

ŽELEZARSKI ZBORNIK

VSEBINA

	Stran
Rodič Jože, Zelezarna Ravne SISTEMI KONTROLE IN METODIKE RESE- VANJA TEHNOLOSKIH PROBLEMOV	153
Rodič J., A. Rodič, Zelezarna Ravne BRZOREZNA JEKLA III. DEL	165
Jezeršek Aleksander, Zelezarna Jesenice VPLIV ELEMENTOV NA KOROZIJSKO OD- PORNOST VISOKOLEGIRANIH JEKEL V RAZTALJENIH SVINCENIH SOLEH	185
Langus Danijel, Zelezarna Jesenice DELOVANJE STIRISLOJNIH POLPREVOD- NISKIH ELEMENTOV	191
Tomaž Gostič Vera, Zelezarna Štore VODIK V JEKLU, FEROLEGURAH IN LITI- NI IN METODA DOLOČANJA	205
Burnik Dušan, Zelezarna Štore PROIZVODNJA IN UPORABA JEKLARSKE- GA GRODLJA Z NIZJIM MANGANOM.	213
Hodnik Janez, Metalurški inštitut DOLOČEVANJE SILICIJA V FEROVANADI- JU S PERKLOROVO KISLINO	219

1968 · LETO II **3**

VSEBINA

	Stran
Rodič Jože, dipl. inž., Železarna Ravne Sistemi kontrole in metodika reševanja tehnoloških problemov	153
DK: 658.562.012.7	
ASM/SLA: A9; S12	
Rodič J., dipl. inž., A. Rodič, dipl. inž., Železarna Ravne Brzorezna jekla III. del.	165
DK: 669.14.018.2 : 669.111.31/35 : 620.17 :	
: 621.9.01	
ASM/SLA: TSm, N8r, QG11K	
Jezeršek Aleksander, dipl. inž., Železarna Jesenice Vpliv elementov na korozijsko odpornost visokolegiranih jekel v raztaljenih svinčenih soleh	185
DK: 620.191.2	
ASM/SLA: R11, SS	
Langus Danijel, dipl. inž., Železarna Jesenice Delovanje štirislojnih polprevodniških elementov	191
DK: 621.315.5	
ASM/SLA: U1e	
Tomaž Gostič Vera, dipl. inž., Železarna Štore Vodik v jeklu, ferolegurah in litini in metoda določanja	205
DK: 543.70	
ASM/SLA: EN-H; 1.54	
Burnik Dušan, dipl. inž., Železarna Štore Proizvodnja in uporaba jeklarskega grodlja z nižjim manganom	213
DK: 669.162.47	
ASM/SLA: CI	
Hodnik Janez, dipl. inž., Metalurški inštitut Določevanje silicija v ferovanadiju s perklorovo kislino	219
DK: 543.70	
ASM/SLA: EN-Si; 1.54	

INHALT

	Seite
Rodič Jože, dipl. inž., Železarna Ravne	
Kontrollsysteme und Loesungsmethodik von technologischen Problemen	153
DK: 658.562.012.7	
ASM/SLA: A9; S12	
Rodič J., dipl. inž., A. Rodič, dipl. inž., Železarna Ravne	
Schnelldrehstahle III. Teil	165
DK: 669.14.018.2 : 669.111.31/35 : 620.17 : : 621.9.01	
ASM/SLA: TSm, N8r, QG11K	
Jezeršek Aleksander, dipl. inž., Železarna Jesenice	
Einfluss der Elemente auf die Korrosions- beständigkeit hochlegierter Stähle in ge- schmolzenen Bleisalzen	185
DK: 620.191.2	
ASM/SLA: R11, SS	
Langus Danijel, dipl. inž., Železarna Jesenice	
Wirken vierschichtiger Halbleiterelemente .	191
DK: 621.315.5	
ASM/SLA: U1e	
Tomaž Gostič Vera, dipl. inž., Železarna Štore	
Wasserstoff im Stahl, in Ferrolegierungen und Guss und die Methode der Bestimmung	205
DK: 543.70	
ASM/SLA: EN-H; 1.54	
Burnik Dušan, dipl. inž., Železarna Štore	
Die Produktion und Gebrauch des Stahlroh- sens mit niedrigem Mangengehalt	213
DK: 669.162.47	
ASM/SLA: CI	
Hodnik Janez, dipl. inž., Metalurški inštitut	
Siliziumbestimmung in Ferovanadin mit Über- chlorsäure	219
DK: 543.70	
ASM/SLA: EN-Si; 1.54	

CONTENTS

	Page
Rodič Jože, dipl. inž., Železarna Ravne	
Control Systems and Methods of Techno- logical Problems Solving	153
DK: 658.562.012.7	
ASM/SLA: A9; S12	
Rodič J., dipl. inž., A. Rodič, dipl. inž., Železarna Ravne	
High Speed Tool Steels Part III	165
DK: 669.14.018.2 : 669.111.31/35 : 620.17 : : 621.9.01	
ASM/SLA: TSm, N8r, QG11K	
Jezeršek Aleksander, dipl. inž., Železarna Jesenice	
Influence of Elements upon Corrosion Resi- stance of High Alloyed Steels in Melted Lead Bearing Salts	185
DK: 620.191.2	
ASM/SLA: R11, SS	
Langus Danijel, dipl. inž., Železarna Jesenice	
Functioning of Four-Layer Semiconductor Elements	191
DK: 621.315.5	
ASM/SLA: U1e	
Tomaž Gostič Vera, dipl. inž., Železarna Štore	
Hydrogen in Steel, Ferroalloys, Cast Iron and Method of Determination	205
DK: 543.70	
ASM/SLA: EN-H; 1.54	
Burnik Dušan, dipl. inž., Železarna Štore	
Production and Use of Pig Iron with Lower Manganese Content	213
DK: 669.162.47	
ASM/SLA: CI	
Hodnik Janez, dipl. inž., Metalurški inštitut	
Determination of Silicon in Ferrovandium with Perchloric Acid	219
DK: 543.70	
ASM/SLA: EN-Si; 1.54	

СОДЕРЖАНИЕ

- Rodič Jože, dipl. inž., Železarna Ravne
Систем контроля и методика разрешения технологических проблем 153
DK: 658.562.012.7
ASM/SLA: A9; S12
- Rodič J., dipl. inž., A. Rodič, dipl. inž.,
Železarna Ravne
Быстрорежущая сталь III. часть 165
DK: 669.14.018.2 : 669.111.31/35 : 620.17 :
: 621.9.01
ASM/SLA: TSm, N8r, QG11K
- Jezeršek Aleksander, dipl. inž., Železarna
Jesenice
Влияние элементов на коррозионную устойчивость высоколегированных сталей в расплавленных солях свинца 185
DK: 620.191.2
ASM/SLA: R11, SS
- Langus Danijel, dipl. inž., Železarna Jesenice
Действие четырех-слоиных полупроводниковых элементов 191
DK: 621.315.5
ASM/SLA: U1e
- Tomaz Gostič Vera, dipl. inž., Železarna Štore
Водород в стали, ферросплавах и чугуна, метод определения 205
DK: 543.70
ASM/SLA: EN-H; 1.54
- Burnik Dušan, dipl. inž., Železarna Štore
Производство и применение белого чугуна с более низким марганцем 213
DK: 669.162.47
ASM/SLA: CI
- Hodnik Janez, dipl. inž., Metalurški inštitut
Определение кремния в сплаве феррованадия с хлорной кислотой 219
DK: 543.70
ASM/SLA: EN-Si; 1.54

Sistemi kontrole in metodika reševanja tehnoloških problemov

Za izbiro učinkovitega sistema kontrole s pravnimi kriteriji kvalitete je nujno potrebna organizirana povezava med proizvajalcem in potrošnikom. Kontrolo kvalitete je treba prilagoditi zahtevam kupca, razvoj pa usmerjati po njegovih potrebah.

Proizvajalec mora kupcu zagotoviti PRAVO KVALITETO izdelkov, ki zadovoljuje njegove zahteve in mu ne nudi več, kakor potrebuje. To pomeni, da mora proizvajalec z ustreznimi ukrepi preprečiti slabo kvaliteto, če pa hoče, da bo ta kvaliteta ekonomska, ne sme biti boljša oziroma dražja, kakor je nujno potrebno.

Usklajevanje kvalitete z zahtevami, zagotovitev kvalitetnega nivoja in izboljševanje enakomernosti je vedno v zvezi z reševanjem tehnoloških problemov. Za uspešno opravljanje teh nalog je potreben sistem in taka metodika raziskovalno-razvojnega dela, da je pot k rešitvi čim krajša in stroški čim manjši. Nujno potrebno pomoč pri takem delu nudijo moderne metode matematične statistike, planirane raziskave in uporaba elektronskih računalnikov. Predpogoj za izkoriščanje te pomoči pa je urejena dokumentacija in ustajena tehnologija.

Kontrola moderne proizvodnje je sestavni del v projektu tehnološkega postopka in postaja aktivna tehnološka faza, ki ureja proizvodnjo.

Tako kakor so povratne informacije, ki jih priskrbi raziskava in analiza tržišča osnova za urejanje kontrole kvalitete, tako aktivna kontrola s svojimi povratnimi informacijami ureja posamezne faze tehnološkega postopka in s primerno obdelavo podatkov omogoča izboljšave v celotnem projektu proizvodnje. To so principi uvajanja INTEGRALNE KONTROLE KVALITETE, ki tudi ureja in ne samo kontrolira proizvodnjo.

Uvedba integralne kontrole kvalitete in učinkovito izkoriščanje povratnih informacij s povezavo proizvajalca in kupca preko dobre prodajne organizacije in analize tržišča zahteva predvsem funkcionalno in brezhibno organizacijo.

V današnjem modernem podjetju ni pretirana trditev, da je kvaliteta izdelkov bolj slika organizacije kakor tehničnih sposobnosti podjetja.

Avtor v kratkem opisuje značilnosti organizacijske povezave med proizvajalcem in kupcem. Prikazani so osnovni principi sistemov klasične in moderne kontrole z uvedbo povratnih informacij.

S shemo je podan osnovni princip plana za reševanje tehnološke problematike, ki je prilagojen uporabi metod matematične statistike. V principu se plan razvoja nove tehnologije ali proizvodnje novih izdelkov prav malo razlikuje od opisanega.

Posamezne metode matematične statistike, ki se pri tem uporabljajo, so le omenjene.

UVOD

Za uspeh v konkurenčni borbi je za vsako proizvodnjo odločilnega pomena enakomerna in dobra kvaliteta izdelkov. Pred začetkom proizvodnje je potrebna sistematična raziskava tržišča, katere rezultati odločajo o obsegu in načinu proizvodnje ter postavljajo osnovne zahteve raziskovalnemu delu pri uvajanju tehnološkega postopka. V modernem sistemu proizvodnje je tudi kontrola kvalitete sestavni del tehnološkega postopka s svojo aktivno vlogo pri doseganju in zagotavljanju kvalitete izdelkov. Nujno potrebna je dobro organizirana povezava med proizvajalcem, potrošnikom, raziskovalcem tržišča, tehnologije in lastnosti izdelkov, kontrolorjem in trgovcem, ki vsi skupaj tvorijo zaokroženo celoto. Zadovoljevanje potreb tržišča postaja vedno bolj problem organizacije v večji meri kakor problem čiste tehnike proizvodnje. Vsak proizvajalec, ki ni sposoben rešiti teh organizacijskih problemov, ni pripravljen za učinkovito poseganje na mednarodno tržišče zaradi nesigurnosti v pogledu kvalitete od sklepanja pogodb do opreme izdelkov in obravnavanja eventualnih reklamacij. Tak proizvajalec se mora zavedati, da ima v svoji proizvodnji še velike rezerve ekonomskega in tehničnega značaja, zavedati pa se mora tudi, da ima možnost te rezerve izkoristiti le, dokler ga tržišče ne izloči zaradi nezanesljivosti in slabe kvalitete.

Za reševanje ekonomsko tehnične problematike so poznane številne specializirane metode od upo-

(Predavanje na IX. strokovnem posvetovanju metalurških inženirjev in tehnikov dne 31. maja in 1. junija 1968 v Portorožu.)

rabe metod matematične statistike in metod operacijskih raziskav do splošne uporabe matematike pri obdelavi podatkov, planiranju in znanstveno tehničnih proračunih. Vse te moderne metode so učinkovite in praktično izvedljive le z uporabo elektronskih računalnikov velikih zmogljivosti. To dejstvo je potrebno upoštevati tudi pri razvoju jugoslovanske črne metalurgije. V naslednjem bomo v kratkem samo nakazali možnosti na tem področju, pri čemer pa moramo prav na kratko dati osnovo nadaljnjemu izvajanju z opisom značilnih odnosov med proizvajalcem in potrošnikom.

PROIZVAJALEC — POTROŠNIK — KVALITETA

Osnovni cilj vsake proizvodnje je doseganje **ekonomske kvalitete**. To pomeni doseganje take stopnje kvalitete, ki v polni meri zadošča zahtevam in željam kupca, mu ne nudi več, kakor je potrebno in s tem omogoča proizvajalcu maksimalno ekonomiko proizvodnje in možnost formiranja nizkih konkurenčnih cen.

Za učinkovito povečevanje ekonomike je potrebna kontinuirna proizvodnja z zadovoljivim obsegom in visokim ekonomskim nivojem proizvodnih naprav. Vse to je vedno v zvezi z obsežnim investiranjem. Vsak izdelek naj bi se izdeloval v zadovoljivo velikih serijah z namenom, da bi se povečala proizvodnja na enoto vložnega delovnega časa zaposlenih do take mere, da bi se omogočalo zniževanje proizvodnih stroškov in prodajne cene kljub poviševanju plač. Masovna proizvodnja je mogoča le ob masovni potrošnji, vse to pa je stvar usklajevanja proizvodnje s kupno močjo potrošnikov.

S pomočjo dobro organizirane raziskave in analize tržišča se mora z zadovoljivo gotovostjo ugotavljati obseg potencialnega tržišča. Z največjo resnostjo in le na osnovi takih analiz bi smeli odločati o investicijah v naprave in tehnologijo.

Nadalje je ekonomika proizvodnje posredno odvisna od učinkovitega organizacijskega sistema in metodike prodaje s svojimi zelo številnimi specifičnimi problemi.

Dobra in stalna naročila, ki omogočajo proizvajalcu organiziranje ekonomske proizvodnje, so odvisna od splošnega zadovoljstva kupca. To zadovoljstvo kupca in navezanost na določenega proizvajalca pa ni vedno odvisno le od konkurenčne cene, ampak vedno bolj od zanesljivosti kvalitetenega nivoja in enakomernosti kvalitete izdelkov.

To dejstvo zahteva čim tesnejšo povezavo med proizvajalcem in potrošnikom z organizacijsko obliko, ki zagotavlja pravočasno informiranje v obeh smereh. (Slika 1) Proizvajalec mora skrbeti, da je potrošnik preko trgovske mreže zadostno informiran o vseh značilnostih, lastnostih in uporabnosti izdelkov ter da mu po tej poti nudi vso potrebno tehnično svetovanje in pomoč. V obratni smeri je prav tako proizvajalec v svojem lastnem interesu dolžan organizirati zbiranje tako imeno-



Slika 1
Organizacijska povezava mreže med proizvajalcem in potrošnikom¹

vanih povratnih informacij s pomočjo raziskave in analize tržišča, ki jo organizira sam ali pa jo zahteva od svojih grosistov preko njihove trgovske mreže. Po tej poti mora proizvajalec zbirati vse potrebne informacije s tržišča.

V borbi za vzdrževanje konkurenčnosti, za stalna naročila in za razširitev tržišča poizkuša proizvajalec z vso pozornostjo preverjati in čim bolj zmanjševati pritožbe svojih potrošnikov. Vse upravičene pritožbe mora upoštevati kot dobrodošle informacije, ki usmerjajo razvojno delo pri izboljševanju kvalitete.

Urejena in funkcionalna organizacija prodaje z analizo tržišča prinaša vodstvu kontrole in razvoja potrebne informacije o zadovoljstvu, pritožbah, potrebah, povpraševanju in predlogih potrošnikov. Kontrola na ta način zve, kaj potrošnik zahteva, kaj kontrolira. Na tak način se oblikujejo zahteve in specifikacije gotovih izdelkov in te se v urejeni obliki sporoča proizvajalcu, ki izdelava specifikacije surovin in tehnološkega postopka ter objektivno primerja svoje možnosti z zahtevami oziroma željami. Nato pride objektivno usklajevanje in izdelava proizvodnih standardov — tehnoloških in kontrolnih predpisov v okviru celotnega projekta proizvodnje in kontrole.

Kontrola kvalitete mora upoštevati z vso resnostjo definicijo kvalitete kot »stopnjo, do katere je določen izdelek prilagojen povpraševanju in zadovoljevanju potrošnika«, kontrola kvalitete pa je v modernem in dobro organiziranem podjetju sredstvo, s katerim se kvaliteta izdelka vzdržuje na minimalnih stroških.

Prodajni oddelek išče možnosti razširitve tržišča, pri čemer je najbolj zaželeno povečanje obsega obstoječih serij, kar omogoča pocenitev proizvodnje in izboljšanje konkurenčne sposobnosti. Po tej isti poti dobi proizvajalec za svoj raziskovalno-razvojni oddelek večji del programa raziskav za reševanje tehnoloških problemov in za osvajanje nove proizvodnje. Od funkcionalnosti te organizacijske povezave je v veliki meri odvisno osvajanje tržišča. Razvojni oddelek mora pravočasno zvedeti za želje in potrebe potrošnika, da lahko proizvodnjo osvoji, preden konkurent odvzame podjetju interesantno tržišče. Jasno je, da mora biti v taki organizaciji tudi raziskovalni oddelek organizacijsko in strokovno kos zahtevnim nalogam in mora imeti za to potrebne možnosti ter učinkovito metodiko raziskovalnega dela.

V taki organizacijski povezavi ima kontrola kvalitete v najširšem pomenu besede posebno mesto pri usklajevanju standardov, prevzemnih pogojev, prirodnih toleranc in pri garantiranju lastnosti ter uporabnosti izdelkov. Dokumentiranje in analizo informacij, vse objektivne primerjave zahtev, stanja in možnosti proizvodnje ter zanesljivo garantiranje kvalitete omogočajo prav tem nalogam prirejene metode matematične statistike v povezavi s programirano uporabo elektronskih računalnikov.

SISTEMI KONTROLE IN POMEN POVRATNIH INFORMACIJ

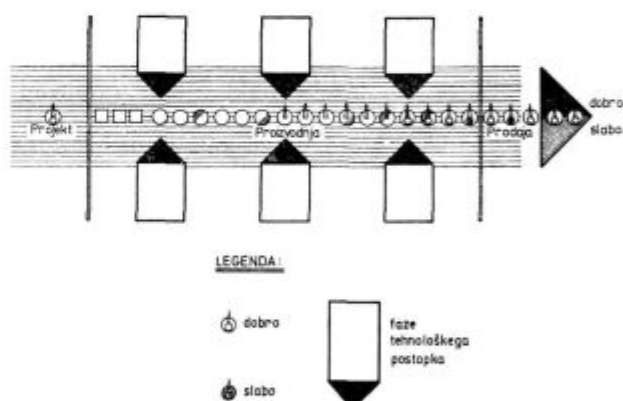
Za uspešno osvajanje stalnega tržišča je odločilna predvsem kvaliteta in zanesljivost kvalitete izdelkov. Z ekonomsko tehničnim napredkom in z rastjo splošnega standarda postajajo zahteve kupcev vedno ostrejšje in konkurenčna borba proizvajalcev vedno težja. To je tudi razumljivo, saj reven potrošnik ob nizkem standardu izraža le zahteve za zadovoljevanje osnovnih potreb in za svoj napredek zahteva v glavnem le več, ne izraža pa posebnih zahtev po kvaliteti. Zahteven potrošnik ob visokem standardu pa išče predvsem to, kar je boljše. Tak potrošnik ne vprašuje več le po ceni kot odločilnem faktorju za nakup, ampak si lahko privošči luksuz nakupa kvalitetnejših izdelkov, in če je potrebno, za to tudi več plača. Stanje, situiranost in zahteve potrošnikov mora proizvajalec upoštevati tudi v proizvodnji in v svoji kontroli.

Ekonomsko-tehnično zrel proizvajalec govori zato o **pravilni kvaliteti** izdelkov in ne o dobri ali slabi, saj je treba kvaliteto predvsem uskladiti s ceno in tržiščem, na katerem se izdelke prodaja. Merilo pravilnosti kvalitete je zadovoljstvo potrošnikov-kupcev. Zahteve po enakomernosti in zanesljivosti na zadovoljivem kvalitetnem nivoju postajajo pogoji kooperacijske industrijske proizvodnje. Zagotovitev zanesljivosti kvalitete pa posredno zahteva postritev kontrole in uvedbo povsem novih sistemov in metod v kontrolo kvalitete. Taki odnosi vsakega proizvajalca postavljajo v dvojno

vlogo: vsak proizvajalec je obenem tudi potrošnik svojega dobavitelja surovin, polizdelkov ali pa končnih izdelkov za kompletiranje sestavnih delov v kooperacijski industrijski proizvodnji. Če hoče proizvajalec zagotoviti kvaliteto in zanesljivost svojih izdelkov, mora prav tako poostreno kontrolirati kvaliteto surovin in polizdelkov, kar pomeni organizacijsko in strokovno ureditev vhodne kontrole. Na teh osnovah gradi proizvajalec kvaliteto svoje proizvodnje, zato ji mora posvečati posebno pazljivost.

Z isto logiko kakor zahtevamo močno vhodno kontrolo surovin in nabavljenih polizdelkov, se v moderni proizvodnji uvaja medfazna kontrola. V principu je izdelek vsake proizvodne faze pravzaprav surovina ali polizdelek za naslednjo fazo. Od medfaze kontrole zahtevamo, da pravočasno prepreči nadaljnjo obdelavo takih polizdelkov, od katerih ne moremo pričakovati kvalitetnih končnih izdelkov. S tem preprečujemo nepotrebne proizvodne stroške.

