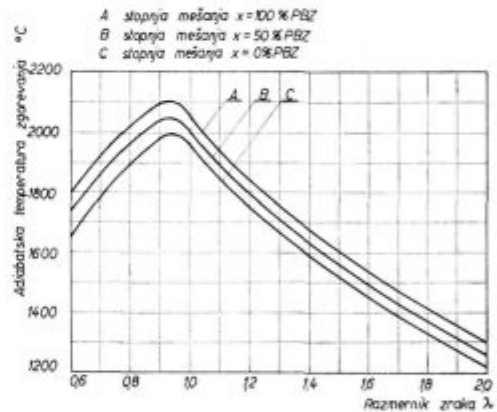


Slika 2

Sprememba adiabatске temperature zgorovanja v odvisnosti od stopnje mešanja za določene razmernike zraka

Fig. 2

Variation of the adiabatic combustion temperature with the degree of mixing for single air ratios



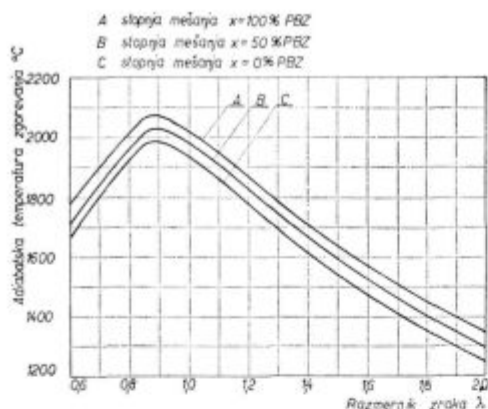
Slika 3

Adiabatška temperatura zgorovanja za model zgorovanja z delnim upoštevanjem disociacije dimnih plinov

Fig. 3

Adiabatic combustion temperature for the model where the dissociation of flue gases is partially taken into account

Na sliki 3 prikažemo adiabatško temperaturo zgorovanja z delnim upoštevanjem disociacije dimnih plinov in na sliki 4 adiabatško temperaturo zgorovanja z upoštevanjem popolne disociacije dimnih plinov. V obeh primerih prehaja krivulja adiabatске temperature zvezno iz območja zgorovanja s primanjkljajem zraka v območje zgorovanja s presežkom zraka. Temperaturni maksimum se zniža in pomakne v območje zgorovanja pri razmerniku zraka $0,9 < \lambda < 1$. Večja kot je stopnja upoštevanja disociacije, bolj se zniža adiabatška temperatura zgorovanja in odmik temperaturnega maksimuma od razmernika $\lambda = 1$, kar prikažemo na sliki 5.

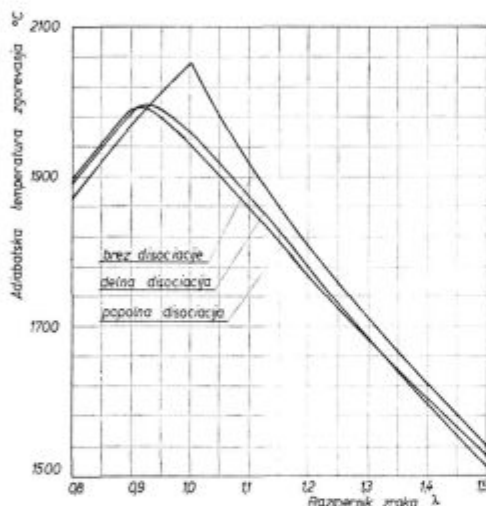


Slika 4

Adiabska temperatura zgorevanja za model zgorevanja s popolno disociacijo dimnih plinov

Fig. 4

Adiabatic combustion temperature for the model where the dissociation of flue gases is taken in account



Slika 5

Adiabska temperatura zgorevanja v odvisnosti od stopnje upoštevanja disociacije dimnih plinov za območje razmernika zraka od 0,8 do 1,5 pri 0% stopnji mešanja PBZ

Fig. 5

Adiabatic combustion temperature related to the degree of consideration of the dissociation of flue gases for air ratios 0.8 to 1.5. Without mixing of PBA.

4.0 ODVISNOST DOLŽINE PLAMENA OD ADIABATSKE TEMPERATURE ZGOREVANJA

Reducirano dolžino plamena za plinski gorilnik brez predmešanaj plina in zraka izračunamo po enačbi⁸

$$L = \frac{1}{2} \cdot \frac{K_1}{K_2} \cdot \frac{C_i}{C_{\xi}^2} \cdot \frac{\bar{v}_o}{v_o} \sqrt{\frac{1}{\beta} \cdot \frac{\mu_p}{\mu_{dp}} \cdot \frac{T_p}{T_o}} \quad (52)$$

Reducirana dolžina plamena se spreminja od vstopne sestave plina in razmernika zraka. V nadaljevanju razčlenimo enačbo (52) na dva dela; t.j. na del, ki upošteva določeno spremembo vstop-

ne sestave rezultirajoče plinske mešanice za podatke iz tabele 6 in del, ki upošteva razmernik zraka. Tako razčlenjeno enačbo (52) analiziramo za predhodno obravnavane modele zgorevanja.

Enačbo (52) razbijemo v

$$L = U(x) \cdot V(\lambda), \quad (53)$$

kjer je definirana odvisnost od vstopne sestave

$$U(x) = \frac{1}{2} \frac{K_1}{K_2} \cdot \frac{C_i}{C_{\xi}^2} \cdot \frac{\bar{v}_o}{v_o} \sqrt{\frac{1}{\beta}} \quad (54)$$

in odvisnost reducirane dolžine od razmernika zraka

$$V(\lambda) = \frac{1}{v_p} \sqrt{\frac{\mu_p}{\mu_{dp}} \cdot \frac{T_p}{T_o}} \quad (55)$$

Odvisnost spremembe vstopne sestave rezultirajoče plinske mešanice na reducirano dolžino plamena moramo analizirati posebej za vsak parameter iz enačb (54).

Koeficienta K_1 in K_2 , ki upoštevata porazdelitev izstopne hitrosti na ustju gorilnika, sta definirana

$$K_1 = \frac{2n^2}{(n+1)(2n+1)} \quad (56)$$

in

$$K_2 = \frac{2n^2}{(n+2)(2n+2)} \quad (57)$$

kjer je eksponent parabolične porazdelitve n funkcija Reynoldsovega števila

$$n = 2,1 \log Re - 1,9 \quad (58)$$

Pri pogoju izmenljivosti izhajamo iz zahteve, da se na plinskem gorilniku s spremembo sestave plinske mešanice ne sme spremeniti toplotna obremenitev gorilnika, če je ostal tlak plinske mešanice na gorilniku konstanten. Iz te zahteve dobimo zvezo med sestavo rezultirajoče plinske mešanice in koeficientoma K_1 in K_2 , tako da Reynoldsovo število izrazimo s toplotno obremenitvijo

$$Re = \frac{4 \cdot Q}{d \cdot \pi} \cdot \frac{\rho_p}{H_p \cdot \eta_p} \quad (59)$$

Za določene vrednosti Q in d in spremembo rezultirajoče sestave plinske mešanice po tabeli 6 izračunamo za posamezne stopnje mešanja koeficienta K_1 in K_2 , ki ju podamo v tabeli 7. Prenosna koeficienta impulza in mase sta v medsebojni povezavi in sta odvisna samo od gostote, tako da imamo naslednjo zvezo

$$\frac{C_i}{C_{\xi}^2} = \frac{C_i}{1,16^2 \cdot C_i^2} = \frac{0,7432}{C_i}, \quad (60)$$

ki jo v odvisnosti od stopnje mešanja prikažemo v tabeli 7.

Faktor β je definiran z razmerjem molekularne mase plina pred zgorevanjem proti molekular-

ni masi nastalih dimnih plinov po zgorevanju brez upoštevanja disociacije

$$\beta = \frac{\rho_{RPM}}{\rho_{dp}} \quad (61)$$

in je prav tako podan v tabeli 7.

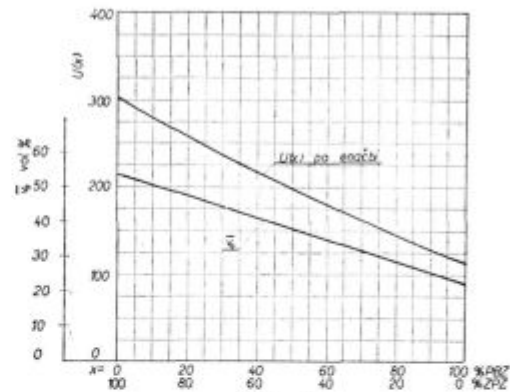
Odvisnost reducirane dolžine plamena od razmernika zraka podana z enačbo (55) je prikazana v tabeli 8 za razne modele zgorevanja.

Na sliki 6 in 7 prikažemo grafično vpliv sestave in razmernika zraka na reducirano dolžino plamena.

Na slikah 8 in 9 prikažemo odvisnost reducirane dolžine plamena za različna modela zgorevanja in določeno sestavo rezultirajoče plinske mešanice.

Na sliki 10 prikažemo za določeno rezultirajočo plinsko mešanico vpliv upoštevanja stopnje disociacije na reducirano dolžino plamena.

Iz slike 6 je razviden vpliv sestave rezultirajoče plinske mešanice na dolžino plamena in faktorja, ki upoštevatata porazdelitev hitrostnega profila. Ta nam nekoliko ukrivi premico vpliva sestave in



Slika 6
Vpliv spremembe sestave na reducirano dolžino plamena po enačbi (54)

Fig. 6
Influence of the changed composition on the reduced flame length according to equation (54)

za tehnične izračune lahko ta vpliv zanemarimo. Vpliv razmernika zraka se izraža preko adiabat-ske temperature zgorevanja, ki nam popači krivuljo sorazmerno s potekom krivulje za adiabat-sko

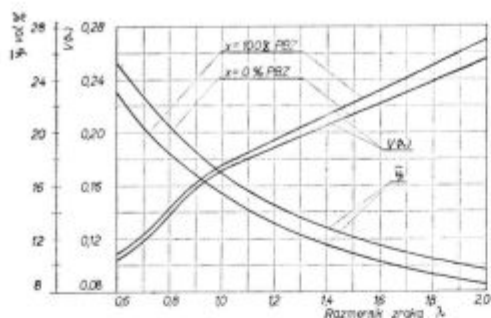
Tabela 7 — Vpliv spremembe sestave rezultirajoče plinske mešanice na reducirano dolžino plamena, definiran s faktorjem $U(x)$.

