

ŽELEZARSKI ZBORNIK

Stran

VSEBINA

Rodič Jože, A. Rodič — Železarna Ravne IZKUSNJE S HOMOGENIZACIJO BRZOREZ- NIH JEKEL	169
Vodeb Dušan — Železarna Ravne B. Gašperšič — Fakulteta za strojništvo v Ljubljani B. Sicherl — FNT Ljubljana MATEMATIČNI MODEL PLINSKEGA GORIL- NIKA	183
Ravnik Bogdan — Železarna Jesenice REGENERACIJA IN NEVTRALIZACIJA IZ- RABLJENIH KISLIN V HV BELA V ŽELE- ZARNI JESENICE	197
TEHNIČNE NOVICE	
Pšeničnik Jože — Železarna Ravne NOVOST ZA OPREMO KALILNIC	
Rodič Jože, J. Pšeničnik — Železarna Ravne NOVO SUPERBRZOREZNO ORODNO JEKLO ZA DELO V HLADNEM Č 9880 (OSV-1) V PRO- IZVODNEM PROGRAMU ŽELEZARNE RAVNE	203
Cerne Franc — Železarna Ravne TERMICNO UTRUJANJE UTOPNIH JEKEL	207
Pšeničnik Jože — Železarna Ravne NOVO ORODNO JEKLO Č 5840 (85 Ni V 4) ZA DELO V HLADNEM V PROIZVODNEM PRO- GRAMU ŽELEZARNE RAVNE	209

LETO 11 ŠT. 4 - 1977

ŽEZB BQ 11 (4) 169 — 210 (1977)

ŽELEZARSKI ZBORNIK

IZDAJAJO ŽELEZARNE JESENICE, RAVNE, ŠTORE IN METALURŠKI INŠTITUT

LETO 11

LJUBLJANA

DECEMBER 1977

Vsebina	Inhalt	Contents	Содержание
Stran	Seite	Page	
Rodič Jože, Rodič Alenka Izkušnje s homogenizacijo brzoreznih jekel 169 UDK: 669.14.018.252.3:621.78:621.73:669.111.35 ASM/SLA: TSm; F21b; F22, N8r	Rodič Jože, Rodič Alenka Erfahrungen beim Homogenisieren von Sschnellarbeitsstahl 169 UDK: 669.14.018.252.3:621.78:621.73:669.111.35 ASM/SLA: TSm; F21b; F22, N8r	Rodič Jože, Rodič Alenka Experiences in homogenising high-speed steel 169 UDK: 669.14.018.252.3:621.78:621.73:669.111.35 ASM/SLA: TSm; F21b; F22, N8r	Rodič Jože, Rodič Alenka Опыт при гомогенизации быстрорежущей стали 169 UDK: 669.14.018.252.3:621.78:621.73:669.111.35 ASM/SLA: TSm; F21b; F22; N8V
Vodeb Dušan, Garšperšič Branko, Sicherl Bogdan Matematični model plinskega gorilnika 183 UDK: 662.75:662.76:662.9 ASM/SLA: RM-m	Vodeb Dušan, Garšperšič Branko, Sicherl Bogdan Mathematischer Modell eines Gasbrenners 183 UDK: 662.75:662.76:662.9 ASM/SLA: RM-m	Vodeb Dušan, Garšperšič Branko, Sicherl Bogdan Mathematical model of a gas burner 183 UDK: 662.75:662.76:662.9 ASM/SLA: RM-m	Vodeb Dušan, Gašperšič Branko, Sicherl Bogdan Математическая модель газовой горелки 183 UDK: 662.75:662.76:662.9 ASM/SLA: RM-m
Ravnik Bogdan Regeneracija in nevtralizacija izrabljenih kislin v HV Bela v Železarni Jesenice 197 UDK: 621.794.5 ASM/SLA: L 12 g	Ravnik Bogdan Regeneration und Neutralisation der Abfallsäuren im Kaltbandwalzwerk Bela des Hüttenwerkes Jesenice 197 UDK: 621.794.5 ASM/SLA: L 12 g	Ravnik Bogdan Recovery of acid in the Bela cold rolling plant 197 UDK: 621.794.5 ASM/SLA: L 12 g	Ravnik Bogdan Регенерация кислоты в холоднoproкатном стане Бела 197 UDK: 621.794.5 ASM/SLA: L 12 g
Tehnične novice 201	Technische Nachrichten 201	Technical News 201	Технические новости 201

**For Avtomation 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

For more detailed information please
contact the European representative:

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

USA

**INTECO — Internationale
Technische Beratung Ges. m. b. H.**

Bahnhofstrasse 9

8600 Bruck/Mur, Austria

Telephone: (038 62) 53 1 10

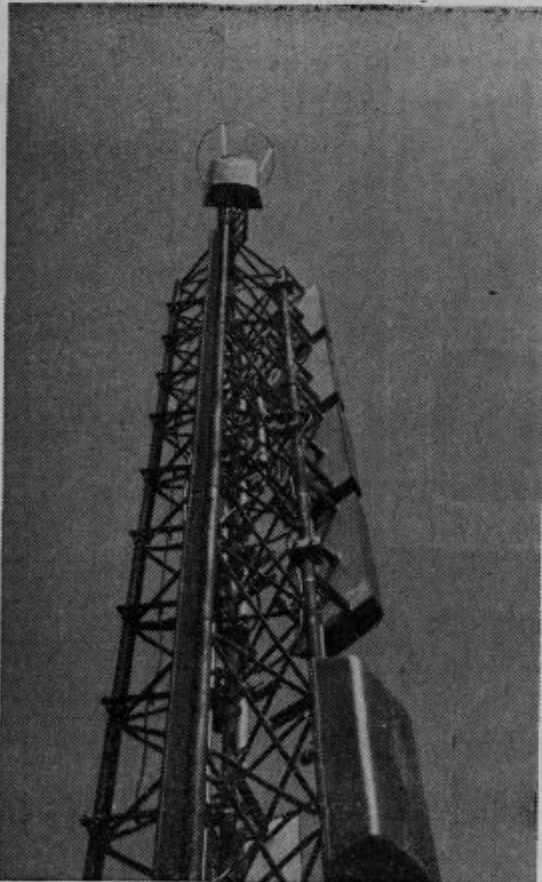
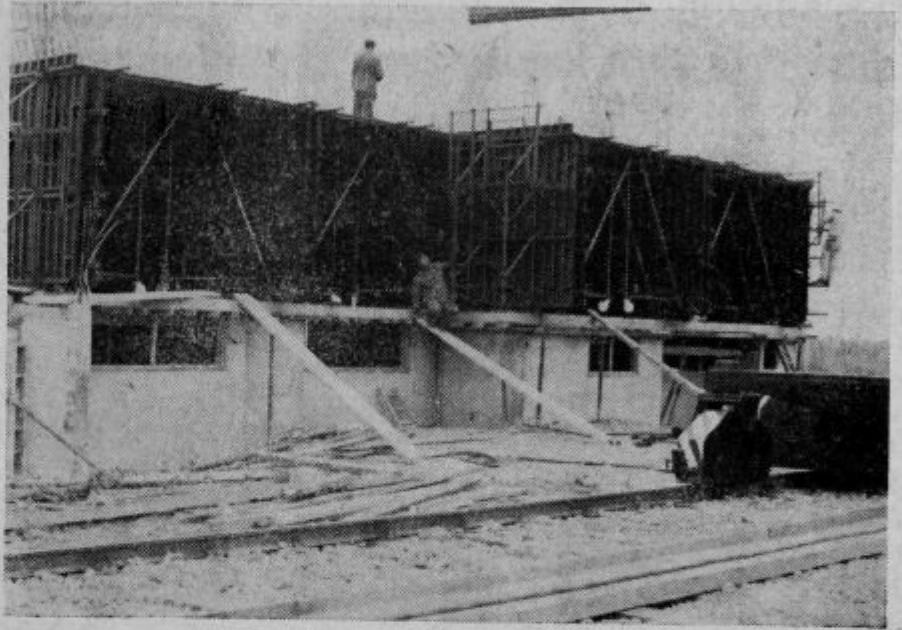
Telex: 36 720



Kovinoservis Jesenice

Prešernova 15, 64270 Jesenice

KOVINSKI TUNELSKI OPAŽ
Z OPREMO OBDELAMO
KOMPLETNO TEHNOLOGIJO
GRADNJE GLEDE NA
KARAKTERISTIKO OBJEKTA
IN KAPACITETE IZVAJALCA
VRŠIMO KOMPLETEN
SERVIS GARNITUR IN
OPREME



IZDELUJEMO OSTALE KONSTRUKCIJE KOT SO:
TELEVIZIJSKI, SVETLOBNI, TRANSFORMATORSKI IN
DALJNOVODNI STOLPI PO LASTNIH PROJEKTIH,
VKLJUČNO Z GRADBENIM NADZOROM, KOT TUDI
OSTALE KONSTRUKCIJE IN STROJNE NAPRAVE PO
NAROČILU IZ KVALITETNIH JEKEL, KOT JE
VREMENOOSTOJNO JEKLO JEKOR 35 A, POCINKANO ALI
ZAŠČITENO PO ŽELJI NAROČNIKA



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 — dodatni material za varjenje:
- tehnični plin ARGON — žičnike — jekleni sekanec



KOVINAR JESENICE

UPRAVA: 64270 JESENICE, SPODNJI PLAVŽ 6
TEK. RAČUN SDK JESENICE 51530-601-11651

TELEFONI: HC (064) 81-850 IN 81-864 — DIREKTOR IN RAČUNOVODSTVO 81-843 — MIZARSKI OBRAT KOROŠKA BELA 81-872

- Proizvodnja armatur in nosilcev za betonske konstrukcije
 - Mostne gradnje
 - Komunalna dejavnost
-

simbol,
ki zagotavlja
varnost,
zaupnost,
natančnost in ekspeditivnost



Ljubljanska banka

Ljubljanska banka

ime,
ki zagotavlja
sodobno,
učinkovito in zanesljivo
bančno poslovanje

Izkušnje s homogenizacijo brzoreznih jekel*

Jože Rodič, Alenka Rodič

Pri vroči predelavi brzoreznih jekel se večkrat postavlja vprašanje: homogenizacija da ali ne? Raziskave v železarni Ravne so dale dokaj jasen odgovor: homogenizacija ima škodljive posledice za nekatere odločilne lastnosti orodij iz brzoreznih jekel, zato ni priporočljiva, četudi bi dosegli večjo stopnjo homogenosti in enakomernjšo porazdelitev karbidov. Učinkovita homogenizacija neizogibno povzroča nastanek grobih karbidov, ti pa poslabšajo popuščno obstojnost, rezalno sposobnost, žilavost in še druge pomembne tehnološke lastnosti.

Brzorezna jekla imajo vrsto značilnih lastnosti, po katerih se bistveno razlikujejo od vseh drugih vrst orodnih in konstrukcijskih jekel, le z orodnimi jekli ledeburitnega tipa na bazi visokega ogljika in visokega kroma imajo nekaj podobnosti.

Prav te osnovne karakteristike zahtevajo kontrolirane pogoje v celotnem procesu vroče predelave, pri katerih moramo upoštevati, da je mikrostruktura v litem stanju izrazito heterogena. Primarna zrna so obdana s sklenjeno mrežo eutektika, tipične ledeburitne oblike, ki ima visoko trdoto in je zelo krhek (slika 1). Tudi notranjost zrn ni homogena in v ekstremnih primerih najdemo v teh zrnih plastovite izceje ogljika in legirnih elementov (slika 2). Te izceje povzročajo tudi plastovito konfiguracijo mikrostruktur v notranjosti zrna, ki je odvisna od pogojev ohlajeva-

nja litega brzoreznega jekla, tako da najdemo v notranjosti zrn lahko vse tipične mikrostrukture, od zaostalega avstenita preko martenzita in sorbita do značilne perlitne mikrostrukture.



Slika 1

Mikrostruktura brzoreznega jekla v litem stanju s primarnimi in sekundarnimi karbidi, martenzitom in zaostalim avstenitom (povečava 100 ×)

Fig. 1

Microstructure of the high-speed steel, as cast, with primary and secondary carbides, martensite and retained austenite (magnification 100×).



Slika 2

Mikroizceje v dendritnih žepih (povečava 500 ×)

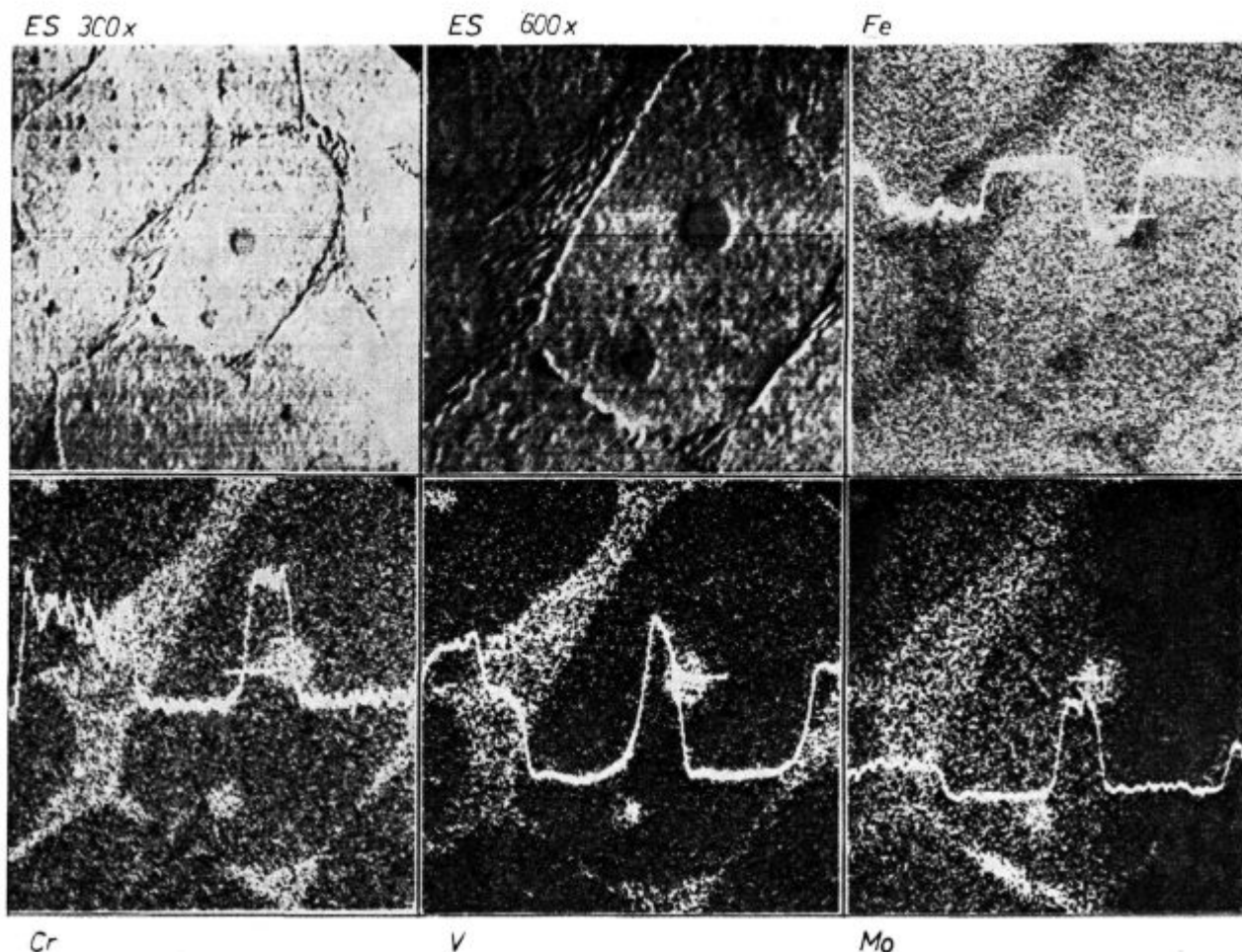
Fig. 2

Microsegregations in the dendrite pockets (magnification 500×).

* Referat na 1. mednarodnem strokovnem posvetovanju »FREIFORMSCHMIEDEN« 11.—13. oktobra 1977. Tharandt, NDR

Jože Rodič je diplomirani inženir metalurgije in vodja službe za razvoj tehnologije, izdelkov in metalurške raziskave v železarni Ravne.

Alenka Rodič je diplomirana inženirka metalurgije in vodja metalografskih laboratorijev v železarni Ravne.



Slika 3

Elektronska posnetka pri povečavah 300 × in 600 ×, specifični X-posnetki in profili koncentracij železa, kroma, vanadija in molibdena za jeklo z 1,5 % C — 12 % Cr — 1 % V — 1 % Mo

Fig. 3

Electron picture at the magnifications 300 × and 600 ×, specific X-ray pictures and concentration profiles of iron, chromium, vanadium, and molybdenum for steel with 1.5 % C, 12 % Cr, 1 % V, 1 % Mo

Seveda najdemo v notranjosti zrn tudi primarne in sekundarne izločane karbide. V bistvu podobne značilnosti mikrostruktur najdemo v brzoreznih in tudi v ledeburitnih orodnih jeklih z visokim kromom in ogljikom, ki imajo večkrat še dodatke karbidotvornih elementov molibdena, vanadija in volframa. Z mikrosondo ugotavljamo značilne profile koncentracij najpomembnejših elementov v kemijski sestavi.

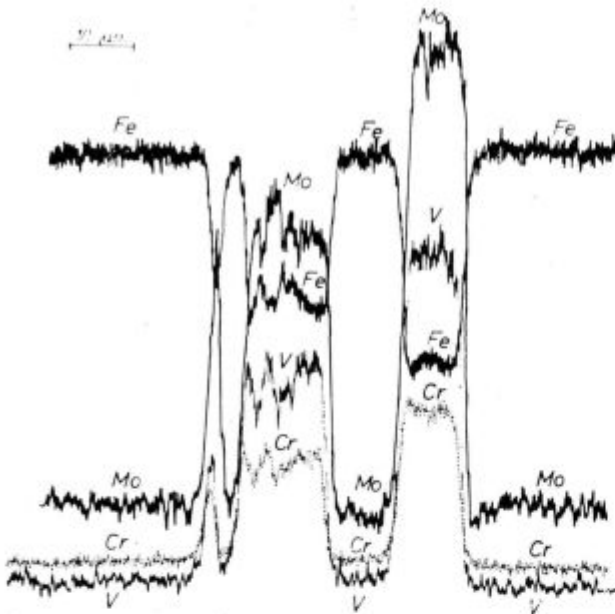
Slika 3 kaže za ledeburitno orodno jeklo tipa 1,5 % C — 12 % Cr — 1 % V — 1 % Mo elektronska posnetka pri dveh različnih povečavah, specifične X-posnetke in profile koncentracij železa ter karbidotvornih legirnih elementov kroma, vanadija in molibdena. Profili koncentracij na teh slikah jasno kažejo značilno zgradbo eutektika na stičiščih zrn.

Slika 4 kaže za isto jeklo neposredno primerjavo koncentracij, dobljenih z linijsko analizo na elektronskem mikroanalizatorju.

Slika 5 pa kaže za isti vzorec jekla rezultate točkovne kvantitativne analize na elektronskem mikroanalizatorju, pri čemer med posameznimi fazami mikrostrukture ugotavljamo velike razlike koncentracije glavnih elementov.

S torzijskim poskusom v vročem dobimo zanimive podatke o predelavni sposobnosti, izraženi s številom N obratov do preloma, z maksimalnim momentom M_{max} in s predelavno trdnostjo k_f pri različnih temperaturah.

Slika 6 kaže rezultate takih meritev za dve vrsti brzoreznega jekla, tipa 6-5-2 in tipa 10-4-3-10. Vidimo, da ima superbrzorezno jeklo 10-4-3-10 znatno slabšo predelavno sposobnost. Ti torzijski poskusi so bili izvajani pri 74 obratih na minuto in s preizkušanci $\varnothing 6 \times 50$ mm. Črtkani krivulji na desni strani slike 6, ki pripadata preizkušancem v litem, nepredelanem stanju, kažeta precejšnje odstopanje od črtkanih območij, v katerih dobimo rezultate z običajnim preizkušanjem



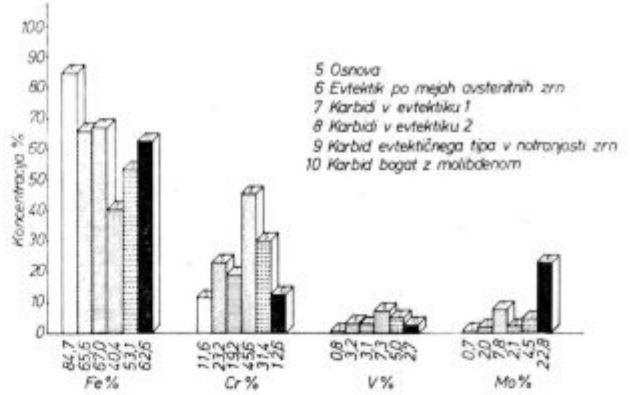
Slika 4

Profili koncentracij glavnih elementov registrirani z linijsko analizo na elektronskem mikroanalizatorju za vzorec z X-posnetki na sliki 3

Fig. 4

Concentration profiles of the main constituents registered by the line analysis of the electron microanalyzer for the sample of Fig. 3

vzorcev, izdelanih iz paličastega brzoreznega jekla. Torej dobimo s takim poizkusom bolj malo neposrednih informacij, ki jih želimo in potrebu-



Slika 5

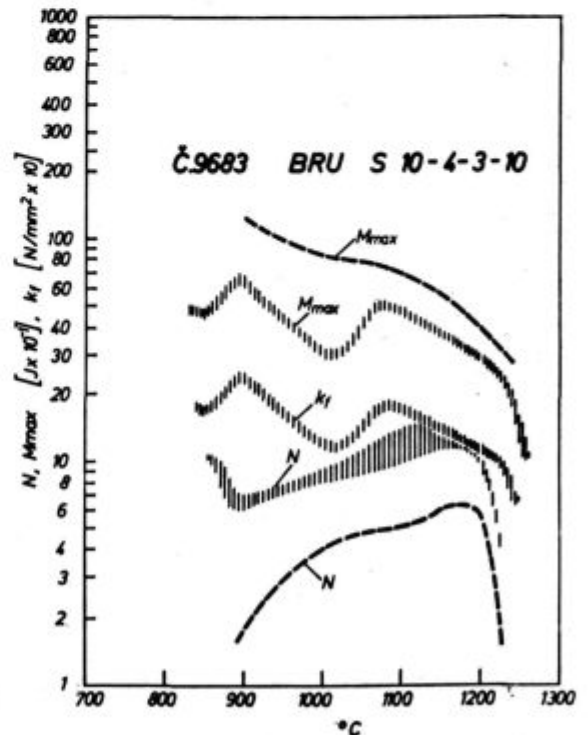
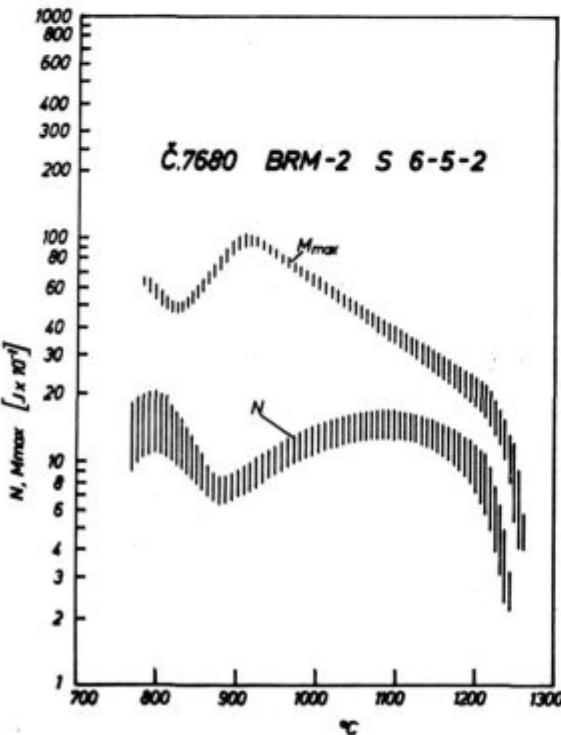
Rezultati kvantitativne analize na elektronskem mikroanalizatorju za vzorec, obravnavan na slikah 3 in 4

Fig. 5

Results of quantitative analysis of the sample of Fig. 3 made by the electron microanalyzer

jemo prav za spoznavanje obnašanja jekla v začetnih fazah vroče predelave.

Pri izbiri temperaturnega režima za ogrevanje pred vročo predelavo in za potek deformacij ugotovitvam torzijskega poizkusa v vročem ne smemo pripisovati prevelikega pomena. Če bi namreč iskali neposredno iz teh rezultatov preizkušanja optimalno območje temperatur samo na osnovi sposobnosti za deformacije, bi gotovo izbrali temperaturni režim v območju tako visokih temperatur, da bi že pri ogrevanju pred vročo predelavo kakovost jekla močno pokvarili. Prav

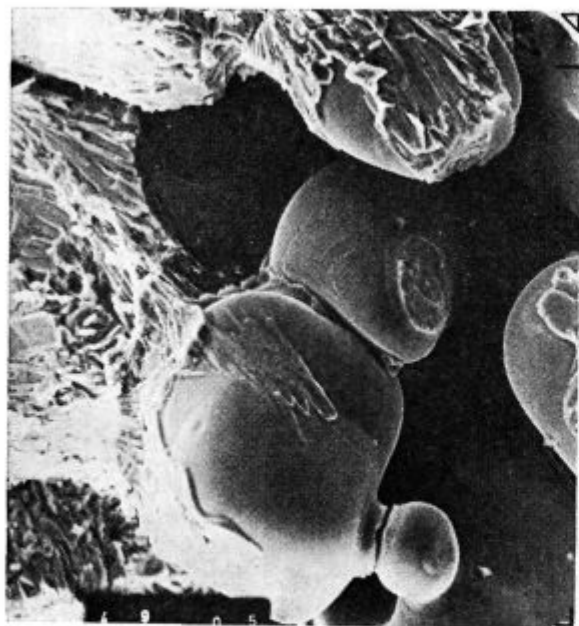


Slika 6

Rezultati meritev predelavne sposobnosti dveh vrst brzoreznih jekel s poizkusom torzije v vročem

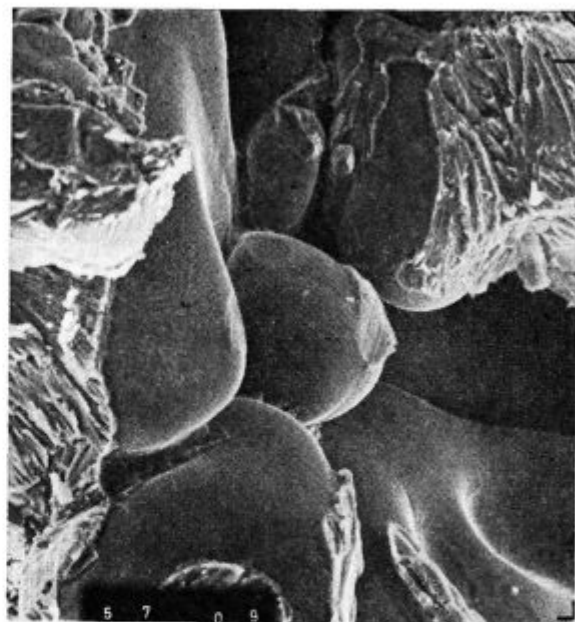
Fig. 6

Results of measuring workability of two high-speed steels by a hot torsion test.