Drugo polovico 19. stoletja mnogi imenujejo prvo obdobje industrijske revolucije v svetu zaradi izredno hitrega napredka proizvodnih naprav in razvoja novih materialov. Naslednja industrijska akcija je bilo iskanje možnosti zmanjševanja proizvodnih stroškov, kar je postajalo vse bolj odločilnega pomena pri ohranjanju ugodnih pozicij v hudi konkurenčni borbi. S tem so povezane tež-



Slika 2 a

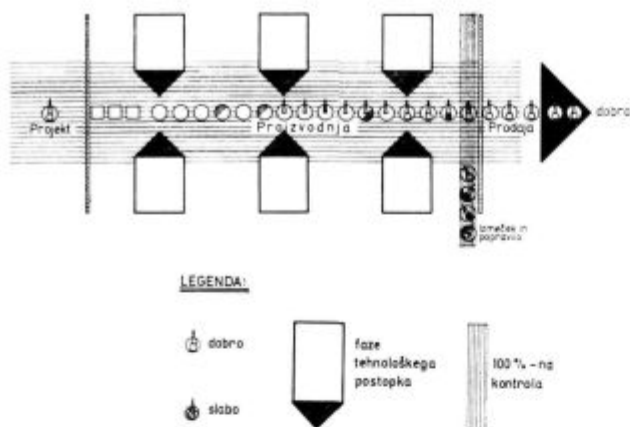
Nekontrolirana ali priložnostno slabo kontrolirana proizvodnja

- visoki stroški reklamacij in popravil,
- nezadovoljstvo potrošnika.

nje k povečani mehanizaciji in k zagotavljanju kontinuiranosti v proizvodnji s pomočjo specializacije, delitve in koordinacije dela, standardizacije in tipizacije na vseh možnih področjih.

Celoten sistem kontrole mora biti torej tak, da zmanjšuje nepotrebne izgube s pravočasnim reagiranjem kontrole, da preprečuje popravila in nezadovoljstvo potrošnikov ter omogoča stimulacijo tržišča s popolnim zaupanjem v zanesljivost kvalitete.

V prvih obdobjih uvajanja kvalitetne kontrole je proizvajalec le od časa do časa preverjal s pre-



Slika 2 b
Stoodstotna končna kontrola²

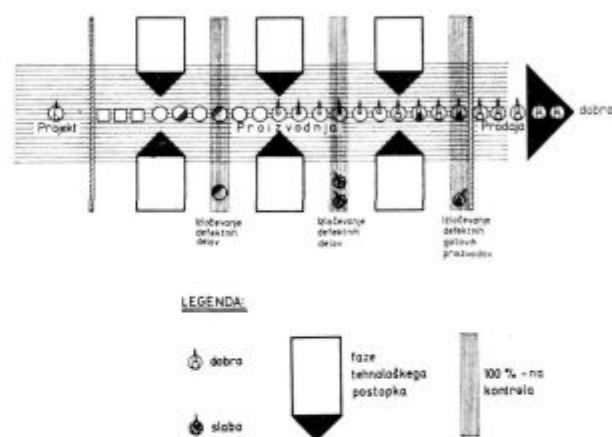
- taka kontrola ni vedno izvedljiva,
- visoki stroški kontrole,
- ni pritožb potrošnikov,
- zaupanje in navezanost potrošnikov ne upada,
- prodaja se ne zmanjšuje.

izkušnjam posamezne izdelke, pri čemer je po naključju jemal vzorce. S tem je želel le občasno ugotavljati, če izdelki zadovoljujejo kvalitete zahteve. Taka metoda seveda ne more dati zdravega poročila kvalitete in zanesljivosti. Pritožbe potrošnika in reklamacije so pogoste, popravila in motnje v proizvodnji povzročajo velike stroške. Če tudi pritožb pri takem sistemu ni, nastaja včasih velika škoda zaradi izgube naklonjenosti potrošnikov in zmanjševanja prodaje oziroma novih naročil (glej slika 2 a). Dokler niso bile razvite ustrezne metode matematične statistike v kontroli kvalitete, je moral proizvajalec izbirati med nezadovoljstvom potrošnikov z vsemi »dragimi« posledicami in drago stoodstotno končno kontrolo (slika 2 b).

Pri nekaterih panogah industrije in pri posameznih vrstah izdelkov predstavlja stoodstotna končna kontrola praktično edino možno obliko kontrole. Učinkovita stoodstotna končna kontrola, ki jasno loči dobre izdelke od defektnih, potrošnika popolnoma obvaruje sprejema nezadovoljivih izdelkov. Seveda ima stoodstotna končna kontrola določene nepremostljive slabosti. Neuporabna je v primerih, ko preizkušanje specifičnih lastnosti zahteva porušitev — uničenje izdelka. Ta metoda ima zelo resne slabe strani tudi v primerih, ko končna kontrola ne zahteva porušitve izdelkov. Dejansko je stoodstotna končna kontrola v vsakem primeru zelo drag postopek, ker so izdelki že prešli skozi vse faze izdelave, ki so včasih zelo drage. Tako so izgube zaradi izmečka ali zavrnitve gotovih izdelkov največkrat zelo pomemben faktor v celotni ekonomiki proizvodnje. Ne glede na te ekonomske slabosti stoodstotne končne kontrole ima ta način tudi slabosti tehnične in psihološke narave. V praksi je bilo s številnimi izkušnjami dokazano, da ta način kontrole še zdaleč ne zagotavlja take brezhibnosti kvalitete, kakršno

bi pričakovali. Kontrolorji, ki morajo dan za dnevom ocenjevati kvaliteto iste vrste izdelkov, začno normalno kazati simptome utrujenosti in postanejo »slepi za napake«. Tako gredo določeni izdelki tudi skozi stoodstotno kontrolo kot dobri, čeprav imajo jasne napake in ne ustrezajo zahtevam.

Zaradi visokih stroškov pri stoodstotni končni kontroli se je razvila tako imenovana stoodstotna medfazna kontrola polizdelkov v kritičnih točkah proizvodnega postopka. Tudi tak način kontrole je drag. Stroški kontrole se zaradi večkratnega kontroliranja povečujejo, pač pa lahko dosežemo znatno zmanjšanje vrednosti izmečka in prihrank dela. Na ta način se posebno pri dragih postopkih doseže občutno nižja celotna cena dobre kvalitete odpremljenih izdelkov. Tako naj se npr. ulitki kontrolirajo že takoj po litju in ne šele takrat, ko so opravljene že vse faze rezanja, čiščenja, delne in celo končne obdelave (slika 2 c).



Slika 2 c
Stoodstotna medfazna kontrola v kritičnih točkah proizvodnje²

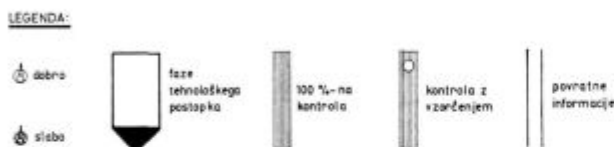
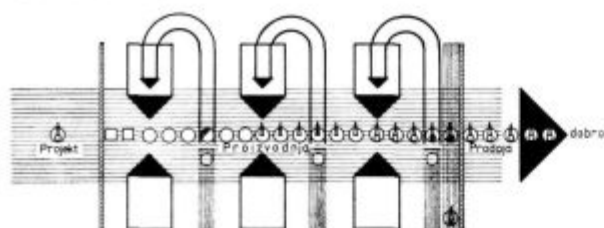
- visoki stroški kontrole,
- prihranki pri stroških izdelave.

Kljub navedeni prednosti ta način kontrole še vedno ne predstavlja idealne rešitve zaradi visokih stroškov kontrole.

Pomemben napredek v kontrolni tehniki moderne proizvodnje predstavlja prehod na statistično vzorčno kontrolo, pri kateri zmanjšamo obseg kontrole, ohranimo pa nivo zanesljivosti. Prava vzorčna kontrola je daleč od naključnega priložnostnega preizkušanja lastnosti posameznih končnih izdelkov. O vzorčni kontroli lahko govorimo le, kadar vzamemo iz proizvodnega procesa slučajni vzorec primernega obsega natančno v skladu z vnaprej določenimi kriteriji in planom za preizkušanje kvalitete. Ta metoda temelji na osnovah matematične statistike in tudi ukrepi, ki so osnovani na takem načinu kontrole morajo biti vnaprej specificirani in usklajeni z določenimi kriteriji.

Sistem vzorčne kontrole sloni na dejstvu, da za spoznavanje lastnosti danega proizvodnega procesa ni potrebno preizkusiti vsakega posameznega

izdelka, ampak le določen — največkrat majhen — vzorec izdelkov iz te proizvodnje. S sistemom vzorčne kontrole v posameznih fazah industrijske proizvodnje je dobila kontrola svojo aktivno vlogo v tehnologiji. V taki obliki kontrola ne služi več samo ločenju dobrega od slabega na koncu proizvodnje, ampak posega v proizvodni postopek s preventivnimi in pravočasnimi ukrepi. Klasična kontrola je imela predvsem varnostno funkcijo s preprečevanjem odpreme neustreznih izdelkov. Moderna vzorčna kontrola na osnovi metod matematične statistike pa ima aktivno vlogo kot faza tehnološkega postopka, ki s signalizacijo in s pravočasnimi informacijami o kvaliteti izdelkov in polizdelkov posredno daje osnovo izboljšanju in tekočemu urejanju tehnološkega procesa poleg svoje bivše kontrolne vloge. Informacije kontrole o kvaliteti izdelkov se morajo vsekakor izkoriščati kot povratne informacije in uporabljati za uvajanje sprememb in izboljšav v proizvodnem postopku. Dejanska vzorčna kontrola registrira vpliv določenih operacij v postopku in služi kot orodje in vodilo pri urejanju in nastavljanju strojev, aparatov in drugih naprav, celotnih tehnoloških projektov, včasih pa tudi ljudi v taki obliki, da v redu opravljajo proizvodne operacije. Informacije iz posameznih delovnih faz analiziramo in v primerni obliki obdelamo, tako da služijo za urejanje in kontroliranje istih delovnih faz v prihodnje, s čimer se vnaprej preprečuje izdelava defektnih izdelkov. Pomembnost razlike med tehnološkimi in kontrolnimi operacijami se tako vedno bolj zmanjšuje in kontrola postaja v tehnološkem postopku vedno bolj nepogrešljiva delovna operacija (slika 2 d).



Slika 2 d

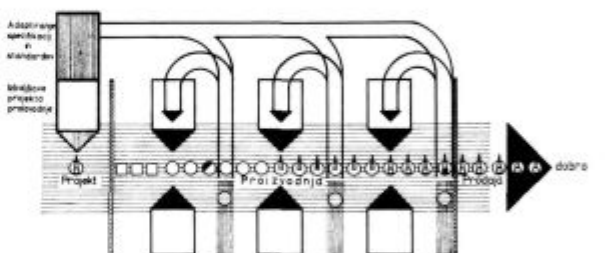
Kontrola s statističnim vzorčenjem v kritičnih točkah proizvodnje in povratne informacije²

- prihranki pri stroških kontrole,
- znižanje stroškov pri izmečku, popravilih, reklamacijah,
- izboljšave v proizvodnji.

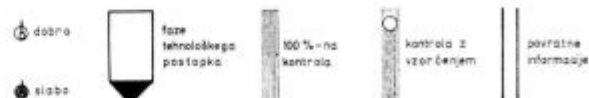
Omenjene povratne informacije kontrolnih podatkov za potrebe nastavljanja in prilagajevanja strojev ter naprav omogočajo, da kar največ izvlečemo iz uporabljenih strojev.

Seveda so primeri, kjer so razlike med možnostmi stroja in zahtevano kvaliteto izdelka pre-

velike. V takem primeru urejevanje kvalitete ne zadošča. Rezultati kontrole služijo kot povratna informacija tisti fazi, ki je pred začetkom proizvodnje, t. j. projektu tehnološkega postopka. Projekt mora biti seveda v skladu z možnostmi proizvodnega postopka. V nasprotnem primeru je treba te možnosti doseči s spremembo tehnološkega postopka, z zamenjavo strojev in s podobnimi ukrepi, kar pa navadno v kratkem času ni mogoče (slika 2e).



LEGENDA:



Slika 2 e

Kontrola s statističnim vzorčenjem in izboljšave projekta tehnološkega postopka²

- nadaljnje znižanje stroškov kontrole,
- približevanje minimalnim stroškom izmečka, popravil, reklamacij,
- največje možnosti za napredek proizvodnje v kvaliteti in ekonomiki.

Prilagojevanje kvalitetnih zahtev v fazi izdelave projekta z upoštevanjem možnosti za realiziranje teh zahtev v proizvodnji določa možnosti projekta s kvalitetnega stališča. Izdelek, ki se na ta način vpelje v proizvodnjo, največkrat pokaže, da ni potrebna stodontna končna kontrola, če so vzorčne kontrole po glavnih proizvodnih operacijah dobro organizirane in če podatke iz kontrole uporabljamo za hitro, najboljše in tekoče urejanje proizvodnega postopka. Orientacija projekta na redno proizvodnjo je v modernem razvoju značilen način zagotavljanja kvalitete. Značilnost tega razvoja je v vseh vrstah industrije tvorba skupin — teamov — za kvaliteto, v katerih projektanti, tehniki in strokovnjaki iz kontrole sodelujejo na tak način, da se kvalitetne zahteve prilagajajo praktičnim pogojem v proizvodnji in obratno. V kvalitetnih skupinah seveda sodelujejo tudi strokovnjaki iz raziskave tržišča, prodaje in svetovalne službe. Ti prav tako po svoji vlogi vplivajo na projekt izdelka in tehnološkega postopka, skrbijo pa najbolj za to, da bo projekt usmerjen k uspešni prodaji. To ne pomeni samo malo ali nič pritožb od potrošnika, ampak tudi, da bo že pojav izdelka stimuliral prodajo s priznanjem kvalitete.

V svetu se uveljavlja za tako vrsto kontrole, ki kontrolira in v tesni povezavi z razvojnim delom in analizo tržišča tudi ureja proizvodnjo, ime »**integralna kontrola kvalitete**«. Taka kontrola je sredstvo, s katerim se kvaliteta izdelka vzdržuje na zahtevanem nivoju ob minimalnih stroških.

Za uvedbo integralne kontrole kvalitete je potrebna res urejena in ustrezna organizacija, ker so zahteve po medsebojnih zvezah in informacijah zelo velike tako znotraj podjetja kakor tudi navzven z dobavitelji, trgovci in končnimi potrošniki. Vse to prinaša velike koristi in velik napredek, izvedljivo pa je le pri uporabi specializirane tehnike v čim popolnejši organizacijski zgradbi. Elektronskih računalnikov in visoke mehanografije pri takih zahtevah skoraj ni mogoče pogrešati.

Pri ocenjevanju pomena tega načina moderne kontrole se je treba zavedati dejstva, da:

»kratkoročna poslovna politika sloni na komercialni, dolgoročna poslovna politika pa predvsem na kvaliteti in zadovoljstvu potrošnikov«.

KVALITETA IN ZNACILNOSTI NJENE PROBLEMATIKE

Pojem kvalitete, pa naj si bo označena kot dobra — slaba, pravilna — nepravilna, ustrezna, zaželena itd., je zelo širok. Pri obravnavanju tega pojma kvalitete moramo vedno upoštevati dva sestavna dela:

- **enakomernost kvalitete in**
- **nivo kvalitete.**

Brez poznanja stopnje enakomernosti kvalitete ima označevanje povprečnega nivoja kvalitete zelo omejen pomen. Tudi v problematiki kvalitete je doseganje enakomernosti največkrat primarni problem, ki ob svojem reševanju normalno daje tudi vse potrebne napotke za izboljšanje kvalitete nivoja. Moramo se zavedati, da se določeni kvaliteten nivoju ob enakomerni kvaliteti lahko vsaj začasno prilagodimo, medtem ko nam dober povprečni nivo praktično ničesar ne pomeni, dokler je kvaliteta izdelkov neenakomerna in nezanesljiva. Problematike neustrezne kvalitete izdelkov ne moremo uspešno reševati s preprosto zaostritvijo tehnoloških in kontrolnih predpisov brez predhodne objektivne analize, ki jo omogočajo metode matematične statistike. Tehnološki in kontrolni predpisi morajo biti objektivno sprejemljivi, t. j. realno postavljeni na osnovi objektivne analize možnosti tehnološkega postopka. Šele če so zahteve objektivne, lahko kontrola pri njih brezpogojno vztraja. V ta namen je potrebno točno poznanje tako imenovanih naravnih toleranc — naravnih kontrolnih mej posameznih postopkov in posameznih faz postopka, kar omogoča objektivno primerjavo in usklajevanje možnosti z zahtevami standardov, predpisov in drugače izraženih zahtev potrošnika. Kolikor naravne kontrolne meje proizvodnega postopka ne ustrezajo zahtevam, jih

lahko postopoma zožujemo, kar pa je mogoče le, dokler so značilnosti postopka nenormalne — neslučajne, t. j. dokler v postopku lahko identificiramo in preprečimo nenormalnosti pod vplivom nekontroliranih in neslučajnih — nedovoljenih faktorjev. Nadaljnje zoževanje naravnih kontrolnih mej je možno le z uvajanjem sprememb in izpopolnitev v tehnološkem postopku na osnovi točnega poznavanja medsebojnih odvisnosti. To pa zahteva sistematične raziskave, ki jih na osnovi urejene kontrolne in tehnološke dokumentacije omogočajo posebne metode matematične statistike in statistično planirane raziskave.

V Zelezarskem zborniku⁴ je podan kratek pregled posameznih metod matematične statistike, s področjem uporabnosti in nekaj praktičnimi primeri. V nadaljnjih zvezkih Zelezarskega zbornika so^{5,6} in še bodo podrobneje opisane posamezne metode z vso potrebno razlago in navodili za pravo podatkov in tolmačenje rezultatov pri uporabi elektronskih računalnikov. Teh metod zato v tem članku ne bomo razlagali, čeprav jih v nadaljevanju omenjamo. Rajši si oglejmo sistem planiranih raziskav in tako imenovano strategijo uporabe omenjenih metod.

METODIKA REŠEVANJA TEHNOLOŠKIH PROBLEMOV

Za uspeh kakršnekoli raziskave v zvezi z reševanjem problemov je najvažnejše, da se problema pravilno lotimo in začnemo iskati rešitev pri njegovem izvoru. Največja nevarnost za potek in končni uspeh raziskave je napačna in nepreverjena informacija o problemu. Ta lahko že ob planiranju raziskavo usmeri na napačno pot — k neuspehu.

Problem, o katerem dobimo informacijo, je potrebno šele objektivno identificirati in dokumentirano prikazati. Zato je potrebno pregledati celoten tehnološki in kontrolni postopek v časovnem zaporedju in urediti kompletno dokumentacijo razpoložljivih podatkov. Šele tako dobimo **dokumentirano informacijo** o problemu in po izkušnjah se ta največkrat vsaj delno razlikuje od prve informacije, ki jo dobimo, ali pa se z njo pojavljajo še drugi problemi, ki nam prej iz začetne informacije niso bili znani. Že iz tega sledi, da je dokumentirana problematika prvi pogoj za planirano raziskavo, ker bi sicer lahko zašli na nepravilno pot. V tej fazi je potrebna objektivna analiza stanja na osnovi zbrane dokumentacije. Nepravilno je že takoj po prvi informaciji iskati vzroke nenormalnosti in ukrepati na osnovi posameznih nepreverjenih informacij. Najprej je treba s sistematičnimi statističnimi analizami ugotoviti širino razsipanja in določiti statistične naravne tolerance, ki karakterizirajo stanje in možnosti procesa v danih pogojih. V prvi fazi običajno iščemo karakteristike procesa ne glede na obstoječ predpis, četudi je prav izpolnjevanje tega vzrok raziskave. Šele kasneje lahko, in to brez težav, izvršimo primerjavo dejanskega stanja in možnosti s pred-

pisanimi, normiranimi ali zelenimi mejami. Na ta način statistične analize omogočajo ločenje normalnih porazdelitev od nenormalnih in ukrepe, ki so nam že poznani iz opisa teh metod⁴. V tej fazi na osnovi analize porazdelitve in pregleda statističnih kontrolnih kart že dobimo prve možne odločitve.

V mnogih primerih že te analize privedejo do zaključka, da je rešitev problema možna z odpravo nenormalnosti, katere lahko identificiramo, in z novimi ali izpopolnjenimi tehnološkimi in kontrolnimi predpisi v prihodnje preprečimo. Tako je problem v tem primeru rešen.

Druga možna odločitev je ugotovitev, da v danih pogojih in proizvodnih možnostih rešitev problema ni mogoča. Do takega zaključka pridemo, če analize porazdelitev in kontrolne karte prikazujejo normalno stanje, obenem pa ugotavljamo, da so naravne tolerance širše od zahtevanih. V takem primeru je treba poiskati novo rešitev z menjanjem predpisov, menjanjem tehnologije, menjanjem proizvodnih pogojev ali proizvodnih agregatov, kvalifikacijskega sestava itd. Skrajni ukrep je ukinitve proizvodnje in iskanje povsem novih možnosti za proizvodnjo istih izdelkov ali pa za angažiranje sproščenih kapacitet z drugimi izdelki.