$\dot{Q} = 83\,721\text{ W}$, $d = 0,01\text{ m}$ parametri gorilnika

Stopnja mešanja	R_c	n	K_1	K_2	c_1	\bar{v}_0	β	$U(x)$
% PBZ								
0	39 392	7,750	0,832	0,704	0,072	53,556	0,812	304,14
10	40 682	7,780	0,833	0,705	0,072	50,447	0,852	279,83
20	41 907	7,807	0,833	0,706	0,071	47,336	0,890	260,35
30	43 087	7,832	0,834	0,706	0,071	44,227	0,927	238,65
40	44 223	7,856	0,834	0,707	0,071	41,117	0,969	216,85
50	45 325	7,878	0,834	0,708	0,070	38,007	1,010	199,00
60	46 405	7,900	0,835	0,708	0,070	34,897	1,050	179,41
70	47 438	7,920	0,835	0,709	0,069	31,787	1,088	162,75
80	48 437	7,939	0,836	0,709	0,069	28,678	1,126	144,45
90	49 411	7,957	0,836	0,710	0,068	25,568	1,166	128,38
100	50 363	7,974	0,836	0,710	0,068	22,458	1,204	110,96

Tabela 8 — Vrednost enačbe (55) za različne razmernike zraka in stopnjo disociacije dimnih plinov

Razmer-nik λ	Brez disociacije			Delna disociacija			Popolna disociacija		
	$x = 0$	$x = 0$	$x = 0$	$x = 50$	$x = 50$	$x = 50$	$x = 100$	$x = 100$	$x = 100$
0,6	0,1039	0,1066	0,1088	0,1045	0,1069	0,1088	0,1048	0,1063	0,1085
0,8	0,1379	0,1405	0,1425	0,1386	0,1407	0,1425	0,1388	0,1402	0,1423
1,0	0,1722	0,1746	0,1706	0,1688	0,1702	0,1718	0,1681	0,1698	0,1712
1,2	0,1901	0,1928	0,1952	0,1887	0,1913	0,1925	0,1883	0,1910	0,1930
1,4	0,2071	0,2101	0,2128	0,2056	0,2086	0,2111	0,2062	0,2092	0,2116
1,6	0,2233	0,2267	0,2296	0,2227	0,2256	0,2283	0,2224	0,2258	0,2284
1,8	0,2389	0,2426	0,2457	0,2376	0,2418	0,2448	0,2380	0,2417	0,2445
2,0	0,2541	0,2580	0,2613	0,2528	0,2567	0,2600	0,2532	0,2571	0,2601

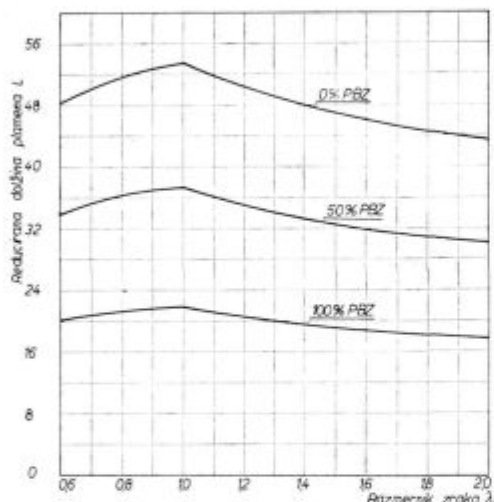


Slika 7

Vpliv razmernika zraka na reducirano dolžino plamena po enačbi (55) za konstantno sestavo rezultirajoče plinske mešanice

Fig. 7

Influence of the air ratio on the reduced flame length by equation (55) for the constant composition of the resulting gas mixture

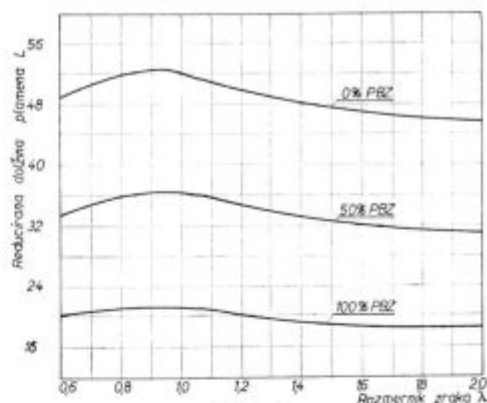


Slika 8

Reducirana dolžina plamena za model zgorevanja brez upoštevanja disociacije za različne stopnje mešanja rezultirajoče plinske mešanice

Fig. 8

Reduced flame length for the combustion model without taking in account the dissociation at various degrees of mixing the resulting gas mixture

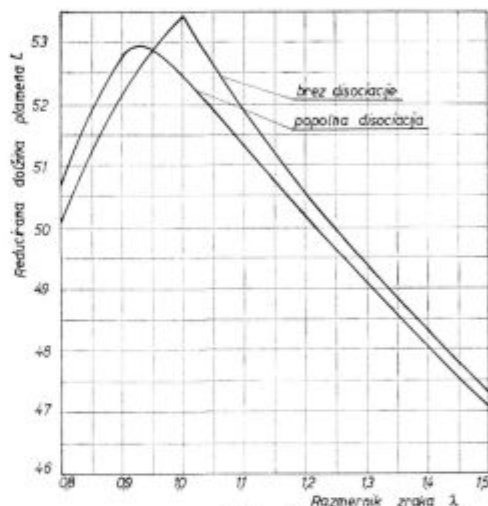


Slika 9

Reducirana dolžina plamena za model zgorevanja z upoštevanjem popolne disociacije dimnih plinov za različne stopnje mešanja rezultirajoče plinske mešanice

Fig. 9

Reduced flame length for the combustion model taking in account the complete dissociation of flue gases at various degrees of mixing the resulting gas mixture



Slika 10

Sprememba reducirane dolžine plamena v odvisnosti od stopnje upoštevanja disociacije za rezultirajočo plinsko mešanico zemeljski plin - zrak

Fig. 10

Change of reduced flame length depending on the degree of consideration of dissociation for the resulting natural gas - air mixture

temperaturo zgorevanja, kot je tudi razvidno iz slik 8 in 9. Krivulje reducirane dolžine plamena potekajo podobno kot krivulje adiabatne temperature zgorevanja, samo da je vpliv razmernika zraka in stopnja upoštevanja disociacije manjša, kar je razvidno iz slike 10.

Literatura

- Schmidt E.: Einführung in die Technische Thermodynamik, 10. Auf., (Berlin/Göttingen/Heidelberg), Springer-Verlag 1963.
- Grumbt A.: Gleichgewichtsgase der Verbrennung und Vergasung, 1. Auf., (Berlin/Göttingen/Heidelberg), Springer-Verlag 1958.

- Schuster F.: Energetische Grundlagen der Gastechnik, 2. Auf., (Halle), Verlag von Wilhelm Knapp 1950.
- Kremer H., Becker A., Skunca J.: »Vergleich exakter und vereinfachter verfahren zur Berechnung der Gleichgewichtszusammensetzung und der adiabaten Flammtemperaturen« GWI, Bd. 26 (1977), Nr. 5, str. 232-238.
- Landau L., Lifšič M.: Mehanika neprekidnih sredina, 2. izdanje, (Beograd) Građevinska knjiga 1965.
- Vidav I., Bohte Z.: Višja matematika III, 5. izdaja, (Ljubljana), Državna založba Slovenije 1976.
- Sicherl B., Vodeb D.: »Problematika zamenljivosti kurilnih plinov v industriji, I. del«, Zelezarski zbornik, 10 (1976), šte. 4, str. 16-22
- Vodeb D., Gašperšič B., Sicherl B.: »Matematični model plinskega gorilnika«, Zelezarski zbornik, 11 (1977), šte. 4, str. 183-195.

UPORABLJENE OZNAKE

A_{ij} — število atomov elementa j v komponenti i
 A — konstanta enačbe
 a_i — koeficient interpolacijskega polinoma
 a_j — koeficient interpolacijske enačbe
 B — konstanta enačbe
 b_i — koeficient interpolacijskega polinoma
 b_j — koeficient interpolacijske enačbe
 c_d — dejanska srednja molna specifična toplota kJ/kmol K
 c_{pi} — srednja molna specifična toplota komponent dimnih plinov kJ/kmol K
 c_i — koeficient interpolacijskega polinoma; prenosni koeficient impulza
 c_j — koeficient interpolacijske enačbe
 C_i — prenosni koeficient mase
 D — konstanta enačbe
 d — premer plinske šobe m
 d_i — koeficient interpolacijskega polinoma
 d_j — koeficient interpolacijske enačbe
 f — oznaka funkcije
 H — kurilnost plinske mešanice kJ/kmol
 H_d — kurilnost plinske mešanice zmanjšana za vrednost neizgorelih komponent v dimnih plinih kJ/kmol
 H_i — kurilnost neizgorelih komponent v dimnih plinih kJ/kmol
 i, k — števec sumiranja
 K_c — ravnotežna konstanta atomarnega ogljika (amorfna oblika)
 K_{CO} — ravnotežna konstanta ogljikovega monoksida
 K_H — ravnotežna konstanta atomarnega vodika
 K_{H_2} — ravnotežna konstanta vodika
 K_N — ravnotežna konstanta atomarnega dušika
 K_{NO} — ravnotežna konstanta dušikovega oksida
 K_O — ravnotežna konstanta atomarnega kisika
 K_{OH} — ravnotežna konstanta OH skupine
 K_w — ravnotežna konstanta CO in H_2O
 K_1 — koeficient porazdelitve hitrosti na izstopu iz gorilnika
 K_2 — koeficient porazdelitve impulza na izstopu iz gorilnika
 l — število gorljivih komponent v plinski mešanici
 L — reducirana dolžina plamena
 m_i — molekularna masa komponent dimnih plinov kmol
 m_{CO} — molekularna masa ogljikovega monoksida kmol
 m_{CO_2} — molekularna masa ogljikovega dioksida kmol
 m_{H_2O} — molekularna masa vodne pare kmol
 m_{N_2} — molekularna masa dušika kmol
 m_{O_2} — molekularna masa kisika kmol
 n — število komponent dimnih plinov, eksponent parabolične porazdelitve hitrosti
 P_c — atomski tlak ogljikovih atomov P_α
 P_H — atomski tlak vodikovih atomov P_α
 P_N — atomski tlak dušikovih atomov P_α
 P_O — atomski tlak kisikovih atomov P_α
 p_c — parcialni tlak atomarnega ogljika P_α
 p_{CO} — parcialni tlak ogljikovega monoksida P_α
 p_{CO_2} — parcialni tlak ogljikovega dioksida P_α