1000x

10µm



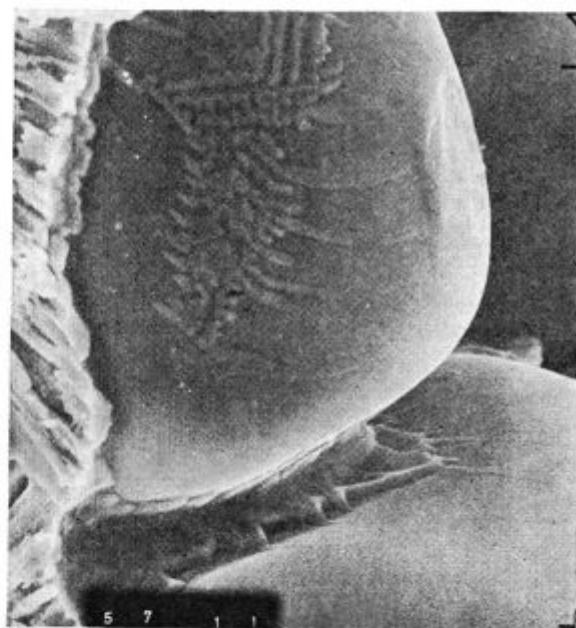
1000x

10µm



300x

100µm



3000x

10µm

Slika 7

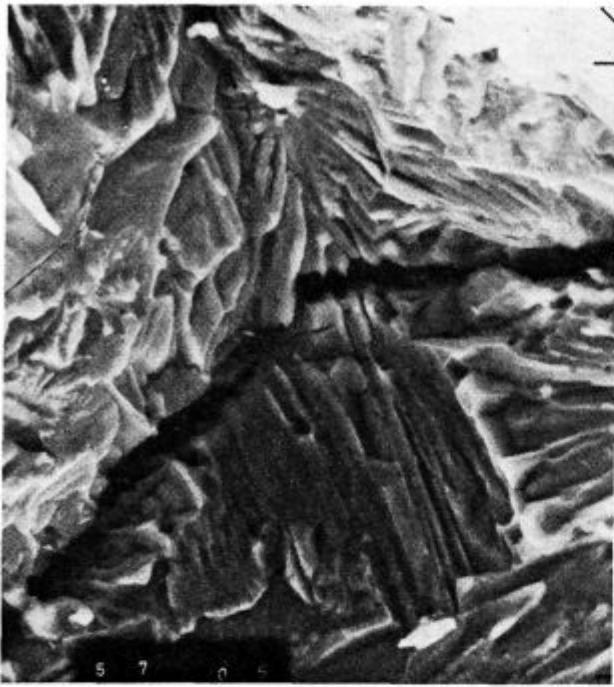
REM posnetki prelomne ploskve orodnega jekla tipa 1,5% C — 12% Cr — 1% V — 1% Mo s sklenjeno mrežo evtektika pri različnih povečavah

Fig. 7

SEM pictures of the fracture area of the tool steel with 1,5% C, 12% Cr, 1% V, and 1% Mo, which has continuous eutectic net. Various magnifications

pri tovrstnih jeklih najbolj velja, da s kovanjem ali valjanjem ne dajemo tem jeklom samo potrebne oblike, ampak moramo zagotoviti tudi ali pa celo predvsem čimboljšo stopnjo enakomernosti strukture, od katere so bistveno odvisne uporabne lastnosti orodij, izdelanih iz teh jekel. Mreža

ledeburitnega evtektika je krhka, kar nazorno prikazujejo posnetki prelomne ploskve z rasterskim elektronskim mikroskopom (slika 7). Ledeburitno orodno jeklo, ohlajeno z visokih temperatur s sklenjeno mrežo evtektika, se lomi izrazito integranularno, tako da se ob minimalnih



3000x

10 μ m

Slika 8

REM posnetek preloma z razpoko, ki poteka po meji med avstenitnimi zrni, obdanimi s krhkim eutektikom

Fig. 8

SEM pictures of the fracture with a crack on a boundary of austenite grains enveloped by a fragile eutectic



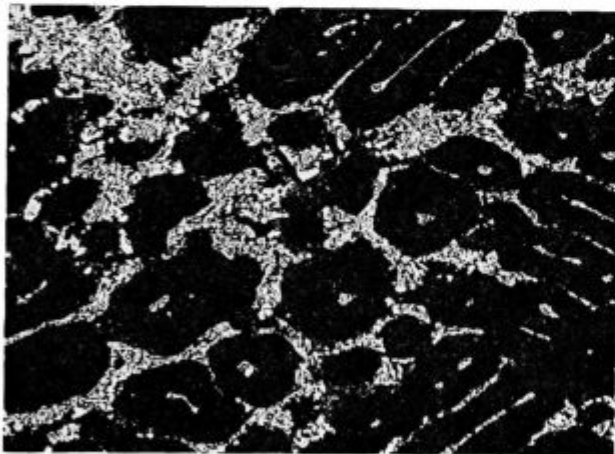
Slika 10

Fig. 10



Slika 11

Fig. 11



Slika 9

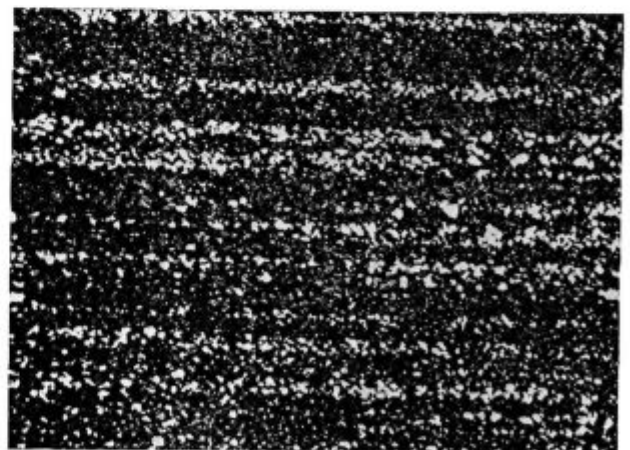
Fig. 9

Slike 9—12

Različne stopnje neenakomernosti karbidnih izcej pod vplivom različnih stopenj predelave s kovanjem ali valjanjem

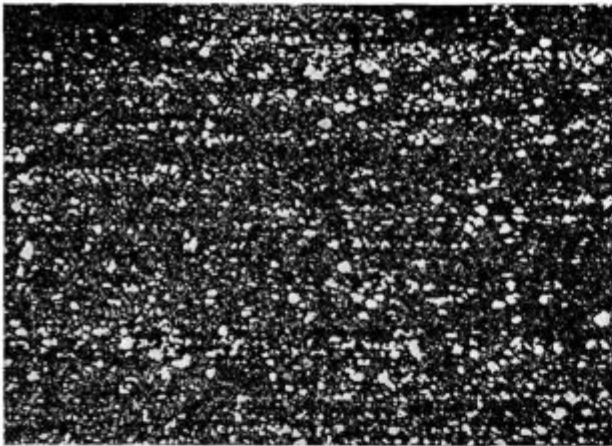
Figs. 9—12

Various degrees of non-uniform carbide segregations influenced by various degrees of forming with forging or rolling

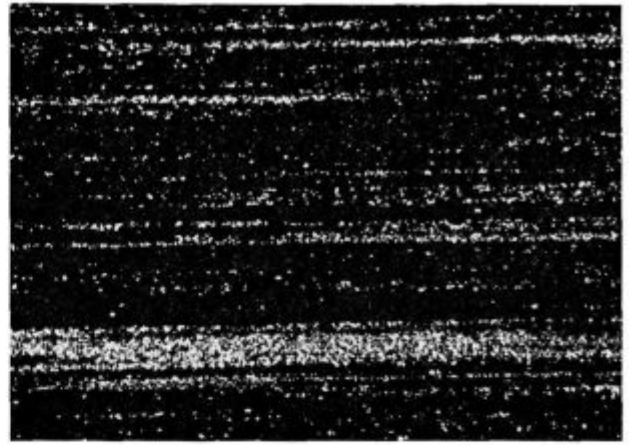


Slika 12

Fig. 12



Slika 13
Fig. 13



Slika 14
Fig. 14

Sliki 13 — 14

Primerjava enakomerne in trakaste porazdelitve karbidov

Figs. 13—14

Comparison of uniform and banded distribution of carbides

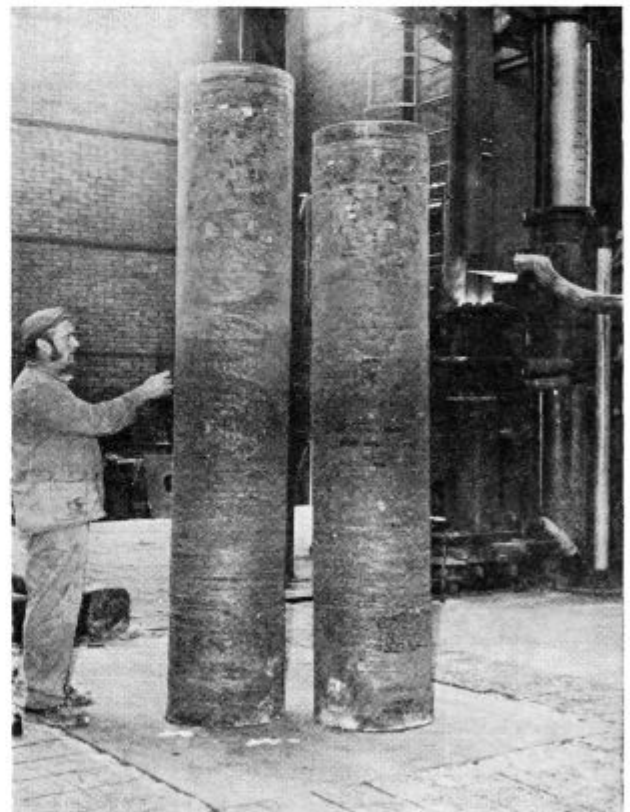
deformacijah drobi trdi in krhki evtektik, avsternitna zrna pa ostanejo skoraj nedotaknjena.

Slika 8 kaže potek razpoke po meji med zrnji, obdanimi s krhkim evtektikom.

Razumljivo je, da želimo evtektično mrežo čimbolj razbiti, da bi zagotovili strukturo s čimbolj enakomerno razporeditvijo trdih karbidnih zrn, vloženi v relativno žilavi osnovi. Karbidi so nosilci obrabne obstojnosti orodij, osnova pa mora prenašati vse druge obremenitve. Serija slik 9 do 13 prikazuje različne stopnje neenakomernosti razporeda karbidnih izcej v odvisnosti od stopnje predelave pri vroči deformaciji. Študije statističnih korelacij teh odvisnosti za različne formate ingotov in pogoje litja, ki opredeljujejo izhodno lito stanje, so za oblikovanje celotnega tehnološkega postopka izredno pomembne. Zaradi velike občutljivosti konfiguracije mikrostrukture in predvsem evtektične mreže od pogojev litja opažamo pri polizdelkih (gredicah) precej različne stopnje neenakomernosti karbidnih izcej. Z računalniško dokumentacijo in banko vseh podatkov redne kontrole imamo možnosti, da s korelacijami stopnje neenakomernosti karbidnih izcej v gredicah in končnih profilih statistično ugotovimo kriterije za medfazno kontrolo polizdelkov, na osnovi katerih odločamo o dispoziciji nadaljnje potrebne stopnje predelave za zagotavljanje zahtevane kakovosti z ustrezno statistično zanesljivostjo.

Kovačnica in valjarna tudi z optimalnimi pogoji predelovalne tehnologije ne moreta sami dovolj zagotavljati ustrezne stopnje enakomernosti karbidnih izcej. Precej je namreč za to odgovorna tudi jeklarna, kjer pod različnimi pogoji litja nastajajo zelo različne izhodne strukture. Iz ingotov, ki imajo izredno grobo primarno zrno

in v mreži evtektika koncentrirane karbide, lahko pri optimalnih pogojih predelave dosežemo le trakasto strukturo (slika 14), ki za uporabne lastnosti orodij nikakor ni ugodna, če je zelo izrazita.



Slika 15

EP2 ingoti \varnothing 500 mm teže 3,5—4 t v železarni Ravne

Fig. 15

ESR ingots \varnothing 500 mm, weight 3.5 to 4 t in Ravne Iron-works

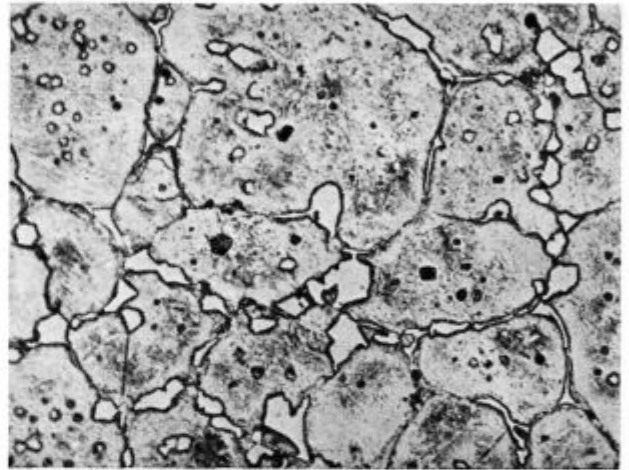
Povsem razumljivo je, da bo struktura v ingotu tembolj groba in neugodna, kolikor večji je format, zato je in bo v klasični tehnologiji proizvodnje brzoreznih jekel glavna problematika kakovosti in zagotavljanja lastnosti vezana na velikost in konstrukcijo kokil, iskanje optimalnih pogojev izdelave in litja ter uskladitev izhodnih formatov ingotov s stopnjo predelave.

Najnovejši postopki na osnovi prahaste metalurgije imajo namesto teh povsem druge, a tudi številne probleme.

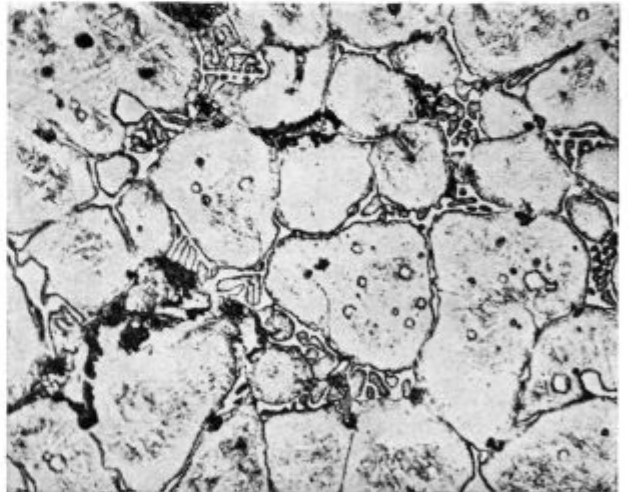
V konvencionalni proizvodnji brzoreznih jekel so običajno največji formati ingotov okrog 500 do 700 kg in le v redkih primerih dosegajo in presegajo teže ene tone. To predstavlja veliko omejitev pri možnostih izdelave paličastega jekla večjih dimenzij, če hočemo zagotoviti potrebno stopnjo predelave za doseganje enakomernosti. Zato so največja orodja, kot so npr. odvalni rezkarji modulov okrog 20 in celo več, dolga leta izdelovali le iz vsestransko kovanih pogač brzoreznega jekla, katere so bili sposobni dobavljati le najbolj specializirani proizvajalci brzoreznih jekel. Če se zamislimo v tehnologijo vsestranskega kovanja takih pogač, prav lahko ugotovimo, da ima tudi ta tehnologija obilo slabosti.

Na področju kovanja največjih dimenzij brzoreznega jekla je odprl povsem nove možnosti postopek električnega pretaljevanja pod žlindro z možnostmi kontroliranega strjevanja. Na ta način lahko danes železarna Ravne s svojo tehnologijo proizvaja brzorezno jeklo v paličasti izvedbi do premera 350 mm \varnothing in teže do 3,5 tone (slika 15). Dimenzije do ca. 250 mm \varnothing se redno proizvajajo v večjih količinah in s to proizvodnjo smo si nabrali toliko izkušenj, da smo se v zadnjem času posebej specializirali za kovanje največjih dimenzij brzoreznih jekel, ker prav za to področje ni mnogo proizvajalcev brzoreznih jekel z ustreznimi možnostmi.

Poleg problematike enakomernosti, oziroma neenakomernosti karbidnih izcej je prav tako aktualno področje problematike, vezane na velikost karbidov. Številne raziskave, analize rezultatov in posebna zapažanja v redni kontroli nedvorno potrjujejo ugotovitev, da se karbidi značilnih oblik kot sestavni del ledeburitnega evtektika pri predelavi lomijo in tako zmanjšujejo, medtem ko pa karbidov bolj ali manj krogličaste oblike pri predelavi skoraj ni mogoče razbijati in pričakovati, da bi se njihova velikost s stopnjo predelave bistveno zmanjševala. To je razumljivo, saj se med predelavo trdi karbidni delci pod vplivom deformacijskih sil preprosto le prerivajo v relativno mehki osnovi.



Slika 17
Fig. 17

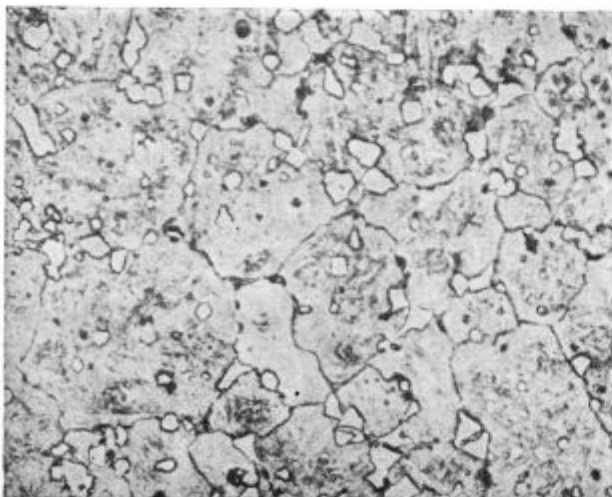


Slika 18
Fig. 18

Slike 16—18
Nastanek grobih karbidov zaradi pregretja pri kaljenju
(povečava 500 \times)

Figs. 16—18

Formation of coarse carbides due to overheating in
quenching (magnification 500 \times)



Slika 16
Fig. 16

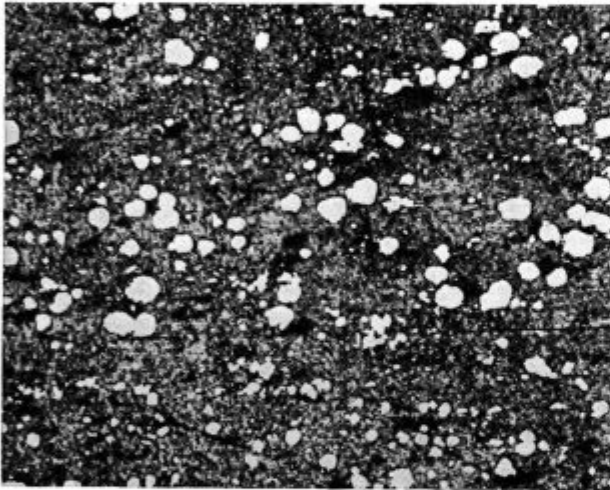


Slika 19

Zelo drobni enakomerno porazdeljeni karbidi (povečava 100 ×)

Fig. 19

Very fine uniformly distributed carbides (magnification 100 ×)



Slika 20

Zelo grobi karbidi nastali pri ogrevanju za vročo predelavo (povečava 100 ×)

Fig. 20

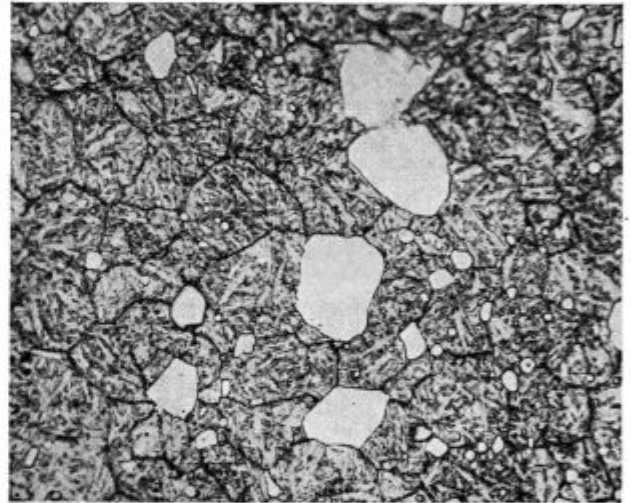
Very coarse carbides which were formed during annealing before hot working (magnification 100 ×)

V preteklih letih smo s sistematičnimi raziskavami ugotavljali posledice prisotnosti in pogoje nastajanja grobih karbidov. Pri tem ne mislimo na tiste grobe karbide oglatih oblik, ki nastajajo s pregretjem pri kaljenju in so dobro poznani (slike 16 — 18). Prav dobro lahko od takih oglatih grobih karbidov ločimo grobe karbide, ki so nastali ob neustreznih pogojih temperaturnega režima pri ogrevanju za kovanje ali valjanje. Primerjava slik 19 in 20 nam kaže očitno razliko velikosti karbidov že pri stokratni povečavi. Še bolj nazorni pa so posnetki pri večji povečavi 500 × (slike 21 — 23). Zadnja slika kaže, da

povzroča nastanek grobih karbidov tudi v obdajajoči osnovi velike razlike trdot.

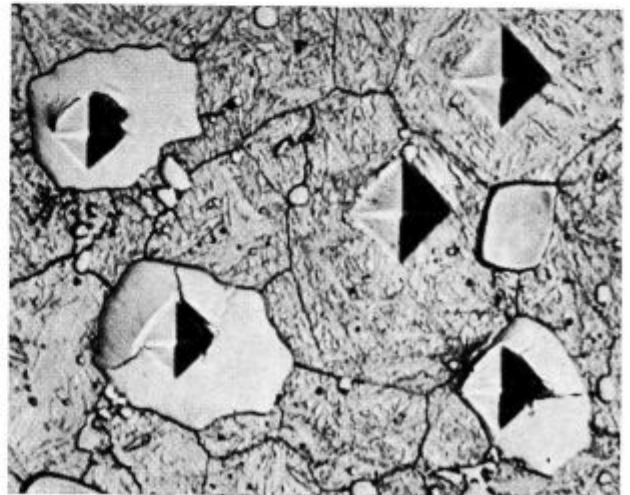
Večkrat so prav očitni pojavi skepljanja, oziroma združevanja sosednih karbidnih zrn. Pred nekaj leti smo z obsežnimi raziskavami v železarni Ravne hipoteze o nastanku grobih karbidov eksperimentalno potrdili s tem, da smo pri ekstremnih pogojih, ki pa so povsem možni ob nekaterih izrednih prilikah v proizvodnji povzročili grobe karbide, kakršne prikazujejo primeri mikroposnetkov pri 100 × povečavi na sliki 24 in pri 500 × povečavi na sliki 25. Na obeh slikah je nazorno prikazan proces skepljanja sosednjih karbidov.

Ob teh slikah o nastanku grobih karbidov ne more biti nikakršnega dvoma, zato pogledimo najprej, kako prisotnost grobih karbidov vpliva na značilne kakovostne in uporabne lastnosti brzoreznil jekel. Ko bomo nato spoznali še pogoje nastajanja takih karbidov, se bomo prav lahko opredelili pri presoji tehnologije ogrevanja za



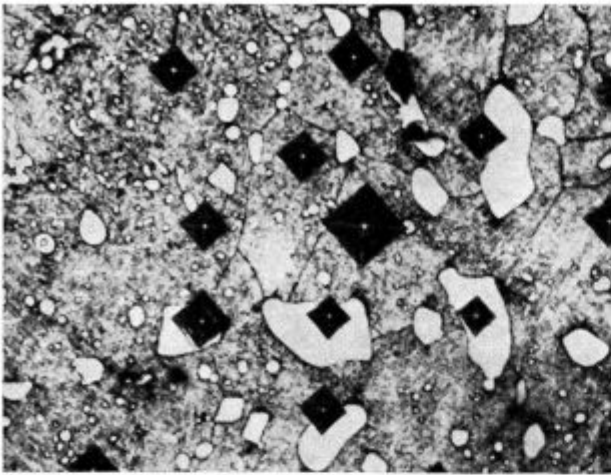
Slika 21

Fig. 21



Slika 22

Fig. 22



Slika 23

Fig. 23

Slike 21—23

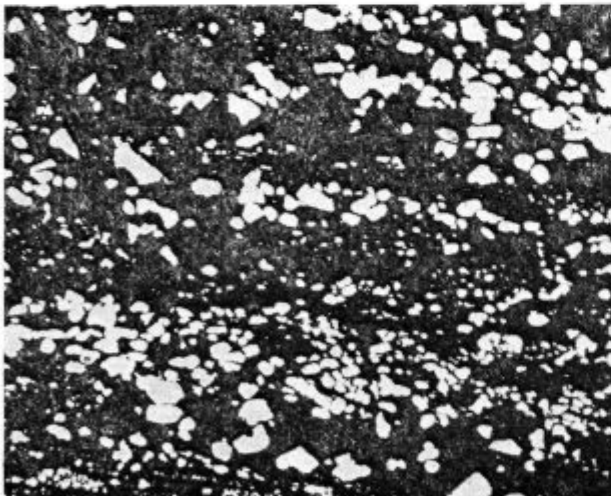
Grobi karbidi, nastali pri ogrevanju pred vročo predelavo (povečave 500 ×)

Figs. 21—23

Coarse carbides formed during annealing before hot working (magnification 500 ×)

vročo predelavo brzoreznih jekel in posebej ocenili visokotemperaturno homogenizacijo.

V rutinsko kontrolo in raziskave brzoreznih ter ledeburitnih orodnih jekel smo že pred več kot petnajstimi leti uvedli lastno metodo železarne Ravne za oceno velikosti karbidov, ki se je v praksi zelo dobro obnesla. Velikost karbidov po tej metodi izražamo z indeksom velikosti karbidov, pri čemer naj le za orientacijo omenimo gradacijo, po kateri označuje



Slika 24

Lokalno skepljanje karbidov v trakovih pri dogrevanju že predelanega brzoreznega jekla (povečava 100 ×)

Fig. 24

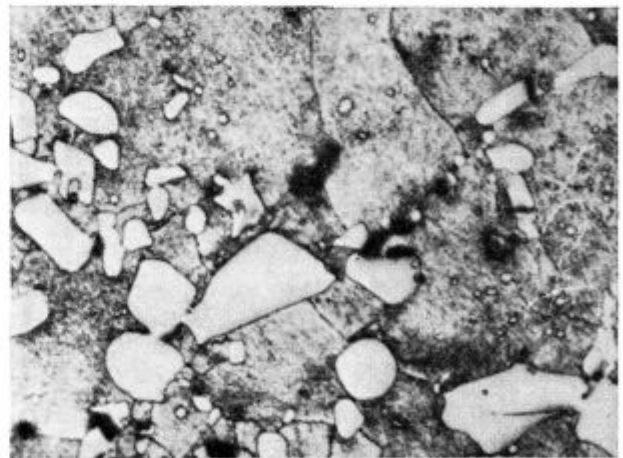
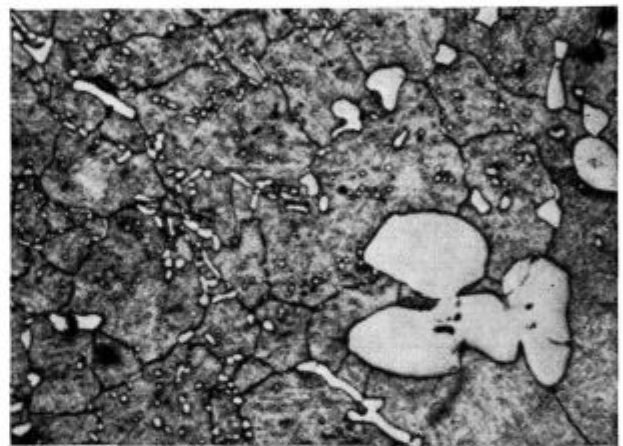
Local coagulation of carbides in the bands during the additional annealing of the worked high-speed steel (magnification 100 ×)

grobe karbide, — indeks I_k pod 5
srednje karbide, — indeks I_k 5—7
fine karbide. — indeks I_k nad 7

Uvedba kvantitativne metalografije v rutinsko kontrolo s klasificiranjem karbidov po velikosti in določevanjem deležev po razredih kaže na tem področju zelo pomemben napredek.

Računalniška obdelava velikih serij podatkov iz redne kontrole kakovosti s pomočjo organizirane banke podatkov in matematično statističnih analiz nas je privedla do zanimivih ugotovitev in medsebojnih odvisnosti, katere želimo samo v zvezi z velikostjo karbidov na kratko povzeti:

— karbidi so pri molibdenovih brzoreznih jeklih (BRM-2 Č 7680 S 6-5-2) v poprečju skoraj za cel indeks finejši od brzoreznih jekel z visoko vsebnostjo kobalta (BRC-3 Č 9682 S 18-1-2-10). Med tema ekstremoma so razvrščena volframova in vsa druga brzorezna jekla (slika 26).