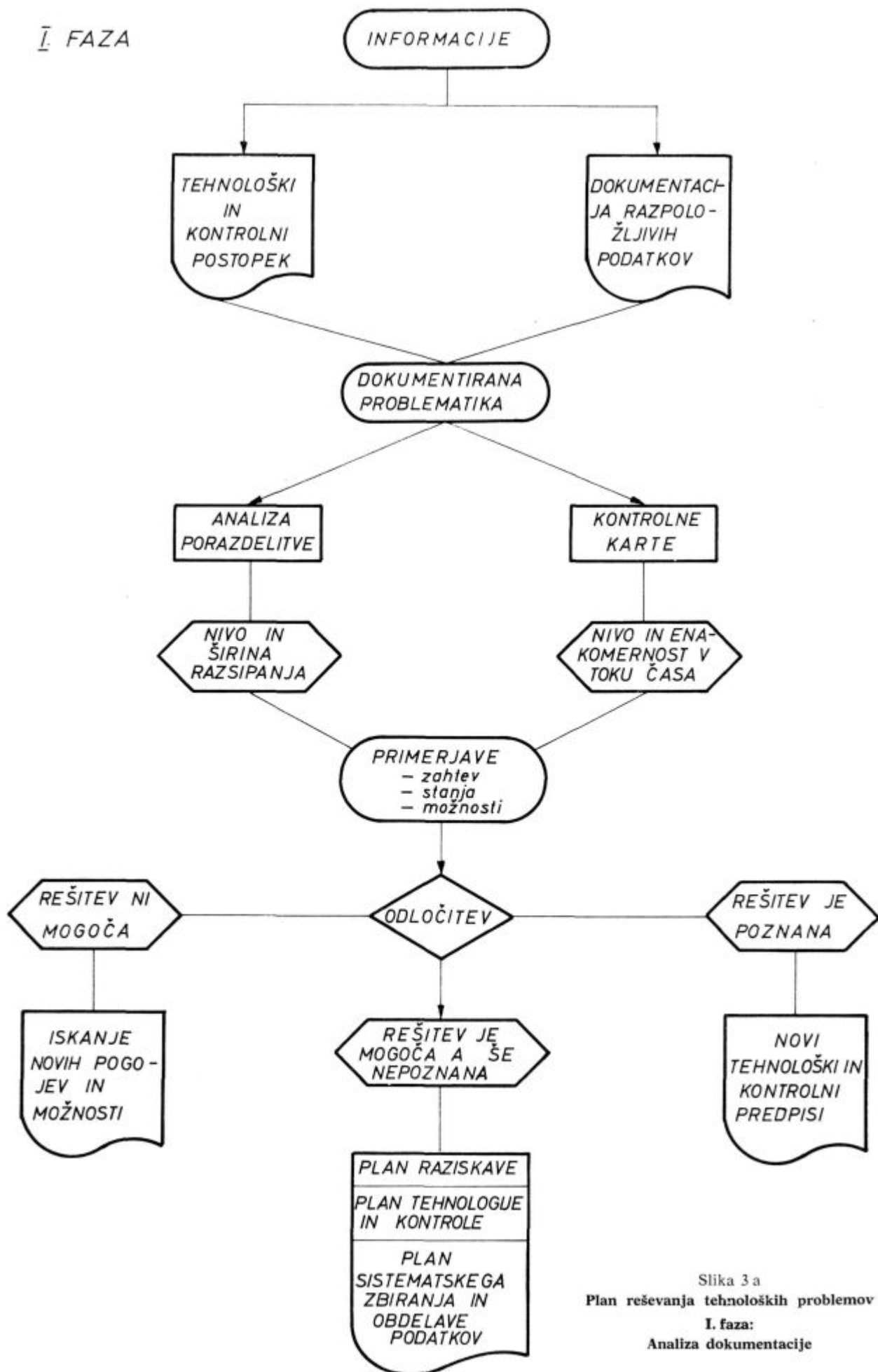
Tretja možna odločitev je v ugotovitvi, da na osnovi pregledane dokumentacije in statističnih analiz lahko pričakujemo rešitev, vendar šele po sistematičnih raziskavah. Analize so nam torej nakazale možnosti, niso pa nam dale rešitve. V tem primeru je potrebno sistematično planiranje raziskave za ugotavljanje vplivnih faktorjev, od katerih je odvisna enakomernost in nivo kvalitete. V tem primeru je plan raziskave treba povezati s točnim definiranjem tehnološkega postopka in planom kontrole predvsem z namenom sistematičnega zbiranja zanesljivih in preverjenih podatkov za nadaljnje analize. S pomočjo tako zbranih in ustrezno urejenih podatkov lahko izvršimo statistične analize vplivnih faktorjev in medsebojnih odvisnosti. Pri tem se največ uporabljajo analize regresije in korelacije, analize variance, analize primerjav posameznih serij, pri katerih ugotavljamo pomembnosti razlik srednjih vrednosti — kvalitetnih nivojev ali pa pomembnosti razlik standardnih deviacij — karakterističnih razsipanij ali točnosti. V teh raziskavah pride v poštev še cela vrsta drugih metod statistično planiranih raziskav. Rezultati teh analiz omogočajo selekcijo vplivnih faktorjev po tehnološkem zaporedju, po važnosti in njihovi statistični pomembnosti. Posebej je treba poudariti, da je v tej fazi zbiranja podatkov potrebno proizvodni postopek začasno precej komplicirano organizirati s postavitvijo številnih kontrolnih točk. Vse to pa je le začasno, kajti faktorjev, ki se izkažejo v analizi statistično nepomembni, nadalje ne jemljemo več v poštev, dokler se bistveno ne spremenijo pogoji proizvodnje. Drug važen zaključek take analize je lahko, da bo treba na osnovi izkustva ali rezultatov analize v prihodnje obseči v analizi še one faktorje,

katerih zaradi pomanjkanja podatkov nismo upoštevali, tehnološko pa smatramo, da bi lahko pomembno vplivali na kvaliteto in proizvodnjo. Za take faktorje je treba posebej organizirati sistematično kontrolo. Za vse tiste faktorje, ki po selekciji v analizi ostanejo kot pomembni, je potrebno najti najprimernejši sistem prikazovanja in medsebojnih povezav. Zaključek in interpretacija teh analiz morata biti osnova za ukrepanje pri doseganju boljše enakomernosti in boljšega kvalitetnega nivoja proizvodnje. Vse zaključke raziskav je potrebno zajeti in med seboj povezati v izdaji novih tehnoloških in kontrolnih predpisov, v katerih mora biti jasno, katere faze so odločilne in katere so odločilne kontrolne točke, na osnovi katerih se mora ukrepati v toku procesa. Poleg teh je važno, da so v predpisih jasno naznačeni tudi dodatni interni predpisi kakor tudi navodila in priporočila za vodenje tehnološkega postopka. Tehnološki in kontrolni predpisi morajo biti izdelani tako, da zagotavljajo tekoče zbiranje podatkov, ki so in ki bodo vedno potrebni v nadaljnjih raziskavah in nadaljnjem postopnem izboljševanju kvalitete ter izpopolnjevanju tehnologije. Izpopolnjevanje vseh takih tehnoloških in kontrolnih predpisov je treba dosledno zasledovati in obenem z dodatnimi analizami občasno preverjati pravilnost uvedenih ukrepov.

Potek takega reševanja tehnološke problematike je prikazan na shemi v sliki 3.

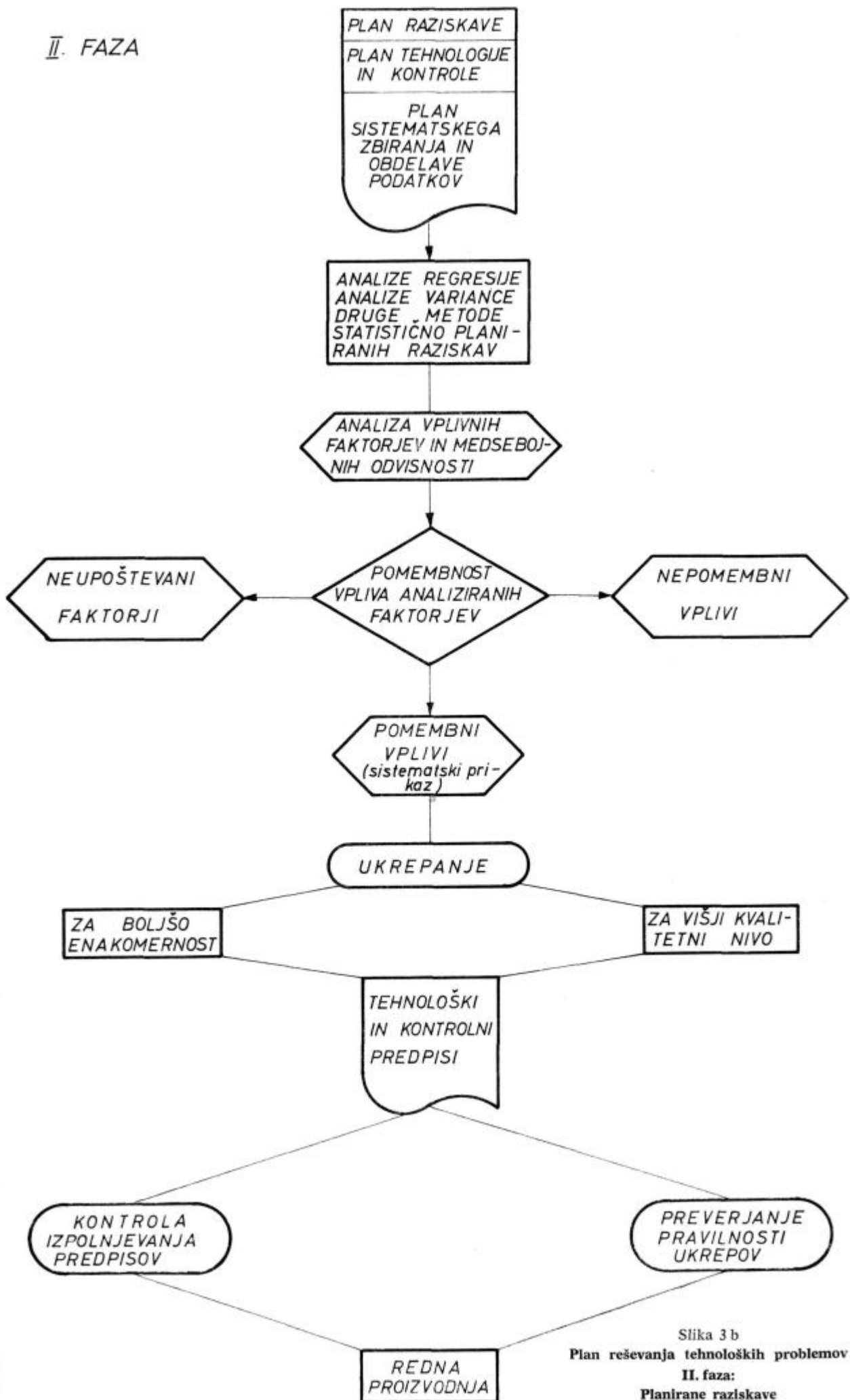
SISTEMATIKA OSVAJANJA NOVE PROIZVODNJE

Sistematika raziskav pri osvajanju nove proizvodnje je v bistvu zelo podobna sistematiki raziskav pri reševanju tehnološke problematike. Ker gre za novo proizvodnjo, seveda odpade analiza rezultatov iz preteklega obdobja proizvodnje, to fazo pa zamenja zbiranje podatkov v organizirani informacijsko dokumentacijski službi in pregled literature. Na osnovi tako zbranih informacij se izdelava projekt tehnološkega in kontrolnega postopka, ki se podrobno prediskutira in obdela, nato pa v prvi fazi poizkusne proizvodnje brezpogojno uporablja brez kakršnekoli spremembe, dokler se ne zbere za analizo dovolj potrebnih podatkov, pa četudi je delež izmečka tako velik, da skoraj z gotovostjo sklepamo na nepravilnost tehnologije. Le s takim vztrajanjem pri tehnološkem postopku brez sprememb nam analiza na koncu prvega poizkusnega obdobja da toliko podatkov, da lahko uvedemo pravilne spremembe v tehnologiji drugega obdobja osvajanja. Pri osvajanju nove proizvodnje se največkrat vzporedno planira več različnih variant tehnološkega postopka in s pomočjo statistične analize variance in primerjav pomembnosti razlik med serijami objektivno izbere najboljšo varianto. Od prve faze dalje poteka postopek osvajanja enako kakor opisano reševanje tehnološke problematike.



Slika 3 a
Plan reševanja tehnoloških problemov
I. faza:
Analiza dokumentacije

II. FAZA



Slika 3 b
Plan reševanja tehnoloških problemov
II. faza:
Planirane raziskave

ZAKLJUČKI

V začetnem delu članka je bil glavni namen usmeriti razmišljanje o kvaliteti in o njenem pomenu. Samo nakazan je bil pojem integralne kontrole kvalitete in razvoj do modernih sistemov kontrole. Prav tako je opis metodike oziroma strategije reševanja problemov v tehnologiji in projektiranju novih postopkov kakor tudi pri osvajanju nove proizvodnje precej skop. Podani so le osnovni principi in omenjene možnosti, ki jih nudijo metode matematične statistike, saj tudi ni mogoče podati napotkov v obliki šablone, ampak le opozoriti na logičen potek, ki ga je treba vsakokrat posebnim okoliščinam prilagoditi.

Glavni namen referata je bil s kratkim pregledom prikazati, kaj naši industriji na področju kvalitete najbolj manjka. To je red, tehnološka disciplina, sistematično delo in odgovornost pri izdajanju in izpolnjevanju tehnoloških ali kontrolnih predpisov — skratka boljša ali morda bolj preiščljena organizacija. V primerjavi s tehnično razvitim in naprednim svetom nam na tem področju manjka več kakor na področju same znanosti in tehnike. Stanja ne bomo izboljšali, če se bomo prepuščali normalnemu razvoju in reševali le to, kar potrebe nujno sproti zahtevajo. Zaostanek moramo nadoknaditi tako, da vzpostavimo tesne stike z naprednim svetom, z razvitimi državami in z vzornimi podjetji. Posnemati moramo podjetja in industrijsko razvite dežele, kjer pojem integral-

ne kontrole kvalitete v svojem najglobljem pomenu besede živi in deluje. To nam bo koristilo več kakor tekmovanje med seboj in s tistimi, ki se borijo s podobnimi, drugačnimi, večjimi ali manjšimi težavami. Če tega ne bomo storili, bo naš zaostanek vedno večji in vedno bolj boleč, ker je tudi napredek v svetu vedno hitrejši in konkurenca vedno bolj brezobzirna.

To ni poziv k spremembam in ukrepom tako rekoč na juriš, ampak opozorilo o potrebi resnega, intenzivnega, predvsem pa preiščljenega in razsodnega dela. Kljub skopemu opisu je namreč zaključek jasen, da je uvedba integralne kontrole kvalitete nujna, zahteva pa trdno organizacijo in res solidne osnove. Brez tega bi bil ves vložen trud zaman.

Moderne metode dela zahtevajo moderno opremo in sposobne kadre, kar je treba upoštevati tudi pri programih šolanja na vseh stopnjah. Tudi metalurgija ni več panoga, ki bi še vnaprej živela in se razvijala le na sadovih tradicije!

Literatura

1. M. A. Bogod: 10th EOQC Conference — Stockholm, 6. do 9. junij 1966.
2. J. van Ettinger, J. Sittig: Quality 1965, No 2, str. 31—34
3. J. van Ettinger, J. Sittig: More through quality, International quality centre, Rotterdam 1965
4. J. Rodič: Zelezarski zbornik, 1967, I., št. 2., str. 137—154
5. B. Rode: Zelezarski zbornik, 1967, I., št. 3., str. 189—203
6. B. Rode; J. Rodič: Zelezarski zbornik, 1968, II., št. 1, str.

ZUSAMMENFASSUNG

Für die Auswahl eines wirkungsvollen Kontrollsystems mit richtigen Qualitätskriterien ist eine organisierte Verbindung zwischen dem Produzenten und dem Verbraucher dringend notwendig. Die Qualitätskontrolle muss man den Verlangen des Käufers anpassen, die Entwicklung aber nach seinem Bedarf richten.

Der Erzeuger muss dem Käufer die richtige Qualität der Erzeugnisse, die seinen Forderungen gerecht ist und ihm nicht mehr bietet, als er benötigt, garantieren. Das bedeutet, dass der Erzeuger mit entsprechenden Massnahmen die schlechte Qualität verhindern muss, wenn er aber will, dass diese Qualität wirtschaftlich sein soll, darf sie nicht besser bzw. teurer sein, es unbedingt notwendig ist.

Das Ineinklangbringen der Qualität mit den Forderungen, die Zusicherung des Qualitätsniveaus und die Verbesserung der Gleichmässigkeit ist immer an die Lösung der technologischen Probleme gebunden. Für erfolgreiches Durchführen dieser Aufgaben ist ein System und eine solche Methodik der Forschungs-Entwicklungsarbeit notwendig, damit der Weg zur Lösung je kürzer und die Spesen je kleiner sind. Die dringend notwendige Hilfe bei solcher Arbeit bieten moderne Methoden der mathematischen Statistik, geplante Forschung und Verwendung von elektronischen Rechenmaschinen. Die Vorbedingung zur Nutzung dieser Hilfe ist aber eine geordnete Dokumentation und Technologie.

Die Kontrolle der modernen Erzeugung ist ein Bestandteil im Projekt des technologischen Vorganges und wird zur aktiven technologischen Phase, die die Erzeugung lenkt.

So wie die rückkehrenden Informationen, die seitens der Erforschung und Analyse der Marktlage besorgt

werden, die Grundlagen für die Leitung der Qualitätskontrolle bilden, so ordnet die aktive mit ihren rückkehrenden Informationen die einzelnen Phasen des technologischen Vorganges und ermöglicht mit entsprechender Bearbeitung der Daten Verbesserungen im ganzen Projekt der Erzeugung. Das sind die Prinzipie der Einführung der **integralen Qualitätskontrolle**, die auch die Erzeugung anleitet und nicht nur kontrolliert.

Die Einführung der integralen Qualitätskontrolle und leistungsstarke Ausnützung der rückgekehrten Informationen mit Verbindung des Erzeugers und des Käufers mittels einer guten Verkaufsorganisation und Analyse der Marktlage fordert vor allem eine funktionelle und einwandfreie Organisation.

Im heutigen modernen Unternehmen ist nicht übertrieben die Behauptung, dass die Qualität der Erzeugnisse mehr das Bild der Organisation als der technischen Fähigkeiten des Unternehmens ist.

Der Autor beschreibt kurz die Charakteristiken der organisatorischen Verbindung zwischen dem Erzeuger und dem Käufer. Es sind die Grundprinzipie der Systeme der klassischen und modernen Kontrolle mit der Einführung der Rückinformationen aufgezeigt.

Das Grundprinzip des Planes zur Lösung der technologischen Problematik, welches der Verwendung der Methoden mathematischer Statistik angepasst ist, ist schematisch gegeben. Im Prinzip unterscheidet sich der Entwicklungsplan der neuen Technologie oder der Erzeugung neuer Artikel recht wenig von dem Beschriebenen.

Die einzelnen Methoden der mathematischen Statistik, die dabei Verwendung finden, sind nur erwähnt.

SUMMARY

For picking up the effective control system with right criterions of control upon quality, organised connection between customer and producer is needed urgently. Quality control should be adjusted to the customer's wishes while development should be directed upon these needs.

Producer should guarantee high quality to the customer, with which his wishes are satisfied and does not offer to the customer more than he needs. This means that producer prevents bad quality and if he wants quality to be economical it should not be better or more expensive than needed.

Agreement between quality and claims, keeping of quality level and improvement of uniformity is always connected with solving of technological questions. For successive solution of the jobs is needed system and such methods of research work to make the way to the solution as short as possible and expenses as low as possible. Urgent help within such kind of work is offered by modern statistics, planned research and usage of digital computers. Prerequisite for taking advantage of this help is organised documentation and worked out technology.

Control of modern production is part of project of technology and is becoming active technological phase which is controlling production.

So as feedback created by market research means base for quality control the active control with its feedbacks

controls the separate phases of technology and with suitable treatment of data enables improvement in whole project of production.

These are the principles of introduction of integral quality control which not only controls the production but also arranges it.

Introduction of integral control of quality and extensive use of feedbacks gained by good connections between manufacturer and customer through good sales service and market research department needs on the first place functional and perfect organisation.

In modern enterprise we do not exaggerate saying that quality of products reflects much more organisation of company than technical abilities of the company.

Author describes briefly the main points of organisational connections between manufacturer and customer. The basic principles of classical and modern control are described by introduction of feedbacks.

Schematically the basic plan of technological problem solving is given which is adjusted to the methods of modern statistics. In principle there is a small difference between plan of new technology development or production of new products and the described plan.

Some methods of statistics used to do the job are hardly mentioned.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для выбора эффективной системы контроля с правильными критериями качества необходима организованная связь между производителем и потребителем изделия. Контроль качества нужно приспособить требованиям покупателя а развитие вести в смысле его надобностей.

Производитель должен гарантировать покупателю настоящее качество изделия которое отвечает но не превосходит требования. Это значит, что производитель должен с определенными мерами воспрепятствовать производству плохого качества изделия; если же желает чтобы это качество было также экономическое то изделие не должно быть лучше т. е. дороже чем это необходимо. Согласование качества с требованием, гарантировка качественного уровня и улучшение равномерности всегда в связи с разработкой технологических проблем. Для успешного решения этих задач необходим определенный систем и такая методика работ исследования и развития при которой путь до решения чем короче а расходы чем ниже. Необходимую помощь при такой работе дают современные методы математической статистики, планирования исследования и применение электронных счетчиков.

Пользование этой помощи возможно под условием если организована документация а технологический процесс стабилизирован.

Контроль современного производства есть составная часть технологического процесса; он представляет активную технологическую фазу которая регулирует производство.

Подобно как обратная информации которая обеспечивают исследование и анализ рынка основа для организации контроля качества, активный контроль с своими обратными информацией налаживает отдельные фазы технологического процесса и с определенной обработкой данных дает возможность улучшения производства в целости.