p_H — parcialni tlak atomarnega vodika P_α
 p_{H_2} — parcialni tlak vodika P_α
 p_{H_2O} — parcialni tlak vodne pare P_α
 p_N — parcialni tlak atomarnega dušika P_α
 p_{NO} — parcialni tlak dušikovega oksida P_α
 p_{N_2} — parcialni tlak dušika P_α
 p_O — parcialni tlak atomarnega kisika P_α
 p_{O_2} — parcialni tlak kisika P_α
 p_{OH} — parcialni tlak OH skupine P_α
 p_i — parcialni tlak komponent dimnih plinov P_α
 Σp — atmosferski tlak P_α
 P_i — atomski tlak
 PBZ — plinska mešanica propan-butan — zrak
 R_e — Reynoldsovo število
 R_{α} — splošna plinska konstanta kJ/kmol K
 T — temperatura K
 t_s — temperaturna diferenca $^{\circ}C$
 T_a — adiabatna temperatura zgorevanja K
 T_g — temperatura goriva K
 T_o — temperatura okolice K
 T_z — temperatura zraka K
 $U(x)$ — funkcijska odvisnost reducirane dolžine plamena od sestave plina
 $V(x)$ — funkcijska odvisnost reducirane dolžine plamena od razmernika zraka
 v_p — volumensko razmerje gorljivega v coni zgorevanja vol %
 v_i — volumensko razmerje gorljivega na izstopu iz gorilnika vol %
 \bar{v}_{pi} — volumensko razmerje gorljivih komponent plinske mešanice vol %
 v_1 — volumensko razmerje kisika v plinski mešanici vol %
 v_2 — volumensko razmerje dušika v plinski mešanici vol %
 w — hitrost m/s
 Z — zrak za zgorevanje, število atomov
 x — delež PBZ v rezultirajoči plinski mešanici %
 \dot{Q} — topli tok W
 β — razmerje molekularnih mas plina pred zgorevanjem in nastalih dimnih plinov
 θ — oznaka temperature v interpolacijskem polinomu
 λ — razmernik zraka
 Σ — vsota
 μ_p — molekularna masa plina v coni zgorevanja kJ/kmol
 μ_{dp} — molekularna masa dimnih plinov kJ/kmol
 ρ — gostota kg/m³
 η — dinamična viskoznost kg/ms

INDEKSI

min — minimalna vrednost
 o — okolica
 a — adiabatna
 p — plinska mešanica, pri konstantnem tlaku
 dp — dimni plini
 g — gorivo
 Z — zrak
 d — dejanski

ZUSAMMENFASSUNG

Die Einführung der rechnergesteuerten Gasöfen für das Erwärmen und Glühen verlangt ein exaktes Kenntnis der einzelnen Einflussparameter beim Verbrennungsvorgang und Wärmeübergang im Ofen. Für den Fall der Heizung der Gasöfen mit einer Gasmischung deren Zusammensetzung sich zeitweise ändert und wird im Hüttenwerk Ravne praktisch eintreten, ist der Einfluss der Dissoziation auf die adiabatische Verbrennungstemperatur und die Flammenlänge für einen Gasbrenner ohne Gas und Luftvormischung bearbeitet worden. Aus den erhaltenen Ergebnissen, welche den Grund für die weitere Analyse der Wärmeübertragung im Ofen bilden, ist der Einfluss der Dissoziation auf die Genauigkeit der ausgerechneten Werte der adiabatischen Verbrennungstemperatur bestimmt worden. Die rechnerischen Beispiele sind für die Verbrennung der Gasmischung Erdgas — Luft oder Propan-butan — Luft beim Luftverhältnis $\gamma \approx 1$ bearbeitet worden.

Im ersten Teil sind die mathematischen Algorithmen für die Ausrechnung der adiabatischen Verbrennungstemperatur für drei verschiedene Verbrennungsmodelle bestimmt worden.

— ohne Berücksichtigung der Dissoziation der Abgase

— teilweise Berücksichtigung der Dissoziation der Abgase

— vollständige Berücksichtigung der Dissoziation der Abgase

Die Werte für die spezifische Molwärme und die Gleichgewichtskonstanten sind für die rechnerische Anwendung mit der Hilfe des interpolations Polynomes ausgedrückt. Die Koeffiziente der Interpolationspolynomen sind für den Verbrennungstemperaturbereich der Gasmischungen ausgerechnet worden.

Für die veränderliche Zusammensetzung der Gasmischung im Hüttenwerk Ravne ist die adiabatische Verbrennungstemperatur für die aufgebauten Verbrennungsmodelle ausgerechnet worden.

Im letzten Teil ist der Einfluss der adiabatischen Verbrennungstemperatur auf die Länge der Diffusionsflamme dargestellt.

SUMMARY

Introduction of the computer control of heating and annealing furnaces heated by gas demand accurate knowledge of single influences on the phenomena in combustion and in heat transfer in the furnace. When a furnace is heated by a gas mixture which composition varies with a time the influence of dissociation on the adiabatic temperature of combustion and on the flame length in gas burner without premixing of gas and air must be known. Such a case will be in the Ravne Ironworks and the paper presents such a calculation. From the obtained results which are the basis for further analysis of heat transfer in the furnace, the influence of dissociation on the accuracy of calculated values for adiabatic combustion temperatures is determined. Calculations are presented for combustion of natural gas — air or propane-buthane $\gamma \approx 1$ air mixtures with air ratios.

In the first part, mathematical algorithms for calculation of the adiabatic combustion temperature are presented for three different models of combustion:

— without taking in account the dissociation of flue gases

— partially taking in account the dissociation of flue gases

— taking in account the dissociation of flue gases

Values of specific molar heat and equilibrium constants are expressed by interpolation polynoms applicable for the computer treatment. Coefficients of the interpolation polynoms are calculated for the temperature region of combustion of gas mixtures.

Abiatic combustion temperature by the proposed models is calculated also for varying composition of gas mixture in Ravne Ironworks.

The last part of the paper presents the influence of the adiabatic combustion temperature on the length of diffusion flame.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Введение вычислительной системы управления газовых нагревательных и отжигательных печей требует солидное знание отдельных влияний на процесс горения и на выделение теплоты в печи. На примере нагрева газовых печей с газовой смесью, состав которой меняется по времени, что практически наступит в металлургическом заводе Железарна Равне, разработано влияние диссоциации на адиабатическую температуру згорания и на длину пламени газовой горелки без предварительного перемешивания газа и воздуха. Из полученных результатов, которые представляют собой базис для дальнейших исследований передачи теплоты в печи, определены влияние диссоциации на точность вычисленных значений адиабатических температур згорания. Примеры вычисления разработаны для згорания газовой смеси природный газ-воздух или пропан-бутан газ-воздух при отношении воздуха $\gamma \approx 1$. В первой части работы определены математические алгоритмы для вычисления адиабатической температуры згорания для трёх моделей згорания, т. е.:

— без учета диссоциации дымовых газов,

— с частичным учетом диссоциации дымовых газов,

— при полном учете диссоциации дымовых газов.

Значения для удельной молярной теплоёмкости и констант равномерности определены при помощи интерполяционного полинома. Коэффициенты интерполяционных полиномов вычислены для диапазон температур згорания смеси газов. Для переменного состава газовой смеси в металлургическом заводе Железарна Равне выполнено вычисление адиабатической температуры згорания для предложенных моделей згорания.

В конце работы рассмотрено влияние адиабатической температуры на длину диффузионного пламени.

Tehnične novice

Novosti na področju varilnih žic za plamensko varjenje

Ivan Mesec

Varilne žice za plamensko varjenje se v železarni Jesenice izdelujejo že od leta 1950 dalje v kvaliteti VP — 37, VP — 42, VP — 52 in VP — 60, namenjenih za varjenje nelegiranih in nizkolegiranih jekel do 60 kp/mm² trdnosti. Danes se od teh žic v glavnem uporabljata le še VP — 37 in VP — 42, medtem ko za žici VP — 52 in VP — 60 skorajda ni več nobenega povpraševanja. Iz teh razlogov smo redno proizvodnjo žic VP — 52 in VP — 60 ukinili, namesto njih pa smo pričeli izdelovati dve novi žici, legirani z molibdenom, oziroma molibdenom in kromom, oznake VP — Mo in VP — CrMo, ki sta namenjeni tudi za plamensko varjenje toplotnoobstojevnih jekel (parovodi, parni kotli ter ostale termoeenergetske naprave) in po katerih je vedno več povpraševanja. Ker JUS standard C.H3.051/1954 (žica za plinsko varjenje čelika) — ta je še vedno v veljavi — teh žic ne zajema, sta novi žici VP-Mo in VP-CrMo usklajeni z zahtevami po DIN 8554/1976 (Gasschweisstäbe für Verbindungsschweissen von Stählen). Da bi bili uporabniki bolj seznanjeni z bodočim asortimentom varilnih žic za plamensko varjenje, njihovimi lastnostmi in namensko uporabo, so nadalje podane osnovne lastnosti in namen uporabe za vsako posamezno kvaliteto žice:

Varilna žica »VP-37«

1. Oznaka žice:

JUS C.H3.051 : VA 37
DIN 8554 : G I/00
W. n. : 0329
AWS/ASTM : RG 45

2. Sestava žice (orient.):

C	Si	Mn
0,09	0,10	0,55 (%)

3. Lastnosti čistega vara (normaliziran):

Meja razt. N/mm ² (kp/mm ²)	Trdnost N/mm ² (kp/mm ²)	Razte-zek L = 5d %	Žilavost (DVM) Joul (kpm/cm ²)	Trdota HB
245—343 (25—35)	343—441 (35—45)	15—20	(48—62) (7—9)	110

4. Namen uporabe:

Žica je namenjena za plamensko varjenje maloogljjiknih, nelegiranih konstrukcijskih jekel, cevi ter ostalih profilov za normalne obremenitve. Vari so homogeni in mehki. Njihova mehanska obdelovalnost je dobra. Talina je redko tekoča, zato žica ni primerna za vertikalno varjenje.

Namenjena je za varjenje naslednjih jekel:

- konstrukcijska jekla: Č 0261 — Č 0461 (St 34 — St 42)
- jekla za cevovode: Č 1212, Č 1213 (St 35.4, St 45.4)

5. Primerjava z istovrstno tujo žico:

Böhler : BW VII
Phoenix Union : Union 37
Messer Griesheim : Gricon GV 1 — GV 3

Varilna žica »VP-42«

1. Oznaka žice:

JUS C.H3.051 : VA 42
DIN 8554 : G III/11, G III 21
DIN 17006 : 9MnNi4
W. n. : 6215
AWS/ASTM : RG 60

2. Sestava žice (orient.):

C	Si	Mn	Ni	Mo
0,13	0,25	0,90	0,70	0,23 (%)

3. Lastnosti čistega vara (normaliziran):

Meja razt. N/mm ² (kp/mm ²)	Trdnost N/mm ² (kp/mm ²)	Razte-zek L = 5d %	Žilavost (DVM) Joul (kpm/cm ²)	Trdota HB
294—392 (30—40)	392—491 (40—50)	16—22	62—75 (9—11)	120

4. Namen uporabe:

Žica je namenjena za plamensko varjenje nelegiranih in nizkolegiranih jekel do 50 kp/mm² trdnosti.