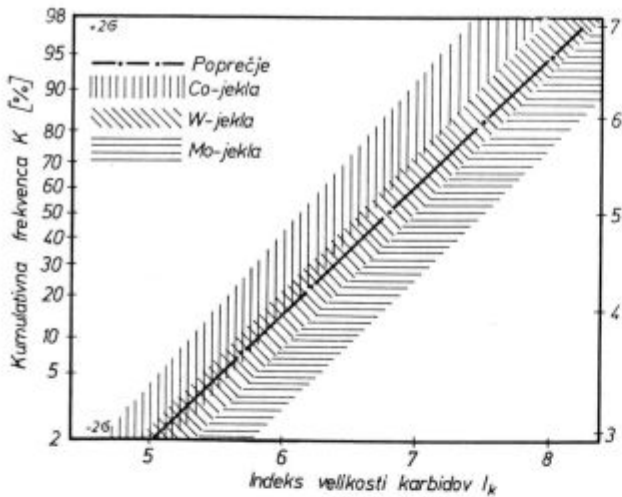
0,04mm

Slika 25

Značilni pojavi skepljanja (koagulacije) karbidov

Fig. 25

Characteristic phenomena of coagulation of carbides.



Slika 26

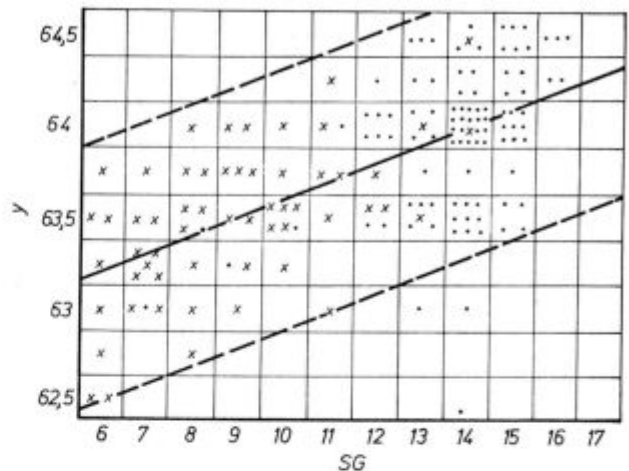
Statistične distribucije velikosti karbidov za različne vrste brzoreznih jekel

Fig. 26

Statistical distribution of sizes of carbides for various high-speed steel.

no poslabšajo žilavost brzoreznega jekla, ki je pri mnogih orodjih zelo problematična in razmeroma nizka (slike 30—32).

— Grobi karbidi zelo poslabšajo raztezek in kontrakcijo (slika 33) brzoreznega jekla pri raz-

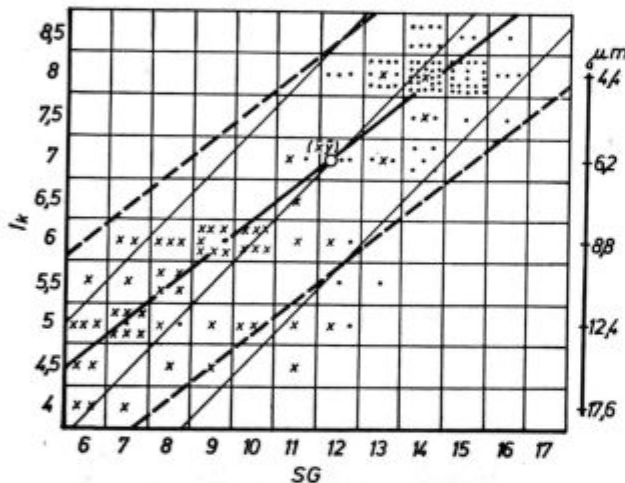


Slika 28

Regresija velikosti avstenitnega zrna (SG) in trdote (HRC-y) v kaljenem stanju za brzorezno jeklo tipa 6-5-2

Fig. 28

Regression of the austenite grain size (SG) and the hardness (HRC-y) in the quenched 6-5-2 high-speed steel



Slika 27

Korelacija velikosti avstenitnega zrna (SG) in velikosti karbidov (I_k) v kaljenem brzoreznem jeklu tipa 6-5-2

Fig. 27

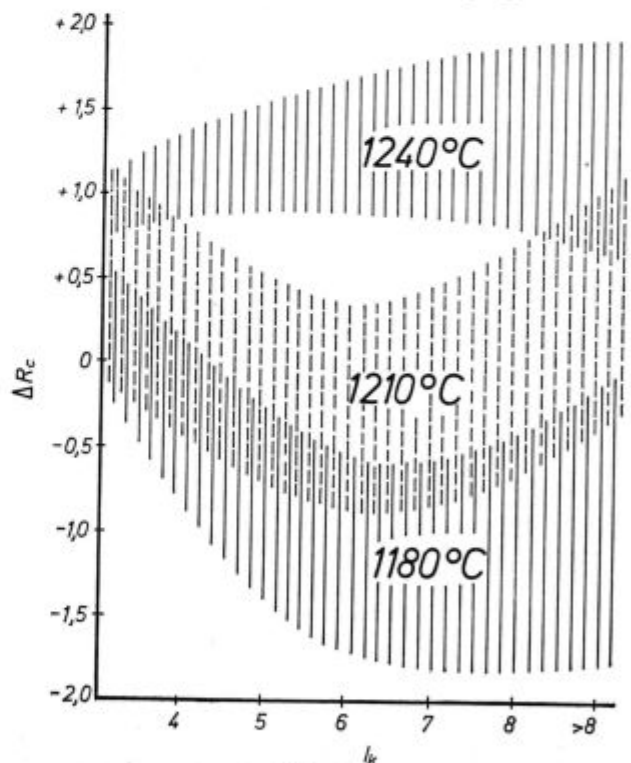
Correlation between the size of austenite grains (SG) and the size of carbides (y_2) in the quenched 6-5-2 high-speed steel

— Grobi karbidi povzročajo grobo in neenakomerno (x) avstenitno zrno, medtem ko so ob finih enakomerno razporejenih karbidih tudi avstenitna zrna drobna in enakomerna (slika 27).

— Grobi karbidi v neposredni korelaciji z grobim ter neenakomernim avstenitnim zrnom (x) povzročajo nezadovoljivo doseganje trdot v kaljenem stanju (slika 28).

— Grobi karbidi posebno pri nižjih temperaturah kaljenja močno poslabšajo popuščno obstojnost (slika 29).

— Grobi karbidi v neposredni korelaciji z grobim in neenakomernim avstenitnim zrnom izred-



Slika 29

Vpliv velikosti karbidov na popuščno obstojnost, izraženo z razliko trdote, če trdoto v kaljenem stanju odštejemo od trdote v popuščnem stanju

Fig. 29

Influence of the carbide size on the tempering stability expressed by the hardness difference (the hardness of the quenched state is subtracted from the hardness in tempered state)

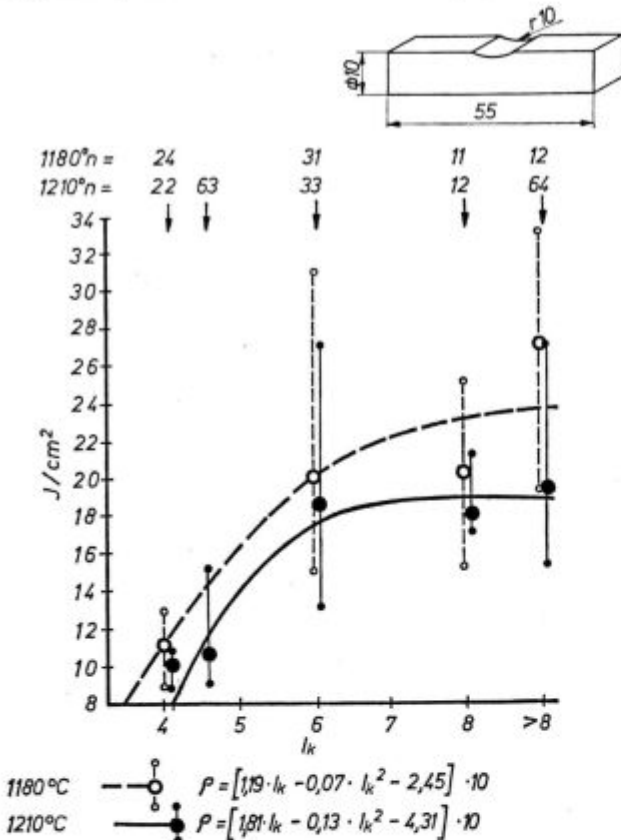
tržnem poizkusu, kar pomeni slabo sposobnost za hladno vlečenje.

— Na sliki 34 je prikazan povzetek zelo obsežnega preizkušanja rezne obstojnosti strugar-skih nožev v odvisnosti od grobih ali finih karbidov.

Zaključki:

Ta zelo zgoščeni povzetek večletnih raziskav jasno kaže, da prisotnost grobih karbidov bistveno poslabša vse pomembnejše lastnosti brzoreznih jekel. Zato smo se posebej posvetili študiju tehnoloških pogojev, pri katerih nastajajo grobi karbidi, ki presegajo mejo škodljivih vplivov. Ugotovitev mejnih pogojev je izredno pomembna, odvisna pa je od dejanskih karakteristik in specifičnih tehnoloških pogojev, zato ni mogoča obravnava v splošni obliki.

Pred nekaj desetletji so v splošnem pripisovali daleč največji pomen pri kontroli kakovosti brzoreznih jekel karbidnim trakovom in mrežam evtektika v mikrostrukturi. To je vzpodbudilo mnoge raziskovalce k iskanju posebnih postopkov, ki naj bi zagotovili čimbolj enakomerno in ugodno porazdelitev karbidnih izcej pri strjeva-

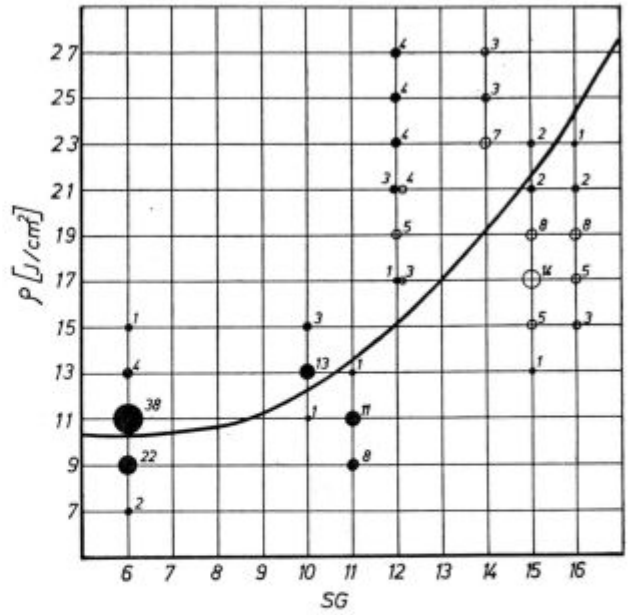


Slika 30

Vpliv velikosti karbidov in temperature kaljenja na žilavost brzoreznega jekla tipa 6-5-2

Fig. 30

Influence of the carbide size and the quenching temperature on the toughness of the 6-5-2 high-speed steel

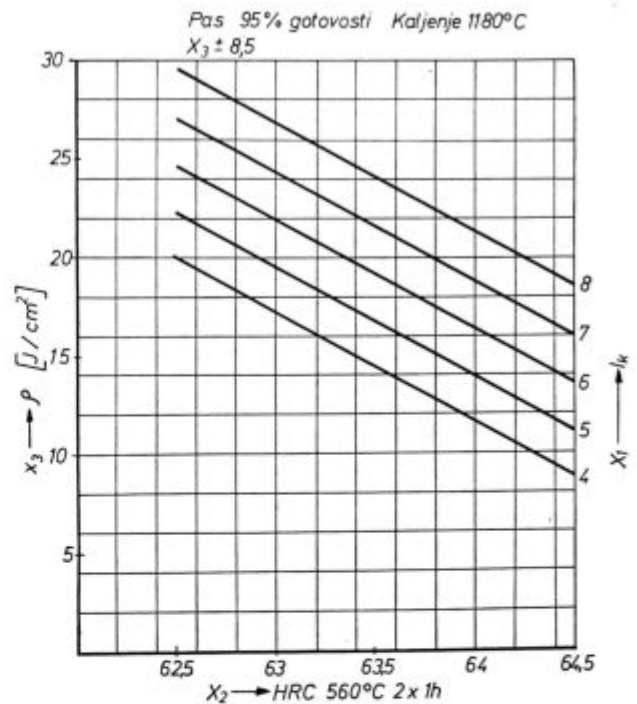


Slika 31

Žilavost v odvisnosti od velikosti in enakomernosti avstenitnega zrna (polni krogi pomenijo neenakomerno zrno, prazni pa enakomerno zrno, številke označujejo frekvenco povezav)

Fig. 31

Toughness related to the size and uniformness of austenite grain (full circles represent non-uniform grains, circles uniform grains, while figures mark the frequency of interrelations)



Slika 32

Žilavost v odvisnosti od velikosti karbidov in trdote ($R = 0,80$, $R^2 = ,064$, $S_y = 0,43$, $\alpha = 5$; 1; 0,1 %)

Fig. 32

Toughness related to the size of carbides and to the hardness ($R = 0.80$, $R^2 = 0.64$, $S_y = 0.43$, $\alpha = 5$; 1; 0.1 %)

$$\delta\% = f(l_k) \quad \psi\% = f(l_k)$$

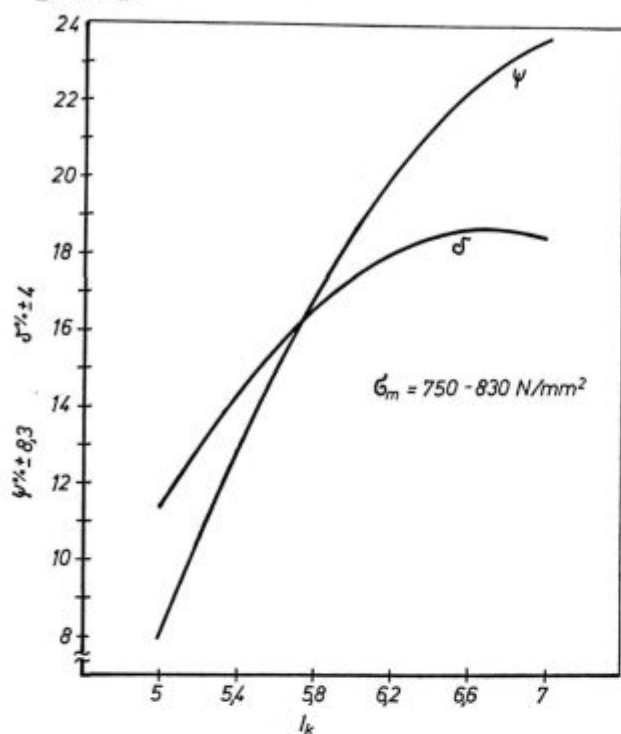
$$R^2 = 0,46 \quad R = 0,68 \quad R^2 = 0,51 \quad R = 0,72$$

$$\alpha = 5; 1; 0,1\% \quad \alpha = 5\%$$

Č.4736 $\sigma_m = 920 \text{ N/mm}^2$ $\alpha = 8$ $\gamma = 15^\circ$ $\lambda = 0^\circ$
 $\beta = 90^\circ$ $\alpha = 60^\circ$ $r = 1 \text{ mm}$ $V = 22 \text{ m/min}$
 $a = 2 \text{ mm}$ $s = 0,5 \text{ mm/vrt}$



[P=95%]



Slika 33

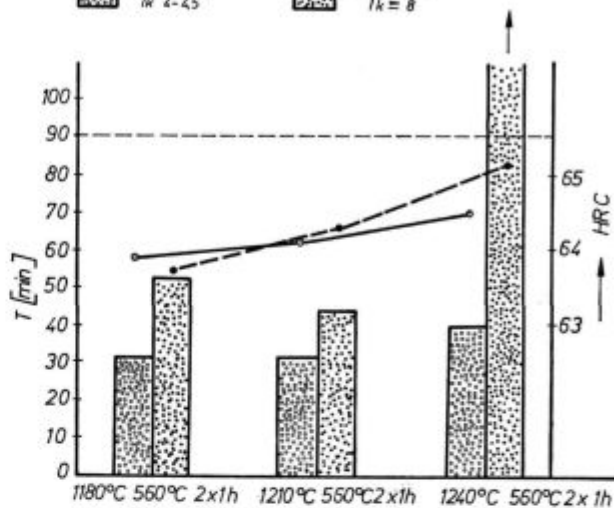
Vpliv velikosti karbidov na raztezek in kontrakcijo pri trganju brzoreznega jekla

Fig. 33

Influence of carbide size on the elongation and the contraction in the rupture test of high-speed steel

nju ali pa naj bi spremenili že obstoječe neugodne mrežaste mikrostrukture. To zadnje je popolnoma uspelo angleškimi raziskovalcem (BISRA — postopek »PRESFEROIDIZING«), ki so z dolgotrajnim držanjem brzoreznega jekla na ekstremno visokih temperaturah popolnoma odpravili mreže evtektika in tudi trakavost ter dosegli dokaj enakomerno porazdelitev karbidov. Te ugotovitve ter postopek odprave evtektične mreže so potrdili tudi nekateri sovjetski raziskovalci, ki pa so posebej poudarjali, da ni raziskan vpliv take toplotne obdelave na lastnosti brzoreznega jekla.

Danes vemo, da pri tako visokih temperaturah nastajajo izredno grobi in celo oglati karbidi, ki porazno delujejo na skoraj vse uporabne lastnosti. Lahko trdimo, da je s takim postopkom cilj



Slika 34

Primerjava povprečnih obstojnosti strgarskih nožev z grobimi in finimi karbidi, kaljenimi s treh različnih temperatur

Fig. 34

Comparison of the average wear resistance of cutting tool with coarse and fine carbides, quenched from three various temperatures

— odprava mreže in trakavosti ter relativno enakomerna porazdelitev karbidov — dosežen, da pa je jeklo glede na njegovo uporabnost skoraj uničeno.

Naše raziskave so pokazale, da vsako nepotrebno zadrževanje na visokih temperaturah povzroča nastanek bolj ali manj grobih karbidov. Ker smo spoznali slabe vplive prisotnosti grobih karbidov, je popolnoma razumljivo, da utemeljeno ocenjujemo vsako nepotrebno zadrževanje brzoreznega jekla na visokih temperaturah ogrevanja za vročo predelavo za neugodno in zato tudi visokotemperaturne homogenizacije v nobenem primeru ne priporočamo! V celotnem ciklusu vroče predelave niti pri brzoreznih jeklih, še manj pa pri ledeburitnih orodnih jeklih temperatura ne bi smela preseči 1150° C.

To je naša opredelitev na osnovi izkušenj s homogenizacijo brzoreznih jekel v normalnem postopku vroče predelave. Nekoliko drugačen je pomen visokotemperaturne homogenizacije pri litih brzoreznih orodjih, ki pa predstavljajo posebno področje problematike, katerega ob tej priliki ne želimo obravnavati.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Schnellstähle und Ledeburitische Werkzeugstähle unterscheiden sich nach ihren Eigenschaften stark von der übrigen Stahlsorten. Die Eigenschaften der Werk-

zeuge sind zum Grossteil von den Bedingungen der Verarbeitung, der Wärmebehandlung und der Mikrostruktur des Stahles abhängig.

Deswegen sind die metallographischen Eigenschaften sehr wichtig und in der Qualitätskontrolle entscheidend.

Die charakteristischen Mikrostrukturen in gegossenem, verarbeitetem und termisch behandeltem Zustand sind als Basis für eine Vergleichsmöglichkeit dargestellt.

Die Karbidverteilung und Karbidkorngrösse sind von Ausgangsformen des Ledeburiteutektikums und vom Verarbeitungsgrad weitgehend abhängig. Eine sehr entscheidende Rolle spielen noch die Erwärmungsbedingungen im Warmverarbeitungsprozess.

Das Homogenisieren mit längeren Zeiten bei hohen Temperaturen erleichtert entscheidend die Warmverformung selbst und es sind auch ähnliche vorgeschlagene Prozesse bekannt, welche eine Entfernung oder Umformung des ledeburitischen Karbidnetzes als Ziel gestellt haben. Aber was für eine Nachfolge haben solche Prozesse im Gefüge und auf die Haupteigenschaften?

Mit einer Reihe von Forschungsaufgaben ist der Einfluss von Ungleichmässigkeiten der Karbidverteilung und das Auftreten der Grobkarbide auf die Warmverform-

barkeit und auf die charakteristische Gebrauchseigenschaften der Stähle in einer Form von Grosszahlstatistischen Auswertungen verfolgt worden. Alle Werte von der Qualitätskontrolle und der Forschungen werden in einer computerisierten Datenbank laufend gesammelt — für die zusätzliche gezielte Experimentierung.

Besonders sind die Folgerungen aus den Untersuchungen der Ursachen und Bedingungen des Entstehens grober Karbide und ihre Folgen auf die mechanischen und technologischen Eigenschaften beschrieben.

Die zahlreichen Versuche sind bei der Erwärmung von Blöcken und Knüppel vor dem Schmieden oder Walzen von Schnelldrehstahl S 6-5-2 und von Kaltarbeitstahl auf Basis 1,6% C — 12% Cr mit V- und Mo-Zusätzen systematisch durchgeführt werden.

Die im Erwärmungsprozess vor der Warmverformung entstehende Defekte im Gefüge mit groben Karbiden und grobem Austenitkorn können nur begrenzt durch die plastische Warmverformung erholt werden.

SUMMARY

High-speed and tool steel of ledeburite type are essentially different by their characteristic properties from all the other steel.

Properties of tools depend mainly on conditions in working, and heat treatment, and on the microstructure of steel.

Therefore metallographic characteristics are very important and decisive for the quality control.

The characteristic microstructures in cast, worked, and heat-treated state are shown as the basis for possible mutual comparisons.

Distribution of carbides and the size of carbide grains is highly dependant on the configuration of ledeburite eutectic after solidification, and on the degree of hot forming. Also conditions of annealing during hot forming have decisive influence.

Homogenising with a long-period annealing at high temperatures essentially facilitates the hot forming. Similar proposed procedures to eliminate or transform the ledeburite structure are known. But it is a question to which extent such procedures influence the microstructure and basic characteristics of high-speed steel. In

series of research projects the influence of non-uniform distribution of carbides and of formation of coarse carbides on the workability and on the characteristic useful properties of high-speed steel was analyzed by great-series statistical analyses. All the data of the quality control and results of investigations were collected for some years in the computer bank of data. They were then treated by statistical methods and a trial was made to confirm the findings of analyses by programmed experiments.

Findings of investigations of formation of coarse carbides and their influence on mechanical and technological properties are separately described.

Several tests were made with variation of annealing conditions for ingots and billets before forging or rolling. Mainly 6-5-2 high-speed steel and tool steel with 1,6% C, 12% Cr and additions of vanadium and molybdenum were used.

Structure defects which appear in annealing before hot forming — coarse carbides and coarse austenite grain — can hardly be partially recovered by further hot plastic forming.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Быстрорежущие и инструментальные стали ледебуритного типа, на основании своих типичных свойств существенно отличаются от всех других сортов сталей.

Свойства инструментов зависят главным образом от тепловой обработки и от микроструктуры стали.

Поэтому metallografические характеристики весьма значительны и имеют решающее значение при контроле качества.

Рассмотрены типичные виды микроструктуры в отливном, переработанном и термически обработанном состоянии как основа для возможности выполнения взаимных сравнений.

Распределение карбидов и величина карбидных зёрен зависит от конфигурации ледебуритной эвтектики после затвердения и от степени горячей обработки. Решающее значение представляют ещё условия нагрева при процессе горячей обработки. Гомогенизация при продолжительных нагревах при высоких t -ах существенно упрощает горячую обработку, причем также известны похожие предложения процессов, при помощи которых можно устранить или преобразовать ледебуритную сетку. Вопрос же состоит в том, какие последствия таких способов на микроструктуру и на основные свойства быстрорежущих сталей? В работе рассмотрена целая серия исследований, в которых определяли влияния нерав-

номерности распределения карбидов и образования грубых карбидов на способность переработки и на характерные свойства применения быстрорежущих сталей при применении метода больших серий статистического анализа. Все полученные данные контроля качества и результаты многолетних исследований были собраны в банке вычислительной машины информации. Эти данные обработаны статистическими методами. При помощи программного эксперементирования стремимся полученные данные подтвердить.

Отдельно дано описание результатов исследований в связи с образованием крупных карбидов и вследствие этого на механические и технологические свойства сталей.

Многочисленные испытания выполнялись с изменением условий нагрева слитков и заготовок доковки или до прокатки главным образом с быстрорежущей сталью типа 6-5-2 и с инструментальной сталью с основным содержанием 1,6% C — 12% Cr, которая содержала добавочные количества ванадия и молибдена.

Структурные дефекты, которые образуются до горячей переработки, т. е. крупные карбиды и крупные аустенитные зерна едва возможно только частично поправить дополнительной пластической обработкой в горячем состоянии.

Matematičen model plinskega gorilnika

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

Dušan Vodeb, B. Gašperšič, B. Sicherl

UVOD

Pri iskanju optimalne rešitve za uvedbo zemeljskega plina smo prišli do zaključka, da moramo poleg glavnih fizikalnih parametrov osnovnih plinskih mešanic upoštevati tudi spremembe na plamenu. S spreminjanjem sestave plinske mešanice, ki jo vodimo na plinski gorilnik, se nam spreminjata dolžina plamena in temperaturni profil, s tem pa prenos toplote v prostor, ki ga ogrevamo. Karakteristiko plamena lahko določimo na osnovi ustreznih meritev v plamenskem kanalu ali analitično.

Ker so meritve povezane z večjimi stroški, smo se odločili, da najprej postavimo matematični model za difuzijski plamen, ki ga dobimo na industrijskih gorilnikih brez predhodnega mešanja plina in zraka. Model smo potem potrdili z meritvami nekaterih karakterističnih točk plamena. S takšnim matematičnim modelom smo nato simulirali vsa možna stanja, ki lahko nastopijo pri kombiniranem kurjenju z zemeljskim plinom (ZP), in zamenljivo plinsko mešanico propan-butan-zrak (PBZ).

Dobljene rezultate smo uporabili za določevanje posameznih variant zamenjevanja ZP s PBZ in postavitev izhodišč za regulacijo peči pri kombiniranem kurjenju.

1.0 Osnovni tipi plinskih gorilnikov

Osnovna razdelitev plinskih gorilnikov je izdelana glede na izvedbo mešanja zraka in kurilnega plina. Plinske gorilnike delimo v dve osnovni skupini:¹

— plinske gorilnike s predmešanjem zraka in kurilnega plina (injektorski, vrtinčni, križni)

— plinske gorilnike brez predmešanja zraka in kurilnega plina (gorilniki s paralelnim pretokom).

Posamezne karakteristične vrste plinskih gorilnikov iz obeh osnovnih skupin so vidne v sli-

ki 1; omejili smo se na obliko plamena in osni temperaturni profil. Podatki so zbrani iz objavljenih rezultatov meritev.^{1, 2, 3, 4}

2.0 Izhodiščne enačbe matematičnega modela difuzijskega plamena

Zgorevanje plinastih goriv v kuriščih in zgovalnih komorah poteka v conah mešanja zaprtih turbulentnih curkov. Plameni v industrijskih agregatih so v glavnem difuzijskega tipa, zrak in kurilni plin prideta v dotik v polju mešanja zaradi laminarne in turbulentne difuzije. Pri predpostavki, da potekajo kemične reakcije zgorevanja v ozki coni, lahko zanemarimo vpliv kinetike zgorevanja in se difuzijsko zgorevanje omeji samo na razširjanje mase, toplote in impulza v prostem turbulentnem curku. Zgorevanje opišemo z Navier-Stokesovo enačbo, kontinuitetno enačbo in splošnima enačbama za prenos toplote ter difuzijsko enačbo. Dobljeni sistem parcialnih diferencialnih enačb je analitično nerešljiv. Ta sistem poenostavimo in upoštevamo turbulenco prostega curka z Reichardtovo podobnostno teorijo razširjanja impulza in toplote. Enačbe prevedemo v sistem poenostavljenih parcialnih diferencialnih enačb, ki so analitično rešljive.