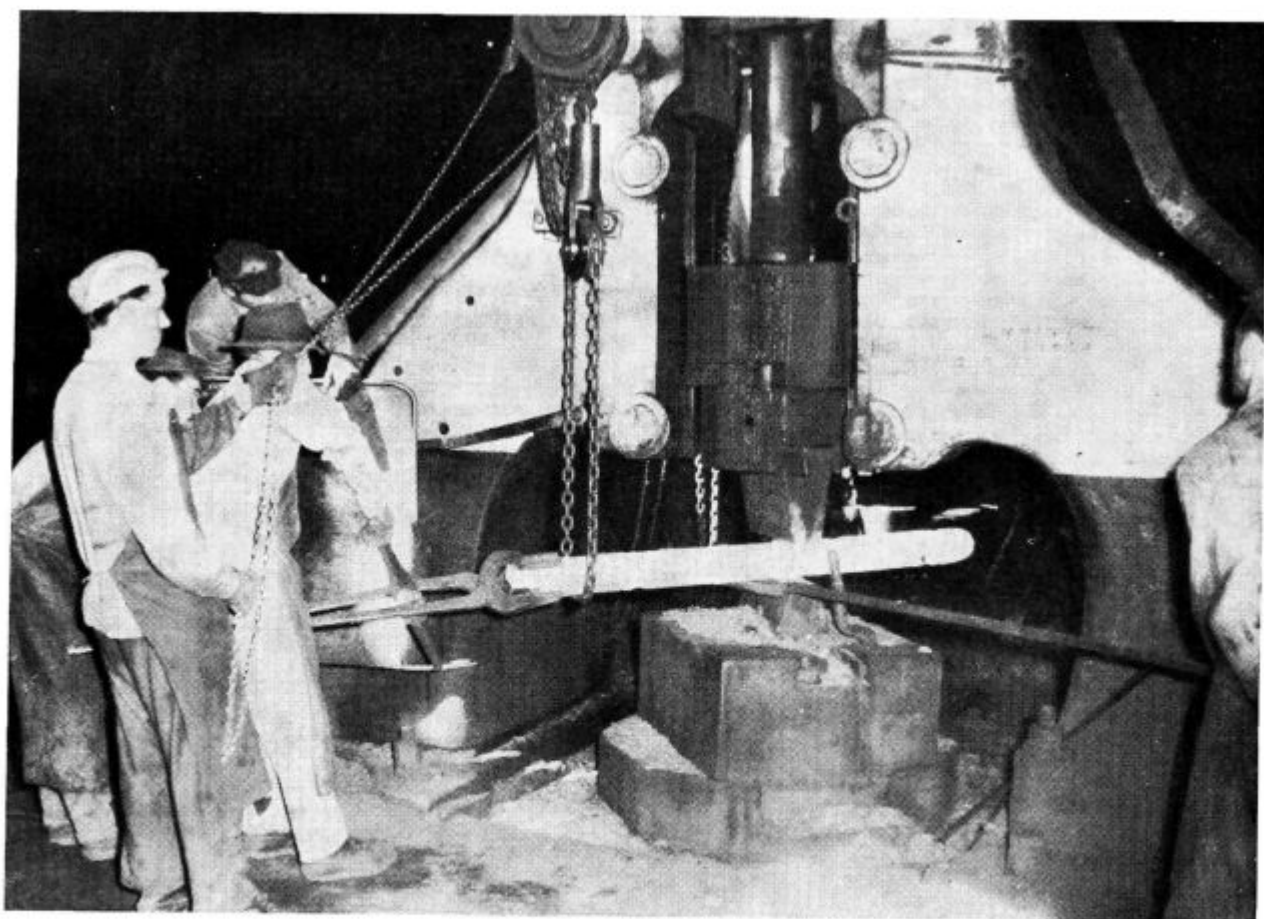
Это принцип введения интегрального контроля качества который также налаживает а не только контролирует производство.

Введение интегрального контроля качества и эффективное пользование обратных информации в связи с производителем и покупателем посредством продажного отделения и анализа рынка, требует в особенности функциональную и надёжную организацию.

В современном современном промышленном предприятии можно сказать, что представление о состоянии организации даёт качество изделия а не техническая способность предприятия.

Автор сокращённо описывает характеристики организационной зависимости между производителем и покупателем. Описывает основные принципы система классического и современного контроля который приспособлен применению методов математической статистики. В принципе план развития новой технологии или производства новых изделий незначительно отстает от описаного.

Kovanje brzoreznega jekla v Zelezarni Ravne



Brzorezna jekla

III. del: VPLIV VELIKOSTI KARBIDOV NA MEHANSKE IN TEHNOLOŠKE LASTNOSTI BRZOREZNEGA JEKLA 6-5-2 (BRM-2)

Tretji del članka o brzoreznih jeklih obravnava vpliv velikosti karbidov na mehanske in tehnološke lastnosti brzoreznega jekla 6-5-2 (BRM-2).

Avtorja sta v raziskavi uporabila veliko število vzorcev z različno velikostjo karbidov iz jekla iste šarže in enake dimenzije. S tem materialom sta sistematsko preizkušala vpliv velikosti karbidov na posamezne lastnosti. Sistem planiranja raziskave je omogočil statistično obdelavo rezultatov in testiranja pomembnosti zaključkov. S pomočjo analize variance in množične regresije je bilo mogoče pri obdelavi rezultatov praktičnega preizkušanja ugotoviti osnovne zakonitosti medsebojnih odvisnosti in vplivov. Te odvisnosti so za posamezne lastnosti prikazane s številnimi diagrami in nomogrami.

V uvodnih raziskavah so obdelane medsebojne odvisnosti velikosti karbidov in trdote v žarjenem in kaljenem stanju, velikosti in enakomernosti avstenitnega zrna ter zrnatosti preloma v kaljenem stanju. Na osnovi teh rezultatov je bil izbran material za vzorce pri nadaljnjih preiskavah, tako da so se vsi poizkusi izvajali z enakovrednimi skupinami vzorcev z grobimi, srednjimi in finimi karbidi.

Najvažnejša je bila serija poizkusov za ugotovitev vpliva velikosti karbidov in toplotne obdelave na rezno obstojnost strgarskih nožev. Grobi karbidi posebno pri najugodnejši toplotni obdelavi močno zmanjšajo obstojnost nožev. Pri poizkusih je bilo posebej obravnavano več kriterijev obrabe nožev.

Z dodatnimi poizkusi sta avtorja obdelala vplive na trdoto jekla v žarjenem, kaljenem in popuščenem stanju, na popuščno obstojnost, na mehanske lastnosti pri vlečenju in na udarno žilavost.

Celotna raziskava je privedla do številnih praktično pomembnih zaključkov, ki so v članku podrobneje opisani.

Grobi karbidi slabo vplivajo na skoraj vse osnovne lastnosti brzoreznega jekla.

UVOD IN PREGLED LITERATURE

Pojav grobih karbidov v brzoreznem jeklu smo omenili že v prvem delu¹¹ članka. Grobe karbide najrazličnejših oblik lahko najdemo že v dobavljenem žarjenem stanju ali pa jih odkrijemo po toplotni obdelavi orodij. V prvem primeru so grobi karbidi posledica določenih pogojev pri vroči predelavi s kovanjem ali valjanjem, v drugem primeru pa so posledica nepravilnosti pri kaljenju.

Pojav grobih in oglatih karbidov v kaljenem brzoreznem jeklu je zaradi previsoke temperature ali predolgega časa razmeroma dobro poznan. Pogoje nastanka grobih karbidov pri vroči predelavi, ki so bili precej manj poznani, smo raziskali in opisali v drugem delu¹² članka.

V tem, tretjem delu bomo obravnavali vpliv velikosti ter oblike karbidov na mehanske in tehnološke lastnosti brzoreznih jekel ter na praktično uporabnost orodij.

To področje raziskav je v sicer zelo obširni literaturi o brzoreznih jeklih razmeroma slabo obdelano. Le malo je avtorjev, ki probleme velikosti in oblike karbidov sploh omenjajo in zelo redki med njimi so posledice grobih karbidov v brzoreznih jeklih podrobneje raziskovali.

V preteklem desetletju so pri ocenjevanju kakovosti brzoreznih jekel pripisovali zelo velik pomen karbidnim trakovom in mrežam v mikrostrukturi. To je vzpodbudilo mnoge raziskovalce k intenzivnemu raziskovanju problema in k iskanju posebnih postopkov, ki naj bi zagotovili čimbolj enakomerno in ugodno porazdelitev karbidnih izcej ali pa naj bi spremenili že obstoječe neugodne mrežaste mikrostrukture¹¹. Še danes večina meni, da je rešitev problema heterogenosti brzoreznih jekel in oblike karbidnih izcej v načinu in poteku strjevanja jekla. Raziskovali so cepljenje, vibracije, strjevanje v elektromagnetnem polju in podobne tehnike. Ekonomsko sprejemljive in tehnično uporabne, obenem pa učinkovite rešitve do danes ni. Karbidne izceje, odvisnost enakomernosti in porazdelitve od izdelave in litja jekla ter od stopnje predelave pri kovanju ali valjanju bomo podrobneje obravnavali v četrtem delu članka o brzoreznih jeklih. Zato se v naslednjem omejimo le na tisti del problemov o karbidnih izcejah, ki so v zvezi tudi z velikostjo karbidov.

Angleškimi raziskovalcem^{1, 2} je uspelo razviti poseben postopek toplotne obdelave, s katerim spremenijo evtektično strukturo litega brzoreznega jekla tako, da je ta v kovanem, valjanem ali vlečenem stanju popolnoma brez trakov in mrež. V mikrostrukturi so karbidi zelo enakomerno razporejeni, pač pa so precej bolj grobi od normalnih in največkrat so tudi oglatih oblik. Ta postopek posebej omenjamo, da ga bomo kritično ocenili v zvezi z ugotovitvami raziskav drugih avtorjev in naših raziskav, ki jih bomo v tem članku opisali. Avtorji^{1, 2} so svoj cilj dosegli z enakomerno razporeditvijo karbidov in odpravo evtektične mreže, vendar skoraj nič ne poročajo o posledicah grobih karbidov, ki so nastali pri tem postopku. Ne glede na te posledice postopek v praksi skoraj ni uporaben. Zahteva zelo visoko temperaturo (nad 1300°C za volframova in nad 1250°C za molibdenova jekla), razmeroma dolg čas in zelo ozko območje dopustnega temperaturnega nihanja. Pri večjih ingotih zaradi toplotno tehničnih težav in zaradi velikih nehomogenosti v bloku tega postopka z zahtevanimi omejitvami praktično sploh ni mogoče izvesti. Normalno uporabljane peči ne dosegajo teh temperatur z zahtevano natančnostjo. Zahtevani čas ogrevanja 0,5 — 4 ure na tako visoki temperaturi bi povzročil tolikšne težave z razogljčenjem in odgorkom, da bi bil postopek zaradi tega neizvedljiv.

Sovjetski raziskovalci^{3, 4, 6} potrjujejo, da ogrevanje jekla 18-0-1 pri 1300°C s časom 0,5 — 4 ure popolnoma odpravi evtektično mrežo. Posebej poudarjajo, da ni raziskan vpliv take toplotne obdelave na lastnosti brzoreznega jekla. Pri ogrevanju na visoki temperaturi nastajajo grobi in oglati karbidi, ki se pri jeklu 18-0-1 pojavijo že po 45 minutah na 1250°C⁴. Tudi po kovanju tako žarjenih ingotov z veliko stopnjo predelave do palic kv. 30 in kv. 10 mm so karbidi ostali grobi. Po kaljenju takega jekla so že pri 1260°C ugotovili nenormalno in zelo grobo zrno⁴.

Poleg visokotemperaturnega žarjenja, ki je skoraj enako angleškemu postopku, navaja sovjetska literatura⁴ za odpravljanje mrežaste razporeditve karbidov še večkratno žarjenje na 850 do 950°C. Ogrevanje na 1250—1300°C pri jeklu 18-0-1 priporočajo le za lita orodja debeline 40—100 mm. S tem delno ali popolnoma odpravijo evtektično mrežo in dobijo v mikrostrukturi grobe karbide. Menijo, da je v navedenem primeru postopek upravičen, češ da dober vpliv odprave evtektične mreže prevladuje slabe posledice grobih karbidov in grobega zrna.

To mnenje podpirajo s primerjavo nekaj rezultatov praktičnega preizkušanja obstojnosti pri vrtnanju z litimi svedri. Te so po litju žarili na 850 in 1300°C. Svedri, ki so bili žarjeni na 1300°C, so dosegli dvakrat večjo obstojnost od tistih, ki so bili žarjeni pri 850°C. Visokotemperaturno žarjenje litega brzoreznega jekla priporočajo tudi v primerih, ko je stopnja nadaljnje predelave

majhna. Pri predelavi z več kot petnajstkratnim zmanjšanjem preseka je potrebna taka toplotna obdelava, ki izboljša enakomernost razporeditve karbidov, a ne povzroča nastanka oglatih karbidov ter občutljivosti za naraščanje zrn. V takih primerih priporočajo trikratno žarjenje pri 850—950°C.

Nekateri poznavalci brzoreznih jekel takim priporočilom nasprotujejo s trditvijo, da žarjenje nad 820°C poslabša topnost karbidov pri avstenizaciji, kar je pri kaljenju nezaželeno.

A. Gühring⁵ je preizkušal svedre manjših dimenzij in pri svojih raziskavah ugotovil, da velikost in oblika (oglatost) karbidov vplivata na kalilne sposobnosti brzoreznega jekla 6-5-2 in 2-9-1. Posebno pomemben je vpliv velikosti karbidov na velikost zrna.

Elastičnost in žilavost sta odvisni od velikosti zrna, porazdelitve in oblike karbidov. Orodja iz brzoreznega jekla z grobimi in oglatimi karbidi so manj elastična in manj žilava od orodij s finimi krogličastimi in enakomerno porazdeljenimi karbidi. Grobozrnata orodja so bolj krhka in se prej lomijo.

Trdota v vročem stanju je odvisna od velikosti zrna in stopnje legiranosti osnovne mase. Posredno je torej odvisna tudi od velikosti in oblike karbidov.

Med posameznimi svedri so ugotovili obstojnosti pri vrtnanju celo v razmerju 1:10.

Gill⁷ je že leta 1936 ugotovil, da oglati in grobi karbidi povzročajo krhkost orodij in nižjo trdoto v vročem stanju.

Hargue, Hammond in Crouse⁸ so z rentgensko analizo karbidov ugotovili, da imajo oglati karbidi enako kristalno zgradbo in verjetno zelo podobno, če ne popolnoma isto sestavo kakor karbidi, ki imajo sferoidno obliko in so drobni.

V jeklu 18-0-1 je bil tip teh karbidov M₆C, v jeklu 6-5-2 pa M₆C in MC.

Pri naših raziskavah smo prišli do enakih ugotovitev⁹ za jeklo 6-5-2.

Iz opisanega pregleda literature vidimo, da se zaključki posameznih raziskav med seboj ujemajo ali pa se dopolnjujejo.

Objavljena dela kažejo, da so avtorji zaradi neznanih okoliščin preizkušali le po nekaj vzorcev in posameznih orodij pri določenih pogojih toplotne obdelave. Lastnosti brzoreznih jekel in obstojnost orodij z grobimi karbidi v mikrostrukturi niso predstavljale osnovnega cilja raziskav, zato tega problema pri raziskavah niso obdelale v celoti.

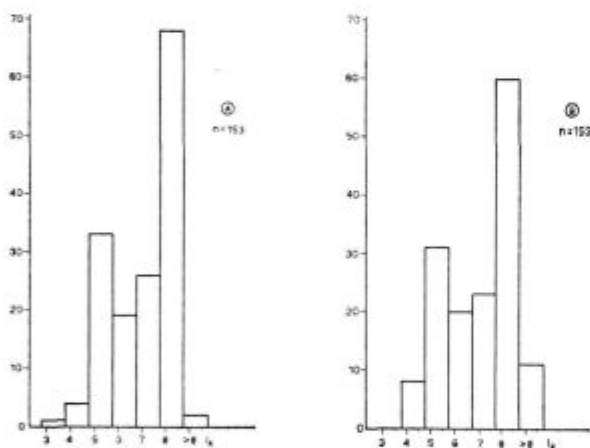
V železarni Ravne smo se želeli z lastnimi raziskavami prepričati o osnovnih trditvah objavljenih del, jih dopolniti in kvantitativno določiti medsebojne odvisnosti. Pomembnost in zanesljivost zaključkov smo preverjali z uporabo primernih metod matematične statistike. Pred leti smo si izdelali plan izvajanja obsežnega raziskovalnega programa na področju brzoreznih jekel, po katerem smo postopoma raziskali najzanimivejše lastnosti in medsebojne odvisnosti.

Posebna značilnost naših raziskav je ugotovitev širših zakonitosti, izraženih v matematično statistični obliki z veljavnostjo pri različnih pogojih in spremembah medsebojnih odnosov vplivnih faktorjev. V tem je bistvena razlika naših raziskav z onimi, ki so bile v literaturi že prej opisane. Omejnjeni avtorji so se v primerjalnih poizkusih prav pri toplotni obdelavi omejevali na izbrane in čim bolj konstantne pogoje, mi pa smo jih namenoma spreminjali, da bi ugotovili zakonite odvisnosti v čim širšem območju uporabnosti brzoreznih jekel.

UVODNE RAZISKAVE IN IZBIRA VZORCEV ZA SISTEMATIČNO PREIZKUSANJE MEHANSKIH IN TEHNOLOŠKIH LASTNOSTI

V skladu z ugotovitvami o pogojih nastanka grobih karbidov¹² v brzoreznem jeklu smo pripravili za raziskavo 153 palic dimenzije 15 mm Ø iz ene in iste šarže z različnimi velikostmi karbidov od $I_k = 3$ do $I_k > 8$. S tem smo lahko v vseh nadaljnjih raziskavah izključili vpliv šarže, kemijske sestave in dimenzije.

Analiza porazdelitve velikosti karbidov za teh 153 palic je prikazana s histogramoma na sliki 1.



Slika 1

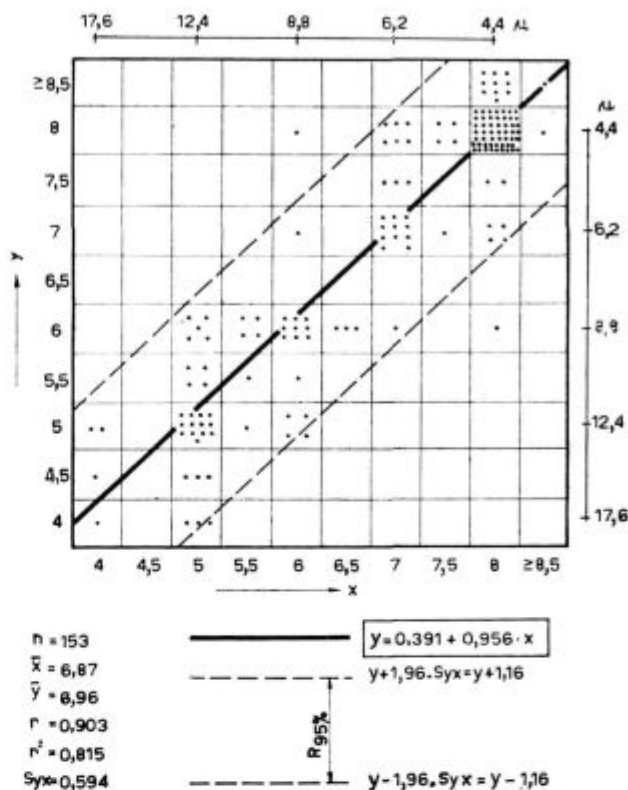
Porazdelitev velikosti karbidov v žarjenem (A) in v kaljenem (B) stanju

Probe iz teh palic smo toplotno obdelali in s statistično analizo regresije ugotavljali vpliv velikosti karbidov na osnovne lastnosti jekla. Rezultati so prikazani na slikah 2 do 9. Poleg regresijskih premic so na slikah vrisana območja razsipanja za 95 odstotno statistično gotovost.

Zaključki uvodnih korelacijskih analiz so bili sledeči:

— Med velikostjo karbidov v žarjenem stanju in velikostjo karbidov v kaljenem stanju je zelo ozka statistična odvisnost (slika 2). Koeficient de-

- X — index velikosti karbidov v žarjenem stanju
- Y — index velikosti karbidov v kaljenem stanju
- AL — Odgovarjajoči premer karbidov

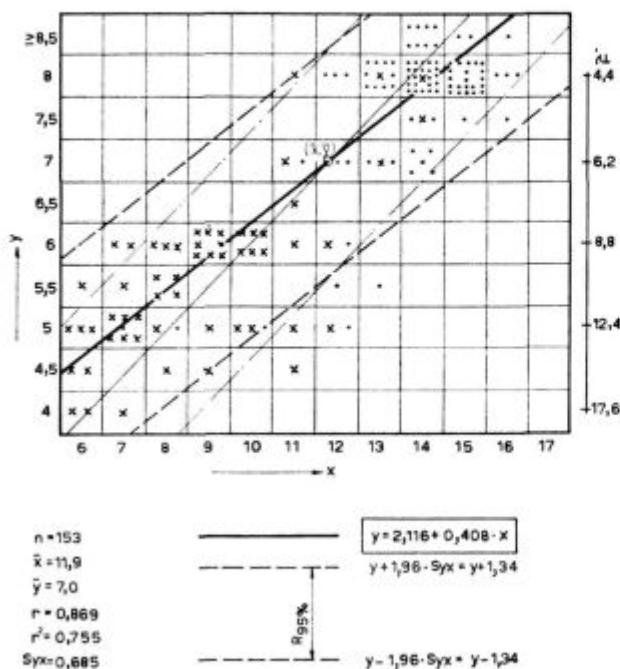


Slika 2

Regresija velikosti karbidov v žarjenem in kaljenem stanju

terminacije $r^2 = 0,815$ pomeni, da je 81,5 % vseh ugotovljenih variacij velikosti karbidov v kaljenem stanju odvisnih od variacij velikosti karbidov v žarjenem stanju. Le 18,5 % variacij velikosti karbidov v kaljenem stanju je odvisnih od drugih vplivov. Dobro je poznan pojav, da pri pregretju brzoreznih jekel med kaljenjem na visoki temperaturi ali ob dolgem potopnem času nastajajo grobi karbidi oglatih oblik. Prav ta analiza regresije potrjuje, da v tem primeru ne gre za pojav grobih karbidov pri kaljenju, ampak pri vroči predelavi. Karbidi v žarjenem stanju ostanejo po kaljenju praktično nespremenjeni, le najbolj grobi kažejo povprečno nekoliko zmanjšanje. Na primer indeksu velikosti karbidov 4 v žarjenem stanju ustreza povprečni indeks 4,25 v kaljenem stanju. Fini karbidi z indeksom 8 v žarjenem stanju so ostali praktično enaki tudi v kaljenem stanju. Grobi karbidi so bili torej prisotni v jeklu že pred kaljenjem. Velikost teh grobih karbidov je tolikšna, da skoraj popolnoma izključuje možnost, da bi nastali pri žarjenju, ker je neverjetno, da bi karbidi s srednjim premerom do 20 mikronov mogli nastati s pomočjo difuzijske koagulacije na razmeroma nizki temperaturi žarjenja 790 — 820° C.