Uporablja se za varjenje kotlovske in ladijske pločevine, posod pod pritiskom, cevovodov, plinovodov, pri gradnji strojev in vozil ter za zahtevnejša reparaturna varjenja. Talina je gosto tekoča. Zato je žica primerna za vertikalno varjenje. Namenjena je za varjenje naslednjih jekel:

- konstrukcijska jekla: Č 0261 — Č 0481 (St 34 — St 46)
- kotlovska pločevina: Č 1200 — Č 1206 (HI — H III) Č 3133 (17 Mn 4)
- jekla za cevovode: Č 1212, Č 1213, Č 1214, Č 1215 (St 35.4, St 45.4, St 35.8, St 45.8)
- ladijske pločevine: A, B, C

5. Primerjava z istovrstno tujo žico:

Böhler : BW XII
Phoenix Union : Union Rot N
Messer Griesheim : Griduct G V 3

Varilna žica »VP-Mo«

1. Oznaka žice:

DIN 8554: G IV/ 11 21
DIN 17006: 9MnMo45
W. n.: 5425
AWS/ASTM: RG 60

Ivan Mesec, dipl. inž., je vodja razvoja dodatnih materialov v Železarni Jesenice

2. Sestava žice (orient):

C	Si	Mn	Mo
0,10	0,15	1,10	0,50 (%)

3. Lastnosti čistega vara (normaliziran):

Meja razt. N/mm ² (kp/mm ²)	Trdnost N/mm ² (kp/mm ²)	Zilavost (DVM) Joul (kpm/cm ²)	Trdota HB
294—392 (30—40)	441—540 (45—55)	48—82 (7—12)	ca. 180

4. Namen uporabe:

Žica je namenjena za plamensko varjenje nelegiranih in nizkolegiranih konstrukcijskih jekel do 60 kp/mm² trdnosti ter toplotno obstojnost jekel za obratovalne temperature do 500° C.

Npr.:

- konstrukcijska jekla: Č 0345 — Č 0560 (St 37 — St 50)
- jekla za cevovode: Č 1214 — Č 1215 (St 35.8, St 45.8)
- kotlovska ploščevina: Č 1200 — Č 1208 (H I — H IV)
Č 3133 (17 Mn 4)
- toplotno obstojno jeklo: Č 7100 (15 Mo 3)

5. Primerjava z istovrstno tujo žico:

Böhler : DMO
Phönix Union : Union Mo
Messer Griesheim : Griduct G — V Kemo

Varilna žica »VP-CrMo«

1. Oznaka žice:

DIN 8554: G V/11
DIN 17006: 11CrMo45
W.n.: 7346
AWS/ASTM: RG 65

2. Sestava žice (orient):

C	Si	Mn	Cr	Mo
0,11	0,20	1,00	1,00	0,50 (%)

3. Lastnosti čistega vara (napuščno odžarjen):

Meja razt. N/mm ² (kp/mm ²)	Trdnost N/mm ² (kp/mm ²)	Zilavost (DVM) Joul (kpm/cm ²)	Trdota HB
392—491 (40—50)	491—589 (50—60)	34—67 (5—10)	ca. 220

4. Namen uporabe:

Žica je namenjena za plamensko varjenje toplotno obstojnih CrMo jekel za obratovalne temperature do 550° C, kot npr.: Č 7400 (13CrMo44).

Namenjena je za varjenje parnih kotlov, cevovodov, tlačnih posod, armatur ter za razne reparature termoenergetskih naprav.

Uporabna je tudi za varjenje jekel za cementacijo in jekel zaboljšanje sorodne sestave.

5. Primerjava z istovrstno tujo žico:

Böhler : DCMS
Phönix Union : Union CrMo
Messer Griesheim : Griduct G — V Chromo

Sodobna domača kalilna olja in njihova kontrola

Černe F., Bergant S., Jocič B.

Emulgirna kalilna olja

Emulgirna olja so po nastanku novejšega datuma. Kljub temu pa so se v uporabi že zelo razširila in uveljavila, tako v Ameriki kakor tudi v vseh zapadno evropskih deželah. Ta olja imajo posebni emulgirni dodatek, ki omogoča, da se kaljenci lahko čistijo z izpiranjem v vodi.

Uporaba kalilnih olj z emulgirnimi lastnostmi daje sledeče prednosti:

— hitrejša, enostavnejša in cenejša razmaščevanje kaljencev v vodi,

— izboljšanje delovnih pogojev v kalilnici, ker odpade uporaba dragih in večinoma vnetljivih, eksplozivnih in zdravju škodljivih razmastilnih sredstev,

— ker s temi olji obdelane kaljence lahko enostavno razmastimo z vodo, se pri nadaljni toplotni obdelavi (popušcanju) ne morejo razvijati smrdelce, včasih tudi eksplozivne in zdravju škodljive izparine,

— visoke kalilne učinke ob poenostavljeni tehnologiji kaljenja,

— zaradi njihove visoke toplotne obstojnosti se izrazito podaljša vzdržnost in uporabnost kaline kopeli; olja manj koksajo, se počasi starajo in tudi po daljšem času ne izgubijo emulgirnih sposobnosti,

— kovinski izdelki so po kaljenju bolj čisti in manj potemni,

— v solni kopeli ogrevani kaljenci se po kaljenju v teh oljih hitreje in temeljiteje čistijo.

Prednosti uporabe teh olj so še druge. Med drugim tudi ta, da se kalilne naprave, posebno hladilniki, manj in mnogo počasneje onesnažujejo. Zato so tudi zastoji občasnih čiščenj manjši in manj zahtevni.

To so sodobna vsestransko uporabna kalilna olja, ki izpolnjujejo zahteve tehnologije kaljenja v največji možni meri. Po kalilni zmožnosti se zelo približujejo ohlajevalni sposobnosti vode, brez da bi pri tem nastopale nezaželjene deformacije kaljencev.

Izdelana so s posebnimi dodatki za povečanje kalilnega učinka in večje toplotne obstojnosti. Zaradi emulgirnega dodatka so sposobna vezati nekaj vode, ki se velikokrat nehoti vnese v kalilni bazen med proizvodnjo. Kljub tej vodi ta olja še vedno kalijo z velikim kalilnim učinkom, ne da bi jih bilo potrebno zavreči in zamenjati ali pa regenerirati. Emulzije, ki jih dobimo s pranjem kaljencev z vodo, se po krajšem času mirovanja razslojijo. S tem je omogočeno sprotno odstranjevanje in zbiranje oljnega koncentrata. Vodni del razdvojene emulzije, ki se z mirovanjem močno osiromaši na naftnih derivatih, lahko ponovno uporabimo za izpiranje kaljencev. S tem se poraba vode omeji na najmanjšo možno mero. Tako vodo pred spuščanjem v odplake ni potrebno posebej regenerirati.

Prvotno je bila za kaljenje potrebna cela vrsta raznih kalilnih olj, ki so se med seboj razlikovala po toplotni obstojnosti in tudi po kalilnih učinkih. Z emulgirnimi kalilnimi olji se je to omejilo na samo nekaj kvalitet. Taka lažja izbira je ugodna tako za uporabnika kakor tudi za samega proizvajalca kalilnih olj.

Podjetje OLMA izdeluje prej omenjena visokozmogljiva kalilna olja. Izbora je omejen na vsega 4 kvalitete oziroma gradacije, s katerimi lahko zadovoljimo večino uporabnikov. To so olja »olmakali«: 20 E, 25 E, 50 E in 90 E. Z

njimi lahko kalimo vse vrste nizko, srednje in visokolegiranih jekel. Uporabna so pri vseh vrstah postopkov toplotne obdelave.

Olmakal 20 E je posebej prirejen za kaljenje ogljikovih, nizko legiranih in cementacijskih jekel.

Olmakal 25 E je za kaljenje legiranih jekel, ki se kalijo iz srednjih temperatur.

Olmakal 50 E je za kaljenje legiranih jekel, ki se kalijo iz nekoliko višjih temperatur.

Olmakal 90 E je kalilno olje, ki je namenjeno za legirana jekla, ki se kalijo iz visokih temperatur, ogretyh v električnih ali plinskih pečeh.

Splošne lastnosti, ki so pomembne za uporabnike so naslednje:

Vrsta kalilnega olja	Viskoznozt	Plamenište	Strdište
Olmakal 20 E	2° E/50° C	150° C	— 15
Olmakal 25 E	2,5° E/50° C	160° C	— 12
Olmakal 50 E	5° E/50° C	200° C	— 10
Olmakal 90 E	9° E/50° C	250° C	— 5

Olmakali vsebujejo toplotno obstojne snovi, ki zadržijo emulgirne in druge, za kalilni učinek važne lastnosti tudi po daljši uporabi.

Olmakalov ni potrebno odstranjevati oziroma izpirati s kaljencev takoj po kaljenju. Na njih lahko ostajajo po potrebi tudi dalj časa za korozijsko zaščito. Odstranjujemo jih lahko neposredno pred nadaljnjim obdelovalnim postopkom.

Odstranjujemo jih lahko z mrzlo ali toplo vodo. Priporočamo uporabo tople vode, ker je izpiranje hitrejša in temeljitejša. Izpiramo s pomakanjem v vodo ali z brizganjem vode po kaljencih.

Olmakali so posebno primerni za kaljenje ogljikovih in nizko legiranih jekel, ki se v vse večji meri uporabljajo za izdelavo raznih strojnih delov.

Razna ogljikova in nizko legirana jekla postajajo zaradi cenosti vse bolj pomembna. Z ustrezno toplotno obdelavo dosegamo pri njih zahtevane mehanske lastnosti tako, da z njimi lahko zamenjujemo posamezne strojne dele, ki so se še do nedavnega izdelovali izključno iz dražjih visoko legiranih jekel.

Olmakali so odporni na kalilne soli in so zato še posebej primerni za kaljenje pod najtežjimi delovnimi pogoji.

Dobre kalilne lastnosti Olmakalov temeljijo na njihovih izrazitih ohlajevalnih sposobnostih.