Na sliki 2 vidimo prosti turbulentni curek s karakterističnimi območji:

— cona jedra plamena s karakterističnim prerezom I-I, ki se ohranja do dolžine $a \cong 4 d_0$

— prehodno območje s karakterističnim prerezom II-II, ki se ohranja do dolžine $b \cong 8 d_0$

— območje podobnosti s karakterističnim prerezom III-III, ki se ohranja do dolžine $c \cong (100 - 200) d_0$

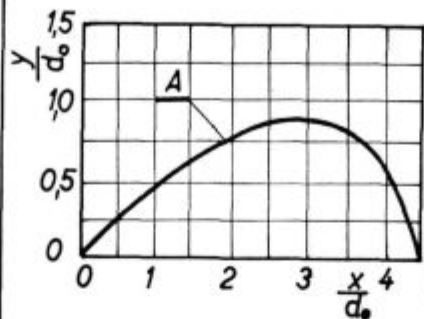
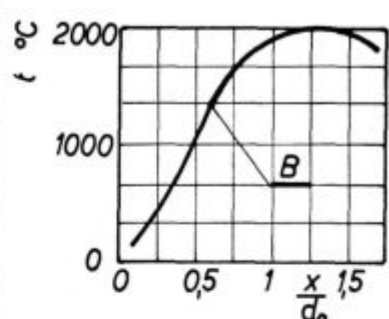
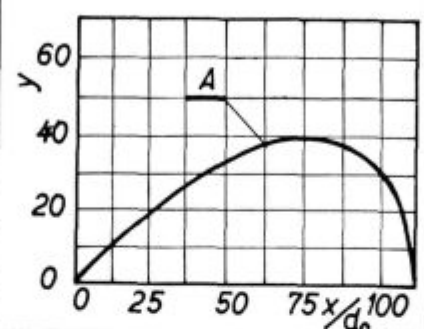
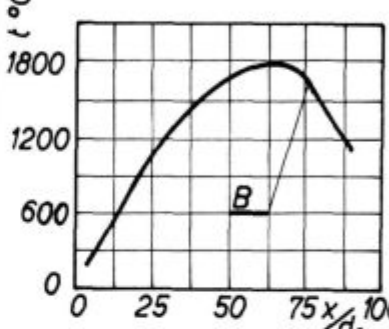
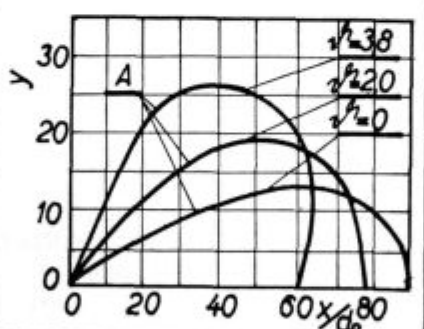
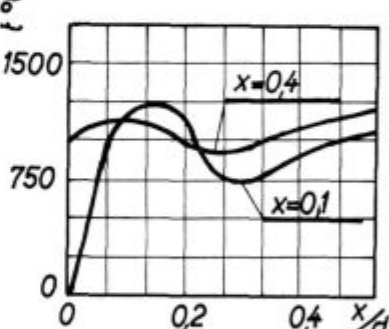
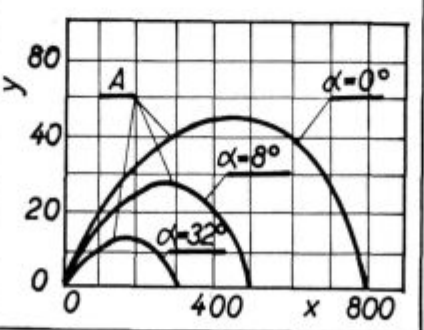
Za kurilno tehniko je najvažnejše območje podobnosti. V tem območju so si prečni profili za hitrost, koncentracijo in temperaturo med seboj podobni in se dajo opisati z Gaussovo funkcijo. Difuzijski plamen je okoli glavne osi osnosimetričen in obravnavamo enačbe za difuzijski plamen v cilindričnih koordinatah.

Navier-Stokesova enačba v cilindričnih koordinatah za smer x je⁵

$$\frac{\partial u}{\partial \tau} + w \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{w_\varphi}{y} \frac{\partial u}{\partial \varphi} u + \frac{\partial u}{\partial x} = f_x - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\eta}{\rho} \left[\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{1}{y} \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{1}{y^2} \frac{\partial^2 u}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right] \quad (1)$$

mag. Dušan Vodeb, dipl. inž. strojništva je strokovni sodelavec v službi energetskega gospodarstva v Železarni Ravne
doc. dr. Branko Gašperšič dipl. inž. strojništva je predstojnik katedre za toplotno in procesno tehniko na Fakulteti za strojništvo v Ljubljani

doc. dr. Bogdan Sicherl dipl. inž. metalurgije je predstojnik katedre za toplotno tehniko in energetiko VTO Montanistika, FNT Ljubljana

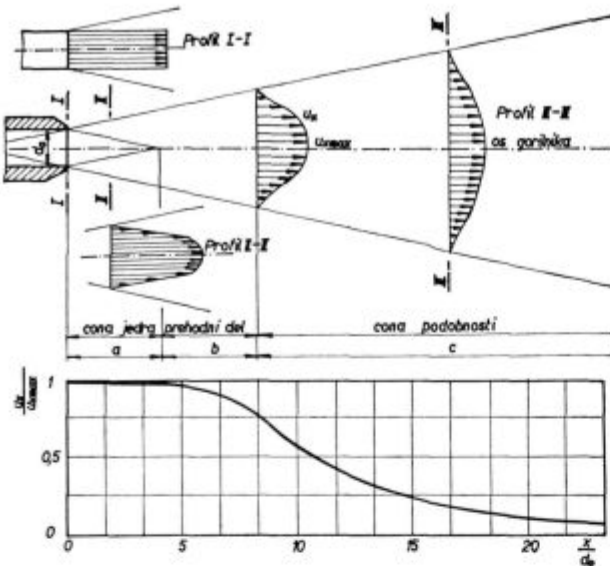
Vrsta gorilnika	Kontura plamena	Osnji temperaturni profil
<p>INJEKTORSKI GORILNIK Enačba za krivuljo A Laminarni plamen² $L = B [1 + (1 - \lambda) Z_{min}] V_0$ Turbulentni plamen³ $L = K [1 + (1 - \lambda) Z_{min}] \sqrt{\frac{T_p \mu_p}{T_0 \mu_0}}$</p>		
<p>GORILNIK S PARALELNIŠTRUJANJEM Enačba za krivuljo A⁴ $L = K (1 + Z_{min}) \sqrt{\frac{T_p \mu_p}{T_0 \mu_0}}$ Enačba za krivuljo B⁴ $\frac{t}{t_p} = A \sqrt{\frac{g_p}{g}} \exp[-B \left(\frac{y}{x}\right)^2]$</p>		
<p>VRTINČNI GORILNIK Faktor vrtnčenja¹ $\nu_h = \frac{2 \int g u w y^2 dy}{d_0 \int (g u + p) y dy}$ Enačba za krivuljo A¹ $L = 5,3 \frac{V_0}{V_p} \sqrt{\frac{g_p}{g_0}} - 20,8 \nu_h$</p>		
<p>KRIŽNI GORILNIK Enačba za krivuljo A¹ $l = 1,224 \left(\frac{u_{og} g_{og}}{u_{og} g_{og}} \right)^{0,5}$</p>		

Slika 1

Tabelarni pregled konture plamena in temperaturnega profila za posamezne vrste plinskih gorilnikov

Fig. 1

Tabular review of flame contures and temperature distribution for various gas burners



Slika 2
Prosti turbulentni curek s karakterističnimi območji
Fig. 2
Free turbulent jet with characteristic regions

Kontinuitetna enačba za smer x se glasi

$$\frac{\partial w}{\partial y} + \frac{w}{y} + \frac{1}{y} \frac{\partial w_\varphi}{\partial \varphi} + \frac{\partial u}{\partial x} = 0 \quad (2)$$

Da sistem enačb (1), (2) lahko rešimo, uvedemo naslednje poenostavitve:

- zanemarimo težo curka,
- obravnavamo stacionarni proces zgorevanja,
- v industrijskih kuriščih, pečeh, je prerez curka proti prerezu kurilnega prostora majhen, zato predpostavimo, da je v kurilnem prostoru konstanten tlak,
- ne upoštevamo notranjih sil zaradi trenja,
- upoštevamo rotasimetričnost curka.

Na osnovi teh domnev dobimo enačbi (1) in (2) obliko

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} w = 0 \quad (3)$$

in

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial y} + \frac{w}{y} = 0 \quad (4)$$

S seštevanjem enačb (3) in (4) dobimo osnovno enačbo razširjanja impulza v smeri gibanja curka

$$\frac{\partial(\rho u^2)}{\partial x} + \frac{1}{y} \frac{\partial(\rho u w y)}{\partial y} = 0 \quad (5)$$

S podobnimi predpostavkami kot prej poenostavimo komponente osnovnih enačb prenosa toplote in masnega toka ter s seštevanjem s kontinuitetno enačbo dobimo enačbo razširjanja toplotnega toka v smeri gibanja curka

$$\frac{\partial(\rho u c_p t)}{\partial x} + \frac{1}{y} \frac{\partial(\rho w y c_p t)}{\partial y} = 0 \quad (6)$$

in enačbo razširjanja masnega toka v smeri gibanja curka

$$\frac{\partial(\rho u \xi)}{\partial x} + \frac{1}{y} \frac{\partial(\rho w y \xi)}{\partial y} = 0 \quad (7)$$

3.0 Rešitev osnovnih enačb

Osnovne enačbe (5), (6) in (7) rešimo analitično z upoštevanjem Reichardtove teorije podobnosti razširjanja impulza in toplote v prostem turbulentnem curku⁶.

Impulz v smeri glavne osi je:

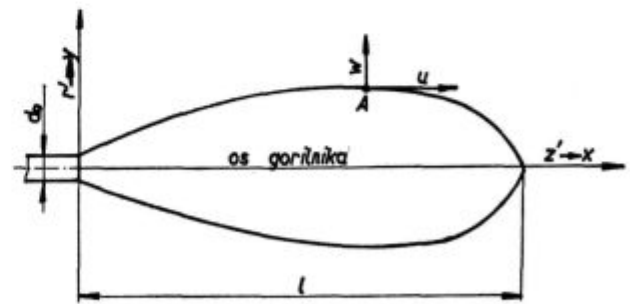
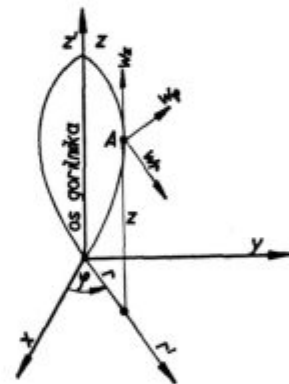
$$\rho u w = -\Lambda_i \frac{\partial(\rho u^2)}{\partial y} \quad (8)$$

Prenosna funkcija impulza Λ_i je za osnosimetrični curek definirana s prenosnim koeficientom impulza c_i in oddaljenostjo od ustja gorilnika, torej

$$\Lambda_i = \frac{b_i}{2} \frac{db_i}{dx} = \frac{x c_i^2}{2} \quad (9)$$

pri čemer je mešalna širina curka enaka

$$b_i = x c_i = g_{2i} \quad (10)$$



Sprememba oznak za hitrost

- $w_z \rightarrow u$
- $w_r \rightarrow w$
- $w_\varphi \rightarrow w_\varphi$

Slika 3
Cilindrični koordinatni sistem difuzijskega plamena
Fig. 3

Cylindrical coordinates for the diffusive flame

Če vstavimo enačbi (9) in (8) v enačbo (5), dobimo

$$\frac{\partial(\rho u^2)}{\partial x} + \frac{x c_1}{2 y} \frac{\partial^2(\rho u^2)}{\partial y^2} = 0 \quad (11)$$

Pri prvem robnem pogoju moramo poznati začetno porazdelitev impulza g_{li} ; velja namreč

$$\rho u^2(0, y) = g_{li} \quad (12)$$

vpliv mešanja, pa vsebuje drugi robni pogoj

$$\rho u^2(x, 0) = g_{zi} = x c_1 \quad (13)$$

Partikularna rešitev diferencialne enačbe (11) je⁷

$$\rho u^2 = \frac{1}{g_{li}} \exp\left[-\left(\frac{y}{g_{zi}}\right)^2\right] \quad (14)$$

Funkcijo začetne porazdelitve impulza določimo iz pogoja, da je impulz v celem polju mešanja konstanten

$$2\pi \int_0^\infty \rho u^2 y dy = 2\pi \int_0^{d_o/2} (\rho u^2)_o y dy \quad (15)$$

Z upoštevanjem enačbe (14) in pogoja, da je funkcija g_{zi} samo pozitivna, dobimo⁸

$$\frac{2\pi}{g_{li}} \int_0^\infty \exp\left[-\left(\frac{y}{g_{zi}}\right)^2\right] y dy = \frac{2\pi}{g_{li}} \frac{g_{zi}^2}{2} \quad (16)$$

Iskana funkcija začetne porazdelitve impulza na izstopu iz gorilnika je potem

$$g_{li} = \frac{c_1^2 x^2}{2 \int_0^{d_o/2} (\rho u^2)_o y dy} \quad (17)$$

Enačbo (14) zapišemo v brezdimenzijski obliki tako, da jo delimo z vrednostjo impulznega toka na sredi izstopnega prereza gorilnika in upoštevamo izpeljano vrednost za funkcijo začetne porazdelitve impulza (17). Potem je

$$\frac{\rho u^2}{(\rho u^2)_{os}} = \frac{2}{c_1^2 x^2} \int_0^{d_o/2} \frac{(\rho u^2)_o}{(\rho u^2)_{os}} y dy \exp\left[-\frac{1}{c_1^2} \left(\frac{y}{x}\right)^2\right] \quad (18)$$

V enačbi (18) rešimo integral tako, da upoštevamo potenčno teorijo porazdelitve hitrosti v cevi⁹, torej

$$\frac{u}{u_{os}} = \left(\frac{y}{r}\right)^{\frac{1}{n}} \quad (19)$$

Povprečna hitrost plina na izstopu iz gorilnika je

$$u = \frac{1}{A} \int_A u dA = \frac{1}{A} \int_A u_{os} \left(\frac{y}{r}\right)^{\frac{1}{n}} dA \quad (20)$$

Če zanemarimo spremembo gostote plina v izstopnem prerezu $\rho_{os} = \rho_o = \rho$, zapišemo enačbo (20) glede na enačbo (18) v obliki

$$u_o^2 = \frac{1}{A} \int_A u_{os}^2 \left(\frac{y}{r}\right)^{\frac{2}{n}} dA = u_{so}^2 \frac{2n^2}{(n+2)(2n+2)} = k_2 u_{so}^2 \quad (21)$$

$$A = \pi r^2; dA = 2\pi y dy$$

Označimo še reducirani koordinati

$$X = \frac{x}{d_o} \text{ in } Y = \frac{y}{x} \quad (22)$$

Z vstavljanjem enačb (21) in (22) v enačbo (18) in z rešitvijo integrala v tej enačbi dobimo brezdimenzijsko enačbo za impulzni tok

$$\frac{\rho u^2}{(\rho u^2)_{os}} = \frac{k_2}{4 c_1^2 X^2} \exp\left[-\left(\frac{Y}{c_1}\right)^2\right] = a_2(X) b_2(Y) \quad (23)$$

Za enostavnejši zapis enačbe (23) uvedemo spremenljivki

$$a_2(X) = \frac{k_2}{4 c_1^2 X^2} \quad (24)$$

in

$$b_2(Y) = \exp\left[-\left(\frac{Y}{c_1}\right)^2\right] \quad (25)$$

ki upoštevata spremembo x-a in y-a.

Na popolnoma enak način izpeljemo iz osnovnih enačb za toplotni tok (6) in masni tok (7) brezdimenzijske enačbe. Pri tem smo vzeli, da je v izstopnem prerezu konstantna masna koncentracija, specifična toplota, temperatura in gostota plina, spreminja se le izstopna hitrost.

Ker je hitrost v enačbah (6) in (7) v linearnem razmerju, izračunamo faktor razmerja hitrosti v izstopnem prerezu po enačbah (19) in (20) in dobimo

$$u_o = u_{os} \frac{2n^2}{(n+1)(2n+1)} = k_1 u_{os} \quad (26)$$

Brezdimenzijska enačba za masni tok se potem glasi

$$\frac{\rho u \xi}{(\rho u \xi)_{os}} = \frac{k_1}{4 c_\xi^2 X^2} \exp\left[-\left(\frac{Y}{c_\xi}\right)^2\right] = a_1(X) b_1(Y), \quad (27)$$

in za toplotni tok je

$$\frac{\rho u c_p t}{(\rho u c_p t)_{os}} = \frac{k_1}{4 c_t^2 X^2} \exp\left[-\left(\frac{Y}{c_t}\right)^2\right] = a_1(X) b_1(Y) \quad (28)$$

V enačbah (27) in (28) smo upoštevali z

$$a_1(X) = \frac{k_1}{4 c_\xi^2 X^2} = \frac{k_1}{4 c_t^2 X^2} \quad (29)$$

in

$$b_1(Y) = \exp\left[-\left(\frac{Y}{c_\xi}\right)^2\right] = \exp\left[-\left(\frac{Y}{c_t}\right)^2\right] \quad (30)$$

spremembo x-a in y-a.

V enačbah (23), (27) in (28) nastopajo prenosni koeficienti za impulz c_i , maso c_ξ in toploto c_t , ki jih določimo eksperimentalno.

Prenosni koeficienti so odvisni od razmerja gostot med nosilnim plinom in plinom okolice. Za območje razmerja gostot⁴

$$0,069 \leq \frac{\rho}{\rho_{ok}} \leq 3,3 \quad (31)$$

je prenosni koeficient impulza

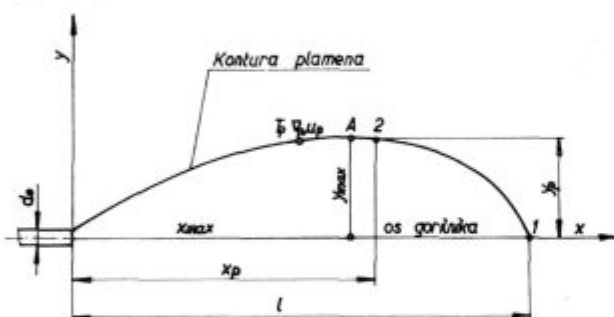
$$c_i = 0,070 - 0,0103 \ln\left(\frac{\rho}{\rho_{ok}}\right) - 0,00184 \ln^2\left(\frac{\rho}{\rho_{ok}}\right) \quad (32)$$

Prenosni koeficient mase je enak prenosnemu koeficientu toplote, oba pa potekata enako kot prenosni koeficient impulza, samo da sta po vrednosti večja. Med njimi je zveza⁴

$$c_\xi = c_t = 1,16 c_i \quad (33)$$

4.0 Izračun konture in dolžine plamena

Na sliki 4 vidimo obliko difuzijskega plamena z vsemi oznakami, ki jih bomo v nadaljevanju uporabljali.



Slika 4
Kontura plamena z oznakami
Fig. 4
Flame contour with symbols

Za izračun konture in dolžine plamena upoštevamo še naslednji dve predpostavki:

— hitrost kemičnih reakcij zgorevanja je veliko večja od hitrosti mešanja plina in zraka, zgorevanje poteka v ozkem sklenjenem pasu, ki določa konturo plamena⁵;

— reakcijska cona zgorevanja ima povsod temperaturo T_p ⁴.

Splošna zveza med masnim in volumskim razmerjem je

$$\frac{\xi}{\xi_0} = \frac{\bar{v}}{\bar{v}_0} \frac{\mu_0}{\mu} = \frac{\bar{v}}{\bar{v}_0} \frac{\mu_{dp}}{\mu} \frac{\mu_0}{\mu} = \frac{\bar{v}}{\bar{v}_0} \beta \frac{\mu_{dp}}{\mu} \quad (34)$$

V enačbi (34) smo uvedli faktor β , to je koeficient razmerja molekularne mase plina pred zgorevanjem proti molekularni masi nastalih dimnih plinov po zgorevanju in je za posamezne pline konstanten.

Masno razmerje je določeno tudi z brezdimenzijsko enačbo (27) in (23) ter je

$$\frac{\xi}{\xi_0} = \sqrt{\frac{\rho_0}{\rho}} \frac{a_1(X) b_1(Y)}{\sqrt{a_2(X) b_2(Y)}} \quad (35)$$

Z izenačitvijo enačb (34) in (35) in z upoštevanjem zveze med gostoto in temperaturo po plinski enačbi dobimo volumsko razmerje

$$\frac{\bar{v}}{\bar{v}_0} = \sqrt{\frac{1}{\beta} \frac{\mu}{\mu_{dp}} \frac{T_p}{T_0}} \frac{a_1(X) b_1(Y)}{\sqrt{a_2(X) b_2(Y)}} \quad (36)$$

Po sliki 4 označimo veličine, ki leže na konturi plamena z indeksom p in če zapišemo enačbo (36) za točko 1, dobimo

$$\frac{\bar{v}}{\bar{v}_0} = \sqrt{\frac{1}{\beta} \frac{\mu_p}{\mu_{dp}} \frac{T_p}{T_0}} \frac{a_1(L) b_1(O)}{\sqrt{a_2(L) b_2(O)}} \quad (37)$$

V enačbi (37) je člen, ki upošteva spremembo x in y , določen po enačbah (24), (25), (29) in (30), iz katerih sledi

$$\frac{a_1(L) b_1(O)}{\sqrt{a_2(L) b_2(O)}} = \frac{1}{2} \frac{k_1}{\sqrt{k_2}} \frac{c_i}{c_\xi^2} \frac{1}{L} \quad (38)$$

Če upoštevamo enačbo (37), je v enačbi (38) edina neznanca reducirana dolžina plamena L , ki jo lahko izrazimo

$$L = \frac{1}{2} \frac{k_1}{\sqrt{k_2}} \frac{c_i}{c_\xi^2} \frac{\bar{v}_0}{\bar{v}_p} \sqrt{\frac{1}{\beta} \frac{\mu_p}{\mu_{dp}} \frac{T_p}{T_0}} \quad (39)$$

Vpliv izstopne porazdelitve hitrosti na dolžino plamena je vsebovan v koeficientih k_1 in k_2 , oziroma v eksponentu. Z večanjem n se razmerje $k_1/\sqrt{k_2}$ približuje 1 in s tem se zmanjšuje vpliv na dolžino plamena.

Vpliv difuzije je vsebovan v prenosnem koeficientu c_i , ki je odvisen od razmerja gostot med nosilnim plinom in plinom okolice.

Z večanjem prenosnega koeficienta impulza c_i se plamen krajša, ker je c_i obratno sorazmeren z dolžino plamena. Z naraščanjem razmerja gostot med nosilnim plinom in plinom okolice se prenosni koeficient manjša, zato se poveča dolžina plamena. To si lahko razlagamo tako, da lažji okoliški zrak, ki je obenem oksidator, teže prodira v notranjost curka težjega kurilnega plina. Imamo počasno mešanje in zato daljši plamen.

Volumsko razmerje ima linearen vpliv na dolžino plamena. Večje kot je razmerje volumske koncentracije gorljivega na izstopu iz gorilnika \bar{v}_0 proti volumski koncentraciji v coni reakcije \bar{v}_p , daljši je plamen, ker plin potrebuje več časa, da se razredči z zrakom v zahtevano razmerje \bar{v}_p . Iz tega sledi, da bodo plameni s čistimi plini daljši kot njihove mešanice z zrakom, ki že vsebujejo pri izstopu iz ustja gorilnika določeno količino zraka. Temperatura zgorevanja vpliva premosorazmerno na dolžino plamena

Višja je temperatura zgorevanja, daljši je plamen. Temperatura plina na izstopu iz gorilnika pa je obratno sorazmerna z dolžino plamena. S predgrevanjem plina krajšamo plamen.

Enačbo konture plamena dobimo z izenačitvijo enačb (37) in (36), ki ju zapišemo za točko 2 na poljubnem mestu na konturi, slika 4. S krajšanjem in z upoštevanjem zvez po enačbah (24), (25), (29) in (30) dobimo

$$Y_p = \frac{y_p}{x_p} = \sqrt{\frac{2c_i^2 - c_\xi^2}{2c_i^2 c_\xi^2}} \sqrt{\ln \frac{L}{X}} \quad (40)$$

Iz enačbe (38) dobimo z odvajanjem po x maksimalno debelino plamena y_{max} in dolžino x_{max} , torej

$$\frac{dy_p}{dx} = \frac{d}{dx} \left(x_p \sqrt{\frac{2c_i^2 - c_\xi^2}{2c_i^2 c_\xi^2}} \sqrt{\ln \frac{1}{X}} \right) = 0 \quad (41)$$

oziroma

$$y_{pmax} = l \sqrt{\frac{2c_i^2 c_\xi^2}{2c_i^2 - c_\xi^2}} \exp\left(-\frac{1}{2}\right) \quad (42)$$

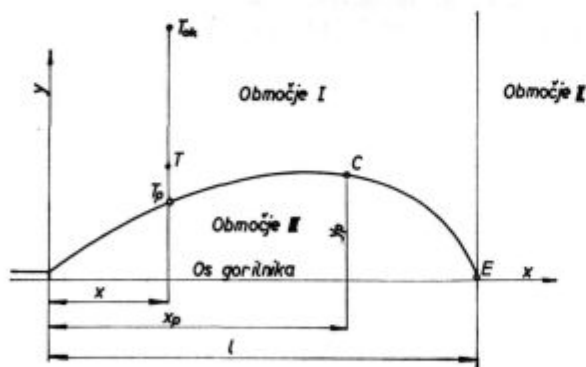
in

$$x_{pmax} = l \exp\left(-\frac{1}{2}\right) \quad (43)$$

5.0 Izračun temperaturnega profila difuzijskega plamena

Temperaturno polje razdelimo na tri območja, kot je prikazano na sliki 5. Za vsako območje posebej izpeljemo enačbo za popis temperaturnega profila.

Osnovno enačbo za popis temperaturnega polja dobimo iz enačbe (28). Zanemarimo spre-



Območje I $x_p < y < \infty$ $0 < x < l$

Območje II $0 < y < \infty$ $(l < x < \infty)$

Območje III $0 < y < y_p$ $0 < x < l$

Slika 5

Razdelitev temperaturnega polja plamena na posamezna območja

Fig. 5

Division of the flame temperature field on single regions

membo specifične toplote, temperature in gostote na izstopnem prerezu: $c_{pos} = c_{po} = c_p$, $t_{os} = t_o$ in $\rho_{os} = \rho_o$. Potem je razmerje temperatur

$$\frac{t}{t_o} = \sqrt{\frac{\rho_o}{\rho}} \frac{a_1(X) b_1(Y)}{\sqrt{a_2(X) b_2(Y)}} \quad (44)$$

Temperaturno polje za območje I je definirano z mejami

$$y_p \leq y \leq \infty \quad 0 \leq x \leq l$$

V oddaljenosti x od ustja gorilnika zapišemo osnovno enačbo za popis temperaturnega polja za točko na konturi plamena, ki ima temperaturo T_p in poljubno točko s temperaturo T

$$\frac{t}{t_p} = \frac{T - T_{ok}}{T_p - T_{ok}} = \sqrt{\frac{\rho_p}{\rho}} \frac{a_1(X) b_1(Y_p)}{\sqrt{a_2(X) b_2(Y_p)}} \quad (45)$$

V enačbi (45) imamo dve neznanki, temperaturo in gostoto. Zvezo med temperaturo in gostoto dobimo po plinski enačbi, ker je

$$\frac{\rho_p}{\rho} = \frac{T}{T_p} \quad (46)$$

Če rešimo postavljeni sistem dveh enačb (45) in (46) z dvema neznankama, dobimo kvadratno enačbo

$$\frac{\rho_p}{\rho} - \sqrt{\frac{\rho_p}{\rho}} \frac{a_1(X) b_1(Y_p)}{\sqrt{a_2(X) b_2(Y_p)}} \left(1 - \frac{\rho_p}{\rho_{ok}}\right) - \frac{\rho_p}{\rho_{ok}} = 0 \quad (47)$$

Z upoštevanjem enačb (24), (25), (29) in (30) je rešitev kvadratne enačbe za iskano razmerje gostot

$$\frac{\rho_p}{\rho} = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{\rho_p}{\rho_{ok}}\right) V(Y) \cdot \left[1 + \sqrt{1 + \frac{4 \frac{\rho_p}{\rho_{ok}}}{\left(1 - \frac{\rho_p}{\rho_{ok}}\right)^2} V^2(Y)}\right] \quad (48)$$

Če vstavimo enačbo (48) v osnovno enačbo za popis temperaturnega polja (45), dobimo:

$$\frac{T - T_{ok}}{T_p - T_{ok}} = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{\rho_p}{\rho_{ok}}\right) V^2(Y) \cdot \left[1 + \sqrt{1 + \frac{4 \frac{\rho_p}{\rho_{ok}}}{\left(1 - \frac{\rho_p}{\rho_{ok}}\right)^2} V^2(Y)}\right] \quad (49)$$

V zgornjih enačbah smo označili z V izraz

$$V = \exp\left(\frac{1}{c_\xi^2} - \frac{1}{2c_i^2}\right) (Y_p^2 - Y^2) \quad (50)$$

Na enak način določimo enačbe za popis temperaturnega polja v območju II in območju III. Navedemo samo končne rezultate.