- X — velikost zrna SG po Snyder-Graff-u
- Y — index velikosti karbidov v kaljenem stanju
- — enakomerno zrno
- x — neenakomerno zrno
- (μ) — odgovarjajoči premer karbidov



Slika 3

Korelacija velikosti avstenitnega zrna in velikosti karbidov v kaljenem stanju

— Slika 3 prikazuje zelo zanimivo medsebojno odvisnost velikosti karbidov in velikosti avstenitnega zrna v kaljenem stanju. Na sliki sta prikazani dve regresijski premici:

$$y = 2,116 - 0,408 \cdot x \quad \left(\text{—————} \right)$$

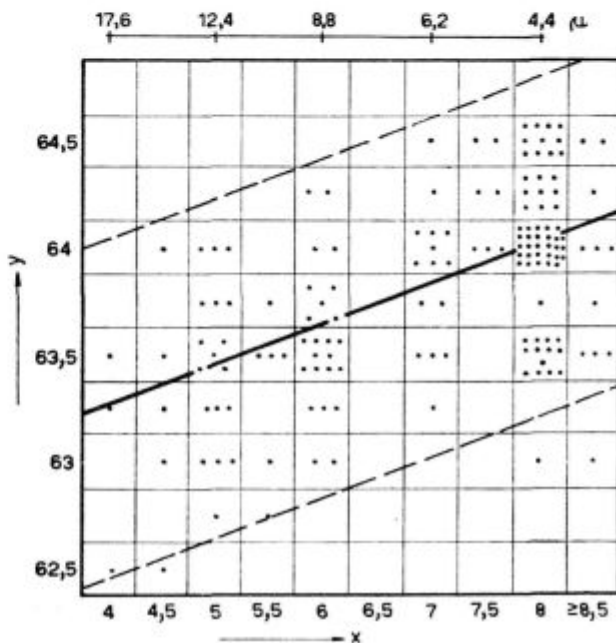
$$x = 1,9 \cdot y - 1,36 \quad \left(\text{—————} \right)$$

Prva velja v primeru, če je velikost avstenitnega zrna (x) neodvisna spremenljivka, velikost karbidov (y) pa odvisna. V skladu z metalurško tehnološkimi osnovami je bolj zanimiva druga regresijska odvisnost, pri kateri je velikost karbidov vzrok, velikost avstenitnega zrna pa posledica, saj vemo, da karbidi preprečujejo rast zrna.

Premici tvorita med seboj zelo majhen kot, kar je znak pomembne korelacijske odvisnosti. To ugotovitev kvantitativno potrjuje visoka vrednost koeficienta korelacije $r = 0,869$, pri čemer je 75,5 % ($r^2 = 0,755$) variacij pojasnjenih z ugotovljeno regresijo. Iz diagrama se jasno vidi, da je zrno fino, če so karbidi fini in to zelo lahko teoretično razložimo: pri enaki količini neraztopljenih karbidov bodo fini karbidi bolj učinkovito preprečevali rast zrna kakor grobi. Majhno število velikih karbidov slabše in zelo neenakomerno preprečuje rast zrna ter dopušča nastanek velikih zrn. V diagramu so tiste vrednosti indeksov velikosti zrna SG, pri katerih je velikost zrna enakomerna, označene s pikami, kolikor pa je zrno neenakomerno, so vrednosti SG označene v diagramu s križci. Odvisnost

velikosti karbidov in velikosti zrna vidimo že na prvi pogled. Obenem vidimo iz diagrama, da je pri finih karbidih zrno enakomerno, pri grobih karbidih pa vedno neenakomerno. To ugotovitev je potrdila tudi statistična analiza medsebojne zveze dveh spremenljivk po standardni metodi¹³ Pearsonovega kriterija χ^2 na nivoju 99 odstotne statistične gotovosti.

- X — index velikosti karbidov v kaljenem stanju
- Y — trdota R_c v kaljenem stanju
- (μ) — odgovarjajoči premer karbidov



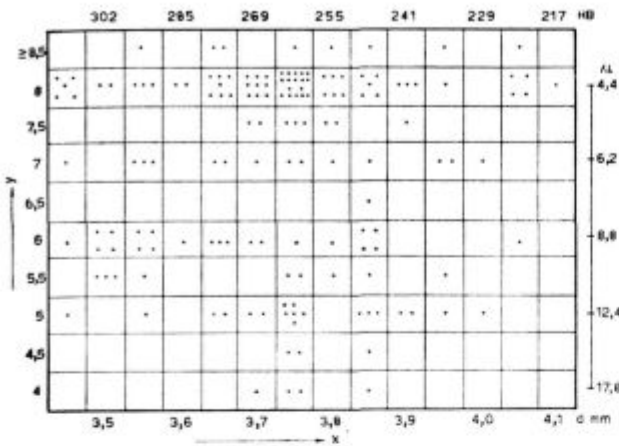
Slika 4

Regresija velikosti karbidov in trdote v kaljenem stanju

— Slika 4 kaže vpliv velikosti karbidov na trdoto v kaljenem stanju. Pri grobih karbidih je trdota nekoliko nižja kot pri finih karbidih. Ta vpliv je sicer jasno viden, ni pa posebno izrazit. Povprečna razlika znaša 0,5 HRC. Nižjo trdoto pri grobih karbidih bi lahko pripisovali manjši raztopnosti grobih karbidov v avstenitu.

Tak avstenit je manj legiran, obenem ima nižjo kritično temperaturo pregretja pri kaljenju, kar ima za posledico povečanje vsebnosti zaostalega avstenita. Razumljivo je tudi, da se izraža vpliv pomanjkanja večjega števila finih sekundarnih karbidov, ki normalno preprečujejo rast zrna in pregretje.

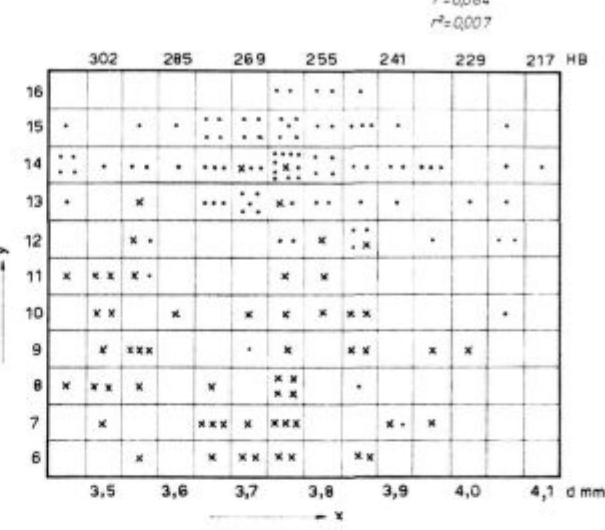
$n=153$
 $r^2=0,034$
 $r^2=0,001$
 $\bar{x}=3,74\text{mm}$
 $\bar{y}=6,94$



Slika 5

Korelacija trdote v žarjenem stanju in velikosti karbidov v kaljenem stanju

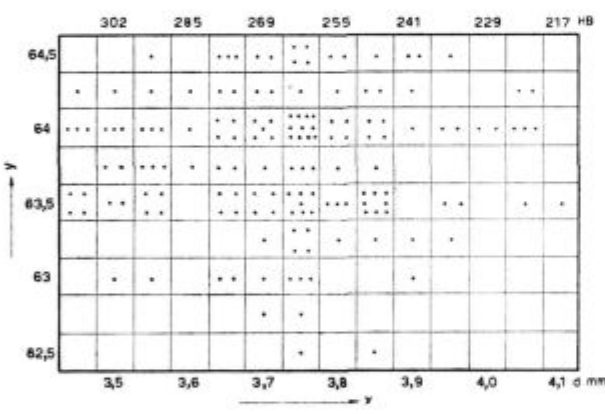
$n=152$
 $\bar{x}=3,74\text{mm}$
 $\bar{y}=11,9\text{ SG}$
 $r=0,084$
 $r^2=0,007$



Slika 7

Korelacija trdote v žarjenem stanju in velikosti avstenitnega zrna

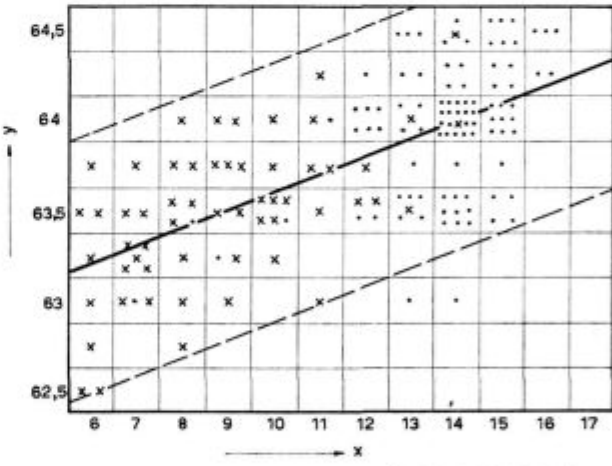
$n=153$
 $\bar{x}=3,74\text{ mm}$
 $\bar{y}=63,8\text{ Rc}$
 $r=0,020$
 $r^2=0,0004$



Slika 6

Korelacija trdote v žarjenem in kaljenem stanju

$n=152$
 $\bar{x}=11,9\text{ SG}$
 $\bar{y}=63,8\text{ Rc}$
 $r=0,628$
 $r^2=0,395$
 $S_{yx}=0,363$



Slika 8

$y = 62,595 + 0,099 \cdot x$
 $y + 1,96 \cdot S_{yx} = y + 0,71$
 $y - 1,96 \cdot S_{yx} = y - 0,71$

Regresija velikosti avstenitnega zrna in trdote v kaljenem stanju

— Slike 5, 6 in 7 prikazujejo statistično nepomembne korelacije. Prav ta nepomembnost je do neke mere zanimiva, ker ugotavljamo:

— da trdota v žarjenem stanju ni odvisna od velikosti karbidov,

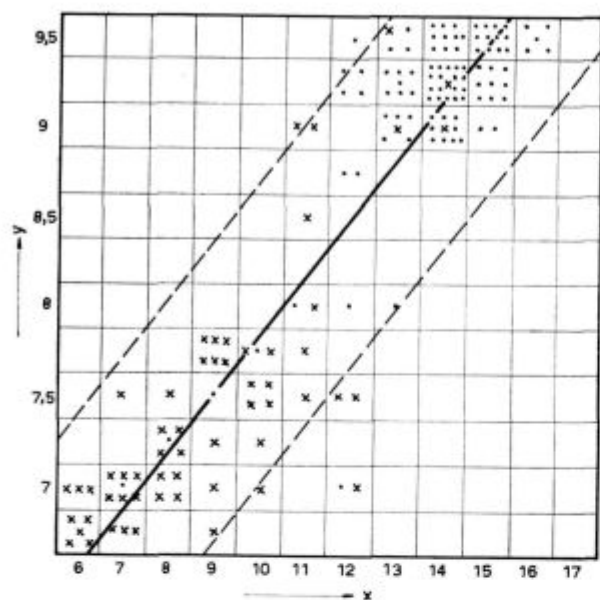
— da trdota v žarjenem stanju ne vpliva na trdoto v kaljenem stanju,

— da trdota v žarjenem stanju ni v zvezi z velikostjo avstenitnega zrna. To velja seveda le za obravnavane pogoje preizkušanja, ne pa kot splošen zaključek.

— Regresija na sliki 8 kaže, da je trdota pri finem avstenitnem zrnu nekoliko višja od trdote pri

grobem zrnu. Ta ugotovitev je na osnovi teorije razumljiva, obenem pa potrjuje ugotovitve korelacij na slikah 3 in 4.

- X — velikost zrna SG po Snyder-Graff-u
- Y — ocena preloma F po Shepherd-u
- — enakomerno zrno
- x — neenakomerno zrno



$n = 153$
 $\bar{x} = 11,9$ SG
 $\bar{y} = 8,5$ F
 $r = 0,909$
 $r^2 = 0,826$
 $S_{yx} = 0,428$

$y = 4,742 + 0,316 \cdot x$
 $y + 1,96 \cdot S_{yx} = y + 0,84$
 $y - 1,96 \cdot S_{yx} = y - 0,84$

Slika 9

Regresija velikosti avstenitnega zrna in zrnatosti preloma

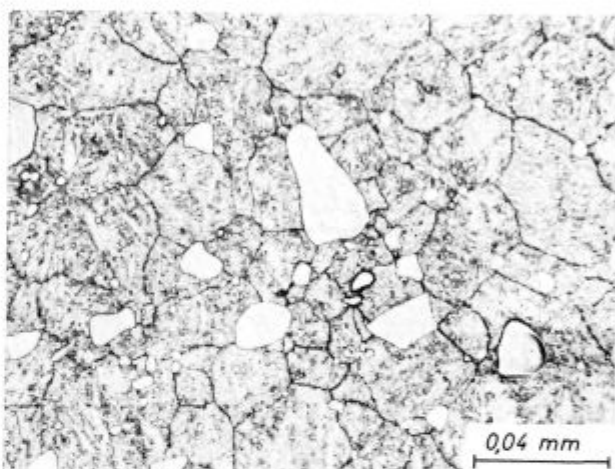
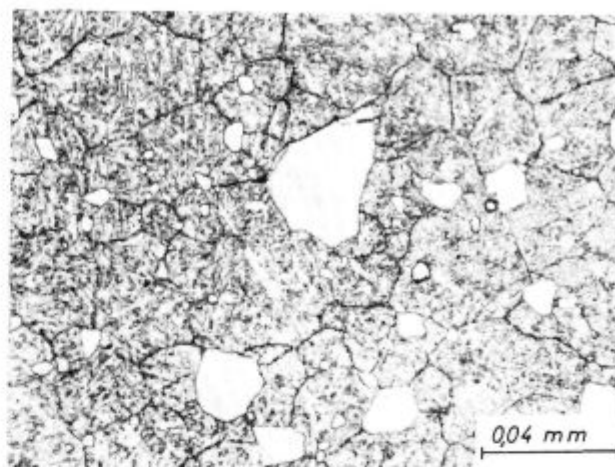
— Slika 9 le opravičuje uporabo ocenjevanja zrnatosti preloma po Shepherdovi metodi kot informativno oceno za velikost zrna v kaljenem stanju. Ti odnosi so sicer že poznani in smo jih le preverjali.

Na osnovi rezultatov v opisanih uvodnih raziskavah smo planirali nadaljnje tehnološke in fizikalne preizkuse in izbrali potreben material po skupinah grobih, srednjih in finih karbidov. Pri tvorbi posameznih skupin smo upoštevali vzorce s sledečimi indeksi velikosti karbidov:

- grobi $I_k = 4 - 5$
- srednji $I_k = 6 - 7$
- fini $I_k \geq 8$

VPLIV VELIKOSTI KARBIDOV NA REZNO OBSTOJNOST STRUGARSKIH NOŽEV

Za orodja iz brzoreznega jekla je prav gotovo najvažnejša sposobnost rezanja. Zato smo večjo serijo poizkusov namenili ugotavljanju vpliva velikosti karbidov, temperature kaljenja in trdote po popuščanju na obstojnost strugarskih nožev pri



Slika 10
a in b

Mikrostrukture nožev z grobimi karbidi

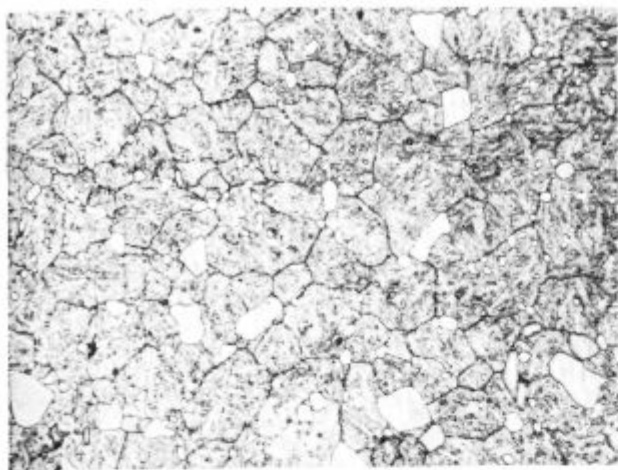
rezanju. Šlo je za primerjalno preizkušanje in ne za rezultate rezne obstojnosti splošnega značaja. Zato so bili nekateri pogoji preizkušanja stalni, čeprav ne optimalni.

Nože smo izbrali tako, da so imeli:

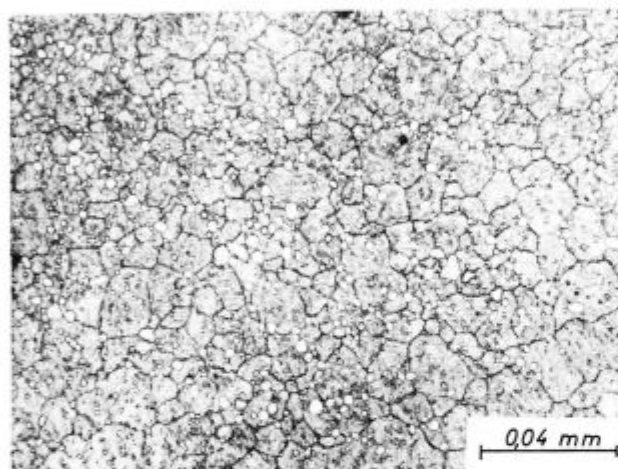
- grobe karbide $I_k = 4 - 4,5$ (glej sliki 10 a in b),
- srednje karbide $I_k = 6$ (glej sliko 11),
- fine karbide $I_k \geq 8$ (glej sliko 12).

Prikazane mikrostrukture na slikah 10 — 12 pri enaki povečavi podajajo le ilustracijo posameznih mest z največjimi karbidi za posamezne klasifikacijske skupine preizkušanih nožev.

Iz vsake izbrane palice smo izdelali po 12 strugarskih nožev, od teh pa smo po 4 enako toplotno obdelali s treh različnih temperatur kaljenja 1180°, 1210° in 1240° C z enakim popuščanjem 560° C dvakrat po eno uro. S tem je bilo obseženo celotno območje normalno uporabnih temperatur kalje-



Slika 11
Mikrostruktura nožev s srednjimi karbidi



Slika 12
Mikrostruktura nožev s finimi karbidi

nja za jeklo tipa 6-5-2 (BRM-2). Z vsakim nožem smo struženje izvedli pri različnih hitrostih rezanja z več ponovitvami.

Preizkuse smo izvajali po metodi Stahl — Eisen Prüfblatt 1161-52 z manjšimi spremembami.

Osnovni pogoji preizkušanja so bili naslednji:

$$\alpha = 8^\circ, \gamma = 15^\circ, \lambda = 0^\circ$$

(Kot $\lambda = 0^\circ$ ni najugodnejši, vendar smo ga izbrali zaradi materialnega prihranka nožev, kar je šlo v prid večkratnemu ponavljanju posameznih poizkusov.)

$$\chi = 60^\circ$$

$$a = 2 \text{ mm}$$

$$S = 0,5 \text{ mm/obrat}$$

Material obdelovanca: Č.4736 v poboljšanjem stanju.

Struženje smo izvajali brez hlajenja.

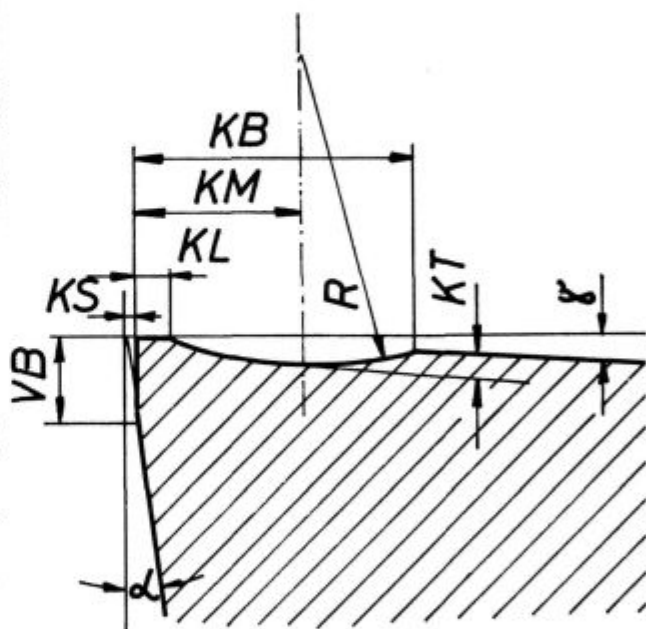
Kot vplivne faktorje smo pri analizi regresije upoštevali:

- velikost karbidov I_k v območju 4—8,
- temperaturo kaljenja T_{kalj} °C v območju 1180—1240° C,
- trdoto nožev HRC v območju 63,5—65,5 HRC,
- hitrost rezanja v v območju 19—26 m/min,
- trdnost obdelovanca σ_m v območju 85—97 kp/mm².

Imeli smo tudi ocene velikosti avstenitnega zrna za posamezne nože, vendar teh podatkov nismo mogli upoštevati kot neodvisno spremenljivko, ker je velikost avstenitnega zrna odvisna od temperature kaljenja in velikosti karbidov ter s tem že posredno upoštevana v regresijski odvisnosti.

V statistični analizi regresije smo z izračunom na elektronskem računalniku ZUSE Z-23 ugotovljali vpliv navedenih faktorjev na:

- obstojnost nožev (T),
- obrabo nožev, ki smo jo določali z meritvami širine obrabe na prosti ploskvi (VB mm), širine izjede na cepilni ploskvi (KB mm), oddaljenosti izjede od roba (KL mm) in globine izjede na cepilni ploskvi (KT mm) po skici na sliki 13.