Ker je mnogokrat zamenjava navadnih neemulgirnih kalilnih olj z emulgirnimi povezana z vprašanjem, kaj storiti s starim, še nepopolno izrabljenim kalilnim oljem, je podjetje Olma izdelalo poseben dodatek, s katerim je mogoče predelati staro neemulgirano olje v emulgirano. Dodatek se imenuje AD-KAL, ki se ga dodaja v količini 5–10 % v odvisnosti od vrste in stopnje izrabljenosti starega neemulgirnega kalilnega olja.

Količina AD-KAL se določi s predhodnim poizkusom. V ta namen se vzame 30–40 kg starega kalilnega olja, kateremu se v laboratorijih določijo ohlajevalne krivulje, viskoznozt, kislinsko število, nevtralizacijsko število, plamenište itd. in na osnovi tega odredi potreben dodatek za oplemenitenje in predelavo v emulgirno kvaliteto.

Podjetje Olma lahko za posebne zahteve razvije in izdeluje, čeprav tudi v manjših količinah, tudi kakršnokoli drugo kalilno olje s specifičnimi lastnostmi, ki bi bilo v največji možni meri prilagojeno posebnim zahtevam uporabnika.

Podatki avtorjev:

Franc Černe, dipl. inž. met., vodi Indok center v službi metalurških raziskav v Zvezarni Ravne, ZPSZ,

Boris Jocič, met. tehnik, vodi skupino za interne metalurške standarde v Indok centru v Zvezarni Ravne,

dr. Srečko Bergant, dipl. inž. kem., tehnični vodja, OLMA Ljubljana.

Iz kalilnih diagramov more uporabnik razbrati predvsem ohlajevalne lastnosti kalilnega olja in najugodnejšo temperaturo kalilne kopeli.

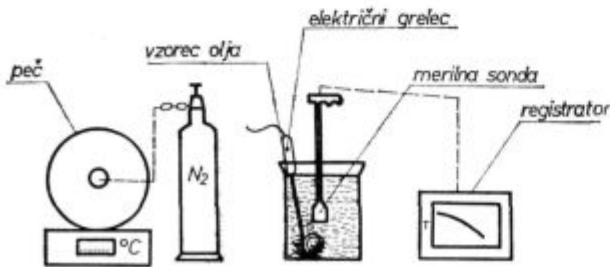
Kalilna olja za avtomate

Za posebne zahteve so v OLMKI razvili olja »Olmakal-rapid«, ki so primerna za kaljenje v kalilnih avtomatih oziroma za zaprte in odprte kalilne sisteme. V teh zaprtih kalilnih sistemih so kaljenci v varovalni oz. reakcijski atmosferi tako v peči kakor tudi izven peči med ohlajanjem oz. med potovanjem v kalilni bazen.

Ta posebna olja nimajo emulgirnega dodatka. Izdelana so iz izbranih surovin z visokimi vnetišči in dobrimi ohlajevalnimi lastnostmi. Vsebujejo dodatke za povečanje ohlajevalnih sposobnosti v območju višje temperature, za večjo toplotno odpornost in zmanjšanje nagnjenosti k koksanju. Pri kaljenju razvijajo minimalno količino par in hlapov.

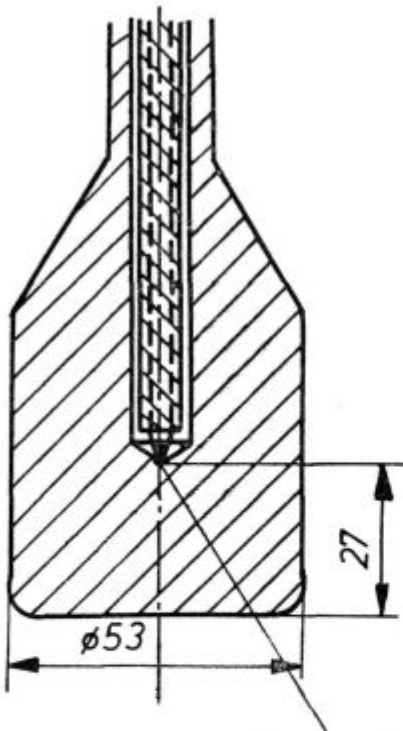
To so olja olmakal-rapid 50 in olmakal-rapid 50 extra. Njihov namen uporabe je:

Olmakal-rapid 50 je namenjen za kaljenje jekel, ki jih pri avstenitizaciji segrevamo pod 1000°C in ohlajamo v kalilni kopeli s temperaturami med 70 in 100°C.



Slika 1

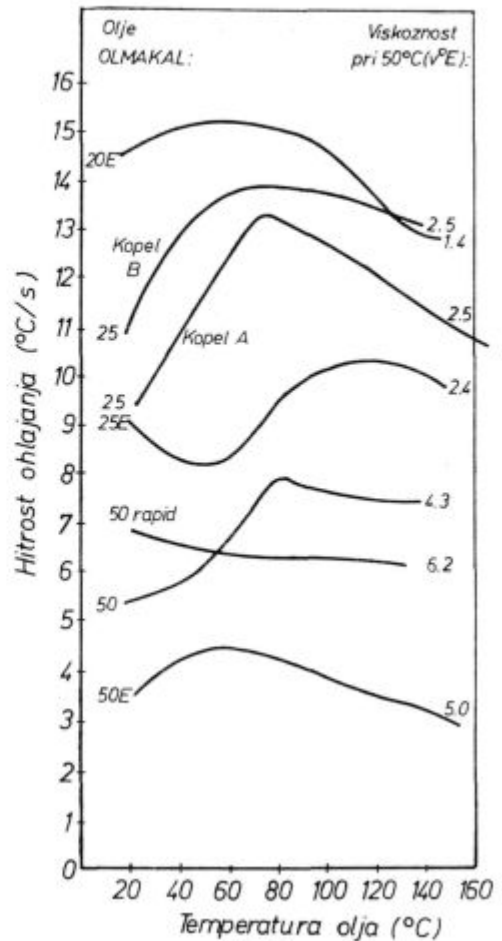
Shema naprave za določanje ohlajevalnih sposobnosti olj



Termoelement
Ni - NiCr

Slika 2

Prerez glave merilne sonde, izdelane iz jekla Č. 1220



Slika 3

Primerjava hitrosti ohlajanja v novih oljih v temperaturnem intervalu ohlajanja od 700 do 400°C

Olmakal-rapid 50 extra pa je namenjen za vsa jekla, ki jih segrevamo nad 1000°C in kalimo v kalilni kopeli s temperaturami med 90 in 120°C, občasno pa tudi lahko nekaj več.

Oba sta primerna za kaljenje vseh vrst konstrukcijskih in orodnih jekel.

Kontrola olja in kalilne kopeli

V Železarni Ravne kontinuirno spremljamo kvaliteto kalilnih olj in vršimo kontrolo kalilnih bazenov.

Razvili smo metodo za ugotavljanje hitrosti ohlajanja posameznih olj v odvisnosti od njihove temperature. Metoda je primerjalna.

Najprej se izvrši analiza olja, kjer se mu določi specifična teža, viskoznost, vnetišče, gorišče, število umiljenja in nevtralizacijsko število.

Z nevtralizacijskim številom oz. kislostjo se zasleduje starost olja in to s številom miligramov KOH, ki je potreben za nevtralizacijo enega grama olja.

Rafinirana olja vsebujejo brezpomembno količino kislin. Poslabšanje olja je povezano s povečanjem kislosti.

Enako velja za število umiljenja (oz. saponifikacijsko število), ki določa pretvarjanje olja in masti v milo z alkalijami. Število umiljenja je število miligramov KOH, ki je potrebno za umiljenje enega grama olja.

Zelo priporočljiva je kontrola vsebnosti vode v olju. Če je nad 0,5% smemo posumiti v kvaliteto olja in je zadosten vzrok za zamenjavo ali reklamacijo olja.

Določujemo pa tudi ohlajevalno sposobnost olja.

Slika 1 nam prikazuje shemo celotne naprave, ki se sestoji iz peči z nevtralno atmosfero, v kateri ogrevamo glavo merilne sonde in regulatorja temperature.

Merilna sonda se sestoji iz glave in nastavka oz. držala. Glava merilne sonde (sl. 2) je izdelana iz jekla Č 1220 in ima obliko valja s premerom 53 mm. V sredini je nameščen termoelement Ni-NiCr, kateri je priključen na registrator — pisar.

Bazen z vzorcem olja je valjasta posoda premera 300 mm in višine 350 mm, v katerega vlijemo 20 l preizkušenega olja.

Za ogrevanje olja uporabimo potopni grelec moči 2000 W.

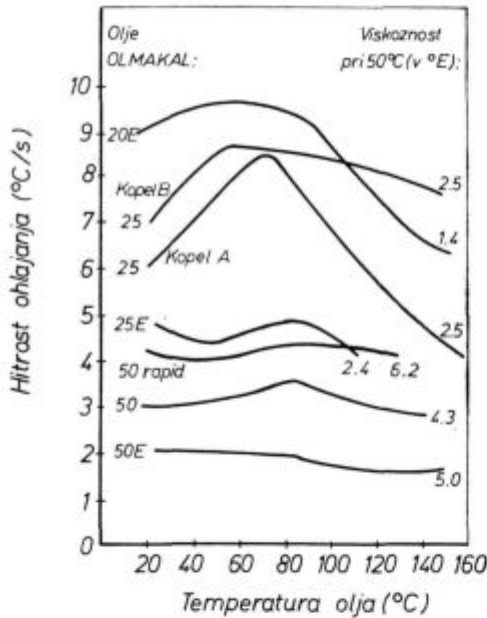
Meritev poteka v sledečem vrstnem redu:

Merilno glavo segrejemo v peči na temp. 850 °C in pustimo, da se toplota izenači po preseku. Istočasno prepihavamo skozi peč dušik ter s tem zmanjšamo oksidacijo merilne glave.

Olje v posodi ima temperaturo prostora. Segreto sondo potopimo v olje okoli 100 mm pod gladino. Na registrotorju dobimo zapis ohlajanja merilne glave — krivuljo ohlajanja.

Meritev ponavljamo, vsakokrat pa olje dogrejemo za 20–30 °C, postopoma do temperature, ki je nekaj 10 °C izpod vnetišča oz. plamenišča. Iz izmerjenih rezultatov, oz. iz ohlajevalne krivulje izračunamo hitrost ohlajanja merilne glave v različnih temperaturnih intervalih ohlajanja za vse preizkušene temperature olja oz. kopeli.

Rezultati meritev in izračuna so prikazani in primerjani na slikah 3, 4 in 5.