Enačba za popis temperaturnega polja II je

$$\frac{T - T_{ok}}{T_p - T_{ok}} = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{\rho_p}{\rho_{ok}} \right) H^2(X) V^2(Y) \cdot \left[1 + \sqrt{1 + \frac{4 \frac{\rho_p}{\rho_{ok}}}{\left(1 - \frac{\rho_p}{\rho_{ok}} \right)^2 H^2(X) V^2(Y)}}} \right] \quad (51)$$

Pri tem je

$$H(X) V(Y) = \frac{L}{X} \exp \left[- \left(\frac{1}{c_2^2} - \frac{1}{2 c_1^2} \right) Y^2 \right] \quad (52)$$

Zanima nas potek temperature v osi gorilnika od točke E dalje, slika 5. V tem primeru se nam spremeni samo izraz (52), $y = 0$ in imamo

$$\left[\frac{T - T_{ok}}{T_p - T_{ok}} \right]_s = \frac{1}{2} \left(\frac{L}{X} \right)^2 \left(1 - \frac{\rho_p}{\rho_{ok}} \right) \cdot \left[1 + \sqrt{1 + \frac{4 \frac{\rho_p}{\rho_{ok}}}{\left(1 - \frac{\rho_p}{\rho_{ok}} \right)^2 \left(\frac{L}{X} \right)^2}} \right] \quad (53)$$

Za izračun enačbe za popis temperaturnega polja III moramo upoštevati nasesavanje okoliškega plina v curek. Osnovna enačba za ta primer je

$$\frac{T - T_o}{T_p - T_o} = \frac{1 - \sqrt{\frac{\rho_o}{\rho} H(X) V(Y)}}{1 - \sqrt{\frac{\rho_o}{\rho_p} H(X) V(Y)}} \quad (54)$$

Postopek rešitve je enak kot za območje I, navedemo samo rezultat

$$\frac{T - T_o}{T_p - T_o} = \frac{2 \left[1 - H(L) \frac{\rho_o}{\rho_p} \right] - \left(1 - \frac{\rho_o}{\rho_p} \right) H^2(X) V^2(Y) U}{2 \left[1 - H(L) \frac{\rho_o}{\rho_p} \right]^2} \quad (55)$$

Pri tem smo označili

$$U = 1 + \sqrt{1 + \frac{4 \left[1 - H(L) \frac{\rho_o}{\rho_p} \right] \left[\frac{\rho_o}{\rho_p} - H(L) \frac{\rho_o}{\rho_p} \right]}{\left(\frac{\rho_o}{\rho_p} - 1 \right)^2 H^2(X) V^2(Y)}} \quad (56)$$

$$H(L) = \frac{1}{2} \frac{k_1}{\sqrt{k_2}} \frac{c_1}{c_2^2} \frac{1}{L} \quad (57)$$

$$H(X) V(Y) = \frac{1}{2} \frac{k_1}{\sqrt{k_2}} \frac{c_1}{c_2^2} \frac{1}{X} \exp \left[- \left(\frac{1}{c_2^2} - \frac{1}{2 c_1^2} \right) Y^2 \right] \quad (58)$$

6.0 Zgradba matematičnega modela

V osnovi smo matematičen model zgradili iz dveh delov:

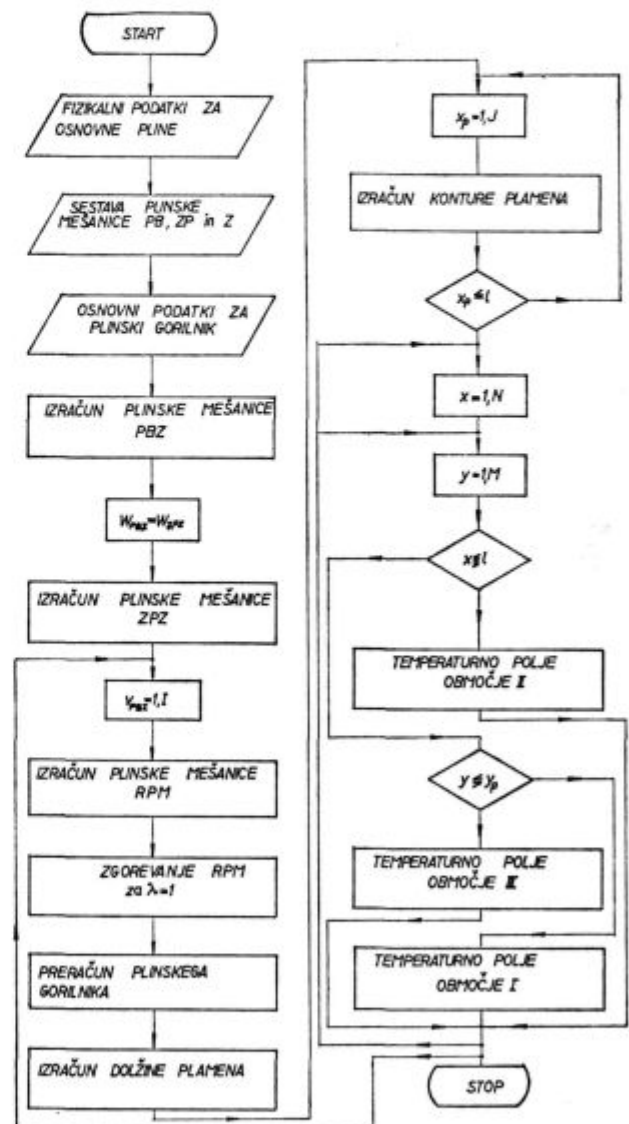
- izračun plinskih mešanic
- izračun difuzijskega plamena

Na sliki 6 je viden potek računanja z računalnikom.

Vstopne podatke, ki jih potrebujemo za izračun, razdelimo v tri skupine:

- Fizikalne vrednosti posameznih plinov (CH_4 , C_2H_6 , C_3H_8 , C_4H_{10} , N_2 , O_2 , CO_2 , H_2O)
- Karakteristična sestava osnovnih plinov (zemeljski plin, propan-butan, zrak)
- Karakteristični podatki za plinski gorilnik

V prvem delu programa izračunamo lastnosti zahtevane plinske mešanice, s katero želimo ku-



Slika 6

Potek računanja v računalniku

Fig. 6

Way of calculation by the computer

riti na plinskem gorilniku s pogoji, ki smo jih dali v program kot karakteristične podatke za plinski gorilnik. Najprej določimo plinsko mešanico PBZ in k tej ustrezno plinsko mešanico ZPZ po kriteriju enakih Wobbejevih indeksov. Ko sta poznani obe osnovni plinski mešanici PBZ in ZPZ, določimo rezultirajočo plinsko mešanico RPM odvisno od stopnje medsebojnega mešanja, ki jo nato vodimo na plinski gorilnik. V tem delu poteka program po enačbah za izračun plinskih mešanic in za zgorevanje plinastih goriv. Edina posebnost je kriterij določitve najprimernejše plinske mešanice ZPZ plinski mešanici PBZ, kar pa je bilo že obdelano¹⁰.

Iz podatkov plinskega gorilnika in zahtevane toplotne obremenitve izračunamo tlak rezultirajoče plinske mešanice na gorilniku.

Eksponent n , s katerim sta definirana koeficienta k_1 in k_2 , izračunamo po enačbi¹¹

$$n = 2,1 \log Re - 1,9 \quad (59)$$

V nadaljevanju izračunamo vse potrebne parametre za izračun dolžine plamena in temperaturnega profila.

Po izračunani dolžini plamena določimo konturo plamena tako, da teče x od nič do izračunane dolžine l , kjer za vsak x določimo ordinato konture plamena y .

V končni fazi program izračuna temperaturno polje, kjer teče abscisa x od nič do neke zahtevane dolžine, ordinata y pa pri vsakokratni vrednosti x teče od 0 do željene vrednosti. Program za nastavljenе koordinate določi območje, v katerem se nahaja podana točka in izračuna temperaturo v nastavljeni točki.

Program smo razvili v računskem centru železarne Ravne na računskem stroju IBM 375/135

Računski rezultati so vrisani v diagrame, ki so prikazani v zadnjem poglavju.

7.0 Meritve plinskega gorilnika

Za potrditev formulacije matematičnega modela difuzijskega plamena smo izvedli meritve na plamenskem kanalu v železarni Štore z dosegljivo plinsko mešanico PBZ. Za obstoječe kalorično in tlačno stanje plinske mešanice PBZ (kurilnost $33\,488 \text{ kJ/m}_n^3$, $p = 2943 \text{ N/m}^2$) smo merili karakteristične točke difuzijskega plamena, t.j.:

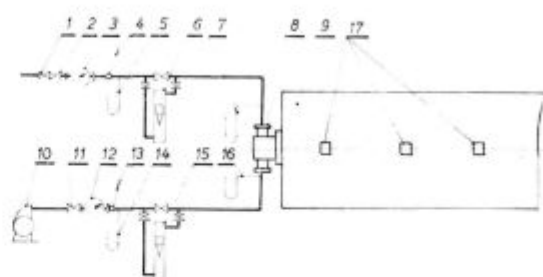
- dolžino
- konturo
- temperaturo plamena v osi gorilnika.

Z meritvami določene vrednosti smo primerjali z izračunanimi po matematičnem modelu za enako tlačno in kalorično stanje, ki smo ga imeli pri meritvah.

Na sliki 7 je prikazana shema plamenskega kanala z varnostno in merilno opremo. Kanal je

oskrbovan s plinsko mešanico PBZ, ki se uporablja v plinskem sistemu železarne.

V dovodnem cevovodu za plin sta vgrajena varnostni in reducirni ventil, ki je nastavljen. Varnostni ventil varuje preizkuševališče pred izpadi električne energije in okvarami pri dovodu plina. Z nastavljenim reducirnim ventilom nastavimo željeni tlak plinske mešanice PBZ, ki ga zahtevamo na plinskem gorilniku. Količine plinske mešanice (PBZ) in zraka so bile merjene



- | | |
|------------------------------------|-------------------------------------|
| 1 Zaporni ventil za plin | 9 Plamenski kanal |
| 2 Varnostni ventil za plin | 10 Ventilator za zrak |
| 3 Števce za merjenje pretoka plina | 11 Zaporni ventil za zrak |
| 4 Temperatura plina | 12 Števce za merjenje pretoka zraka |
| 5 Tlak plina | 13 Temperatura zraka |
| 6 Rotameter | 14 Tlak zraka |
| 7 Tlak plina na gorilniku | 15 Rotameter |
| 8 Plinski gorilnik | 16 Tlak zraka na gorilniku |
| | 17 Opazovalne odprtine |

Slika 7
Shema merilnega kanala

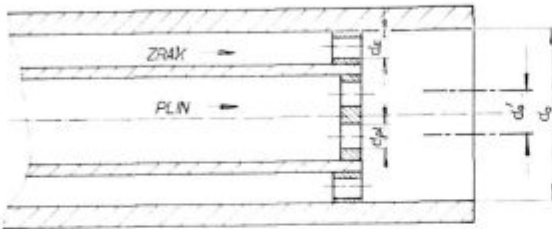
Fig. 7
Scheme of the measuring channel

s turbinskima merilnikoma pretoka (3, 12), ki sta vezana na registrator. Količino plina in zraka, posebno manjše pretoke, smo merili z rotametroma (6, 15), ki sta vgrajena vzporedno na dovod plina in zraka. Tlake zraka in plinske mešanice smo merili s tekočinskimi U-cevnimi manometri.

Zrak za zgorevanje daje ventilator (10). Del zraka se pretaka skozi šobo v dimnik za ustvarjanje umetnega vleka v plamenskem kanalu. Plamenski kanal je iz pločevine in obzidan z opeko. Vz dolž osi gorilnika so na obeh straneh opazovalne odprtine (17), skozi katere opazujemo plamen in opravljamo meritve plamena. Kanal je priključen na dimnik. Izdelan je iz segmentov in po dolžini sestavljen, da lahko prilagajamo volumen kurišča, t.j. zgorevalnega prostora, kapaciteti merjenega gorilnika. V kanal sta v čelni strani vgrajena dva gorilnika, s pomočjo katerih lahko pred preizkušanjem ogrejemo kanal na željeno temperaturo obratovanja.

Temperatura plamena je merjena s fiksnimi in gibljivimi aspiracijskim termoelementom Pt-PtRH 18. Za hlajenje termoelementov je na zgornji strani napravljen razvod hladilne vode in komprimiranega zraka. Fiksni aspiracijski termoelementi so vgrajeni tako, da z njimi merimo temperaturo plamena po dolžini v fiksnih točkah v osi gorilnika.

Z gibljivim termoelementom lahko merimo temperature rotacijsko simetričnega plamena v osi gorilnika med posameznima fiksnima točkama in izmerimo temperaturni maksimum v osi plamena.



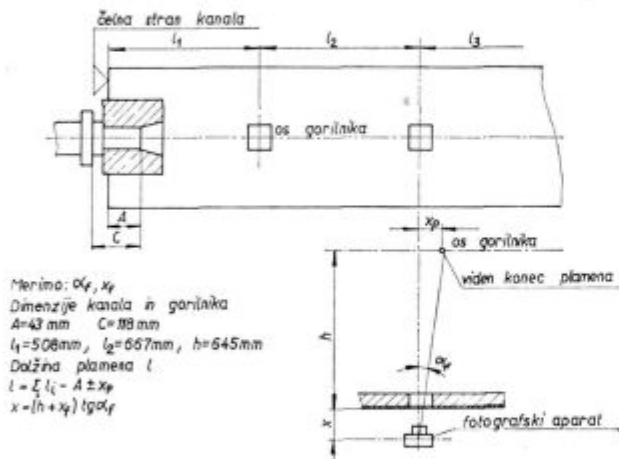
$d_g = 8 \times 35 \text{ mm}$ $d_e = 16 \times 50 \text{ mm}$ $d_f = 10 \text{ mm}$
 $A_p = 0,00007693 \text{ m}^2$ $A_e = 0,0004071 \text{ m}^2$
 $\alpha_p = 0,8614$ $\dot{Q} = 83721 \text{ W}$ pri $p_p = 1980 \text{ N/m}^2$, $H = 25120 \text{ kJ/m}^3$

Slika 8
Ustje plinskega gorilnika
Fig. 8
Gas burner nozzle

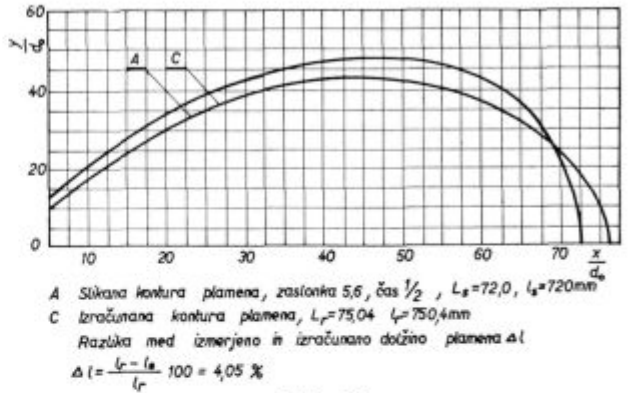
Merili smo plinski gorilnik, ki je prikazan na sliki 8. Po nastavitvi določene toplotne obremenitve gorilnika in razmernika zraka smo po vzpostavitvi stacionarnega stanja v kanalu začeli z meritvami karakterističnih vrednosti plamena.

Meritev dolžine plamena je shematično prikazana na sliki 9. S pomočjo zrcalne refleksne optike fotografskega aparata smo merili dolžino plamena, s tem da smo jo izračunali iz geometrije kanala in gorilnika in izmerjenega kota zasuka fotografskega aparata.

Konturo plamena smo dobili s fotografiranjem plamena. Merilo smo določili tako, da smo za plamen postavili ploščo, ki je imela vrisano merilno skalo. Na sliki 10 je prikazana kontura in dolžina plamena za izmerjene in izračunane vrednosti za enake pogoje plina in zraka na gorilniku, kot je bila napravljena meritev podana v brezdimenzijskih koordinatah.



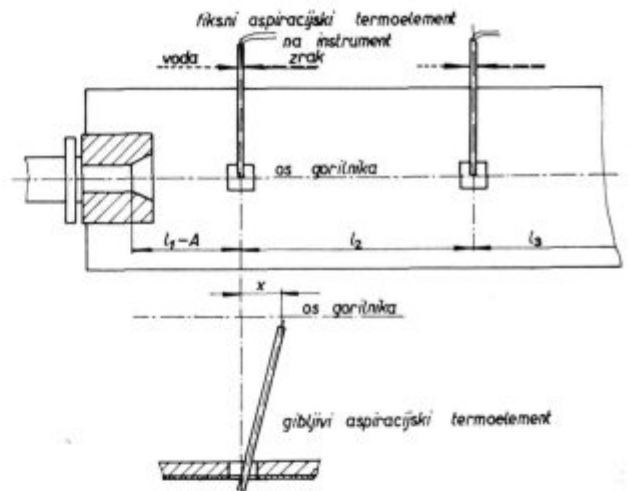
Slika 9
Shema meritve dolžine plamena
Fig. 9
Scheme of measurement of the flame length



Slika 10
Primerjava med izmerjenimi in izračunanimi vrednostmi za dolžino in konturo plamena

Fig. 10
Comparison between the measured and calculated values of the flame length and the flame contour

Temperaturni profil v osi gorilnika smo posneli s pomočjo fiksnih in gibljivega aspiracijskega termoelementa. Slika 11 prikazuje shematično način meritve temperaturnega profila.

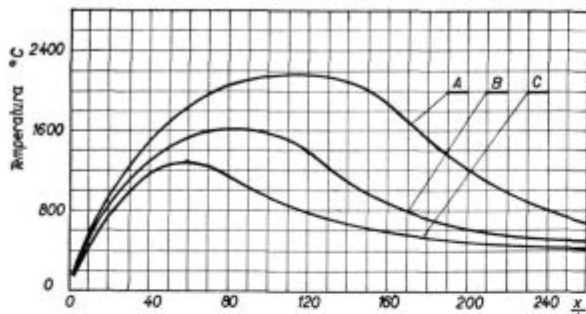


Slika 11
Shema meritve temperaturnega profila
Fig. 11
Scheme of the measurement of the temperature distribution

Na sliki 12 je prikazan temperaturni profil v osi gorilnika za izmerjene in izračunane vrednosti.

Točnost izmerjene dolžine plamena je določena z merjenjem kota zasuka fotografskega aparata in ocenitve konca plamena. Stojalo za fotografski aparat je imelo nonij za merjenje kota, tako da je točnost izmerjenega kota $\pm 0,25^\circ$, kar pomeni pri naših dimenzijah kanala odstopanje dolžine plamena $l_1 = \pm 5 \text{ mm}$ ali $\Delta l_1 = 0,58 \%$.

Večji vir netočnosti pri merjenju dolžine plamena je bila ocenitev konca plamena. Plamen se je na koncu cepil v posamezne pramene. Ker smo bili vklopljeni na tovarniško omrežje, je bil vpliv



A Temperaturni profil po modelu za teoretično temperaturo plamena 2120 °C
 B Temperaturni profil po modelu za računsko temperaturo plamena 1600 °C
 C Izmerjeni temperaturni profil

Slika 12

Primerjava temperaturnega profila za izmerjene in izračunane vrednosti s profilom pri teoretični temperaturi gorenja

Fig. 12

Comparison of the temperature distribution for measured and calculated values and of the temperature distribution at the theoretical temperature of combustion

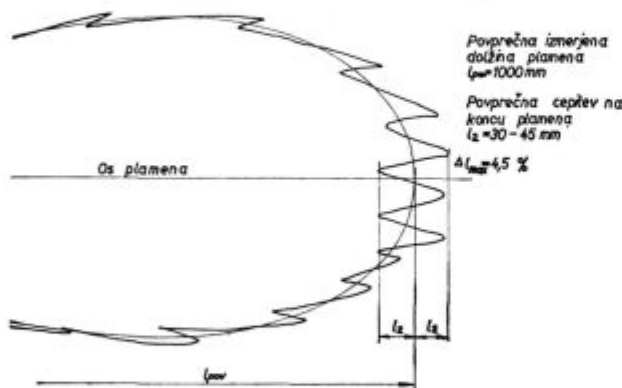
nihanja plinskega sistema in nihanje električne napetosti odločujoč za velikost in cepitev plamena. Na osnovi daljšega opazovanja smo ocenili povprečni konec plamena, kar je shematično prikazano na sliki 13. Napaka, ki jo definiramo z dolžino zubljev, oziroma zaradi cepitve plamena, je ocenjena na $\max. \Delta l_2 = 4,5 \%$.

Z upoštevanjem navedenih dveh napak Δl_1 in Δl_2 dobimo napako izmerjene vrednosti dolžine plamena $\Delta l_{12} = \pm 5 \%$.

Iz slike 10 je razvidno, da je razlika med izračunano in izmerjeno dolžino plamena $\pm 4,0 \%$.

Izračunana kontura plamena sledi izmerjeni konturi (slika 10). Ker smo izračunali dolžino plamena z natančnostjo enakega reda velikosti $\pm 5 \%$, lahko zaključimo, da smo potrdili matematičen model difuzijskega plamena. Če bi hoteli poboljšati natančnost matematičnega modela, bi morali za določitev dolžine plamena uporabiti zahtevnejše merilne metode.

Osnovni namen preizkusov ni bil dobiti čim eksaktnejši matematičen model, ampak model,



Slika 13

Ocenitev dolžine plamena

Fig. 13

Estimation of the flame length

ki bo ekvivalentno točen kot meritev plamena v kanalu.

Pri merjenju in računanju temperaturnega profila plamena v osi gorilnika smo imeli večje težave. Temperaturo smo merili z aspiracijskimi termoelementi Pt-PtRh 18 preko kompenzacijske doze. Netočnost izmerjene temperature je bila $\pm 1,7 \%$ (napaka termoelementa v merilnem območju in napaka merilnega instrumenta za merjenje termonapetosti).

Za izračun temperaturnega profila smo izhajali iz teoretične temperature gorenja. Vpliva disociacije nismo upoštevali, ker znaša vpliv disociacije za plamen plinske mešanice PBZ pri nižjih temperaturah, ki nastopajo v kuriščih, le 1–2 %.

Iz slike 12 je razvidno, da temperaturni profil odstopa od izračunanega profila. Z znižanjem temperature zgorevanja se razlika zmanjšuje. Temperature, ki smo jih dosegli pri kurjenju v kanalu z gorilnikom, ki smo ga preizkušali, so bile za uporabljeno plinsko mešanico nekoliko prenizke. Vzrok je bil v tem, da je za uporabljeni gorilnik dimenzijsko nekoliko prevelikem zgorevalnem prostoru kanala. To je imelo za posledico, da je odvod toplote s plamena prevelik. Zaradi tega je temperatura v plamenu padla pod mejo, ki smo jo pričakovali. Da bi v matematičnem modelu zajeli vpliv odvoda toplote vzdolž plamena na okolico, bi morali za posamezne prereze v plamenu izdelati toplotno bilanco in nato izračunati dejansko temperaturo plamena, kar pa presega okvir raziskave.

Meritve so pokazale, da izračunani temperaturni profil sledi izmerjenemu. Zato smo se odločili, da posplošimo vrednost rezultatov ob upoštevanju dejanske izmerjene temperature plamena. Izračunamo temperaturni profil za teoretično temperaturo gorenja, ki ga odvisno od obravnavane peči korigiramo s pirometričnim koeficientom.

8. REZULTATI MATEMATIČNE OBDELAVE

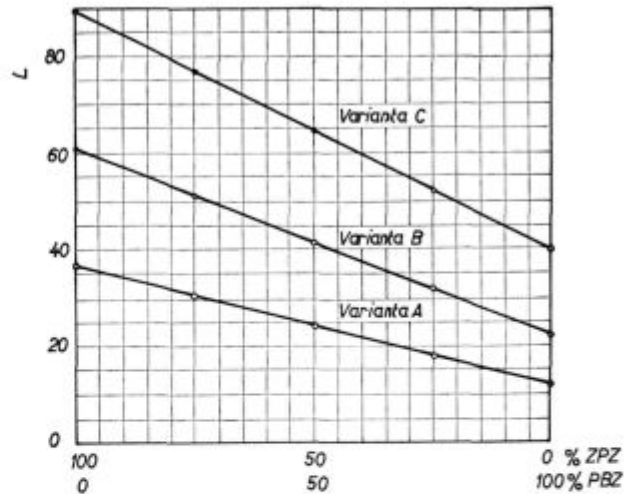
Za različne sestave rezultirajoče plinske mešanice propan-butan PB, zemeljski plin ZP in zrak Z izračunamo reducirano dolžino plamena pri razmerniku zraka $\lambda = 1$. Osnovne podatke za glavne pline smo že obdelali, zato so v tabeli I prikazani samo karakteristični podatki za plinske mešanice variant A, B in C.¹⁰

Na sliki 14 je v diagramu mešanja vidno spreminjanje reducirane dolžine plamena v odvisnosti od sestave rezultirajoče plinske mešanice. Dolžina plamena se veča z manjšanjem koncentracije zraka v plinski mešanici.

Za izbrane variante A, B in C narišemo na sliki 15 reducirane dolžine plamena v odvisnosti od medsebojne stopnje mešanja plinskih mešanic ZPZ in PBZ. Iz diagrama je vidno, da bo pla-

Tabela 1: Osnovni podatki plinskih mešanic variant A, B in C, določenih na osnovi enakih Wobbejevih indeksov.

Varianta	Plinska mešanica	Kurilnost	Gostota	Volumska sestava	
		kJ/m_3	kg/m_3	plin	zrak
A	PBZ	18 840	1,4850	0,1697	0,8303
	ZPZ	15 973	1,0670	0,4324	0,5676
B	PBZ	27 214	1,5706	0,2451	0,7549
	ZPZ	21 583	0,9878	0,5843	0,4157
C	PBZ	33 494	1,6347	0,3016	0,6984
	ZPZ	25 330	0,9349	0,6857	0,3143

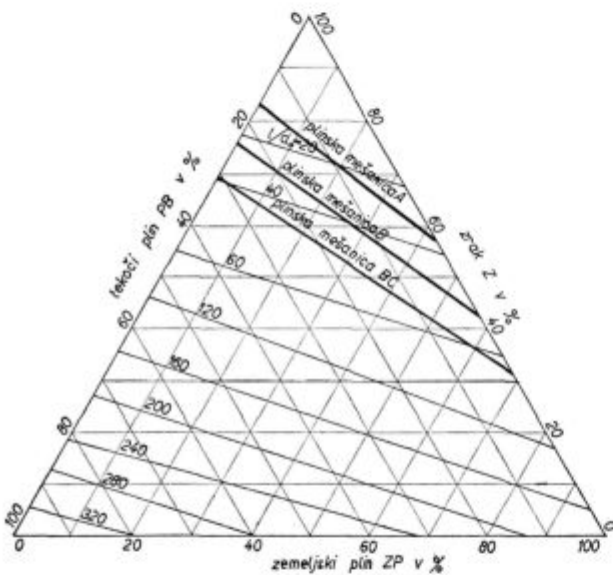


Slika 15

Spreminjanje reducirane dolžine plamena za izbrane variante plinskih mešanic A, B in C

Fig. 15

Variation of the reduced flame length for chosen A, B, and C combinations of gas mixtures



Slika 14

Reducirana dolžina plamena v diagramu mešanja

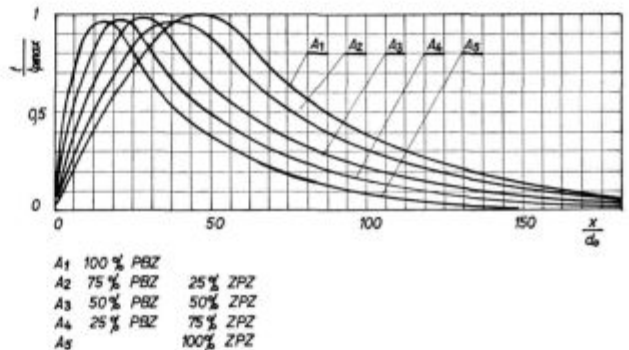
Fig. 14

The reduced flame length in the diagram of mixing

men, ki ga dobimo s kurjenjem PBZ, krajši od plamena plinske mešanice ZPZ. Ti podatki so važni za izračun prenosa toplote s sevanjem v prostor peči, ker se nam spreminja debelina in dolžina plamena poleg spremembe sestave dimnih plinov, posebno ogljikovega dioksida in vodne pare.

Temperaturni profili v osi gorilnika za posamezne variante A, B in C so prikazane na slikah 16, 17 in 18.