Slika 13
Skica meritev obrabe strugarških nožev

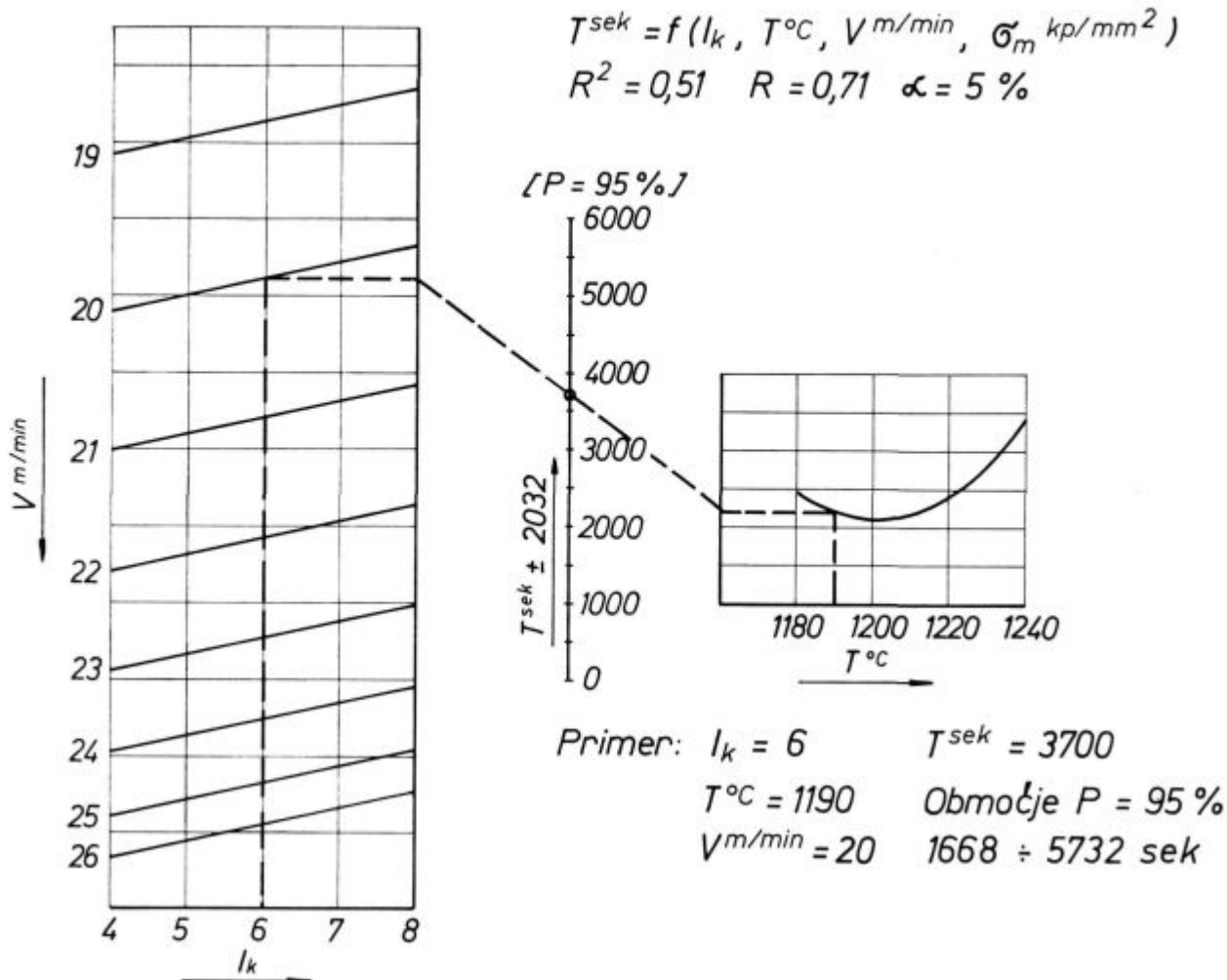
Pri meritvah smo ugotovili naslednja območja, ki veljajo tudi kot omejitve veljavnosti rezultatov:

$$T = 100 - 5400 \text{ sek.}; \quad VB = 0,2 - 0,9 \text{ mm};$$

$$KB = 1,85 - 3,05 \text{ mm}; \quad KL = 0,2 - 0,5 \text{ mm};$$

$$KT = 0,05 - 0,35 \text{ mm}.$$

V statistični analizi smo upoštevali rezultate 266 poizkusov rezanja z vsemi omenjenimi meritvami. Pri analizah regresije smo vsako spremenljivko upoštevali s členi do četrte stopnje.



Slika 14

Vpliv velikosti karbidov, temperature kaljenja, hitrosti rezanja in trdnosti obdelovanca na obstojnost strugarskih nožev

V prvi analizi smo ugotavljali zakonitost odvisnosti:

$$T^{sek} = f(I_k, T_{kalj}^{\circ C}, V^{m/min}, \sigma_{m\text{ kp/mm}^2})$$

$$T^{sek} = f(I_k, T_{kalj}^{\circ C}, V^{m/min}, \sigma_{m\text{ kp/mm}^2})$$

Ugotovljena odvisnost je prikazana z nomogramom na sliki 14. Pri danih pogojih in omejitvah preizkušanja je regresijska odvisnost statistično pomembna na nivoju $\alpha = 5\%$. To pomeni, da s 95-odstotno statistično gotovostjo lahko pričakujemo prikazano odvisnost. Koeficient korelacije R je razmeroma visok in koeficient determinacije $R^2 = 0,51$ pomeni, da 51 odstotkov variacij obstojnosti nožev T^{sek} pripisujemo vplivu analiziranih faktorjev, preostalih 49 odstotkov variacij pa povzročajo ostali neznani ali neupoštevani vplivi. Trdnost preizkušanca pri danih pogojih — torej v območju 85—97 kp/mm^2 — ni predstavljala pomembnega vpliva na obstojnost nožev. Iz nomograma jasno vidimo, kako omogočajo finejši karbidi povečanje obstojnosti ter kako vpliva na povečanje obstojnosti hitrost rezanja in tempera-

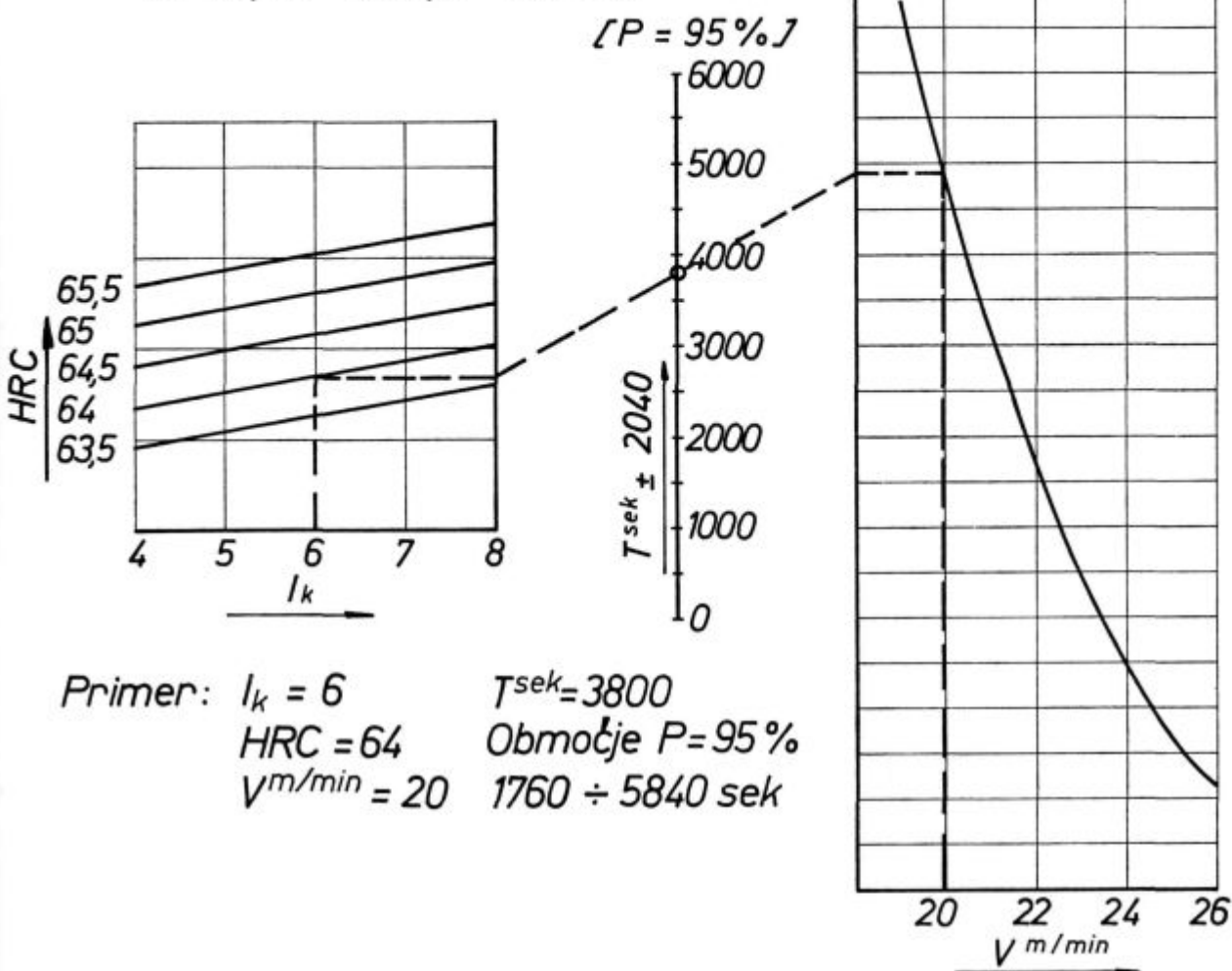
tura kaljenja. Če ostanejo drugi pogoji nespremenjeni, dobimo največjo obstojnost nožev pri zgornji meji uporabnega območja temperatur kaljenja. Pri kaljenju na $1200^{\circ C}$ je obstojnost nožev najmanjša. Ta ugotovitev nas spominja na podobne ugotovitve pri drugih analizah, ki jih bomo opisali kasneje in jih pri raziskavi nismo mogli docela prepričljivo pojasniti.

Opozoriti moramo, da prikazuje opisani nomogram le povprečno regresijsko odvisnost. Pri odčitnem rezultatu moramo upoštevati še napako, ki je določena z analizo statistične porazdelitve. Navedene so meje razsipanja za 95 odstotkov celotne populacije. Na nomogramu odčitani T^{sek} predstavlja pričakovano srednjo vrednost, posamezne vrednosti pa moramo s 95 odstotno statistično gotovostjo pričakovati v območju $T^{sek} \pm 2032$.

Podobna odvisnost je prikazana z nomogramom na sliki 15. Razlika je v tem, da je kot neodvisna spremenljivka oziroma kot vplivni faktor upoštevana trdota nožev HRC namesto temperature kaljenja.

$$T^{sek} = f(l_k, HRC, V^{m/min}, \sigma_m^{kp/mm^2})$$

$$R^2 = 0,50 \quad R = 0,71 \quad \alpha = 5\%$$



Slika 15

Vpliv velikosti karbidov, trdote nožev, hitrosti rezanja in trdnosti obdelovanca na obstojnost strgarskih nožev

Precej manjša je statistična pomembnost vpliva analiziranih faktorjev na pokazatelje obrabe VB (sl. 16), KB (sl. 17) in KT (sl. 18), medtem ko je regresija za KL statistično nepomembna. Iz analize bi lahko sklepali, da bi kot kriterij obrabe najlažje obvladali širino izjede KB, ker pri tem 28 odstotkov variacij lahko pojasnimo z vplivom analiziranih štirih faktorjev.

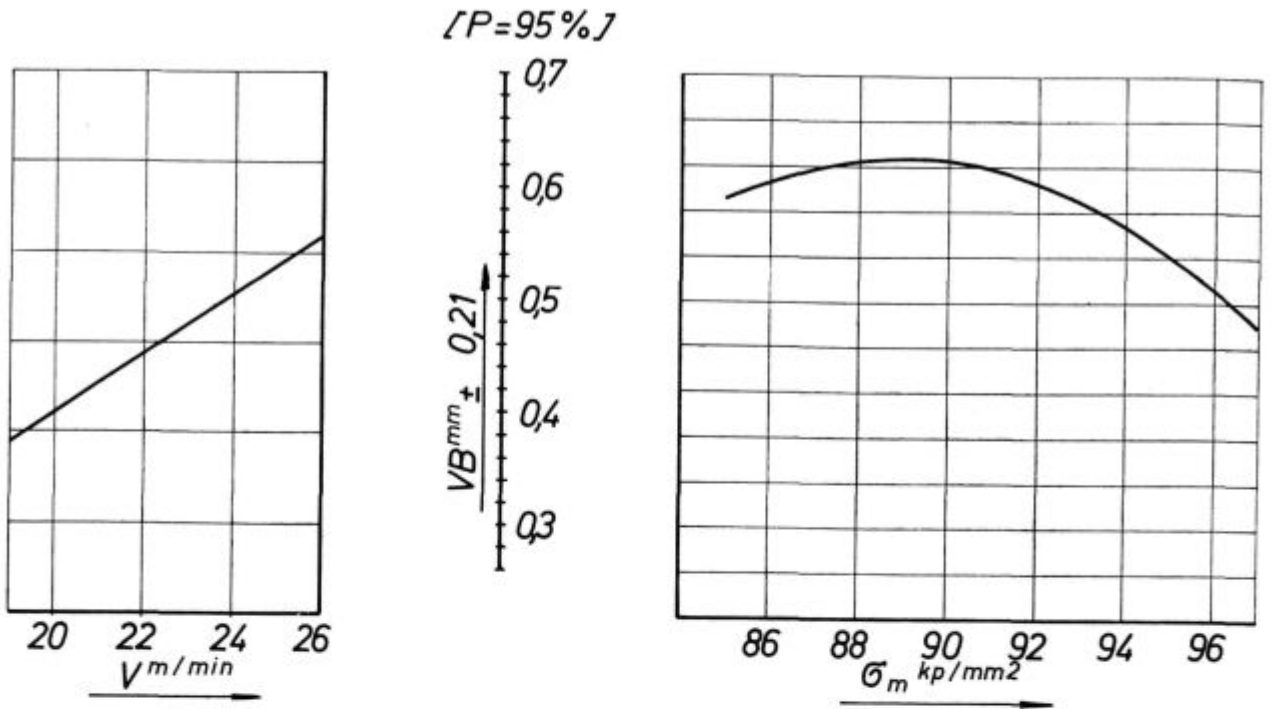
Z nomogrami na slikah 14—18 so prikazane povprečne medsebojne kombinacije v celotnem območju navedenih omejitev. Posebej moramo opozoriti, da rezultati največjih obstojnosti T niso povsem realni, ker smo zaradi omejene poti rezanja morali mnoge poizkuse po 90 minutah struženja prekiniti, čeprav bi noži vzdržali precej daljši čas rezanja. Ekstrapolacij se nismo mogli vedno poslužiti, zato smo večino rezultatov prekinjenih poizkusov pri izračunu množične regresije upoštevali s časom obstojnosti $T = 90$ minut. S tem so

ugotovljene odvisnosti nekoliko oškodovane, zaključki pa so še trdnejši, ker vsebujejo določeno pozitivno rezervo.

Zaradi zanimivosti si oglejmo neposredno primerjavo obstojnosti nožev z grobimi in finimi karbidi pri treh različnih temperaturah kaljenja in pri konstantni hitrosti rezanja 22 m/min. Na sliki 19 predstavlja vsak stolpec srednjo vrednost obstojnosti dvanajstih nožev pri opisanih pogojih preizkušanja. Poizkusi struženja so bili pri vseh nožih s finimi karbidi, ki so bili kaljeni s 1240°C, prekinjeni po 90 minutah, čeprav noži še niso bili dovolj obrabljeni in bi zdržali še daljši čas. Na osnovi preizkušanja pri večjih hitrostih rezanja smo v diagramu $T - v$ z ekstrapolacijo ocenili povprečno obstojnost nožev $T = 550$ minut pri hitrosti rezanja $v = 22$ m/min. Na sliki 19 so podane tudi srednje vrednosti trdot za posamezne skupine nožev.

$$VB^{mm} = f(l_k, HRC, V^{m/min}, \sigma_m^{kp/mm^2})$$

$$R^2 = 0,08 \quad R = 0,28 \quad \alpha = 5\%$$

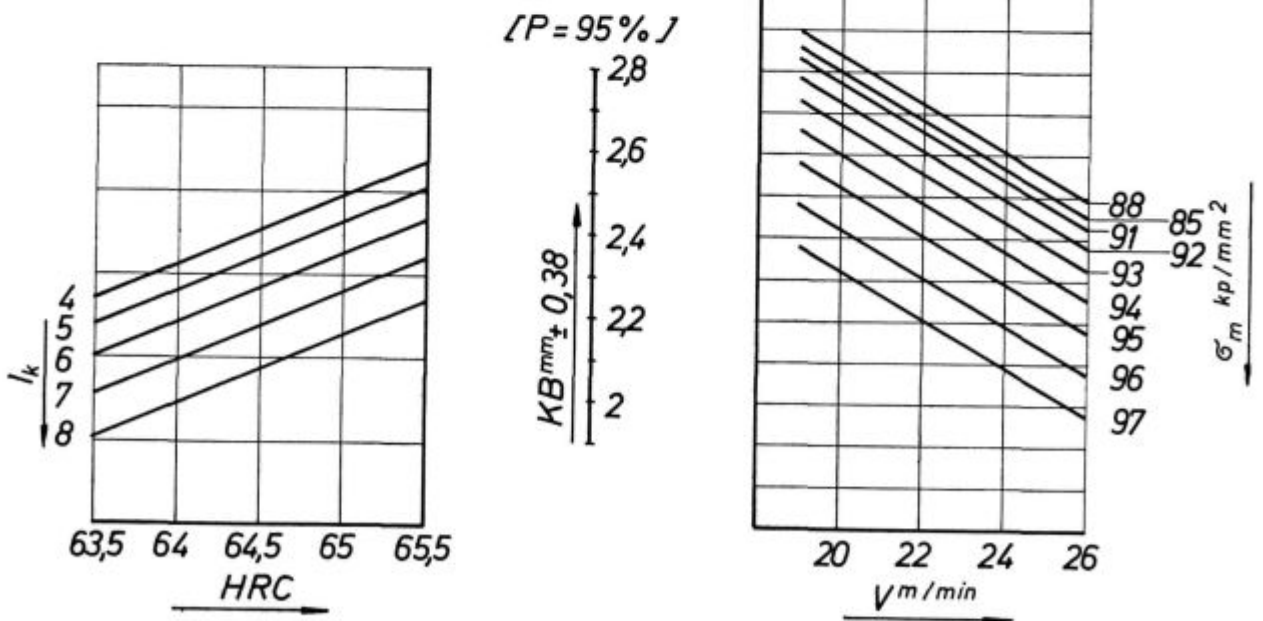


Slika 16

Vpliv velikosti karbidov, trdote nožev, hitrosti rezanja in trdnosti obdelovanca na širino obrabe na prosti ploskvi

$$KB^{mm} = f(l_k, HRC, V^{m/min}, \sigma_m^{kp/mm^2})$$

$$R^2 = 0,28 \quad R = 0,53 \quad \alpha = 5,1\%$$

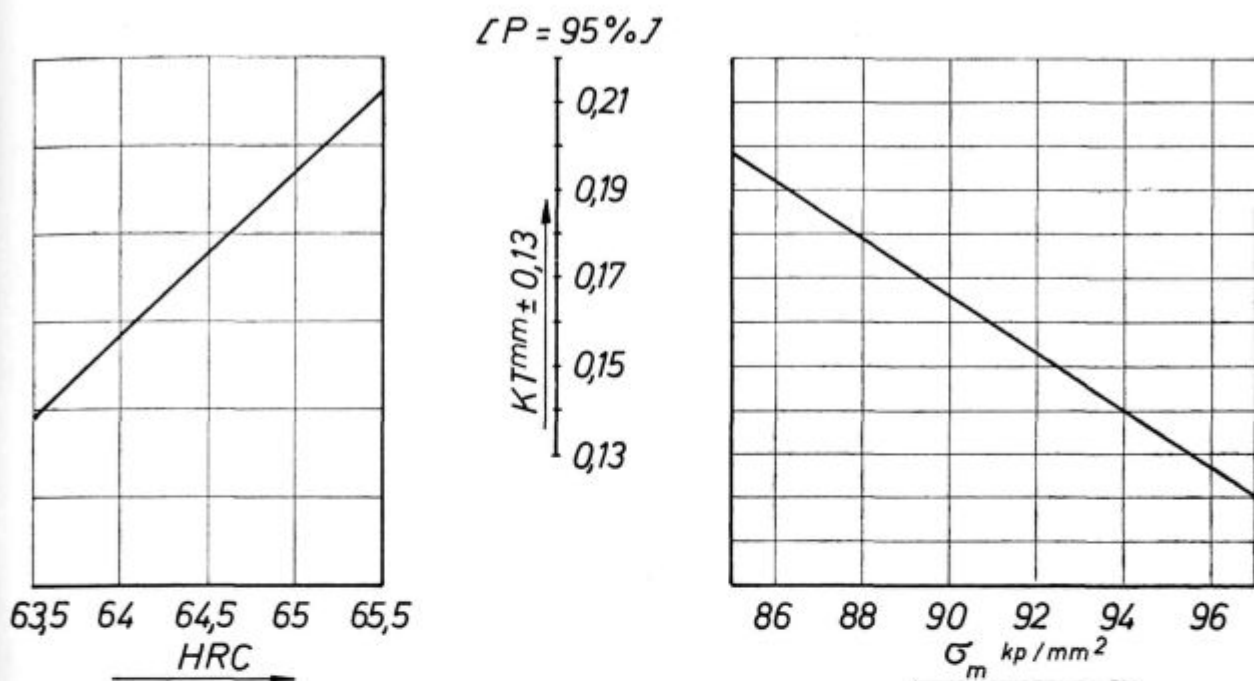


Slika 17

Vpliv velikosti karbidov, trdote nožev, hitrosti rezanja in trdnosti obdelovanca na širino izjede na cepilni ploskvi

$$KT^{mm} = f(l_k, HRC, V^{m/min} \quad \sigma_m \text{ kp/mm}^2)$$

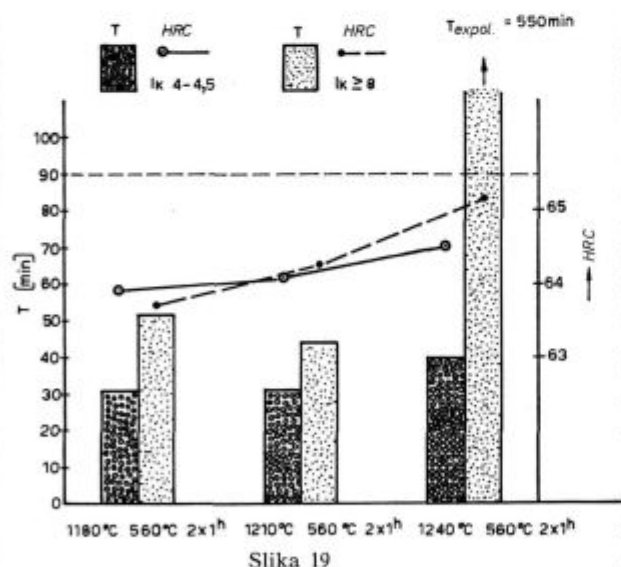
$$R^2 = 0,04 \quad R = 0,19 \quad \alpha = 5\%$$



Slika 18

Vpliv velikosti karbidov, trdote nožev, hitrosti rezanja in trdnosti obdelovanca na globino izjede na cepilni ploskvi

Č 4736 $\sigma_m = 92 \text{ kp/mm}^2$ $\alpha = 8^\circ$ $\beta = 15^\circ$ $\lambda = 0^\circ$ $\epsilon = 90^\circ$ $\alpha = 60^\circ$ $r = 1 \text{ mm}$
 $V = 22 \text{ m/min}$ $a = 2 \text{ mm}$ $s = 0,5 \text{ mm/vrt}$



Slika 19

Primerjava povprečnih obstojnosti nožev z grobimi in finimi karbidi, kaljenimi s treh različnih temperatur. Hitrost rezanja pri preizkušanju je znašala 22 m/min.