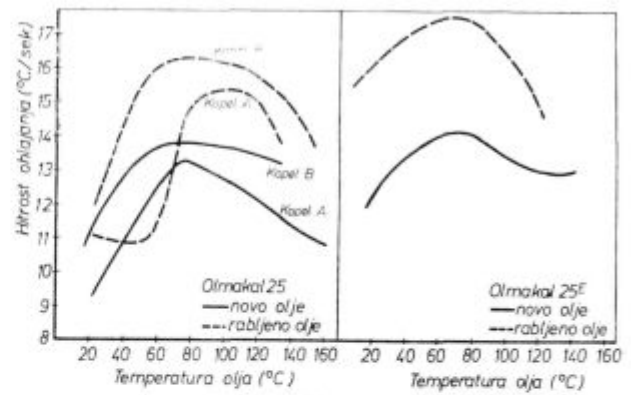
Slika 4

Primerjava hitrosti ohlajanja v novih oljih v temperaturnem intervalu ohlajanja od 800 do 250 °C

Rezultati meritev pri preizkušanju:

V Železarni Ravne smo preizkušali že, veliko število kalilnih olj. Tu je obravnavana samo meritev za olja »Olmakal«.

olje OLMAKAL	Spec. teža (g/ml)	Viskoznost °E pri		Vnetišče oz. plamenišče °C	Gorišče °C	Neutralli- zacijsko število mg KOH/g	Število umiljenja mg KOH/g
		50 °C	70 °C				
20 E	0,880	1,4	1,1	150	180	—	6,08
25	0,859	2,5	1,6	182	214	—	2,98
25 E	0,890	2,4	1,6	177	219	3,51	4,14
50	0,900	4,2	2,2	197	240	0,12	0,48
50 E	0,888	5,0	2,6	190	247	3,84	4,07
50 rapid	0,915	6,2	2,9	207	242	0,40	0,22



Slika 5

Primerjava hitrosti ohlajanja v več vzorcih novih in rabljenih olj v temperaturnem intervalu ohlajanja od 700 do 400 °C

Povprečne hitrosti ohlajanja so računane za več intervalov ohlajanja. Na sliki 3 so prikazane hitrosti za interval od 700 do 400 °C, na sliki 4 pa za interval od 800 do 250 °C za temperature istih olj oz. kopeli od 20 do 150 °C. V širšem temperaturnem intervalu ohlajanja je izračunana seveda nižja povprečna hitrost ohlajanja, kar se vidi pri primerjanju slik 3 in 4. V ožjem temperaturnem intervalu ohlajanja, t.j. v intervalu najintenzivnejšega ohlajanja od 700 do 400 °C (slika 3), so opazne večje razlike v hitrosti ohlajanja med posameznimi olji. Nasprotno pa so v širšem intervalu od 800 do 250 °C (slika 4) manjše razlike med olji.

V viskoznejših oljih je dosežena manjša hitrost ohlajanja; ta pa je odvisna tudi od temperature olja oz. kopeli.

Prav tako se na slikah 3 in 4 vidi tendenco, da je pri viskoznejšem olju maksimalna hitrost ohlajanja dosežena pri višji temperaturi kopeli. To pomeni, da mora imeti manj viskozno olje (npr. olmakal 20 oz. 25) nižjo temperaturo, če hočemo, da bo hitro ohlajalo, oz. mora biti med kaljenjem intenzivnejše hlajeno kot viskoznejše olje. Z drugo besedo je povedano, da moramo viskoznejše olje ob začetku obratovanja celo ogreti na optimalno temperaturo.

Z daljšo uporabo olja se kaže določena tendenca sprememb ohlajevalnih hitrosti. Na sliki 5 je prikazano, da so pri rabljenem olju izmerjene večje hitrosti ohlajanja v primerjavi z novim oljem. Prav tako je z meritvijo ugotovljen določen premik maksimuma k višjim temperaturam oljne kopeli.

Na slikah 3, 4 in 5 so za večino kalilnih olj prikazane krivulje za po en vzorec olja, razen za olje olmakal 25, za katero so podatki za dva vzorca oziroma kalilne kopeli. Prav prikazani krivulji teh dveh vzorcev kažeta trosenje izmerjenih rezultatov, ki zavisi od enakomernosti kvalitete novega olja, od odstopanja pri meritvah in pri rabljenem olju tudi od trajanja in načina obremenjevanja kopeli.



Društvene vesti

Zaključki z delovnega sestanka o metalurških kadrih, ki je bil jeseni v Štorah

Metalurški kadri v Sloveniji — stanje in potrebe

Na pobud Zveze rudarskih, geoloških in metalurških inženirjev in tehnikov Slovenije je Društvo inženirjev in tehnikov Štore z Železarne Štore organiziralo 24. oktobra 1978 delovni sestanek — okroglo mizo — o problematiki metalurških kadrov v Sloveniji v Domu železarjev v Teharjih.

Okvirna predlagana vsebina je bila: stanje metalurških kadrov, kadrovska politika organizacij združenega dela, potrebe po kadrih, obstoječi in potrebni profili kadrov, vzgoja in izobraževanje v okviru zakona o usmerjenem izobraževanju.

Sestanek so se udeležili predstavniki delovnih organizacij: (Cinkarna Celje, Gostol — Nova Gorica, Impol — Slovenska Bistrica, Mariborska livarna Maribor, Rudniki svinca in topilnica Mežica, Tam Maribor, Tovarna dušika Ruše, Tovarna gline in aluminija Boris Kidrič — Kidričevo ter Železarna Jesenice, Železarna Ravne in Železarna Štore), predstavniki izobraževalnih ustanov: (Fakulteta za naravoslovje in tehnologijo — VTO montanistika, Izobraževalni center Jesenice, Šolski center Ravne, Šolski kovinarski in metalurški center Štore), predstavnik Metalurškega inštituta v Ljubljani kot razisovalne organizacije, predstavnik Posebne izobraževalne skupnosti za metalurgijo, predstavnik Zveze rudarskih, geoloških in metalurških inženirjev in tehnikov Slovenije, družbeno-politične organizacije pa sta zastopala SZDL Celje ter skupščina občine Celje.

Okrogla miza, ki je trajala več kot tri ure, je prikazala vrsto problemov, ki nastopajo v metalurgiji. Čeprav sestanek ni bil diskusija, ampak v glavnem prikaz stanja z nekaterimi sugestijami za reševanje problematike, pomeni dober začetek za delo na tem področju. Najbolj pereče probleme, ki so se v pogovoru izkristalizirali, lahko strnemo v naslednjem:

— pri pregledu obstoječega stanja kadrov po različnih profilih je najslabši položaj pri kvalificiranih delavcih, kjer se kritični položaj krpa z nekvalificirano delovno silo in priučevanjem. Zanimanja za metalurške poklice ni. V povprečju je edino številčno stanje kadrov s srednjo izobrazbo zadovoljivo razen v Štorah. Vendar se opaža, da vse več strojnih tehnikov opravlja dela, ki so metalurškega značaja, kar lahko kaže tudi na ustrezno usmeritev učnih programov metalurgije. Kritično stanje se zopet pojavlja pri višješolskih in visokošolskih kadrih. Struktura zaposlenih kaže, da je izobrazba potrebna za opravljanje nalog ustrezna samo pri okoli 50% zaposlenih. Pri tem se pojavlja tudi vprašanje pravilne strokovne izkoriščenosti kadrov ter reševanje problema bežanja kadrov v druge veje gospodarstva. Trije obstoječi centri študija ob delu za višješolski študij metalurgije (Jesenice, Ravne, Štore) kažejo obstoječo potrebo po teh kadrih, vendar pomanjkanje kadrov nižjih izobrazbenih stopenj pomeni zelo šibko osnovo za stalni dotok kandidatov za takšno izobraževanje.

— velika fluktuacija kadrov pri vseh metalurških profilih je posledica ne dovolj vrednotenega poklica in v zvezi s tem ustreznega nagrajevanja za pretežno delo (premalo je pri nas mehanizacije na tem področju), ter dejstva, da so v tej panogi v veliki meri zaposleni delavci iz drugih področij in republik, a je za njihov osebni in družbeni standard premalo poskrbljeno.

— zaradi pomanjkanja kadrov vseh profilov opravljajo številne naloge delavci z ustrežno izobrazbo.

Prikaz stanja in sugestije udeležencev pogovora je omogočil izbrani komisiji, da je sestavila smernice za reševanje obstoječe problematike. Komisijo so sestavljali:

Silva Brguljan — Gospodarska zbornica Slovenije, Mirko Dobršek — Železarna Štore, Kopač Valentin — Posebna izobraževalna skupnost za metalurgijo, Andrej Paulin — Zveza rudarskih, geoloških in metalurških inženirjev in tehnikov Slovenije; Fakulteta za naravoslovje in tehnologijo — VTO montanistika, Mirko Starc — Železarna Štore.

Smernice so naslednje:

1. Usmeritev metalurgije v Sloveniji je kvalitetnejši program. To pomeni večjo kvaliteto proizvodov črne in barvne metalurgije (vštevši livarstvo in nekovine). Po razvojnih programih v SR Sloveniji ni predvidenega bistvenega povečanja količine proizvodov metalurgije. Poudarek je na oplemenitju in s tem večji vrednosti.

Večja kvaliteta izdelkov kot osnova za predelavo industrije zahteva višjo izobrazbeno strukturo kadrov.

Usmeritev metalurgije v takšen razvojni program nujno zahteva razvoj mehanizacije in avtomatizacije. Vsi razvojni in investicijski programi morajo enakovredno obsegati investicije v tehnološko opremo in potrebne ustrezne kadre.

2. V okviru Posebne izobraževalne skupnosti za metalurgijo je v teku obdelava podatkov o stanju kadrov v metalurgiji (vštevši tudi perspektivo in razvoj), kar bo osnova za nadaljnje programiranje politike izobraževanja in zaposlovanja teh kadrov.

3. Ocena strokovne izkoriščenosti metalurških kadrov zlasti z višjo in visoko izobrazbo kaže, da okoli polovica teh kadrov v naši republici ne dela v neposredni proizvodnji. Ostala polovica pa opravlja vodstvena dela, s čemer je precej odmaknjena od metalurškega strokovnega dela. Na ta način ni pravilno izkoriščena njihova pridobljena strokovna izobrazba, kar ima za posledico zmanjševanje razpoložljivih kapacitet metalurških kadrov.

Vzroki za takšne stanje so neustrezno vrednotenje proizvodnega metalurškega dela, kar je povezano tudi z nagrajevanjem. Z novim načinom nagrajevanja po delu, ki izhaja iz določil zakona o združenem delu, so dane možnosti, da se težje strokovno in tehnološko-operativno delo, ki je tudi izmensko, ustrezno ovrednoti v primerjavi z organizacijskim — vodstvenim delom.