Temperaturni maksimumi se s sestavo rezultirajoče plinske mešanice spreminjajo tako po svoji absolutni vrednosti kot po oddaljenosti od ustja gorilnika. Temperaturni profili so izračunani na osnovi teoretične temperature gorenja določene plinske mešanice A, B ali C.

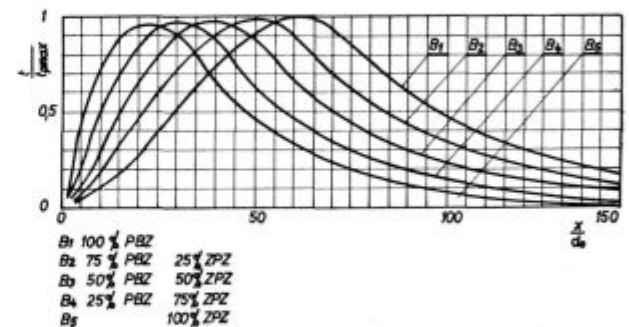


Slika 16

Temperaturni profil v osi gorilnika za varianto A

Fig. 16

Temperature distribution in the burner axis for the A combination

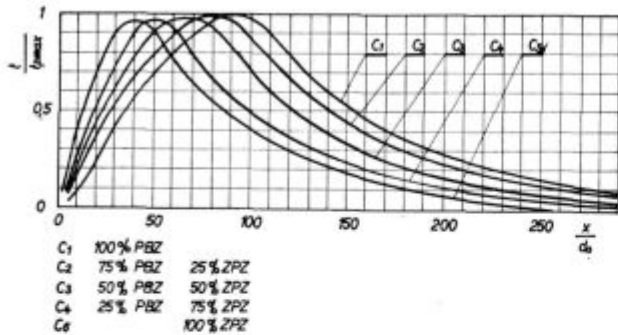


Slika 17

Temperaturni profil v osi gorilnika za varianto B

Fig. 17

Temperature distribution in the burner axis for the B combination



Slika 18

Temperaturni profil v osi gorilnika za varianto C

Fig. 18

Temperature distribution in the burner axis for the C combination

Uporabljene oznake

- A . . . prerez, konstanta enačbe
 a(X) . . . funkcija, ki upošteva spremembo x-a
 B . . . konstanta enačbe
 b(Y) . . . funkcija, ki upošteva spremembo y-a
 b₁ . . . mešalna širina curka
 c₁ . . . prenosni koeficient impulza
 c₁ . . . prenosni koeficient toplote
 c_ξ . . . prenosni koeficient mase
 c_p . . . specifična toplota
 d₀ . . . premer plinske šobe
 f_z . . . teža curka
 g₂₁ . . . funkcija, ki upošteva vpliv mešanja
 g₁₁ . . . funkcija, ki upošteva začetno porazdelitev impulza na izstopnem prerezu gorilnika
 H, H(X) funkcija lege točke
 K . . . konstanta enačbe
 $L = \frac{1}{d_0}$ reducirana dolžina plamena
 l . . . dolžina plamena
 PB . . . plinska faza propan-butan
 PBZ . . . plinska mešanica propan-butan-zrak
 p . . . tlak
 RPM . rezultirajoča plinska mešanica
 $r = \frac{d_0}{2}$ polmer
 T . . . temperatura
 t . . . temperaturna diferenca
 T₀ . . . temperatura plina na izstopu iz gorilnika
 T_p . . . temperatura v coni zgorovanja
 u . . . hitrost plina v glavni smeri, smer x
 U . . . krajši zapis enačbe (59)
 w . . . hitrost plina pravokotno na glavno smer, smer y
 V, V(Y) funkcija lege točke
 \dot{V}_0 . . . volumski tok plina
 \bar{v}_0 . . . volumsko razmerje gorljivega na izstopu iz gorilnika
 \bar{v}_p . . . volumsko razmerje gorljivega v coni zgorovanja
 Z . . . zrak
 Z_{min} . . . minimalna potrebna količina zraka
 ZP . . . zemeljski plin

ZPZ . . . plinska mešanica zemeljski plin-zrak

x . . . koordinata

 $X = \frac{x}{d_0}$ reducirana koordinata

y . . . koordinata

 $Y = \frac{y}{x}$ reducirana koordinata

n . . . potenca

Δl . . . napaka meritve dolžine

α . . . kot zasuka fotografskega aparata, kot križnega gorilnika

β . . . razmerje molekularnih mas plina pred zgorovanjem in nastalih dimnih plinov

η . . . dinamična viskoznost

ξ . . . masno razmerje

μ . . . molekularna masa

ρ . . . gostota

λ . . . razmernik zraka

Λ . . . prenosna funkcija impulza

τ . . . čas

θ . . . faktor vrtnčenja

Indeksi

max . . . maksimalna vrednost

min . . . minimalna vrednost

o . . . na izstopnem prerezu gorilnika

ok . . . okolica

s . . . os gorilnika

dp . . . dimni plini

p . . . v coni zgorovanja

os . . . v osi na izstopnem prerezu gorilnika

Literatura

- Günther R.: *Verbrennung und Feuerung*, 2. Aufl, (Berlin/Gröttingen/Heidelberg), Springer Verlag 1974
- Janisch F.: »Geschwindigkeits- und Temperaturverteilung in einer ebenen laminaren Flammenfront« *Chem. Ing. Tech.* 43, (1971), str. 561
- Traustel S.: »Über die Beruchnung von Flamen an Brennern« *Technische Mitteilung* 62, (1969), H5, stran 177—179
- Kremer H.: »Strömung und Mischung in freibrennenden Diffusionsflammen«, *VDI — Berichte* 95, 1. Aufl, (Düsseldorf), VDI — Verlag
- Landau L., Lifšič M.: *Mehanika neprekidnih sredina*, 2 izdanje, (Beograd), Građevinska knjiga 1965
- Reichardt H.: »Gesetzmässigkeiten der freien Turbulenz« *VDI — Forschungsheft* 414, 2. Aufl, VDI — Verlag (Düsseldorf) 1951
- Mitrinović S., Kečkić D.: *Jednačine matematičke fizike*, 1. izdanje, (Beograd), Građevinska knjiga 1972
- Bronštejn N., Semendjajev A.: *Matematički priručnik*, 2. ponatis, (Ljubljana), TZS 1970
- Schlichting H.: *Grenzschichttheorie*, 5. Aufl, (Karlsruhe), Verlag B. Braun, 1965
- Sicherl B., Vodeb D.: »Problematika zamenljivosti kurilnih plinov v industriji«, *Železarski zbornik*, 10 (1976), štev. 4, str. 16—22
- Richter H.: *Rohrhydraulik*, 4. Aufl (Berlin/Gröttingen/Heidelberg), Springer Verlag 1962

ZUSAMMENFASSUNG

Bei der Suche nach einer optimalen Variante der Verbrennungsparameter einer Gasmischung von Erdgas und einer Gasmischung von Propan-Butan-Luft ist für den Fall einer Ofenheizung ein mathematisches Modell der Diffusionsflamme entwickelt worden.

Das Verbrennen verläuft in einem turbulenten Strahl, welcher mit der Navier-Stokes und der Kontinuitätsgleichung und mit den Gleichungen für das Temperaturfeld und das Konzentrationsfeld des verbrennenden Gases im Abgas beschrieben werden kann. Der erhaltene System der partiellen Differentialgleichungen ist analytisch nicht lösbar. Dieses System wird vereinfacht mit der Voraussetzung, dass es sich um einen stationären in der Achse symmetrischen rotierenden Strahl handelt, wobei noch das Strahlgewicht, die Druckveränderungen und die innere Reibung vernachlässigt werden.

Die Turbulenz des freien Strahles ist durch die Reichardtsche Ähnlichkeitstheorie der Impuls und Wärmeausbreitung berücksichtigt worden, welche auf Grund der umfangreichen Messungen und mit der Hilfe der Impulsgleichung für die durchschnittlichen Zeitwertgrößen erhalten worden ist. Die erhaltene Gleichung hat einen phänomenologischen Charakter in welchem die übertragbare Größe experimentell bestimmt werden soll.

Mit Hilfe der Reichardtschen Ähnlichkeitstheorie der

Impuls- und Wärmeausbreitung konnte das System der vereinfachten partiellen Differentialgleichungen analytisch gelöst werden.

Die Lösung des Systems ergibt drei verhältnismässig einfache Exponentialgleichungen, welche für eine parabolische Verteilung der axialen Geschwindigkeit am Brenneraustritt gelten.

Mit dem Rechnerprogramm für den Rechner werden für die Grunddaten, welche in vier Gruppen verteilt sind: Wärme und Transporteigenschaften der grundlegenden Gase, die Eigenschaften der Brennstoffe, Daten über den Brenner, die gewünschten Daten für welche die Rechnung gemacht wird, die Eigenschaften der Propan-Butan-Luft und Erdgas-Luft Gasmischung, die Länge, die Flammenkontur und der Temperaturprofil der Flamme ausgerechnet.

Die ausgerechneten Ergebnisse der charakteristischen Flammengrößen sind mit den gemessenen Werten verglichen worden, welche auf der bestehenden Versuchsanlage erhalten worden sind.

Mit Hilfe des mathematischen Modells der Diffusionsflamme sind alle möglichen Mischungszustände der drei grundlegenden Gase, Propan-Butan, Erdgas und Luft, bearbeitet worden. Die Ergebnisse der Rechnungen sind in ternären Mischungsdiagrammen dargegeben.

SUMMARY

Looking for an optimal combination of parameters for burning gaseous mixture of natural gas and propane-buthane-air mixture which is used for furnace heating, a mathematical model of diffusional flame was developed.

Burning takes place in a turbulent jet which can be described by the Navier-Stokes equation, the equation of continuity, and the equations of temperature field and concentration field of the burning gas in the flue gas. The obtained system of partial differential equations cannot be solved analytically. The system can be simplified by the supposition that the rotational jet is stationary and axially symmetrical, and that the jet weight, pressure variations and internal friction are neglected.

The turbulence of the free jet was taken in account by the Reichardt similarity theory of momentum and heat transfer which was obtained by extensive measurements and by the momentum equation for the mean-time values of parameters. The obtained equation contains a value which must be determined experimentally.

The Reichardt similarity theory of the momentum and heat transfer enabled that the system of simplified

partial differential equations could be solved analytically. The solution of the system is represented by three relatively simple exponential equations which are valid for parabolic distribution of axial velocities at the burner nozzle.

Properties of propane-buthane-air and natural gas-air mixtures, the length and shape of flame, and the temperature distribution in the flame can be calculated by computer from the basic data which can be classified in four groups: thermal and transfer properties of basic gases, fuel properties, burner data, and the desired parameters for which the calculation is made.

The obtained calculated results of the characteristic parameters of the flame were compared with the measured values which were obtained on the existing experimental set-up.

The mathematical model of the diffusional flame enabled that all the possible conditions of mixing the three basic gases (propane-buthane, natural gas, and air) could be analyzed. The results of calculations are shown in the triangular diagrams of mixing.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При исследованиях для определения оптимального варианта параметров сгорания газовой смеси природного газа и смеси газа пропан-бутан и воздуха для применения нагрева в печах разработана математическая модель диффузионного пламени.

Сгорание протекает в виде турбулентной струи, которая описана с уравнением Навьер-Стокеса, с уравнением непрерывности и с уравнением температурного поля, а также с уравнением поля концентрации горючего и дымового газа. Полученная система парциальных дифференциальных уравнений аналитически нерешима. Эту систему можно упростить при условии, если взять стационарную ротационную струю и пренебречь тяжестью, изменение давления и внутреннее трение струи.

Турбулентность свободной струи учтена в согласии с теорией расширения импульса и теплоты по Райхардту разработана на основании многочисленных измерений и при помощи уравнения импульса для среднего периода времени значения величин. Полученное уравнение исключительного характера, её переносную величину надо определить экспериментальным способом.

При помощи теории сходства расширения импульса и теплоты по Райхардту можно было аналитическим способом определить

систему упрощенных парциальных дифференциальных уравнений. Решение системы представляют собой три соразмерно несложные показательные уравнения, которые действительны для параболического распределения аксиальной скорости при выходе из горелки. Вычислительная программа нам, для основных данных, которые разделены в четыре группы, т. е. тепловые и переносные свойства основных газов, свойства топлива, сведения о горелке и желаемые сведения для которых выполняется вычисление, вычисляет свойства газовых смесей пропан-бутан-воздух и смеси пропан-бутан-воздух, также длину, контур и температурный профиль пламени.

Полученные результаты вычисления характерных величин пламени сравнили с измеренными значениями, полученные в экспериментальной установке, которая была в распоряжении. При помощи математической модели диффузионного пламени авторы работы обработали все возможные состояния смешивания трех основных газов, пропан-бутан, природный газ и воздух.

Результаты вычислений приведены в форме треугольных координат.

Regeneracija in nevtralizacija izrabljenih kislin v HV Bela v Železarni Jesenice

UDK: 621.747.56
ASM/SLA: L12g

Bogdan Ravnik

UVOD

V tehnološkem procesu hladne valjarne uporabljamo dve kontinuirni lužilni liniji. Lužilna linija 1 je namenjena za luženje ogljičnih in silicijevih jekel, lužilna linija 2 pa za luženje nerjavnih jekel.

Za luženje ogljičnih in silicijevih jekel uporabljamo kot lužilno sredstvo klorovodikovo kislino. Poleg elektrolitskega luženja nerjavnih jekel, ki predstavlja zaprt sistem in ni nevarnosti za okolico, uporabljamo za končno luženje nerjavnih jekel tudi solitrno (HNO_3) in fluorovodikovo (HF) kislino.

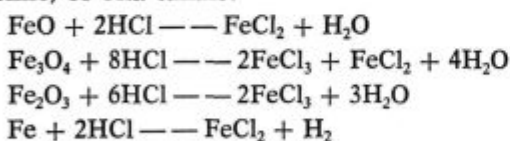
Pri luženju, to je pri kemičnem odstranjevanju škake, v prvi vrsti železovih oksidov, se našteje kisline izrabijo. Izrabljene kisline moramo spremeniti v obliko, ki je za okolico neškodljiva, ali pa jih moramo regenerirati, da jih lahko ponovno uporabimo v procesu.

Za to sta namenjeni v HV Bela dve napravi. Prva je naprava za regeneracijo klorovodikove kisline, ki tvori z lužilno linijo za ogljična in silicijeva jekla zaključen sistem. Izrabljena kislina prihaja v regeneracijo, se tu regenerira in se vrača nazaj v proces. Klorovodikova kislina na ta način ne predstavlja nobene nevarnosti za okolico.

Nasprotno pa fluorovodikove in solitrne kisline ne regeneriramo, ampak ju potem, ko nista več uporabni v procesu, nevtraliziramo. V nevtralizacijskih napravah dobimo produkte, ki niso škodljivi okolici.

TEHNOLOŠKI PROCES V NAPRAVI ZA REGENERACIJO IZRABLJENE HCL

Pri luženju s klorovodikovo kislino se železovi oksidi ločijo s površine luženca in se pri ustreznih porabi solne kisline pretvorijo v železov klorid. Kemična reakcija nastajanja klorida iz železovih oksidov, vezanih na površini luženca in solne kisline, bi bila takale:

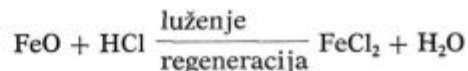


Pri luženju poteka tudi reakcija redukcije železovega triklorida z atomarnim vodikom



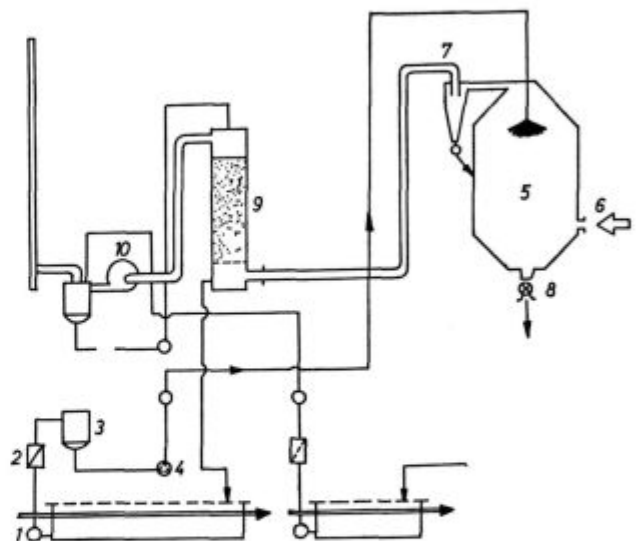
Koncentracija železovega klorida v luženju raste, prosta kislina pa proporcionalno pada. Pri višji koncentraciji železovega klorida lužina postane neuporabna. Da bi odstranili prirastek železovega klorida iz lužilne kisline, pošljemo temu prirastku ustrejni del skozi regeneracijo. Maksimalna vsebnost železa v lužilni kislini, ki jo pošiljamo v regeneracijo, sme znašati 130 gramov na liter. V regeneraciji se pretvori na železov klorid vezana solna kislina v prosto kislino, ki jo črpamo nazaj v lužilnico. Istočasno se železo izloči kot železov oksid, tako da ostane v lužilni kopeli stalna koncentracija kisline in železa.

Proces luženja in regeneriranja lahko prikazemo s približno natančnostjo:



Če beremo enačbo z leve proti desni, ustreza luženju, v nasprotni smeri pa prikazuje regeneracijo.

Lužilna kislina, ki prihaja v regeneracijo, vsebuje v glavnem vodo, prosto klorovodikovo kislino

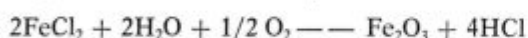


Slika 1
Shematski prikaz regeneracijske naprave

Fig. 1
Scheme of the acid recovery

no in raztopljen železov klorid. Kislina se prečrpava preko filtra (št. 2), kjer se odstranijo vsi trdni delci in umazanija, v rezervoar za izrabljeno kislino (3). Od tu dovaja črpalka (4) lužilno kislino k razpršilnim šobam lužilne peči ali reaktorja (5). Reaktor je zgrajen iz varjene konstrukcije, znotraj obzidan z ognjeodpornim materialom in zunaj izoliran. Reaktor je kurjen direktno z butan-propanom. Tri zgorevalne komore so nameščene tangencialno, tako da se zgorevni plini pretakajo v eni ravnini direktno v reaktor. (6)

Razpršilne šobe razpršijo lužilno kislino v fine kapljice, ki se na poti skozi reaktor segrejejo najprej na temperaturo vrelišča in izparijo. Delci železovega klorida, ki ostanejo potem, ko je izizhlapela tekočina, padajo protitočno proti vročim zgorevalnim plinom v spodnji del reaktorja in se pri temperaturah 500 do 800°C v prisotnosti kisika spražijo v železov oksid in plin HCl.



Glavni del železovega oksida se useda na dno reaktorja, manjši del pa odnesejo s seboj pražilni plini. Ta oksid se vsede v izločevalcih prahu (7), ki sta grajena kot ciklona. Železov oksid se zbira v koničnem delu ciklona in se kontinuirno vrača nazaj v reaktor. V reaktorju nastali železov oksid se potem pnevmatsko transportira s pomočjo dozirne naprave (8) v kontejner ali v vreče. Tako pridobljeni železov oksid z nasipno težo 0,5 kg/l je zelo čist, vendar je to odvisno predvsem od spremeljajočih elementov v jeklu.

Plinasti produkti praženja vsebujejo tiste količine vode in proste kisline, ki jih je vsebovala lužilna kislina. Vsebujejo pa tudi prvotno na železo vezani in sedaj prosti HCl plin. Pražilni plin uvajamo spodaj v absorpcijsko kolono (9). Absorpcijska kolona sestoji iz več jeklenih posod, ki so na notranji strani gumirane. Spodnja posoda, v katero prihajajo vroči pražilni plini, je toplotno izolirana. Na izolacijski obzidavi je nameščena palična rešetka, ki nosi polnilno nasutje Raschi-govih obročk.

V absorpcijski koloni pride na površini polnilnega nasutja do izmenjave toplote in snovi med pražilnimi plini in absorpcijsko vodo. Od zgoraj navzdol prši voda, v protitoku pa prihajajo pražilni plini. Navzdol pronicujoča absorpcijska voda absorbira vso količino plinaste HCl in na dnu absorpcijske kolone izstopa kot regenerirana kislina s cca 200 g/l HCl, ki jo vodimo nazaj v lužilnico. Z ustreznim doziranjem škropljenja reguliramo medsebojno delovanje med toploto in izmenjavo snovi in s tem vplivamo na vsebnost solne kisline v regenerirani kislini. Plini, ki izhajajo iz glave kolone, so skoraj brez plina HCl.

Namesto čiste vode uporabljamo kot absorpcijsko vodo splakovalno vodo iz lužilne linije 1. V lužilni liniji se trak, ki prihaja iz lužilnih kadi, spere ostankov kisline v krtačnem spiralniku. Nastalo kislo vodo vodimo v absorpcijsko kolono.

V celotni regeneraciji vzdržujemo med obratovanjem podtlak s pomočjo ventilatorja (10), ki sesa pražilne pline iz reaktorja skozi absorpcijsko kolono in jih pritiska skozi dimnik v okolico. Da dosežemo, da so dimni plini, ki izhajajo v okolico, resnično brez HCl plina, je ventilator grajen za mokro pranje plinov. Pred ventilator brizgamo svežo vodo, ki jo lahko vodimo nazaj v absorpcijsko kolono ali nevtralizacijo.

Iz vsega tega vidimo, da je klorovodikova kislina in vsa kislina vezana na regeneracijske naprave, ki z lužilno linijo tvorijo zaprt sistem in ni nobene nevarnosti, da bi pri normalnem obratovanju prišlo do zastrupljanja okolja.

NAPRAVE ZA NEVTRALIZACIJO

Naprave, ki naj jih izključno narekuje zaščita okolja, so nevtralizacijske naprave. Tu se nevtralizirajo vse odpadne vode in kisline, ki nastajajo pri obratovanju hladne valjarne:

a) splakovalna voda, ki se uporablja pri spiranju luženih trakov na lužilni liniji 1 (kisle reakcije)

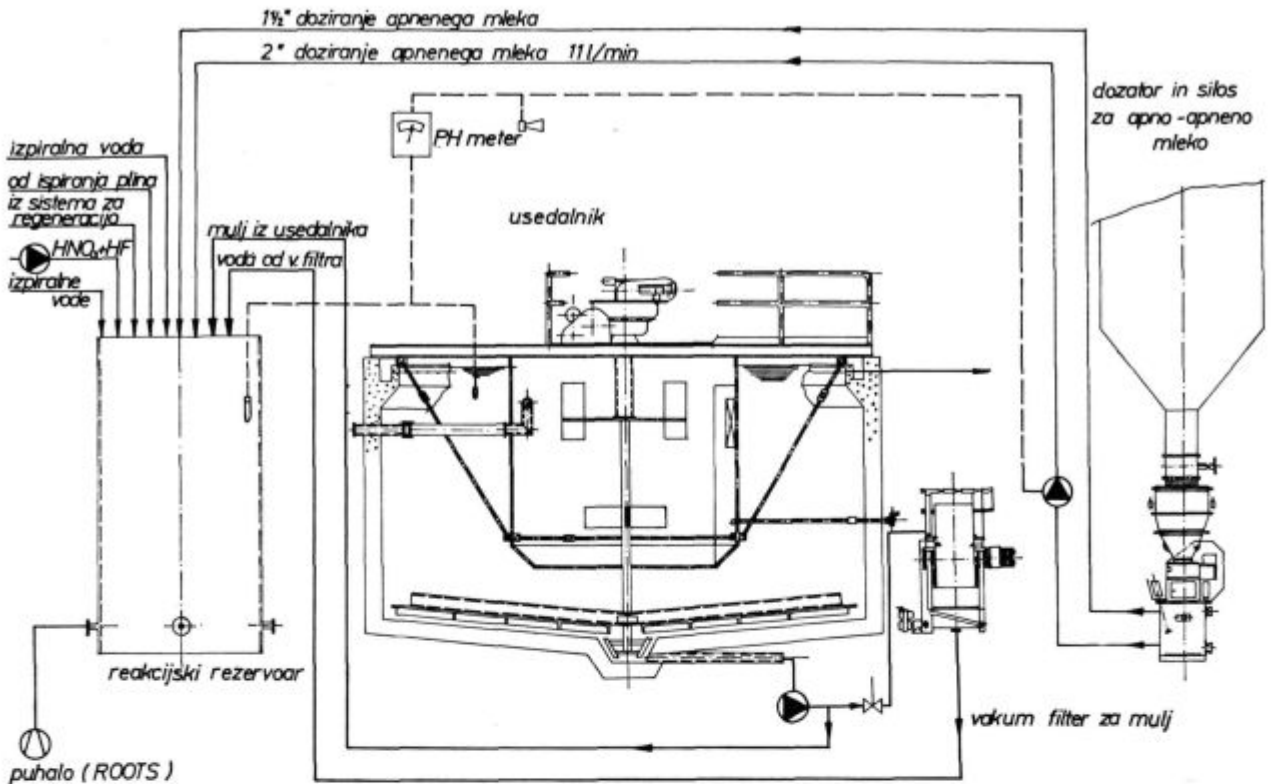
b) splakovalna voda, ki se uporablja pri spiranju luženih trakov na lužilni liniji 2 (kisle reakcije)

c) spiralna voda iz čistilca kislinskih par (alkalne reakcije). Vse kislinske pare se predhodno nevtralizirajo v čistilcu kislinskih par z natrijevim lugom (NaOH)

d) izrabljeni lužilni kislini — HNO₃ in HF

Vse odpadne vode in kisline se zbirajo v reakcijskem rezervoarju, kjer poteče tudi reakcija nevtralizacije. Kot nevtralizacijsko sredstvo se uporablja apneno mleko. Priprava apnenega mleka je izvedena tako, da suho vskladiščeno apno prehaja s transporterjem v dozirno napravo. Ta je izvedena tako, da je možno poljubno nastavljati koncentracijo apnenega mleka. Iz dozirne naprave apno prehaja v posodo za pripravo apnenega mleka, ki je opremljena z mešalom in priključkom vode. Dozirna črpalka črpa apneno mleko v reakcijski rezervoar, kjer poteče nevtralizacija ob intenzivnem mešanju in prepihanju s komprimiranim zrakom. Pri tem se oborijo netopni hidroksidi kovin, v glavnem železov hidroksid. Pri nevtralizaciji fluorovodikove kisline pa nam izpade tudi kalcijev fluorid. Po reakciji mešanico prečrpavamo v usedalnik, kjer se ločijo usedljivi delci od vode. Usedalnik je naprava, ki zaradi svoje specifične konstrukcije in kontroliranega toka mešanice pospešuje usedanje. Možen je tudi dodatek flokulantov.

Srednji del usedalnika je takozvani mešalni cilindri, v katerem se mešanici dodajajo flokulanti. V tem delu se prične rast flokul, ki zaradi svoje teže potonejo. Iz mešalnika cilindra gre mešanica navzdol proti dnu usedalnika in se nato



Slika 2
 Shema nevtralizacijske naprave
 Fig. 2
 Recovery set-ups (equipment for the acid recovery)

zaradi povečanega prereza z zmanjšano hitrostjo tok vode usmeri proti površini. V tej coni se prične proces usedanja tako, da se mulj zbira na dnu, kjer se s pomočjo grabelj zbere v srednjem konusnem delu, odkoder ga s črpalko odvajamo na sušenje. Po celem zgornjem obodu usedalnika je prelivno korito za zbiranje prečiščene vode, ki je od tu speljana v okolje.

Mulj, ki ga dobimo z dna usedalnika, vsebuje precejšnje količine vode. Ta mulj bi predstavljal zaradi svoje voluminoznosti problem za odvoz. Zaradi tega je predvidena naprava za sušenje mulja v obliki vakuumskega filtra.

V korito filtra doteka s pomočjo črpalke konstantna količina mulja. V koritu se vrti boben, ki je razdeljen na segmente-režime. Boben je po svojem obodu v smislu tlačnih režimov razdeljen v cono visokega in nizkega vakuuma, cono izpiranja in cono preprihovanja. V enem krogu vsak segment preide vse tlačne režime. Del, ki je v koritu, je najprej pod nizkim vakuumom, ko pa se začne vzdigovati iz korita, preide v režim visokega vakuuma. Tu se izloči največ vode. Naslednji režim je preprihovanje. Takrat se plast posušenega mulja, ki se je nabrala na filtrni tkanini, odlepi od podlage in se v naslednjem toku s pomočjo strgala odstrani v kontejner. Nato sledi izpiranje platna s čisto vodo in proces se ponovi. Na ta način je omogočeno kontinuirno sušenje mulja,

vsa voda se ponovno vrača na začetek nevtralizacijskega procesa, ker ni dovolj čista, da bi jo spuščali v okolje.