S temi primerjavami brez dvomov ugotavljamo, da so obstojnosti nožev z grobimi karbidi slabše od nožev s finimi karbidi. Zelo zanimiva je ugotovitev,

da pri nožih z grobimi karbidi toplotna obdelava ne vpliva na obstojnost v tolikšni meri kakor pri nožih s finimi karbidi. Noži s finimi karbidi imajo pri temperaturi kaljenja 1240°C približno desetkratno obstojnost v primerjavi z noži, kaljenimi z nižjih temperatur. Iz tega sledi, da moramo pri kaljenju strgarskih nožev izbirati temperature v bližini zgornje meje predpisanega območja. To priporočilo velja seveda le za strgarske nože. Pri orodjih, ki morajo biti žilava in posebno pri spiralnih svedrih so verjetno ti odnosi nekoliko drugačni zaradi posebnih pogojev rezanja. Praktične poizkuse spiralnih svedrov iz istega jekla in iz istih palic je prevzela Industrija alata Trebinje. Ti poizkusi še niso zaključeni, zato žal še ni mogoče podati primerjave spiralnih svedrov s strgarskimi noži.

Minimum rezne obstojnosti pri srednji temperaturi kaljenja ni pojasnjen, čeprav se je podoben vpliv pojavljal tudi pri preizkušanju drugih lastnosti.

Zaključek teh poizkusov rezne obstojnosti je v kratkem tak:

Grobi karbidi povzročajo v vseh primerih manjšo obstojnost strgarskih nožev, najbolj pa pride ta razlika do izraza pri optimalnih pogojih toplotne obdelave.

Zaradi tega važnega zaključka smo nadaljnji program raziskave razširili s preizkušanjem vpliva velikosti karbidov na osnovne mehanske lastnosti brzoreznega jekla.

VPLIV VELIKOSTI KARBIDOV NA TRDOTO OSNOVNE STRUKTURE V ŽARJENEM, KALJENEM IN POPUŠČENEM STANJU

Z merilcem trdote Zwick smo pri majhni obtežbi 1 kg merili trdoto osnovne strukture, tako da smo se pri merjenju izognili karbidnim zrnom. Pri večji seriji smo na vsakem vzorcu izvedli po 10 meritev v žarjenem stanju, v kaljenem in v popuščenem stanju. Srednje vrednosti trdot so zbrane v tabeli 1.

Tabela 1 — Srednje vrednosti trdot $HV_{1 kg}$ osnovne strukture

Vzorci	Stanje		
	Žarjeno	Kaljeno	Popuščeno
z grobimi karbidi	272	906	907
s srednjimi karbidi	275	852	911
s finimi karbidi	270	873	873

Razlike so statistično: nepo- nepo- nepo-
membne membne membne

Na osnovi rezultatov analize variance za posamezna stanja toplotne obdelave lahko trdimo, da je vpliv velikosti karbidov na trdoto osnovne strukture nepomemben. Ugotovljene razlike trdot pri posameznih stanjih toplotne obdelave so torej slučajne.

Zanimivo je, da smo v uvodnih analizah ugotovili, da je povprečna trdota HRC v kaljenem (slika 4) in v popuščenem (sl. 20) stanju pomembno odvisna od velikosti karbidov.

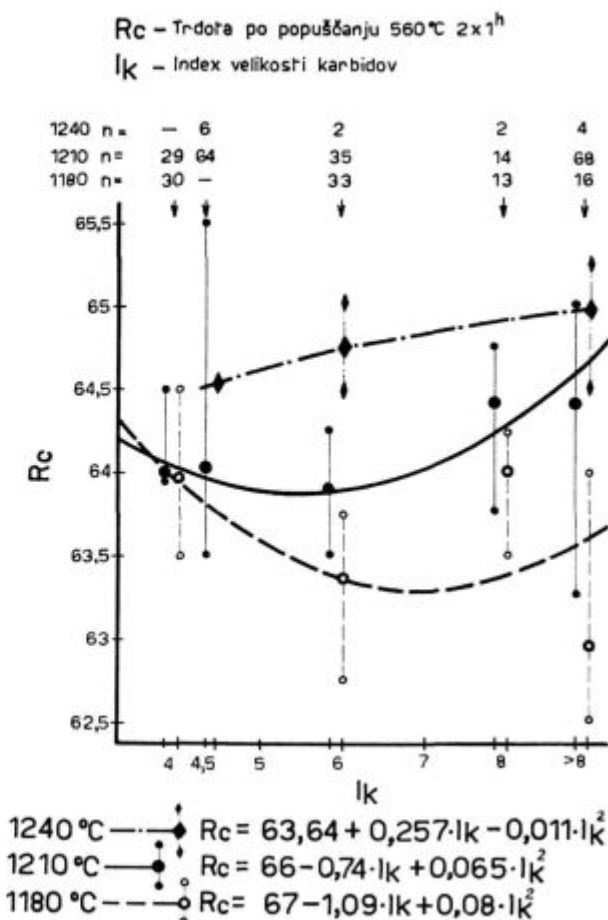
To pomeni, da z upoštevanjem obeh ugotovitev lahko razlike trdot pripisujemo predvsem različni velikosti karbidov in ne razlikam osnovnih struktur. Osnovna struktura se sicer pod vplivom karbidov spreminja, a ne v tolikšni meri, da bi statistično odločujoče vplivala na spremembe trdot.

Splošna prisotnost, topnost in razporeditev karbidov so neposredno odvisne od velikosti karbidov. Vse to pa pomembno vpliva na povprečno trdoto vzorcev.

VPLIV VELIKOSTI KARBIDOV NA LASTNOSTI BRZOREZNEGA JEKLA PRI POPUŠČANJU

Trdota v popuščenem stanju in popuščna obstojnost

Slika 20 prikazuje trdoto prob po dvakratnem popuščanju po eno uro na 560°C v odvisnosti od velikosti karbidov in temperature kaljenja. Na dia-

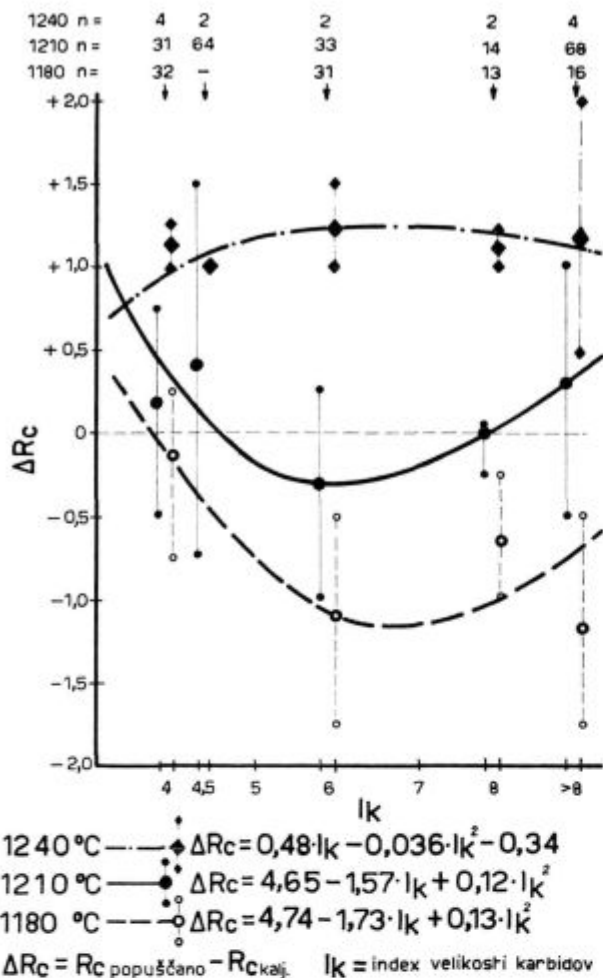


Slika 20
Vpliv velikosti karbidov na trdoto po popuščanju

gramu so podane srednje vrednosti, širine 95-odstotnega razsipanja in regresijske krivulje za posamezne temperature kaljenja. Navedeno je tudi število prob n.

Na enak način je na sliki 21 prikazana namesto trdote popuščna obstojnost, t. j. znižanje ali zvišanje trdote pri popuščanju.

Višja temperatura kaljenja daje v celotnem območju višje trdote v popuščenem stanju in večje popuščne obstojnosti, kar je popolnoma razumljivo. Krivulji za temperaturo kaljenja 1240°C se na obeh slikah razlikujeta od krivulj za temperaturi kaljenja 1180°C in 1210°C po svoji obliki in položaju. Primerjava kaže, da grobi karbidi zmanjšujejo vpliv temperature kaljenja na preiskovane lastnosti. To smo ugotovili tudi pri drugih raziskavah. Pri uvodnih raziskavah smo ugotovili linearno odvisnost med velikostjo karbidov in trdoto v kaljenem stanju (glej sliko 4). Vpliv velikosti karbidov v procesu popuščanja pa kaže parabolichen značaj z najnižjo vrednostjo pri srednji velikosti karbidov. Slika 21 kaže, da dobimo s toplotno obdelavo 1210°C olje + popuščanje 560°C 2×1 uro pri jeklu s srednjimi karbidi majhen padec trdote pri popuščanju, v primeru grobih in finih karbidov pa povečanje trdote pri popuščanju v odnosu na

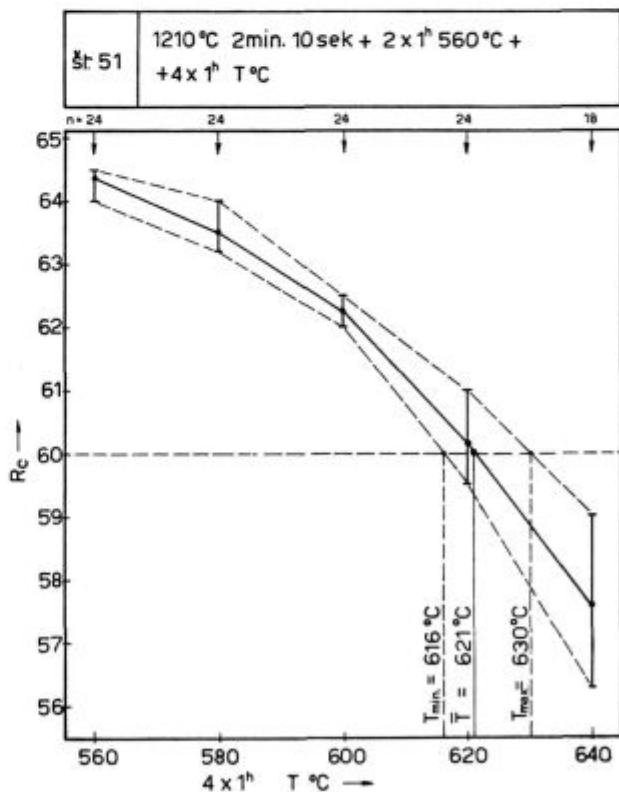


Slika 21

Vpliv velikosti karbidov na popuščno obstojnost

kaljeno stanje. Popuščna obstojnost je kot razlika trdote v popuščenem in trdote v kaljenem stanju neposredni pokazatelj tipičnega pojava sekundarne trdote brzoreznih jekel. Znano je, da na efekt sekundarne trdote pri brzoreznih jeklih vpliva premena zaostalega avstenita v martenzit in izločanje finih karbidov pri popuščanju. Najfinejši karbidi omogočajo raztapljanje velikih količin sekundarnih karbidov v toku avstenitizacije pri kaljenju. S tem se doseže večja legiranost avstenita in iz njega nastali martenzit se odlikuje z večjo popuščno obstojnostjo. Zaradi raztapljanja večje količine karbidov pri kaljenju se tudi pri popuščanju v intervalu sekundarne trdote izloča večja količina finih sekundarnih karbidov, kar povečuje trdoto. Kolikor so karbidi večji, toliko se težje raztapljajo. Posledica je manjša popuščna obstojnost martenzita in manjša možnost izločanja karbidov pri popuščanju. Efekt sekundarne trdote slabi s povečevanjem velikosti karbidov od finih do srednjih s povprečnim indeksom $I_k = 6$. Prisotnost neraztopljenih in enakomerno razporejenih karbidov v osnovni masi na temperaturi kaljenja

preprečuje prekomerno rast zrn in druge pojave pregretja jekla pri kaljenju. Vzorci z grobimi karbidi $I_k = 4$ imajo zelo majhno število karbidov, ki pa so zelo veliki in često neenakomerno razporejeni. Grobi karbidi se skoraj ne raztapljajo pri kaljenju in ostanejo nespremenjeni. Zaradi majhnega števila »ovir« za naraščanje zrn bo jeklo že pri normalni temperaturi kaljenja grobo zrnato in pregreto. V kaljeni strukturi je zelo velika količina zaostalega avstenita, ki s svojo premeno v martenzit pri popuščanju močno povečuje sekundarno trdoto. Po teh ugotovitvah bi lahko pričakovali, da je povečanje trdote in popuščne obstojnosti ob povečevanju karbidov od srednjih h grobim posledica močnega naraščanja količine zaostalega avstenita pri kaljenju in njegove premene v martenzit pri popuščanju. Pri temperaturi kaljenja 1240°C so odnosi nekoliko spremenjeni, kljub temu pa potrjujejo postavljene zaključke. Kalilna temperatura je toliko višja, da je optimum pogojev avstenitizacije dosežen pri srednjih karbidih, medtem ko se pri finih, a posebno pri grobih karbidih že pojavljajo neugodni znaki pregretja. Vzorci z grobimi karbidi so pregreti že v tolikšni meri, da je količina zaostalega avstenita tolikšna, da normalno popuščanje ne omogoča več zadostne premene. Šele s ponovnimi popuščaji se doseže postopno povečevanje trdote, kolikor so karbidi tako grobi.



Slika 22

Primer interpolacijskega določanja temperature žarobstojnosti

ZAROOSTOJNOST

Žaroobstojnost smo preizkušali po modificirani ruski metodi³. Po tej metodi se vse vzorce za določene pogoje toplotne obdelave enako kali in normalno popušča. Posamezne vzorce se po tej normalni toplotni obdelavi še štirikrat po 1 uro ogreva na različne temperature v stopnjah po 20° C. Trdote merimo po tem dodatnem štirikratnem ogrevanju. Z interpolacijo iščemo tisto temperaturo, ki po takem postopku daje trdoto 60 HRC. To je temperatura žaroobstojnosti jekla.

Slika 22 prikazuje tak primer interpolacijskega določanja temperature žaroobstojnosti, pri čemer je za vsako temperaturo preizkušenih 24 prob. V diagramu so za vsako temperaturo preizkušanja podane srednje vrednosti in širine razspanja merjenih trdot. Z interpolacijskim postopkom smo v danem primeru ugotovili srednjo temperaturo žaroobstojnosti 621° C, zgornjo mejo 630 in spodnjo mejo 616° C. Na tak način smo preizkusili skupno 954 prob in pri tem z interpolacijami dobili rezultate, ki jih prikazuje tabela 2.

Tabela 2 — Temperatura žaroobstojnosti v odvisnosti od velikosti karbidov in temperature kaljenja

Toplotna obdelava	Karbidi			
	Velikost karbidov			
	fini		grobi	
	$I_k = 4$	$I_k = 4,5$	$I_k = 8$	$I_k > 8$
1180° C + 560° C 2 × 1h + T° C 4 × 1h → 60 HRC	n = 24 $\bar{T} = 608^{\circ}$ C $T_{max} = 613^{\circ}$ C $T_{min} = 605^{\circ}$ C	—	n = 24 $\bar{T} = 607^{\circ}$ C $T_{max} = 610^{\circ}$ C $T_{min} = 604^{\circ}$ C	—
1210° C + 560° C 2 × 1h + T° C 4 × 1h → 60 HRC	n = 24 $\bar{T} = 608^{\circ}$ C $T_{max} = 612^{\circ}$ C $T_{min} = 605^{\circ}$ C	n = 72 $\bar{T} = 613^{\circ}$ C $T_{max} = 625^{\circ}$ C $T_{min} = 602^{\circ}$ C	n = 24 $\bar{T} = 615^{\circ}$ C $T_{max} = 620^{\circ}$ C $T_{min} = 604^{\circ}$ C	n = 48 $\bar{T} = 618^{\circ}$ C $T_{max} = 630^{\circ}$ C $T_{min} = 612^{\circ}$ C

Tudi pri žaroobstojnosti ugotavljamo, da ima temperatura kaljenja večji vpliv na temperaturo žaroobstojnosti pri finih karbidih kakor pri grobih, kar smo ugotovili tudi pri prejšnjih preizkusih.

Te poizkuse smo izkoristili tudi za ugotavljanje korelacije trdote HB in trdnosti σ_m za brzorezno jeklo (slika 24) v žarjenem stanju, pri čemer smo ugotovili povprečno odvisnost

$$\sigma_m = 0,336 \cdot HB$$

VPLIV VELIKOSTI KARBIDOV NA MEHANSKE LASTNOSTI PRI TRGALNEM POIZKUSU

Pri hladnem vlečenju drobnih dimenzij brzoreznega jekla so za sposobnost deformacije z vlečenjem odločilne mehanske lastnosti, ki jih določamo z normalnim trgalnim poizkusom. S serijo 93 palic iste šarže in dimenzije 9,6 mm Ø v žarjenem stanju, ki so imele velikost karbidov od $I_k = 5$ do $I_k' = 7$, smo ugotavljali vpliv velikosti karbidov na trdnost (σ_m), mejo raztezanja (σ_v), raztezek (δ) in kontrakcijo (ψ). Trdnost in meja raztezanja nista bili pomembno odvisni od velikosti karbidov, za raztezek in kontrakcijo pa smo ugotovili odvisnosti, ki jih prikazuje slika 23. Za to odvisnost veljajo omejitve $\sigma_m = 75 - 83$ kp/mm² in $\sigma_v = 53 - 59$ kp/mm². Iz tega sledi, da merjenje raztezka in kontrakcije pri trganju zelo dobro po kaže sposobnost jekla za hladno vlečenje. V tekoči kontroli so te meritve mnogo bolj priporočljive in merodajne kakor meritve trdote.