4. Da bi rešili pomanjkanje kvalificiranih kadrov v metalurgiji (ki so osnova za realizacijo razvojnega programa), pripravlja Posebna izobraževalna skupnost v sodelovanju s strokovnimi šolami popularizacije metalurških poklicev, ker so ti poklici premalo poznani. Prikaz zanimivosti in možnosti ustvarjanja v teh poklicih bo postopno povečal zanimanje mladih za to industrijsko vejo. Z izboljšanjem delovnih pogojev, bodo ti poklici postali manj težki in »umazani«.

5. V zvezi z razvojnimi programi, usmeritvijo in kvalitetnejše proizvode, težnjami po vključitvi v mednarodno delitev dela, bo potrebno čimprej pristopiti k postopnemu prilagovanju sedanjega sistema v nov sistem usmerjenega izobraževanja. V tem procesu bodo sodelovale proizvodne temeljne organizacije združenega dela, temelj-

ne vzgojno-izobraževalne organizacije, Posebna izobraževalna skupnost za metalurgijo, ustrezní strokovni organi pri Zvezi sindikatov Slovenije, Gospodarska zbornica Slovenije ter ostale strokovne in družbeno-politične organizacije. Učne programe vseh stopenj moramo prilagoditi bodoči usmeritvi metalurgije v Sloveniji.

6. Vzgojno-izobraževalne organizacije bodo pripravile razgovore s svojimi diplomanti o njihovem vključevanju v združeno delo in njihovih problemih, kar bi lahko pomagalo pri pojasnjevanju problematike v zvezi s kadri.

Smernice smo posredovali vsem uporabnikom, izvajalcem in družbeno-političnim organizacijam v razpravo in ukrepanje. Obenem bomo te probleme o metalurških kadrih v Sloveniji prikazali na Konferenci o kadrovima u geologiji, rudarstvu i metalurgiji u Jugoslaviji, ki bo predvidoma v začetku leta 1979. Referat o tem bo predstavil prof. dr. Andrej Paulin, dipl. ing.

prof. dr. Andrej Paulin, dipl. ing.
podpredsednik ZRGMIT SRS

Vsebina XII. letnika *Železarskega zbornika*

Vodopivec Franc, B. Ralič, J. Zvokelj — Metalurški inštitut Ljubljana M. Gabrovšek — Železarna Jesenice I. Rak — Metalna Maribor	Prešern Vasilij — Metalurški inštitut Ljubljana		
Raziskave vpliva sulfidnih vključkov, mikrostrukture in homogenosti na lastnosti jeklenih plošč v smeri debeline	5. Konvencija uporabnikov concastovih licenc		73
Prešern Vasilij — Metalurški inštitut Ljubljana V. Macur — Železarna Ravne	1 Zalar Bogdan, V. Osterc, J. Wohinz — Metalurški inštitut Ljubljana		
Vpliv modifikatorjev pri izdelavi jekla na velikost avstenitnega zrna	Vključitev jeklarskega prahu in škaje v klorirni postopek predelave piritnih ogorkov		77
Puklavec Ludvik — Mariborska livarna	17 Koroušič Blaženko, F. Vodopivec — Metalurški inštitut Ljubljana J. Rodič, A. Rodič, J. Pšeničnik — Železarna Ravne		
Izkušnje mariborske livarne pri izboljšanju delovnih pogojev in zmanjšanju onesnaževanja zraka	Vpliv modifikatorjev na mehanizem strjevanja, homogenost in naravo karbidov brzoreznih jekel izdelanih po postopku EPŽ (I. del: modifikacija jekla Č 7680 (BRM-2) izdelanega po EPŽ postopku		87
Ercegovič Ivo — TGA Kidričevo	23		
Aluminijska industrija in zaščita okolja	29		
DRUŠTVENE VESTI	Uranc Franc — Železarna Ravne		
Paulin Andrej	odpornost proti zatopitvi in žilavosti ostrine		99
Delo zveze rudarskih, geoloških in metalurških inženirjev in tehnikov Slovenije v letu 1976—1977	35 Stocca Bogdan — Železarna Jesenice		
Šegel Jože — Železarna Ravne	nerjavno jeklo za turbinske lopatice S 13 %Cr		105
Uporaba procesnega računalnika v elektroje-karni	37 Vodopivec Franc — Metalurški inštitut Ljubljana		
Prešern Vasilij — Metalurški inštitut Ljubljana V. Macur, A. Rodič — Železarna Ravne	Raziskave integranularne krhkosti jeklene litine		109
Vpliv modifikatorjev pri izdelavi jekla na velikost avstenitnega zrna	Rodič Jože — Železarna Ravne		
Grešovnik Ferdo — Železarna Ravne	Razvoj orodnih jekel		119
Raziskave faznih premen v brzoreznih jeklih z visokotemperaturno rentgensko analizo	57 Bratina Janez — Železarna Ravne		
TEHNIČNE NOVICE	Računalniško upravljanje električne moči obločnih peči		137
Koroušič Blaženko — Metalurški inštitut Ljubljana	Tehnične novice		
Internacionalna konferenca: EPŽ jeklo — material za prihodnost	Novo orodno jeklo Utop Mo 6 za delo v hladnem v proizvodnem programu Železarne Ravne		143
	71		

Odgovorni urednik: Jože Arh, dipl. inž. — Člani Jože Rodič, dipl. inž., Mirko Doberšek, 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. 421-1/72 od 23. 1. 1974

Naslov uredništva: ZPSŽ — Železarna Jesenice, 64270 Jesenice, tel. št. 81-341
int. 880 — Tisk: TK »Gorenjski tisk«, Kranj

VSEBINA

ASM/SLA: UhK, X14, D5, A5f, 1-54, 18-74
ASM/SLA: UhK, X14, D5, A5f, 1-54, 18-74

Metalurgija — jeklarstvo — računalništvo

J. Segel

Učinek uporabe procesnega računalnika v procesu legiranja jekla
Železarski zbornik 13 (1979) 1 s 7-18

V razmeroma kratkem času se je v jeklarni Železarne Ravne pokazala učinkovitost uporabe procesnega računalnika na področju legiranja. Že v prvih mesecih uporabe računalnika je doseženo znatno znižanje materialnih stroškov, povečana je enakomernost končne kemijske sestave in znižan je odstotek kemijsko zgrešenih šarž.

Na stroške izdelave jekla močno vpliva struktura porabe vložka in ferolegur in na tem področju je bil dosežen izreden uspeh.

Poraba dragih ferolegur kroma in mangana se je znižala v primerjavi s porabo cenejših ferolegur za 1,5 do 6 krat!

Pri uporabi računalnika so porazdelitve končne kemijske sestave pogosto tudi za polovico ožje.

Učinek lahko pripišemo naslednjim funkcijam:

- računalnik je neposredno in neprekinjeno vključen v proces izdelave jekla (24 ur na dan),
- v vsakdanji in pogosti uporabi so matematične metode optimiranja (linearno programiranje),
- uporabljeni so matematični modeli za izračun izplena ferolegur in
- uporaba računalnika je poenotila postopek in ciljne vsebnosti legirnih elementov pri izračunu dodatka ferolegur.

Rezultati kažejo, da je investicija v procesni računalnik izredno ekonomična in dosega ali celo presega pričakovanja.

Avtorski izveček

UDK: 620.186.14

ASM/SLA: M21c, 9-69

Metalurgija — desoksidacija — nekovinski vključki — preiskave na raster mikroskopu

F. Vodopivec in sodelavci

O nastanku krogličastih vključkov aluminijevega oksida v jeklih
Železarski zbornik 13 (1979) 1 s 19-22

V jeklih, ki so bila pomirjena z aluminijem v laboratorijski kokili, so preiskave pokazale krogličaste vključke, ki so po analizi na elektronskem mikroanalizatorju le iz aluminijevega oksida. Te vrste vključki nastanejo v jekleni talini z različno količino ogljika, mangana, silicija in nečistoč; v talini, ki ima raztopljeno različno količino kisika ob dodatku različne količine aluminija za desoksidacijo. Vključki se v jeklu pojavljajo skupaj z drugimi vrstami oksidnih vključkov, tudi skupaj z zrnatimi oksidnimi vključki enake sestave. Verjetno nastajajo krogličasti vključki aluminijevega oksida v začetku intenzivne reakcije med kisikom, ki je raztopljen v talini in aluminijem, ki je dodan za desoksidacijo. Vključki ostanejo v jeklu ohranjeni zaradi hitrega strjenja jekla v laboratorijski kokili.

Avtorski izveček

UDK: 662.75:662.76:662.9

ASM/SLA: RM-m

Metalurgija — toplotna tehnika — zgorevanje plina

D. Vodeb, Z. Erjavec, dr. B. Gašperšič

Izračun adiabatske temperature, zgorevanje plinske mešanice in vpliv na dolžino plamena

Železarski zbornik 13 (1979) 1 s 23-34

Opisan je postopek izračuna adiabatske temperature zgorevanja za tri različne stopnje upoštevanja disociacije produktov zgorevanja. Prikazani so rezultati zgorevanja plinske mešanice spremenljive sestave iz katerih je razviden vpliv sestave plinske mešanice, razmernika zraka in stopnja upoštevanja disociacije na adiabatsko temperaturo zgorevanja in reducirano dolžino difuzijskega plamena. Interpolacijska polinoma za izračun specifične močne toplote in ravnotežnih konstant sta določena za temperaturno območje od 1200° C do 2500° C.

Avtorski izveček

INHALT

UDK: 620.186.14
ASM/SLA: M21c, 9-69

Metallurgie — Desoxydation — Nichtmetallische Einschlüsse — Untersuchungen an Rastermikroskop

F. Vodopivec und Mitarbeiter

Über die Entstehung der kugelförmigen Aluminiumoxydeinschlüsse in Stählen

Zelezarski zbornik 13 (1979) 1 S 19—22

In Stählen welche in der Probeentnahmekokille mit Aluminium vollberuhigt wurden zeigten die Untersuchungen kugelförmige Einschlüsse. Die Analyse am Elektronenmikroanalysator ergab, dass diese Einschlüsse aus reinem Aluminiumoxyd bestanden.