Celotna nevtralizacijska naprava je krmiljena s pomočjo krmilnih sond. Na dveh merilnih mestih sta nameščeni merilni sonde s kombiniranimi sondami, kar pomeni, da sta v enem ohišju skupaj referenčna in primerjalna elektroda. Eno merilno mesto je v reakcijskem bazenu, drugo pa na izstopu iz usedalnika. Obe vrednosti pH izmerimo, signal ojačamo in z njim krmilimo dozirno črpalko za apneno mleko. To pomeni, da imamo v reakcijskem rezervoarju in v usedalniku vedno željeni pH.

ZAKLJUČEK

Kot smo videli, se kisline, ki nastopajo v tehnološkem procesu hladne valjarne Bela, in vse kisle vode, ki pri tem nastanejo, obdelajo tako, da dobimo produkte, ki ne škodujejo okolju. Klorovodikova kislina tvori popolnoma zaprt sistem, ker se izrabljena klorovodikova kislina regenerira in se vrača nazaj v proces. Le majhen del solno kislil vod vodimo v nevtralizacijo. Ostali dve kislini, HNO_3 in HF , pa se po uporabi nevtralizirata. Vidimo, da iz hladne valjarne Bela nekontrolirano ne izteka nobena kislina ali kislina voda.

ZUSAMMENFASSUNG

Im Kaltbandwalzwerk Bela entstehen im technologischen Verfahren Abfallsäuren, bestehend aus Salpeter und Flußsäure, und salzsauere Waschwasser. Nach den Umweltschutzvorschriften müssen alle Abfallsäuren in eine für die Umwelt unschädliche Form umgewandelt werden. Die Abfallsäuren und Waschwasser werden in der Neutralisationsanlage mit Kalkmilch neutralisiert. Die entstehend Hydroxide werden abgeschieden. Das Wasser welches in die Umgebung abfließt, enthält keine feste Teilchen und ist im vorgeschriebenem pH Bereich.

Das Beizverfahren wo Salzsäure angewendet wird, ist so ausgeführt, dass die gesamte Säure im geschlossenen Kreislauf gefahren wird. Die ausgenutzte Salzsäure mit einem hohen Eisenkloridanteil wird nicht verworfen, sondern regeneriert und im Prozess wieder verwendet. Die Regenerationsprodukte sind für die Umgebung nicht schädlich.

Das Betreiben von Beizanlagen im Kaltbandwalzwerk wird so reguliert, dass aus dem Kaltbandwalzwerk in die Umgebung keine Säuren oder saure Wasser unkontrolliert ausfließen können.

SUMMARY

In the Bela cold rolling plant waste nitric and hydrofluoric acids and hydrochloric washing waters results from the technological process. Environmental protection demands that all the acids are to be transformed into species harmless for environment. Acids and washing waters are neutralized by lime milk in the neutralising set-ups. The formed metallic hydroxides are removed, so the water which flows off has no solid particles and its pH is controlled in the desired interval.

The technological process which includes the use of hydrochloric acid is so designed that all the acid is inside a closed system. The waste hydrochloric acid with high iron is not rejected but it is recovered and again used in the process. The wastes of recovery are not harmful for the environment.

The use of acid media in the Bela cold rolling plant is so regulated that no acid or acidic water flows off uncontrolled.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В холоднопрокатном стане Бела образуются при технологическом процессе непригодные кислоты HNO_3 и HF , а также промывная вода подкисленная с соляной кислотой. Защита окружающей среды нам предписывает, что все эти три кислоты необходимо преобразовать в состояние безвредное для среды. Нейтрализация кислот и промывной воды выполняется с известковым молоком в нейтрализационных чанах. Образующие гидроксиды металлов устранимы и жидкость, которая удаляется в окружающую среду и её pH в соответствии с требованием.

Технологический процесс, который включает употребление

хлористоводородной кислоты выполнен таким образом, что эта кислота находится вполне в замкнутой системе. Использованная хлористоводородная кислота, с высоким содержанием хлорида железа не отбрасывается, а регенерируется и возвращается снова в процесс. Вследствии обезвреживания продукты регенерации для окружающей среды безопасны.

Употребление кислот в холоднопрокатном стане Бела регулируется таким образом, что в окружающую среду вытекание никакой неконтролируемой кислоты или подкисленной воды невозможно.

Tehnične novice

Novost za opremo kalilnic

Pšeničnik Jože

NOVO jeklo s posebnimi fizikalnimi lastnostmi za potopne elektrode solnih kopeli Č 4565 ESK v proizvodnem programu Železarne Ravne.

Za serijsko proizvodnjo pri visokotemperaturni toplotni obdelavi so kalilnice opremljene s posameznimi ali linijskimi pečmi — solnimi kopelmi. V večjih kalilnicah pa so postavljene popolnoma mehanizirane linije raznih velikosti od 20 do 2000 kW in visokih storilnosti od 10 pa tudi do več sto kg na uro.

Večina teh peči — solnih kopeli dela v območju temperatur od 600—1350°C. Delajo na principu potopnih elektrod in je njihova storilnost kakor tudi kvaliteta toplotne obdelave v veliki meri odvisna tudi od kakovosti potopnih elektrod. Običajno so v uporabi elektrode iz specialnega železa z nizkim ogljikom pod 0,08 % in nizkimi vsebnostmi drugih elementov. Slabost teh elektrod pri uporabi v območju temperatur 1000 do 1350°C je hitra obraba, najedanje površinske plasti, posebej pa še tanjšanje preseka na dnu peči in vsedline FeO, kar močno poslabša enakomernost ogrevanja in obremenitve transformatorja. Izdržljivost teh elektrod je v normalnih prilikah dva do tri tedne.

V razvitih zahodnih državah so razvili nova jekla za elektrode in odpravili omenjene pomanjkljivosti, vzdržnost pa povečali na 100 do 150 dni.

V Železarni Ravne smo za lastne potrebe razvili novo korozijsko obstojno in ognjeodporno jeklo na bazi Cr-Ni z nizko vsebnostjo ogljika z oznako po JUS Č 4565 in interno oznako Železarne Ravne ESK.

Smerna sestava tega jekla je naslednja:

	C %	Si %	Mn %	Cr %	Ni %
max.	0,12	1,3	1,3	29	1,8

V lastnih kalilnicah smo preizkušali izdržljivost potopnih elektrod solnih kopeli za toplotno obdelavo brzoraznih jekel v območju temperatur 1000—1350°C in do-

segli izdržljivost 3—4 mesece ob neprekinjenem kurjenju solnih kopeli.

Iz dvoletnih izkušenj smo prišli do zaključka, da je smotrnejše neprekinjeno kurjenje, če je to le mogoče. Ob prekinitvah naj bo transformator peči na minimalni stopnji toliko, da peč ne »zamrzne«. Začetno kurjenje na novo obzidane peči naj bo počasno, da elektrode ne dobi-jo sunkovitih napetosti, ker se s tem izognemo prečnim razpokam na elektrodah.

Izdržljivost elektrod pri nižjih temperaturah od 600 do 950°C je veliko večja in jih priporočamo za uporabo tudi za te vrste solnih kopeli.

Elektrode naj bodo v peč — solno kopelel vgrajene v mehansko obdelanem stanju, da s tem preprečimo morebitne površinske napake.

Dvoletne izkušnje in uporaba elektrod iz novega jekla Č 4565 ESK je pokazala, da smo dosegli zastavljen cilj.

Jeklo je v redni proizvodnji, zanj lahko normalno sprejemamo naročila in nudimo kakovostne garancije. Ker so potrebe tega jekla razmeroma majhne, ga bomo lahko proizvajali le kampanjsko, zato priporočamo vsem potencialnim potrošnikom, da čimprej prijavijo svoje orientacijske letne potrebe in obenem naročijo manjše količine za vzorec, ki bi ga praktično preizkusili. Zaradi narave potrošnje elektrod v posameznih kalilnicah, to je minimalnih tež priporočamo naročila gotovih mehansko obdelanih elektrod po načrtih za posamezne peči v naših mehanskih obratih.

PREIZKUSITE TO JEKLO IN SE PREPRICAJTE O PREDNOSTIH UPORABE TEGA VISOKOLEGIRANEGA JEKLA ZA ELEKTRODE SOLNIH KOPELI. KLUB ZNATNO VIŠJI OSNOVNI CENI OBETA TO JEKLO POMEMBNE IZBOLJŠAVE IN TUDI ZNIZANE SKUPNE STROSKE TER VEČJO PRODUKTIVNOST PRI OBRATOVANJU KALILNICE S SOLNIMI KOPELMI.

Novo superbrzorezno-oročno jeklo za delo v hladnem Č9880 (OSV-1) v proizvodnem programu Železarnе Ravne

Pšeničnik Jože

UVOD

Sodobna strojna in predelovalna industrija z novimi visokoproduktivnimi tehnološkimi postopki zahteva nova oročna jekla s specifičnimi lastnostmi. Posebno pri orodjih za delo v hladnem zahtevajo večjo odpornost proti obrabi, obstojnost rezine in minimalno nagnjenost jekla k spremembam dimenzij in oblike pri toplotni obdelavi in uporabi orodij med delovnim procesom. Posebne zahteve so vezane na moderne tehnološke procese predelave kovin s plastičnim preoblikovanjem kakor tudi z odrezovanjem.

Te zahteve se včasih zdijo tako ostre, da za proizvajalca jekel predstavljajo skoraj nerešljiv problem, vendar s sistematično raziskavo v ozki povezavi med proizvajalcem in uporabnikom specialnih orodnih jekel se dosegajo spodbudni rezultati.

Železarna Ravne je z vzornim sodelovanjem z železarno Sisak, ISKRO — Nova Gorica, LAMO iz Dekanov pri Kopru svoj program brzoreznih jekel dopolnila z novim superbrzoreznim jeklom Č9880 (OSV-1), katerega želimo s tem sestavkom predstaviti.

Ta tip jekla je posebno uporaben za zahtevna orodja stiskalnic za preoblikovanje v hladnem, kot je iztiskovanje in hladno kovanje, hladno valjanje. Ugodna kombinacija legirnih elementov mu daje tudi visoko rezno sposobnost ob zadovoljivem hlajenju orodja in izredno žilavost.

Izdelava jekel z električnim pretaljevanjem pod žlindro (EPZ) je dala nove možnosti izboljšanja strukture jekla z dodatki modifikatorjev. Homogena mikrostruktura, ugodna kristalizacija in posebna čistost EPZ jekel je pokazala možnost boljše plastične predelave, kar odpira nove perspektive v celotni proizvodnji in potrošnji orodnih jekel z maksimalno odpornostjo proti obrabi.

Do sedaj proizvedene količine jekla Č9880 in izdelava zahtevnih poizkusnih orodij pri različnih potrošnikih je pokazala več izjemnih prednosti tega jekla.

STANDARDNE KARAKTERISTIKE IN OSNOVNI PODATKI ZA UPORABO JEKLA Č9880 (OSV-1):

Smerna kemijska sestava v %:

C	Cr	W	Mo	V	Co
1,5	4,5	6,5	3,5	5,0	5,0

Primerjava s tujimi standardi:

ZDA
AISI
M-15

Tip jekla:

Jeklo Č9880 (OSV-1) je superbrzorezno Co—V—Mo—W visokolegirano jeklo, namenjeno za delo v hladnem. Kaljivo je v olju in na zraku po kratkem zadrževanju v solni kopeli. Razporeditev legirnih elementov mu daje odlično obrabno obstojnost in je ob visoki trdoti tudi izredno žilavo in zato sposobno za orodja za delo v hladnem z visoko produktivnostjo. Če se pri delu ne ogreva preveč, ima tudi odlično rezalno sposobnost.

Značilnosti in osnovne lastnosti:

Jeklo Č9880 (OSV-1) se odlikuje predvsem z naslednjimi lastnostmi:

- odlična odpornost proti obrabi,
- odlična rezilna sposobnost,
- visoka tlačna trdnost,
- dobra obdelovalnost v žarjenem stanju,
- dobra sposobnost za poliranje,
- dobra kaljivost.

Jeklo Č9880 (OSV-1) se izdeluje v normalnem proizvodnem programu po EPZ postopku, zato ima zagotovljeno homogenost makro in mikrostrukture.

Primerjalne lastnosti:

Če primerjamo glavne lastnosti jekla Č9880 (OSV-1) z drugimi vrstami brzoreznih jekel, se bomo odločili za uporabo pred jeklom Č9683 (BRU) takrat, kadar želimo ugodnejšo kombinacijo obrabne obstojnosti in žilavosti.

Področje uporabe:

Naštete lastnosti jekla Č9880 (OSV-1) kažejo, da je jeklo namenjeno za orodja z velikimi obremenitvami, kot so preoblikovalna in vlečna orodja, vtiskovalni pestiči, prebijalni trni, sendzimir valji, frezala, pehalni noži, prevlačne igle in orodja za obdelavo lesa. Upoštevati pa moramo nekoliko slabšo popuščno obstojnost nad temperaturo 550° C, zato moramo orodja za obdelavo kovin dobro hladiti.

Tipizacija:

Jeklo Č9880 (OSV-1) je novo in se na domačem tržišču šele uveljavlja, zato je seveda še netipizirano. Zaradi izrednih lastnosti pa mu lahko pripisujemo dobre perspektive pri uveljavljanju na širokem področju uporabe za specialna orodja za delo v hladnem.

Vroča predelava:

Normalno področje vroče predelave je 1100—900° C. Pri ogrevanju in zadrževanju na temperaturi pred vročo predelavo je treba upoštevati nagnjenost jekla k razogliččenju in zagotoviti primerno zaščito.

Zaradi visoke vsebnosti legirnih elementov je občutljivost tega jekla po končani vroči predelavi razumljiva. Zagotoviti je potrebno primerno počasno ohlajanje v peči ali v dobrem izolacijskem sredstvu.

Zaradi legirne sestave sposobnost tega jekla za plastično predelavo ni najboljše. Pretaljevanje tega jekla po EPZ postopku omogoča poleg drugih kakovostnih prednosti tudi znatno boljše sposobnost za plastično predelavo, kar omilili predelovalno problematiko.

Za doseganje dobrih osnovnih lastnosti ima temperatura vroče predelave velik pomen in naj bo čim bližja spodnji temperaturi predpisanega območja, vendar ne nižja od 900° C. Seveda mora biti tudi začetna temperatura pravilna, kakor tudi čas zadrževanja na zgornji temperaturi plastične predelave.

Po končani vroči predelavi je potrebno to jeklo po počasnem ohlajanju čimprej žariti.

Mehko žarjenje:

Po vroči predelavi in ohlajanju se mora jeklo mehko žariti. Ogrevanje na temperaturo mehkega žarjenja mora biti počasi in po možnosti stopenjsko.

Temperatura mehkega žarjenja je od 870–900° C. Čas zadrževanja na temperaturi žarjenja je od 4–6 ur. Potrebno pa je ustrezno varovanje pred razogljčenjem površine, zato je najbolje, da jeklo žarimo v posebnih zaprtih ceveh ali pa v pečeh z zaščitno atmosfero.

Trdota po žarjenju:

Trdota jekla Č 9880 (OSV-1) v mehko žarjenem stanju je maks. 300 HB.

Obdelovalnost:

V žarjenem stanju se to jeklo dobro obdeluje:

Brušenje pa je zelo zahtevno in je treba paziti, da ne pride do pregretja, zato je priporočljivo brušenje z uporabo hladilnih sredstev, če pa to ni mogoče, je potrebno previdno brušenje z manjšimi odvzemi.

Priporočamo brusilne plošče z naslednjimi karakteristikami:

velikost zrna: 36–46
material zrna: B — plemeniti korund
trdota: G ali H
vezivo: keramično
struktura: 6–8
obodna hitrost: 20–28 m/sek.
hitrost pomika mize ali brusilnega sredstva: 18 do 18 m/min.
globina brušenja: 0,008–0,030 mm

Paziti moramo, da je plošča pred začetkom brušenja dobro očiščena.

Zaradi visokih vsebnosti legirnih elementov, predvsem vanadija, je to jeklo glede sposobnosti za brušenje med najzahtevnejšimi.

Žarjenje za odpravo napetosti:

Žarjenje za odpravo napetosti se izvaja v temperaturnem območju 600–700° C z zadrževanjem na temperaturi najmanj 1 uro. Pri večjih debelinah nad 25 mm se na

vsakih 25 mm povečanja debeline čas zadrževanja na temperaturi podaljša za 1 uro. Ohlajanje se izvaja počasi v peči do 500° C, dalje pa na mirnem zraku.

Žarjenje za odpravo napetosti se izvaja po grobi mehanski obdelavi. Nujno potrebno je pri vseh orodjih, ki se po toplotni obdelavi ne brusijo več, posebno še, če so preseki na raznih delih orodja zelo različni. Velik pomen ima to žarjenje pri orodjih, ki se pred končno toplotno obdelavo močnejše ravnaajo.

Pri žarjenju za odpravo napetosti ni potrebna posebna zaščita proti razogljčenju.

Kaljenje:

Potrebno je dvo ali trostopenjsko predgrevanje 400 do 600° C (850° C) in (1050° C).

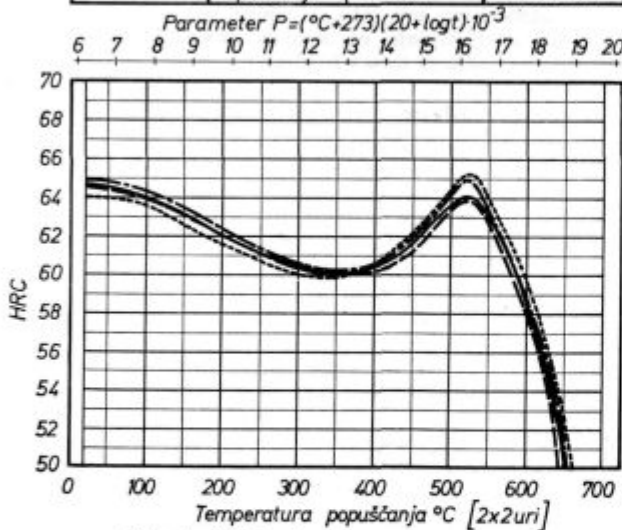
Normalno območje temperatur kaljenja je 1180 do 1260° C. Temperaturo kaljenja izbiramo z ozirom na obliko in namen orodja. Orodja finejših in kompliciranih oblik kalimo blizu spodnje meje kalilnega območja, orodja enostavnejših oblik in orodja, kjer zahtevamo boljšo popuščno obstojnost, pa kalimo blizu zgornje meje kalilnega območja.

Kot sredstvo za ohlajanje po kaljenju uporabljamo termalno kopel pri 500 do 520° C z zadrževanjem krajši čas na tej temperaturi, nato pa ohlajanje v olju in le izjemoma na zraku.

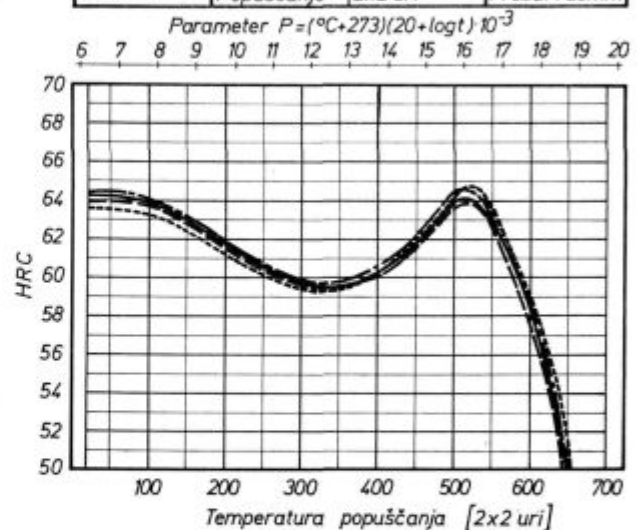
Pri ogrevanju na temperaturo avstenitizacije priporočamo dobro predgrevanje v območju 400–600° C in 850° C, za komplicirana in večja orodja pa še 1050° C. Pri tem dosežemo boljšo enakomernost temperature po preseku na temperaturi kaljenja. To precej zmanjša deformacije orodij pri kaljenju. Na temperaturi predgrevanja v prvi stopnji zadržujemo orodja približno 1 uro na vsakih 25 mm debeline največjega preseka, drugo in tretje predgrevanje pa izvajamo v solni kopeli, kjer je hitrost ogrevanja v povprečju večja 3 do 4-krat in moramo to upoštevati. Časi držanja za avstenitizacijo v solni kopeli morajo biti točno predpisani z ozirom na dimenzije in količino vložka, toplotno kapaciteto peči in karakteristiko peči, podobno kot za druga brzorezna jekla.

Č. 9880	Predgrevanje	870° C solna kopel
OSV-1	Kaljenje	1180-1260° C 3min olje
	Popuščanje	2x2 uri Proba: φ20mm

Č. 9880	Predgrevanje	870° C solna kopel
OSV-1	Kaljenje	1180-1260° C 3min zrak
	Popuščanje	2x2 uri Proba: φ20mm



Kaljenje 1180° C olje -----
Kaljenje 1200° C olje —————
Kaljenje 1220° C olje - · - · - ·
Kaljenje 1260° C olje · · · · ·



Kaljenje 1180° C zrak -----
Kaljenje 1200° C zrak —————
Kaljenje 1220° C zrak - · - · - ·
Kaljenje 1260° C zrak · · · · ·

Popuščanje:

Uporabno območje popuščenja je normalno 480—520° C za doseganje trdot 62—65 HRC. Popuščanje se mora izvajati takoj po kaljenju, še preden doseže jeklo sobno temperaturo. Najprimernejše je prenesti orodje na popuščenje, ko doseže po kaljenju temperaturo 50 do 80° C. Ne smemo pa dati na popuščenje orodij s previsokih temperatur.

Pri popuščenju je potrebno najmanj dvakratno popuščenje, to pa zadošča, če je pravilno izvedeno. Čas popuščenja na temperaturi naj bo približno 1 uro na vsakih 25 mm debeline, vendar tudi pri najtanjših kosih nikoli manj kot 1 uro.

Jeklo Č 9880 (OSV-1) ima močno izražen efekt sekundarne trdote pri popuščenju, ki je tem močnejši, čim višja je temperatura kaljenja, obenem pa se obstojnost trdote pomika proti višjim temperaturam. Pri kaljenju na zraku je efekt sekundarne trdote močnejše izražen kot pri kaljenju v olju, trdote pa so v splošnem nekoliko nižje.

Delovne trdote orodij:

Popuščena diagrama prikazujeta odvisnost trdote od temperature kaljenja in temperature popuščenja za kaljenje na zraku in v olju.

Delovna trdota orodij naj bo v mejah med 57—65 HRC, kar je seveda odvisno od področja uporabe, od oblike orodja in od pogojev dela.

Pri rezalnih orodjih bomo težili k čim višji trdoti, pri orodjih, kjer pa se zahteva visoka žilavost, težimo k nižji trdoti.

Metalografija jekla Č 9880 (OSV-1):

Jeklo Č 9880 ima po mehkem žarjenju sferoidizirana perlitna zrna in karbide.

Po kaljenju so v mikrostrukturi tega jekla martenzit, zaostali avstenit in karbidi.

Mikrostrukture tega jekla imajo vse značilnosti, ki so poznane pri brzoreznih jeklih.

Premenske točke:

ogrevanje 2,5° C/min.

Ac začetek 825° C

Ac konec 890° C

ohlajanje 2,5° C/min.

Ar začetek 775° C

Ar konec 645° C

ZAKLJUČEK:

Namen te publikacije je bil, da podamo informacijo o dosedanjih raziskavah novega orodnega jekla, ki se zaradi vsebnosti legirnih elementov lahko uvršča v skupino superbrzoreznih jekel. Zaradi izredno ugodne kombinacije karbidotvornih elementov in ogljika ima odlično obrabno obstojnost in za brzorezno jeklo izredno žilavost ter odpornost proti udarnim obremenitvam.

Preiskave še niso zaključene, dovoljujejo pa že presojo kakovostnih lastnosti tega jekla v zvezi s področjem uporabnosti. Uvrščeno je v redni proizvodni program.

Podani so rezultati preiskav osnovnih lastnosti, katere pa bo potrebno še naprej dopolnjevati in povezovati z informacijami o obnašanju tega jekla pri praktični uporabi.

Termično utrujanje utopnih jekel

Franc Černe

Železarna Ravne proizvaja velike količine jekel za delo v vročem stanju. Orodja, izdelana iz teh jekel, delajo na višjih temperaturah, razen tega pa so izpostavljena velikim in tudi hitrim temperaturnim spremembam, to je toplotnim udarcem. Ena od najvažnejših lastnosti teh jekel je torej zdržljivost proti tem temperaturnim spremembam.

Takim obremenitvam pa ni izpostavljeno samo orodje za delo v vročem, temveč tudi stene gorilnikov, deli plinskih turbin, deli parnih kotlov, kokile za vse vrste litja kovin, deli motorjev z notranjim zgorevanjem, deli raketne in reaktorske tehnike in podobno.

V praksi so poznane naslednje vrste toplotnih obremenitev:

1. Stena, ki je sorazmerno visoko ogreta, se na eni strani naglo hladi.

2. Sorazmerno hladna stena se na eni strani hitro ogreje, nato sledi počasno ali hitreje ohlajanje.

3. Debela stena se v kratkotrajnem ciklusu na eni strani ogreva in hladi.

Da bi izboljšali zdržljivost takih strojnih delov, se v svetu čedalje več raziskuje na tem področju. Zaradi raznovrstnih vplivnih dejavnikov je težko osvojiti splošno veljavno metodo raziskovanja.

Posamezni raziskovalci te občutljivosti jekla pri termičnem utrujanju se pri raziskavah omejujejo na reševanje točno določenih problemov. Temu cilju ustreza tudi izbrana metoda preizkušanja kakor tudi oblika in dimenzije preizkušancev. Vendar se pri vseh metodah preizkušanja določa občutljivost na tvorbo razpok s številom ponavljanih ciklov ogrevanja in ohlajanja, ki ga epruveta, oziroma orodje zdrži do prve razpoke.

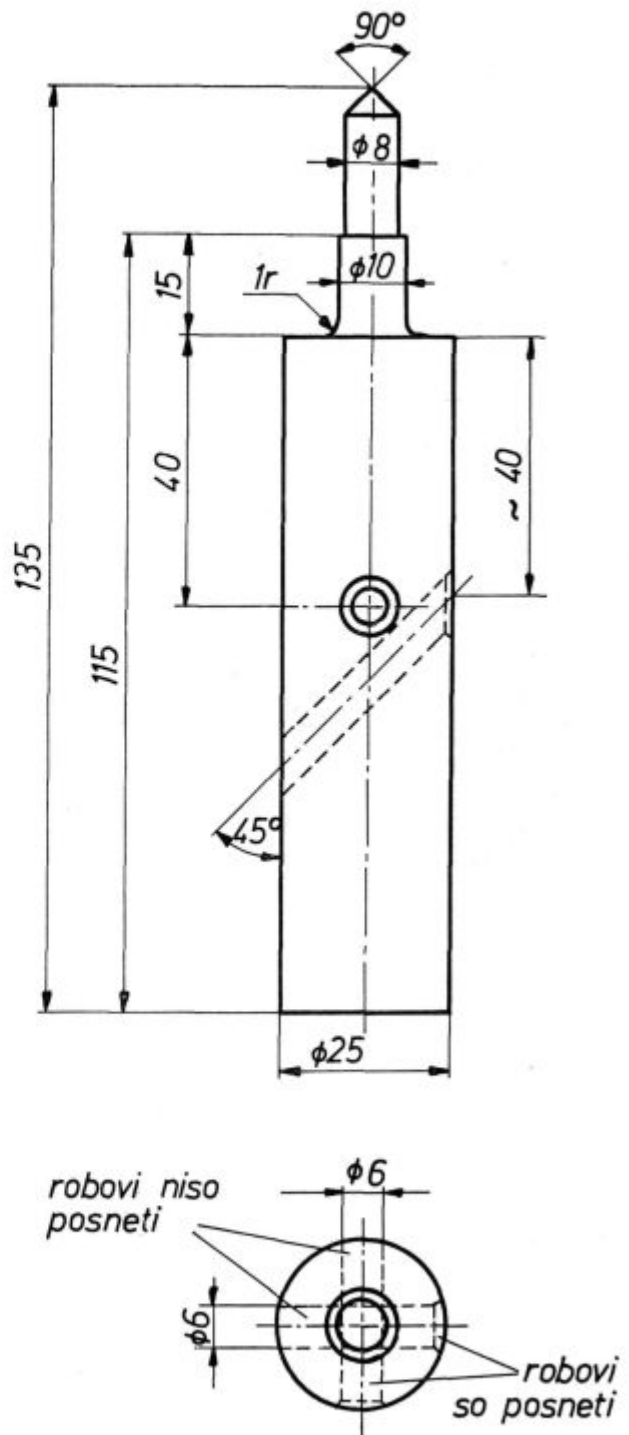
V železarni Ravne je bilo termično utrujanje raziskano na napravi Peddinghaus za večkratno kaljenje, ki omogoča hitro segrevanje in ohlajanje preizkušanca, to je toplotni udarec v določenem temperaturnem intervalu. Preizkušavec ogrevajo močni gorilci na mešanico propana, butana, zraka (PBZ) in kisika, hladi pa ga vodna prha. Gorilca sta podolgovata, da ogrevata po celi dolžini preizkušancev, ki se pri tem vrti s hitrostjo 82 obratov na minuto. Ko je ogrevanje končano, se gorilnika odmakneta, k preizkušancu pa se primakne vodna prha. To premikanje in štetje ciklov je avtomatizirano, kontrolirana je tudi temperatura.