Diese Einschlüsse entstehen in Stählen mit verschiedenen Gehalten an Kohlenstoff, Mangan, Silizium und anderen Begleitenelementen, bei verschiedenem Sauerstoffgehalt und bei verschiedenem Aluminiumzusatz für die Desoxydation. Diese Einschlüsse kommen im Stahl zusammen mit anderen oxydischen Einschlüssen zum Vorschein, so wie auch zusammen mit körnigen oxydischen Einschlüssen gleicher Zusammensetzung. Wahrscheinlich entstehen die kugelförmigen Aluminiumoxydeinschlüsse am Anfang der intensiven Reaktion zwischen dem in der Schmelze gelösten Sauerstoff und dem Aluminium, welcher zur Desoxydation zugegeben wird. Die Einschlüsse sind im Stahl wegen der grossen Abkühlgeschwindigkeit desselben in der Probeentnahmekokille erhalten geblieben.

Auszug des Autors

UDK: 669.168.1.31.65.011.51
ASM/SLA: UhK, X14, D5, A5f, 1-54, 18-74

Metallurgie — Stahlerzeugung — Rechenwesen

J. Segel

Das Ergebnis der Anwendung des Prozessrechners im Legierungsverfahren der Stahlerzeugung

Zelezarski zbornik 13 (1979) 1 S 7—18

In verhältnismässig kurzer Zeit hat sich im Stahlwerk des Hüttenwerkes Ravne der Nutzeffekt der Anwendung des Prozessrechners auf dem Gebiet des Legierungsverfahrens gezeigt. Schon in den ersten Monaten der Anwendung des Rechners ist eine beträchtliche Verminderung der materiellen Kosten erzielt worden, die Gleichmässigkeit der Stahlzusammensetzung in der Endanalyse hat sich vergrössert und der Prozentanteil der Fehlschmelzen vermindert. Die Stahlerzeugungskosten sind stark von der Struktur der Einsatzstoffe und der Ferrolegierungen abhängig und gerade auf diesem Gebiet ist ein grosser Erfolg erzielt worden.

Der Verbrauch von teureren Ferrolegierungen wie Chrom und Mangan hat sich zu Gunsten der billigeren Ferrolegierungen um 1.5 bis 6 Mal vermindert.

Bei der Anwendung des Prozessrechners, ist die Verteilung der chemischen Endzusammensetzung häufig um die Hälfte enger.

Dieses Ergebnis kann folgenden Tatsachen zugeschrieben werden:

- der Rechner ist unmittelbar und ununterbrochen in den Stahlerzeugungsprozess eingeschlossen (24 Stunden am Tag)
- die mathematischen Optimierungsmethoden (lineare Programmierung) werden täglich und häufig angewendet
- die mathematischen Modelle werden für die Ausrechnung der Ferrolegierungsausbeute angewendet und
- die Anwendung des Prozessrechners hat das Verfahren und die gezielten Gehalte der Legierungselemente bei der Ausrechnung der Ferrolegierungszugabe vereinheitlicht.

Die Ergebnisse zeigen, dass sich die Investition in den Prozessrechner als sehr ökonomisch erwiesen hat und die Erwartungen erreicht oder sogar übertroffen wurden.

Auszug des Autors

UDK:662.75:662.76:662.9
ASM/SLA: RM-m

Metallurgie — Wärmetechnik — Gasverbrennung

D. Vodeb, Z. Erjavec, B. Gašpersič

Ausrechnung der adiabatischen Verbrennungstemperatur einer Gasmischung und deren Einfluss auf die Flammenlänge

Zelezarski zbornik 13 (1979) 1 S 23—34

Ein Verfahren für die Ausrechnung der adiabatischen Verbrennungstemperatur für drei verschiedene Beachtungsgrade der Dissoziation der Verbrennungsprodukte ist beschrieben. Die Ergebnisse der Verbrennung der Gasmischung veränderlicher Zusammensetzung, aus welchen der Einfluss der Zusammensetzung der Gasmischung, des Luftverhältnisses und des Dissoziationsbeachtungsgrades auf die adiabatische Verbrennungstemperatur und die reduzierte Länge der Diffusionsflamme ersichtlich ist, werden gezeigt. Die Interpolationspolynome für die Ausrechnung der spezifischen Molwärme und der Gleichgewichtskonstanten sind für den Temperaturbereich von 1200 bis 2500°C bestimmt worden.

Auszug des Autors

CONTENTS

UDK: 669.168.1.31.65.011.51

ASM/SLA: UhK, X14, D5, A5f, 1-54, 18-74

Metallurgy — Steelmaking — Computer control

J. Segel

Effect of applying the process computer control in alloying steel
Zelezarski zbornik 13 (1979) 1 P 7—18

In a relatively short time, the application of the process computer control in alloying processes showed results in the steel plant of Ravne Ironworks. Already the first months of computer control indicated substantial reduction of cost, increased uniformity of final chemical composition, and reduced portion of chemically wrongly composed melts.

Manufacturing costs of steel are highly influenced by the consumption structure of feed and ferroalloys. Here an extraordinary success was achieved:

Consumption of expensive chromium and manganese ferroalloys in comparison with cheaper ferroalloys was reduced for 1.5 to 6 times. Computer control reduced the variation of final chemical composition to a half. The effect can be ascribed to:

— computer is directly and constantly (24 hours per day) controlling the manufacturing process of steel,

— often (every day) mathematical methods of optimisation are applied (linear programming),

— mathematical models are applied in determining the yield of ferroalloys, and

— computer control unified the process and the aimed values of alloying elements in calculation of the additions of ferroalloys.

The results clearly show that investment into the process computer was very profitable and it even exceeds the expectations.

Author's Abstract

UDK: 620.187.14

ASM/SLA: M21c, 9-69

Metallurgy — Deoxidation — Non-metallic Inclusions — Scanning Microscope Investigation

F. Vodopivec and coworkers

On formation of spheroidal inclusions of aluminium oxide in steel
Zelezarski zbornik 13 (1979) 1 P 19—22

Investigations of steel deoxidized by aluminium and rapidly cooled in a laboratory mould revealed spheroidal and transparent inclusions which composition determined by electron microanalyzer was only aluminium oxide. The inclusions were formed in steel with various contents of carbon, silicon, manganese and impurities, at various additions of deoxidizing aluminium and various contents of dissolved oxygen in the melts. Such inclusions were formed also in steel melts containing other oxide inclusions and also grained inclusions of aluminium oxide. Investigation by scanning microscope revealed that surface of inclusions is not smooth but rounded protuberances grow out of it. Observations show that inclusions were probably formed in the initial stages of intensive deoxidizing reaction between the aluminium and the dissolved oxygen in the melt, and they were preserved in steel due to rapid cooling in the laboratory mould.

Author's Abstract

UDK: 662.75:662.76:662.9

ASM/SLA: RM-m

Metallurgy — Heat Engineering — Combustion of Gases

D. Vodeb, Z. Erjavec, dr. B. Gašperšič

Calculation of the adiabatic combustion temperature and the influence on the flame length

Zelezarski zbornik 13 (1979) 1 P 23—34

The calculation of the adiabatic combustion temperature for three different degrees of dissociation of combustion products is described. Results of combustion of the gas mixture with varying composition are presented which gives influence of gas mixture composition, air ratio, and taken degree of dissociation on the adiabatic combustion temperature and the reduced length of diffusion flame. Interpolation polynomials for specific molar heats and equilibrium constants are determined for the 1200 to 2500° C range.

Author's Abstract

СОДЕРЖАНИЕ

УДК: 620.186.14
АСМ/САА: М21ц, 9-69

Металлургия — раскисление — неметаллические включения

F. Vodopivec
и сотрудники

О образовании шаровидных включений окиси алюминия в сталях
Zelezarski zbornik 13 (1979) 1 С 19—22

При исследовании сталей, успокоенных с алюминием в лабораторных изложницах оказалось, что сталь содержит шаровидные включения; анализ же этих включений с электронным микроанализатором — что эти включения представляют только окись алюминия. Установлено, что этот вид включений образуется в расплавах с различным содержанием углерода, марганца, кремния и остальных примесей, а также в расплаве с различным содержанием растворенного кислорода при различной добавке алюминия для раскисления стали. Эти включения образуются в стали вместе с другими видами включений окислов, также с зернистыми включениями окисей алюминия одинакового состава.

Возможно, что шаровидные включения окиси алюминия образуются в начале интенсивной реакции между кислородом, расплавленным в расплаве и алюминием, который введен в расплав как раскислитель. Вследствии быстрого отвердения в лабораторной изложнице включения сохранили свою шаровидную форму.

Автореф.

УДК: 669.168.1.31.65.011.51
АСМ/САА: УхК, Х14, Д5, А5ф, 1-54, 18-74

Металлургия — выплавка стали — применение вычислительной машины

J. Segel

Эффективность применения управляющей вычислительной машины при процессе легирования стали
Zelezarski zbornik 13 (1979) 1 С 7—18

В сравнительно коротком промежутке времени в сталеплавильном цехе металлургического завода Железарна Равне обнаружена эффективность применения вычислительной машины для управления процессом в области легирования стали. Уже в первых месяцах применения вычислительной машины достигнуто значительное снижение расходов на материал, увеличена равномерность конечного химического состава и уменьшен процент неудачных плавов. На расходы изготовления стали большое влияние имеет структура потребленной шихты и ферросплавов. В этой области получены значительные результаты: в сравнении с дешёвыми ферросплавами потребление дорогих ферросплавов хрома и марганца уменьшилось в 1,5 до 6 раз. При употреблении счётной машины оказалось, что отклонения при конечном химическом составе часто представляют всего половину в сравнении с способом без применения счётчика. Это воздействие можно принять следующим факторам:

— счётная машина непрерывно непосредственно включена в процесс изготовления стали (24 часа в день),

— ежедневному и частому применению математического метода оптимизации (линейное программирование),

— применению математических моделей для вычисления выхода ферросплавов.

Применение счётной машины ввело унификацию самого способа, и достижение целевых величин легированных элементов при вычислении добавки ферросплавов. Результаты показали, что вложения в управляющую вычислительную машину, что касаются экономии достигли и даже превзошли ожидания.

Автореф.

УДК: 662.75:662.76.662.9
АСМ/САА: РМ-м

Металлургия — теплотехника — сгорание газов

D. Vodeb, Z. Erjavec, dr. B. Gašperšič

Вычисление адиабатической температуры сгорания газовой смеси и влияние на длину пламени.
Zelezarski zbornik 13 (1979) 1 С 23—34

Взяв во внимание диссоциацию продуктов сгорания, описан для трёх различных степеней способ вычисления адиабатической т-ры сгорания. Рассмотрены результаты сгорания газовой смеси переменного состава, с помощью которых освещено влияние состава газовой смеси, отношения воздуха и степени учённой диссоциации на адиабатическую т-ру сгорания и на сокращённую длину диффузионного пламени. Интерполированные полиномы для вычисления молярной теплоёмкости и константы равномерности определены для темп-ых интервалах от 1200° до 2500°.

Автореф.