Preizkušavec ima premer 25 mm in je brez vpenjalnega dela dolg 100 mm (slika 1). Na razdalji 60 mm od čelne površine ima dve izvrtini, premaknjeni za 90°. Ena izvrtina leži pravokotno na vzdolžno os preizkušanca, druga pa pod kotom 45°. Na eni strani vsake od izvrtin so robovi posneti. Izvrtine so kritična mesta, ob katerih najraje nastajajo razpoke.

Raziskano je termično utrujanje na naslednjih jeklih za delo v vročem stanju:

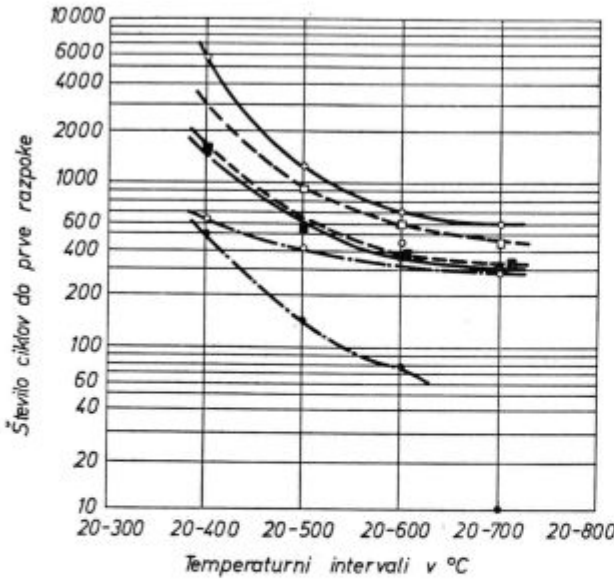
Č 4751 — Utop Mo 1, Č 4753 — Utop Mo 2 in Č 6451 — Utop 2.

Za vsako od teh je bila polovica preiskovanega jekla klasično lita in prekovana, druga polovica pa pretaljena po postopku EPZ in prekovana. Pred končnim brušenjem so bili preizkušanci primerno toplotno obdelani.



Slika 1
Preizkušavec za napravo Peddinghaus

Franc Černe je diplomirani inženir metalurgije in vodja INDOK centra v Železarni Ravne.



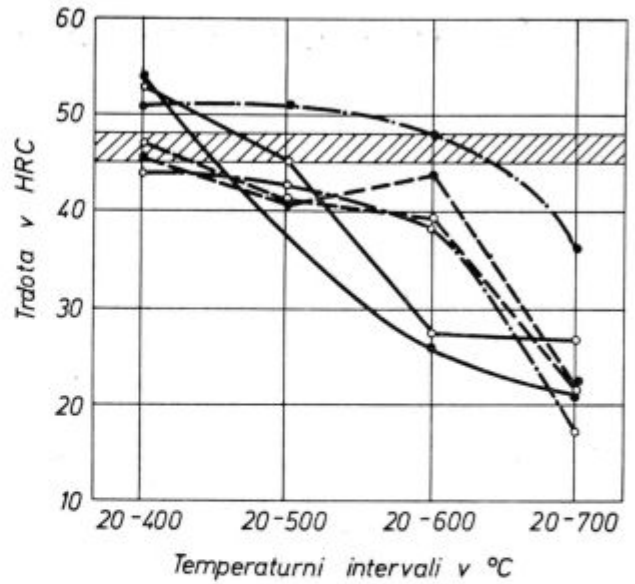
- Legenda:
- Č.4753 Utop Mo2 (EPŽ)
 - Č.4753 Utop Mo2 (navadno)
 - Č.6451 Utop 2 (EPŽ)
 - Č.6451 Utop 2 (navadno)
 - Č.4751 Utop Mo1 (EPŽ)
 - Č.4751 Utop Mo1 (navadno)

Slika 2

Število ciklov do pojave prve razpoke v odvisnosti od temperaturnih intervalov termičnega utrujanja

Slika 2 podaja število ciklov do prve razpoke v odvisnosti od temperaturnih intervalov ogrevanja in ohlajanja. Slika 3 pa podaja trdote preizkušancev po termičnem utrujanju.

Jekla torej lahko po odpornosti razvrstimo v naslednjo vrsto: Utop Mo 2 — Utop Mo 1 — Utop 2. Velike razlike so tudi med navadnimi in EPŽ — jekli. Električna pretalitev pod žlindro veliko izboljša odpornost jekel za termične obremenitve in udare. Pri večjem temperaturnem intervalu termičnega šoka se odpornost močno zmanjšuje.



- Legenda:
- //// trdota pred preizkušanjem

- Č.4753 Utop Mo2 (EPŽ)
- Č.4753 Utop Mo2 (navadno)
- Č.6451 Utop 2 (EPŽ)
- Č.6451 Utop 2 (navadno)
- Č.4751 Utop Mo1 (EPŽ)
- Č.4751 Utop Mo1 (navadno)

Slika 3

Trdote preizkušancev, ki so zdržali število ciklov iz slike 2

Primerjava trdot ni popolnoma točna, ker ne upošteva različnega števila ciklov v različnih temperaturnih intervalih.

Novo orodno jeklo Č 5840 (85 Ni V 4) za delo v hladnem v proizvodnem programu Železarne Ravne

Jože Pšeničnik

Industrija za proizvodnjo vijakov že dolgo pogreša domače Ni-V jeklo za delo v hladnem. Na tem področju je bila proizvodnja vijakov izključno vezana na uvoz. V sodelovanju s to panogo industrije smo zapolnili še to vrzel in uvedli v proizvodni program jeklo Č 5840 (85 Ni V 4).

Ta tip jekla je predvsem namenjen za orodja pri izdelavi vijakov. Zaradi visoke trdote na površini, ugodne kalilne globine in žilavega jedra pa bi ga lahko uporabljali tudi za druga orodja.

Jeklo Č 5840 (85 Ni V 4) je že v redni proizvodnji. Zanj lahko sprejemamo naročila in nudimo vse normalne kakovostne garancije.

Standardne karakteristike in osnovni podatki za uporabo jekla Č 5840 (85 Ni V 4):

Smerna kemijska sestava v %:

C	Si	Mn	Ni	V
0,85	0,20	0,30	0,90	0,15

Tip jekla:

Jeklo Č 5840 (85 Ni V 4) je legirano Ni-V jeklo za delo v hladnem stanju.

Dodatek Ni daje jeklu boljšo žilavost jedra in boljšo vezno cono med površinsko kaljivo plastjo in jedrom.

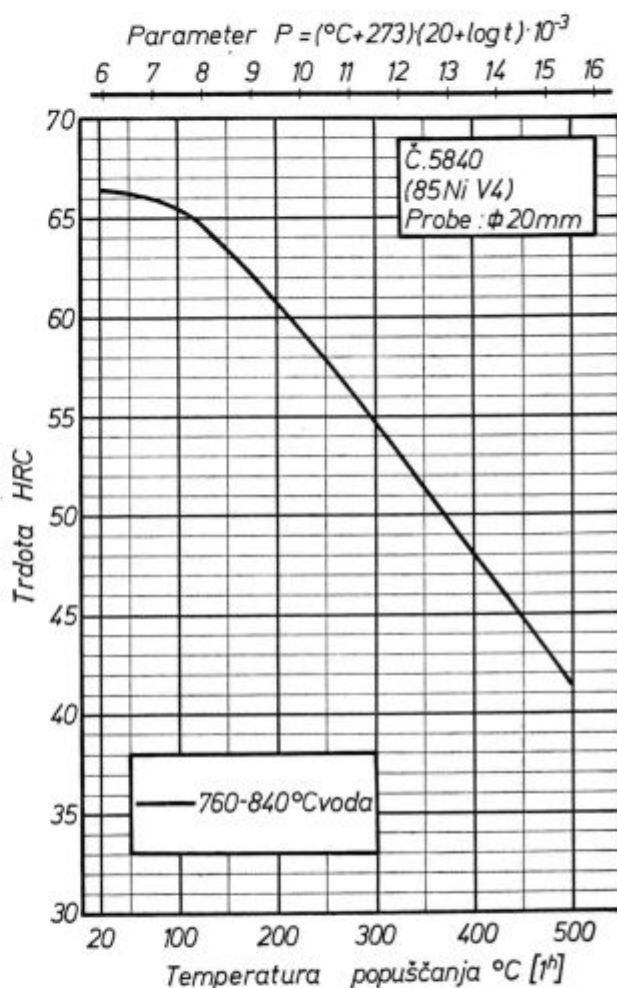
Uporaba jekla Č 5840 (85 Ni V 4):

Uporablja se za vse vrste predstiskačev, matric, čeljusti, stiskačev, prebijačev in fazonskih matric v proizvodnji vijakov, orodja za izdelavo značk, medalj, za kovanje kovancev, pestičev za hladno vtiskovanje in drugega orodja, kjer je potrebna dobra obrabna obstojnost.

Trdote posameznih orodij je potrebno prilagoditi pogojem dela in se gibljejo v glavnem v območju 52–63 HRC.

Orodja iz tega jekla lahko izdelujemo s hladnim vtiskovanjem, zato je maksimalna trdota po mehkem žarjenju 220 HB.

Na diagramu je prikazana odvisnost trdote od temperature popuščenja za temperaturno območje 760–840°C pri kaljenju v vodi.



Značilno za to jeklo je, da se orodja manjših debelin, tj. do 50 mm kalijo s temperatur od 760–800°C v vodi, za debelejša orodja nad 50 mm pa s temperatur 800 do 850°C v vodi za doseganje boljše kalilne globine.

Vsebina XI. letnika Železarskega zbornika

stran	stran
Koroušič Blaženko — Metalurški inštitut Ljubljana APLIKACIJA KISIKOVE SONDE PRI DIREKTNEM DOLOČEVANJU VSEBNOSTI KISIKA V TEKOČEM JEKLU	Vodopivec Franc — Metalurški inštitut Ljubljana RAZISKAVA TVORBE AIN V JEKLU IN NJEGOVE- GA VPLIVA NA DEFORMACIJSKO SPOSOBNOST MALOGLJICNIH JEKEL V VROČEM
3	121
Vodopivec Franc, M. Kmetič — Metalurški inštitut Ljubljana M. Grabovšek — Železarna Jesenice RAZISKAVE VPLIVA VROČE DEFORMACIJE IN IZ- LOCILNEGA ŽARJENJA NA MIKROSTRUKTURO IN TRDOTO MIKROLEGIRANEGA JEKLA PO NOR- MALIZACIJI	Kuzman Karel — Kovaška industrija Zreče A. Razinger — Železarna Jesenice POSEBNOSTI DOMAČIH JEKEL ZA HLADNO MA- SIVNO PREOBLIKOVANJE
13	135
Brezigar Boris, I. Kenda, J. Kodrič, F. Repič — Iskra, Nova Gorica HLADNO PREOBLIKOVANJE KOVIN V INDUSTRIJI AVTOELEKTRIKE	Razinger Anton — Železarna Jesenice J. Arh — Železarna Jesenice RAZVOJ AVTOMATNIH JEKEL V ŽELEZARNI JESENICE
29	145
Exel Neža — Zavod za raziskavo materiala in kon- strukcij — Ljubljana KOROZIJSKA ODPORNOST CORTEN JEKLA	Stocca Bogdan, Mesec Janez — Železarna Jesenice NERJAVNO JEKLO ZA TURBINSKE LOPATICE S 13 % Cr
37	153
Bratina Janez — Železarna Ravne SESALNI KROG — NAPRAVA ZA KOMPENZACIJO JALOVE ENERGIJE IN ZA ZMANJSEVANJE VIŠJE HORMONSKIH TOKOV	Tehnične novice
41	159
Tehnične novice Koroušič Blaženko — Metalurški inštitut Ljubljana M. Dobovišek, J. Rodič — Železarna Ravne V. INTERNACIONALNA KONFERENCA O VAKUUM- SKI METALURGIJI IN ELEKTRICNEM PRETALJE- VANJU V MÜNCHENU (ZRN) 11. DO 15. OKTOBER L.)	Vodopivec Franc — Metalurški inštitut Ljubljana 1000 UR DELA NA ELEKTRONSKEM MIKROANALI- ZATORJU NA METALURŠKEM INŠTITUTU LJUBLJANA
51	159
Razinger Anton — Železarna Jesenice KV 35 — NOVO JEKLO ZA KVALITETNE VIJAKE	Rodič Jože, J. Pšeničnik — Železarna Ravne RAZVOJ TEHNOLOGIJE IN NOVIH VRST JEKEL NA PODROČJU HLADNEGA VTISKOVANJA
54	161
Zalar Bogdan, I. Naraks, J. Wohinz — Metalurški inštitut Ljubljana ODPADNO BLATO IZ PROIZVODNJE ŽVEPLENE KISLINE KOT SEKUNDARNA SUROVINA	Arh Jože — Železarna Jesenice PRVA MEDNARODNA KONFERENCA O METALUR- GIJI VPIHAVANJA PRAŠNATIH MATERIALOV V GRODELJ IN JEKLO POD IMENOM »SCANINJECT« 9. IN 10. JUNIJA 1977 V MESTU LULEA NA ŠVEDSKEM
57	165
Sicherl Bogdan — FNT Ljubljana, D. Vodeb — Žele- zarna Ravne, N. Zakonjšek — Železarna Štore PROBLEMATIKA ZAMENLJIVOSTI KURILNIH PLI- NOV V INDUSTRIJI — II. DEL	Rodič Jože, A. Rodič — Železarna Ravne IZKUŠNJE S HOMOGENIZACIJO BRZOREZNIH JEKEL
63	169
Vodopivec Franc — Metalurški inštitut Ljubljana A. Kelvišar, S. Mežnar — Železarna Jesenice PRIMERJALNI PREIZKUSI VLEČENJA JEKLENE ŽICE S KATERE JE BILA SKAJA ODSTRANJENA Z LUŽENJEM IN PESKANJEM	Vodeb Dušan — Železarna Ravne B. Gašperšič — Fakulteta za strojništvo v Ljubljani B. Sicherl — FNT Ljubljana MATEMATIČNI MODEL PLINSKEGA GORILNIKA
85	183
Krašovec Viktor — Inštitut Jožef Stefan Ljubljana J. Rodič — Železarna Ravne TEM RAZISKAVE POPUSČNIH EFEKTOV OROD- NEGA JEKLA Č 4850 — OCR 12 VM	Ravnik Bogdan — Železarna Jesenice REGENERACIJA IN NEVTRALIZACIJA IZRABLJE- NIH KISLIN V HV BELA V ŽELEZARNI JESENICE
103	197
Tehnične novice Pšeničnik Jože, J. Rodič — Železarna Ravne NOVA ORODNA JEKLA ZA DELO V HLADNEM Č 4754 (CRV) in Č 4755 (CRN-2) V PROIZVODNEM PROGRAMU ŽELEZARNE RAVNE	Tehnične novice
113	203
Zalar Bogdan, V. Ružič Metalurški inštitut Ljubljana NOVA ŽELEZONOSNA SEKUNDARNA SUROVINA IZ PREDELAVE ODPADNEGA FEROSULFATA — HEPTAHIDRATA	Pšeničnik Jože — Železarna Ravne NOVOST ZA OPREMO KALILNIC
119	207
	Rodič Jože, J. Pšeničnik — Železarna Ravne NOVO SUPERBRZOREZNO ORODNO JEKLO ZA DELO V HLADNEM Č 9880 (OSV-1) V PROIZVOD- NEM PROGRAMU ŽELEZARNE RAVNE
	203
	Černe Franc — Železarna Ravne TERMIČNO UTRUJANJE UTOPNIH JEKEL
	207
	Pšeničnik Jože — Železarna Ravne NOVO ORODNO JEKLO Č 5840 (85 Ni V 4) ZA DELO V HLADNEM v proizvodnem programu Železarne Ravne
	209

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: ZPSZ — Zelezarna Jesenice, 64270 Jesenice, tel. št. 81-341
int. 880 — Tisk: GP »Gorenjski tisk«, Kranj

VSEBINA

UDK: 621.794.5

ASM/SLA: L 12 g

Luženje — kisline — regeneracija odpadne kisline

B. Ravnik

Regeneracija kisline v hladni valjarni Bela

Železarski zbornik 11 (1977) 4 s 197—200

Pri luženju s klorovodikovo kislino, se železovi oksidi ločijo s površine luženca in se pri odgovarjajoči porabi klorovodikove kisline pretvorijo v železov klorid. Pri višji vsebnosti železovega klorida je kislina za luženje neuporabna in se regenerira. Pri regeneraciji nastali železov oksid je zelo čist.

Kisle vode in neuporabne kisline, ki nastajajo pri tehnološkem procesu Hladne valjarne Bela se nevtralizirajo v nevtralizacijskih napravah.

Avtorski izvleček

UDK: 669.14.018.252.3:621.78:621.73:669.111.35

ASM/SLA: TSm; F 21b; F 22; N 8r

Metalurgija — brzorezna jekla — vroča predelava

J. Rodič, A. Rodič

Izkušnje s homogenizacijo brzoreznih jekel

Železarski zbornik 11 (19977) 4 s 169—181

Brzorezna jekla se po svojih značilnostih bistveno razlikujejo od vseh drugih vrst jekel. Mikrostruktura v veliki meri opredeljuje osnovne lastnosti, zato je tudi odločilni kriterij v kontroli kakovosti. Z ozirom na opredelitev glede homogenizacije brzoreznih jekel so podani povzetki raziskav o nastanku grobih karbidov in posledica le-teh na druge karakteristike in lastnosti. Z rezultati obsežnih raziskav je utemeljeno odsvetovanje uporabe homogenizacijskih postopkov pri ogrevanju brzoreznih jekel pred vročo predelavo.

Avtorski izvleček

UDK: 662.75:662.76:662.9

ASM/SLA: RM-m

Toplotna tehnika — kurilni plin

D. Vodeb, B. Gašperšič, B. Sicherl

Matematični model plinskega gorilnika

Železarski zbornik 11 (1977) 4 s 183—195

S priključitvijo SR Slovenije na omrežje zemeljskega plina in dejstvo, da bo na razpolago le konstantna, pogodbeno vezana maksimalna količina zemeljskega plina, bo potrebno za kritje konic ali eventualne izpade dobave zemeljskega plina še nadalje uporabljati tekoči plin propan-butan. Ogrevalni sistem vpliva na kvaliteto produkta in storilnost peči, kar naj se z uvedbo zemeljskega plina čim manj spremeni.

Pri uvedbi zemeljskega plina je osnova za optimalno rešitev spremenjenih parametrov zgorevanja, poenostavljeni matematični model plinskega gorilnika brez predmešanja plina in zraka in nekaj izvedenih meritev najbolj karakterističnih veličin plamena v plamenskem kanalu z dosegljivo plinsko mešanico.

Dobljeni rezultati so uporabni za preračun mešalne postaje in merilno-regulacijske opreme, kakor tudi za nadaljnjo obdelavo popisa dogajanj v pečeh pri kombiniranem kurjenju.

Avtorski izvleček

INHALT

UDK: 669.14.018.252.3:621.78:621.73:669.111.35
ASM/SLA: TSm; F 21b; F 22; N 8r

Metallurgie — Schnellarbeitsstahl — Warmverformung
J. Rodič, A. Rodič

Erfahrungen beim Homogenisieren von Schnellarbeitsstahl
Zelezarski zbornik 11 (1977) 4 S 169—181

Die Schnellarbeitsstähle unterscheiden sich wesentlich von allen anderen Stahlsorten. Die Grundeigenschaften werden im grossen Umfang durch das Mikrogefüge bestimmt, deshalb ist dieses auch das entscheidende Kriterium in der Gütekontrolle. Im Bezug auf die Homogenisierung der Schnellarbeitsstähle sind Ergebnisse der Untersuchungen über die Entstehung grober Karbide und deren Folgen auf andere Charakteristiken und Eigenschaften gegeben. Die Ergebnisse umfangreicher Untersuchungen zeigen, dass die Anwendung der Homogenisierungsverfahren bei der Erwärmung der Warmverformung begründet abgeraten werden kann.

Auszug des Autors

UDK: 621.794.5
ASM/SLA: L 12 g

Beizen — Säuren — Regenerierung der Abfallbeizen
B. Ravnik

Regeneration und Neutralisation der Abfallsäuren im Kaltbandwalzwerk Bela des Hüttenwerkes Jesenice
Zelezarski zbornik 11 (1977) 4, S 197—200

Beim Beizen von Stahl mit Salzsäure werden die Eisenoxyde von der Stahloberfläche getrennt und beim entsprechenden Salzsäureverbrauch in Eisenklorid umgewandelt. Bei einem höheren Anteil von Eisenklorid in der Beize wird diese unbrauchbar und wird regeneriert. Bei der Regeneration entstehender Eisenoxyd ist sehr rein.

Saure Wasser und Abfallsäuren, die beim technologischen Verfahren im Kaltbandwalzwerk entstehen, werden in Neutralisationsanlagen neutralisiert.

Auszug des Autors

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

Wärmetechnik — Heizgase
D. Vodeb, B. Gašperšič, B. Sicherl

Mathematischer Modell eines Gasbrenners
Zelezarski zbornik 11 (1977) 4 S 183—195

Mit dem Anschluss von SR Slowenien in das Erdgasnetz und die Tatsache, dass nur eine gleichmässige, durch den Vertrag gebundene maximale Erdgasmenge zur Verfügung stehen wird, wird für die Spitzenbelastung oder irgendwelche Ausfälle der Erdgaslieferung noch weiter nötig sein, den flüssigen Propan-Butan Gas zu verwenden. Das Erwärmungssystem beeinflusst die Güte der Produkte und die Ofenleistung, was sich mit der Einführung von Erdgas nur wenig ändern wird.

Bei der Einführung von Erdgas ist der Grund für die optimale Lösung der geänderten Verbrennungsparameter der vereinfachte mathematische Modell des Gasbrenners, ohne Vormischung von Gas und Luft und einige ausgeführten Messungen der charakteristischen Flammengrössen im Flammenkanal, mit der erreichbaren Gasmischung.

Die erhaltenen Ergebnisse sind für die Ausrechnung der Mischstation und der Mess- und Regelgeräte, wie auch für die weitere Bearbeitung des Vorgehens im Ofen beim kombinierten Heizen anwendbar.

Auszug des Autors

CONTENTS

<p>UDK: 621.794.5 ASM/SLA: L 12 g B. Ravnik Pickling — acid-regeneration of spent pickling solution Recovery of acid in the Bela cold rolling plant Zelezarski zbornik 11 (1977) 4 P 197—200</p> <p>In pickling with the hydrochloric acid the iron oxides are removed from the surface of semi-products, and by a chemical reaction they are transformed into chlorides while a corresponding amount of acid is consumed. At higher concentrations of iron chloride the acid cannot be used for pickling anymore and it must be recovered. The iron oxide obtained by recovery of the acid is very pure. Acidic waters and waste acids from the Bela cold rolling mill are neutralized in the neutralising set-ups.</p> <p style="text-align: right;">Author's Abstract</p>	<p>UDK: 669.14.018.252.621.78:621.73:669.111.35 ASM/SLA: TSm; F 21b; F 22; N 8r Metallurgy — High-speed steel — Hot forming J. Rodič, A. Rodič Experiences in homogenising high-speed steel Zelezarski zbornik 11 (1977) 4 P 169—181</p> <p>High-speed steel are essentially different by their characteristic properties from all the other steel. The microstructure defines the basic properties to a great extent therefore it is the decisive criterion in the quality control. As for the homogenising high-speed steel, abstracts of investigations on formation of coarse carbides and their influence on the other characteristics and properties are presented. The results of extensive investigations prove that homogenising in annealing high-speed steel before hot forming is to be dissuaded.</p> <p style="text-align: right;">Author's Abstract</p>
<p>UDK: 662.75:662.76:662.9 ASM/SLA: RM-m Heat Engineering — Fuel gas D. Vodeb, B. Gašperšič, B. Sicherl Mathematical model of a gas burner Zelezarski zbornik 11 (1977) 4 P 183—195</p> <p>Connection of SR Slovenia to the network of natural gas and the fact that only a constant by contract agreed maximal amount of natural gas will be available means that peak consumptions or eventual failures in delivery will have to be covered by further application of the propane-butane liquid oil gas. The heating system influences the quality of the product and the furnace output which should be changed as little as possible by the introduction of the natural gas.</p> <p>Due to introduction of the natural gas, the simplified mathematical model of a gas burner without premixing air and gas, and some measurements of the most characteristic values of the flame in the flame channel using desired gas mixture can be basis for the optimal solution of the changed parameters of combustion.</p> <p>The obtained results are applicable for the calculation of a mixing station and of the measuring and regulation equipment, as well as for further analysis of phenomena in the furnaces with a combined heating.</p> <p style="text-align: right;">Author's Abstract</p>	

СОДЕРЖАНИЕ

УДК: 669.14.018.252.3:621.78:621.73:669.111.35
АСМ/СЛА: ТСм; Ф 21б; Ф 22; Н 8р

Металлургия — быстрорежущие стали — горячая обработка
J. Rodič, A. Rodič

Опыты при гомогенизации быстрорежущей стали
Zelezarski zbornik 11 (1977) 4 С 169—181

На основании своих характеристик быстрорежущие стали существенно отличаются от всех других сортов сталей. В большой мере основные свойства стали определяет её микроструктура. Поэтому микроструктура представляет решающий критерий при контроле качества. Приняв во внимание определение что касается гомогенизации быстрорежущих сталей, подан резюме исследований об образовании крупных карбидов, а также о влиянии этих карбидов на прочие характеристики и свойства. На основании обширных исследований применение способов гомогенизации при нагреве быстрорежущей стали до горячей обработки не советуется.

Автореф.

УДК: 621.794.5
АСМ/СЛА: А 12 г

B. Ravnik

Травление — кислота — регенерация кислоты

Регенерация кислоты в холоднопрокатном стане Бела
Zelezarski zbornik 11 (1977) 4 С 197—200

При травлении с хлористоводородной кислотой окиси железа отделяются с поверхности травителя и, при соответствующем расходе кислоты, переходят в хлорид железа. При более высоком содержании хлорида железа кислота для травления непригодна и нуждается регенерации. Окись железа, полученная при регенерации обладает хорошей чистотой.

Нейтрализация подкисленной воды и непригодной кислоты, которые образуются при технологическом процессе холоднопрокатного станa Бела выполняется в травильных установках.

Автореф.

УДК: 662.75:662.76:662.9
АСМ/СЛА: РМ-м

Теплотехника — горючий газ

D. Vodeb, B. Gašperšič, B. Sicherl

Математическая модель газовой горелки
Zelezarski zbornik 11 (1977) 4 С 183—195

С присоединением НР Словении к сети природного газа и факта, что в распоряжении будет только константное максимальное количество в согласии обязательства, вытекающее из договора, будет необходимо для покрытия пик или возможного простоя при снабжении природного газа впрямь употреблять сжиженный пропан-бутан газ. Тепловая система влияет на качество продукта и на производительность печи и введение природного газа не должно существенно изменить существующую систему.

В основании введение природного газа представляет собой сочетание определения оптимального решения изменения параметров сгорания, упрощения математической модели газовой горелки без предварительного перемешивания газа и воздуха и выполнение несколько измерений типичных величин пламени в пламенном канале с газовой смесью, которая была в распоряжении. Полученные результаты можно применить для расчета газовой смесительной установки и измерительно-регулирующего устройства, также для последующей обработки термических процессов полученных в печах при комбинированном нагреве.

Автореф.