VPLIV VELIKOSTI KARBIDOV, TEMPERATURE KALJENJA, VELIKOSTI AVSTENITNEGA ZRNA IN TRDOTE NA ŽILAVOST

V zvezi s preizkušanjem rezne obstojnosti strgarskih nožev smo preizkušali tudi vpliv velikosti karbidov in velikosti avstenitnega zrna na udarno žilavost. Za te preizkuse smo izbrali probo brez zareze. Da bi zagotovili prelom točno v sredini, smo debelino probe oslabili za 1 mm z brušenjem po skici na sliki 25. Probe smo lomili na charpyjevem kladivu 10 kpm. V programu imamo še določanje žilavosti s pomočjo upogibnih prob, ki daje pri trdih orodnih jeklih boljše rezultate. Za spiralne svedre so karakteristike obremenitev precej drugačne, zato je v ta namen izbran postopek preizkušanja udarno torzijske žilavosti. Preizkuse udarno torzijske žilavosti in zdržljivosti spiralnih svedrov izvaja iz istega materiala Industrija alata Trebinje.

$$\sigma^{\%} = f(l_k)$$

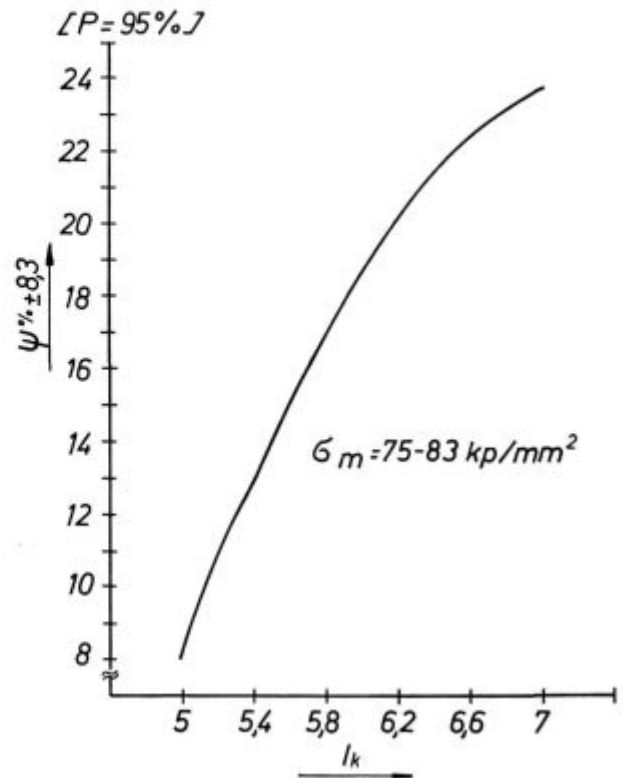
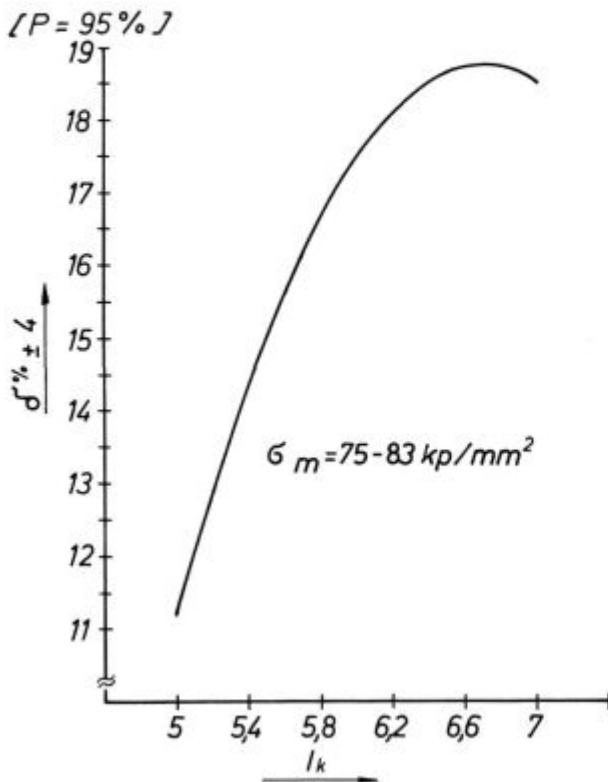
$$R^2 = 0,46 \quad R = 0,68$$

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

$$\psi^{\%} = f(l_k)$$

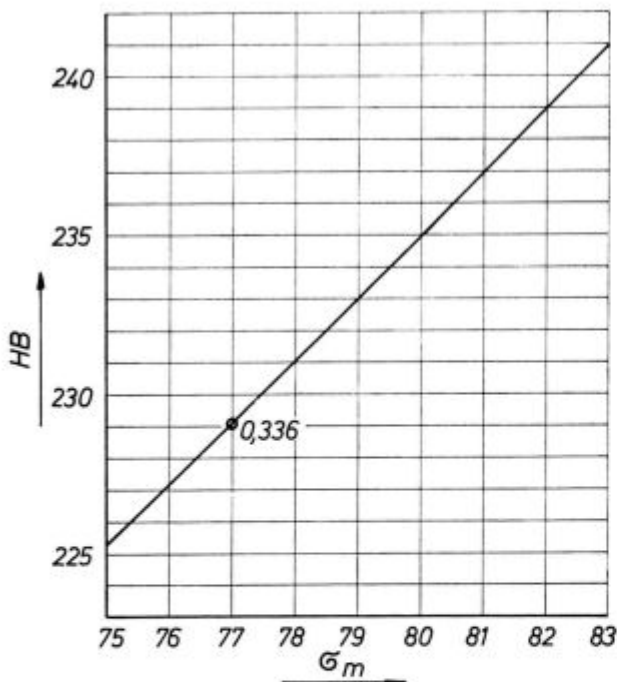
$$R^2 = 0,51 \quad R = 0,72$$

$$\alpha = 5 \%$$



Slika 23

Vpliv velikosti karbidov na raztezek in kontrakcijo pri trgalnem poizkusu



Slika 24

Korelacija trdote HB in trdnosti σ_m za brzorezno jeklo v žarjenem stanju

Za meritve udarne žilavosti smo porabili 274 žilavostnih prob po skupinah glede na velikost karbidov (grobi, srednji in fini) ter po dveh temperaturah kaljenja 1180° C in 1210° C. Vse probe so bile enako popuščane na 560° C dvakrat po 1 uro. Rezultati teh poizkusov so podani v tabeli 3.

V tabeli 3 so za vsako skupino podani sledeči podatki:

- srednja vrednost žilavosti (\bar{X}),
- največja vrednost žilavosti ($X \text{ max.}$),
- najmanjša vrednost žilavosti ($X \text{ min.}$),
- število preizkušenih prob (n),
- varianca žilavosti (s^2),
- koeficient variacije ($V = \frac{s}{\bar{X}} \cdot 100 \%$)

Pomembnost vpliva velikosti karbidov in temperature kaljenja na žilavost smo ugotovili s statistično analizo variance za sistem šestih skupin v tabeli 3.

Po izračunu smo dobili kot rezultat standardno tabelo analize variance¹³.

Tabela 3

Temperatura kaljenja \ Velikost karbidov	$I_k = 4 - 4,5$ (grobi)	$I_k = 6$ (srednji)	$I_k = 8$ (fini)
1180° C	1 $\bar{X} = 1,12 \text{ kpm/cm}^2$ $x_{\max} = 1,33 \text{ kpm/cm}^2$ $x_{\min} = 0,89 \text{ kpm/cm}^2$ $n = 24$ $s^2 = 0,0143$ $V = 10,6 \%$	3 $\bar{X} = 2,06 \text{ kpm/cm}^2$ $x_{\max} = 3,31 \text{ kpm/cm}^2$ $x_{\min} = 1,37 \text{ kpm/cm}^2$ $n = 31$ $s^2 = 0,4458$ $V = 32,3 \%$	5 $\bar{X} = 2,44 \text{ kpm/cm}^2$ $x_{\max} = 3,36 \text{ kpm/cm}^2$ $x_{\min} = 1,55 \text{ kpm/cm}^2$ $n = 23$ $s^2 = 0,2086$ $V = 18,8 \%$
1210° C	2 $\bar{X} = 1,06 \text{ kpm/cm}^2$ $x_{\max} = 1,55 \text{ kpm/cm}^2$ $x_{\min} = 0,75 \text{ kpm/cm}^2$ $n = 87$ $s^2 = 0,7224$ $V = 80,0 \%$	4 $\bar{X} = 1,85 \text{ kpm/cm}^2$ $x_{\max} = 2,78 \text{ kpm/cm}^2$ $x_{\min} = 1,20 \text{ kpm/cm}^2$ $n = 33$ $s^2 = 0,3263$ $V = 30,8 \%$	6 $\bar{X} = 1,95 \text{ kpm/cm}^2$ $x_{\max} = 2,78 \text{ kpm/cm}^2$ $x_{\min} = 1,36 \text{ kpm/cm}^2$ $n = 76$ $s^2 = 1,2254$ $V = 56,9 \%$

Rezultati analize variance:

	Vsota kvadratov	Prostostne stopnje	Srednji kvadrati	F računsko	Statistična pomembnost
Postopki	147,11	$v_1 = 5$	29,42	$\frac{29,42}{0,057} = 516,14$	zelo velika
Napake	15,26	$v_2 = 269$	0,057		
Vsota	162,37	273			

Izračunana vrednost F je mnogo večja od kritične vrednosti v tabelah za 99-odstotno statistično gotovost.

Na osnovi teh rezultatov analize variance lahko trdimo, da so v celotnem sistemu šestih skupin razlike žilavosti statistično zelo pomembne. V celotnem območju preizkušanja moramo pričakovati pomemben vpliv velikosti karbidov in temperature kaljenja na žilavost. Podrobnejše informacije o vplivih dobimo po primerjavah posameznih serij »vsake z vsako«. Kot kriterij za ocenitev pomembne razlike smo vzeli statistično gotovost večjo od 99 %, za nepomembne razlike pa manjšo od 95 %. Pri ugotovitvi statistične gotovosti 95 do 99 % smo razlike označili za statistično polpomembne ali negotove. Za primerjave skupin smo uporabljali statistično testiranje¹³ s tako imenovanim parametrom t.

V naslednji shemi je podan pregled zaključkov o pomembnosti razlik v žilavosti pod vplivom velikosti karbidov pri navedenih temperaturah kaljenja. (Številčne oznake se nanašajo na šest skupin v tabeli 3.)

1180° C: **1** — **5** pomembna razlika
1 — **3** pomembna razlika
3 — **5** polpomembna razlika

1210° C: **2** — **6** pomembna razlika
2 — **4** pomembna razlika
4 — **6** nepomembna razlika

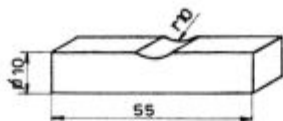
Na enak način smo testirali pomembnost razlik žilavosti pod vplivom temperature kaljenja pri enakih velikostih karbidov.

$I_k = 4-4,5$ (grobi) : **1** — **2** nepomembna
 $I_k = 6$ (srednji) : **3** — **4** nepomembna
 $I_k \geq 8$ (fini) : **5** — **6** pomembna

Rezultate preizkusov z območji razsipanja in s krivuljama regresijske odvisnosti prikazuje slika 25. Pri danih značilnostih statistične porazdelitve in medsebojnih odnosov smo ugotovili, da raz-

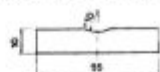
Toplotna obdelava:

1180 °C 2min. 10sek olje + 560 °C 2 x 1h
1210 °C

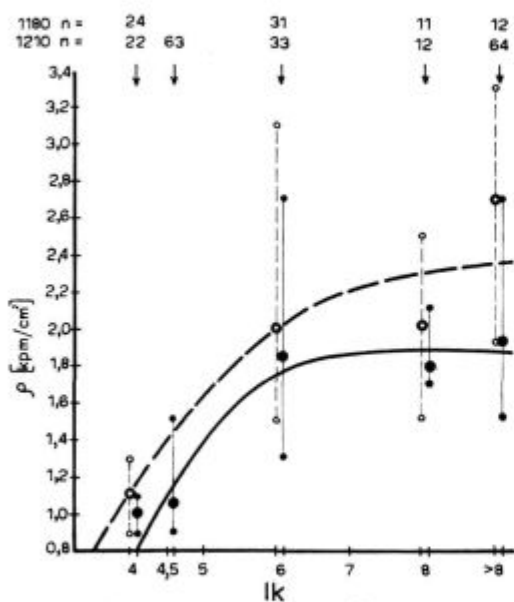


Toplotna obdelava:

1210 °C 2min. 10 sek. - olje + 560 °C 2 x 1 ura



Udarno žilavostni preizkus na Charpy kladivu 10 kpm



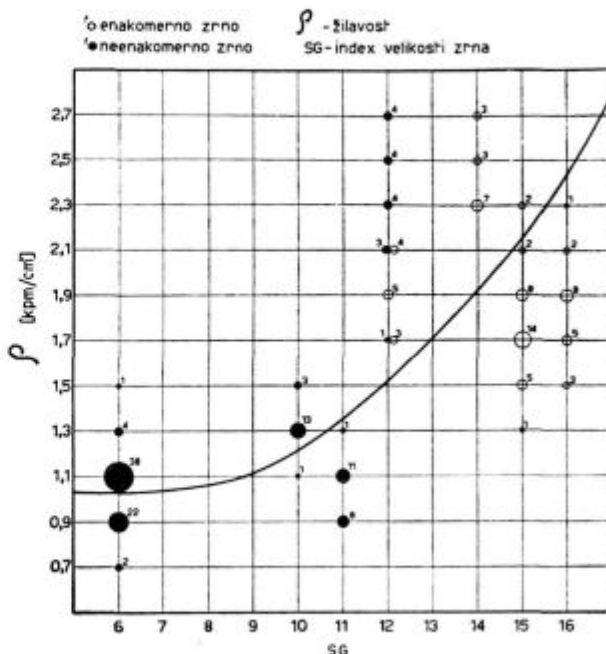
$$1180\text{ °C} \quad \rho = 1,19 \cdot I_k - 0,07 \cdot I_k^2 - 2,45$$

$$1210\text{ °C} \quad \rho = 1,81 \cdot I_k - 0,13 \cdot I_k^2 - 4,31$$

ρ - žilavost I_k - Index velikosti karbidov

Slika 25

Vpliv velikosti karbidov in temperature kaljenja na žilavost



Aproximacija interpolirane krivulje s parabelo $\rho = 1,66 - 0,198 \cdot (SG) + 0,015 \cdot (SG)^2$

Slika 26

Žilavost v odvisnosti od velikosti avstenitnega zrna

liko žilavosti med dvema skupinama prob lahko smatramo za statistično pomembno, če se obe srednji vrednosti razlikujeta za več kot 0,4 kpm na cm². Če upoštevamo, da je srednja vrednost velikosti karbidov pri jeklu BRM-2 (glej¹² tabela 1!) $I_k = 7,25$, smo s statistično analizo ugotovili, da se žilavost pomembno poslabša, če se indeks velikosti karbidov zmanjša pod $I_k = 5,5$. Povprečno so žilavosti pri temperaturi kaljenja 1180 °C večje kakor pri višji temperaturi kaljenja.

Statistično vrednotenje z upoštevanjem območja pomembnosti razlik nam daje pri srednji velikosti karbidov $I_k = 7,25$ za BRM-2 pri opisanih pogojih preizkušanja sledeče vrednosti za žilavost:

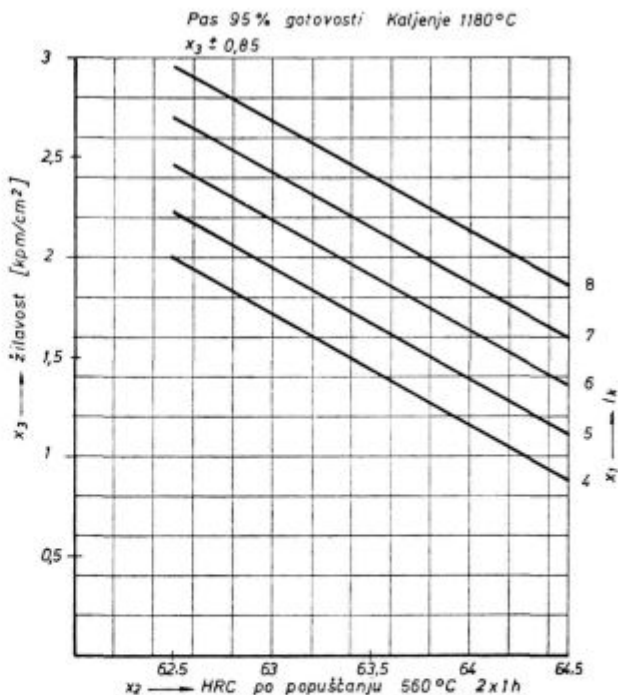
$\rho = 2,22 \pm 0,41$ (kpm/cm²) pri kaljenju 1180 °C

$\rho = 1,87 \pm 0,42$ (kpm/cm²) pri kaljenju 1210 °C

V teh območjih moramo smatrati razlike srednjih žilavosti med skupinami za nepomembne.

Iz tega sledi, da bi smeli pri kaljenju 1180 °C dopuščati $I_{k \min} = 5,5$, pri kaljenju 1210 °C pa $I_{k \min} = 5,25$.

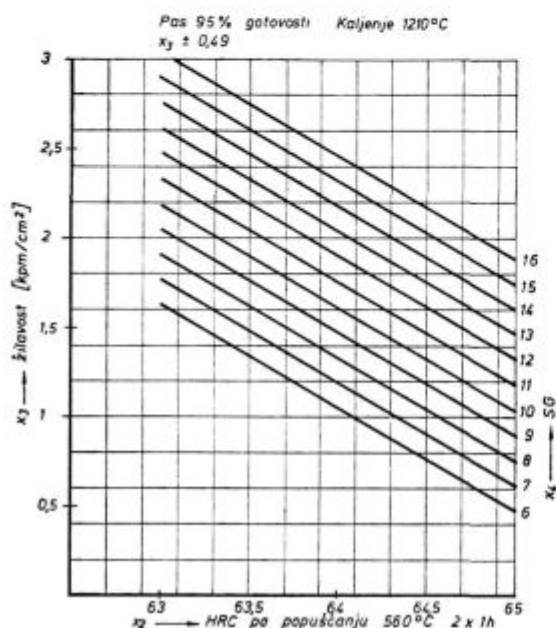
Slika 26 kaže, da je vpliv velikosti avstenitnega zrna na žilavost zelo močan. Če je zrno fino in enakomerno je tudi žilavost jekla razmeroma velika. Pri grobem in neenakomernem zrnu je žilavost majhna. V diagramu so podane točke z različnimi ploščicami v skladu s frekvenco pojavljanja posameznih vrednosti.



Slika 27

Žilavost v odvisnosti od velikosti karbidov in trdote. $R = 0,80$ $R^2 = 0,64$ $S_y = 0,43$ $\alpha = 5; 1; 0,1 \%$

V diagramih na slikah 25 in 26 smo upoštevali pri določeni temperaturi kaljenja le vpliv velikosti karbidov ali velikosti zrna ločeno. Nedvomno ima močan vpliv na žilavost tudi trdota prob. Analiza regresije, ki je prikazana na sliki 27, je to pričakovano odvisnost popolnoma potrdila. Pri temperaturi kaljenja 1180° C smo upoštevali istočasno vpliv velikosti karbidov in trdote prob na žilavost. Pri drugi skupini prob, kaljenih na 1210° C, smo dodatno upoštevali še vpliv velikosti avstenitnega zrna na žilavost (slika 28).



Slika 28

Žilavost v odvisnosti od velikosti karbidov, trdote in velikosti avstenitnega zrna

$$R = 0,88 \quad R^2 = 0,78 \quad S_y = 0,25 \quad \alpha = 5; 1; 0,1 \%$$

Izračun te regresije nas je privedel do zanimivih ugotovitev:

Najprej sta se izkazala kot zelo pomembna vpliva na žilavost trdota prob in velikost karbidov. Ko smo upoštevali še vpliv velikosti avstenitnega zrna je izračun izločil vpliv velikosti karbidov, ker je variacija žilavosti boljše pojasnjena z vplivom trdote prob in velikosti zrna. Vpliv velikosti zrna je močnejši od vpliva velikosti karbidov. Iz prejšnjih analiz in uvodnih raziskav pa vemo, da ti dve spremenljivki nista med seboj neodvisni, saj smo že ugotovili (glej sliko 3), da je velikost avstenitnega zrna v dobri meri posledica velikosti karbidov. Torej je ukrep, ki ga je narekoval program pri izračunu regresije razumljiv in tudi pravilen. V vplivu velikosti zrna je posredno upoštevan tudi vpliv velikosti karbidov. (Pri temperaturi kaljenja 1180° C na sliki 27 nismo upoštevali velikosti avstenitnega zrna, ker nismo imeli o tem podatkov.) Pri upoštevanju vseh glavnih vplivov (na slikah 27 in 28) je enačba množične regresije popolnoma linearna, čeprav smo po programu računali regresijsko enačbo četrte stopnje. Znano je, da udarni

žilavostni preizkus ni posebno primeren za preizkušanje žilavosti trdih orodnih jekel. To potrjuje tudi veliko razsipanje rezultatov. Pri nadaljnjih raziskavah bomo uvedli metodo statičnega upogiba in zvoja. O vplivu velikosti karbidov in velikosti avstenitnega zrna na žilavost lahko po teh rezultatih zaključimo sledeče:

— grobi karbidi povprečnega premera nad 10 mikronov pomembno zmanjšujejo žilavost orodja,

— nižja temperatura kaljenja omogoča povprečno boljšo žilavost. Ta vpliv pa pride do izraza tem bolj, čim bolj so karbidi fini. Pri grobih in srednjih karbidih je vpliv temperature kaljenja na žilavost statistično nepomemben oz. negotov, kolikor razlika temperature kaljenja ni večja od 20° C.

— Pri velikosti karbidov pod 9 mikronov smo ugotovili razlike žilavosti pod vplivom velikosti karbidov samo pri nižji temperaturi kaljenja. Splošno velja ugotovitev, da je vpliv velikosti karbidov na žilavost toliko močnejši, kolikor je nižja temperatura kaljenja v okviru normalnega temperaturnega območja.

ZAKLJUČKI

Raziskava je dala precej zanimivih, praktično pomembnih ugotovitev in pomemben prispevek k poznanju problema grobih karbidov v brzoreznem jeklu. Zaključki o posameznih vplivih so bili navedeni že pri posameznih poglavjih, zato v končnih zaključkih ponovno navajamo le najpomembnejše v zgoščeni obliki.

Velikost primarnih karbidov v žarjenem jeklu se pri normalnem kaljenju ne spremeni.

Grobi karbidi v žarjenem jeklu so v neposredni zvezi s pojavom grobih karbidov, grobega in neenakomernega avstenitnega zrna, grobozrnatega preloma in nizke ter neenakomerne trdote v kaljenem stanju.

Brzorezno jeklo s finimi in enakomerno razporejenimi karbidi ima po normalnem kaljenju fino in enakomerno avstenitno zrno ter fino zrnati prelom. Grobi karbidi povzročajo grobo in neenakomerno avstenitno zrno in grob prelom.

Trdota v žarjenem stanju ni odvisna od velikosti karbidov in ne vpliva pomembno na velikost karbidov, trdoto in velikost avstenitnega zrna v kaljenem stanju.

Velikost karbidov ne vpliva pomembno na trdoto osnovne strukture niti v žarjenem niti v kaljenem niti v popuščnem stanju.

Velikost karbidov pomembno vpliva na popuščno obstojnost, na trdoto v popuščnem stanju in na žaroobstojnost jekla.

V žarjenem stanju je sposobnost hladne deformacije in sposobnost vlečenja v veliki meri odvisna od velikosti karbidov.

Velikost karbidov močno vpliva na rezno obstojnost strgarskih nožev. Noži s finimi karbidi imajo precej večjo rezno obstojnost kot noži z grobimi karbidi, kar velja še posebej za kaljenje na zgornji meji uporabnega temperaturnega območja.

Velikost karbidov močno vpliva na žilavost. Ne normalno grobi karbidi zelo občutno zmanjšajo žilavost jekla, medtem ko normalni karbidi ($I_k \geq 5,5$) kljub razlikam v velikosti ne vplivajo pomembno na žilavost. Nižja temperatura kaljenja v splošnem ugodno vpliva na žilavost, vpliv velikosti karbidov pa je toliko močnejši, kolikor nižja je temperatura v mejah normalnega območja kaljenja. Razlike v temperaturi kaljenja zelo pomembno vplivajo na žilavost v primeru finih karbidov. Pri srednjih in grobih karbidih je vpliv temperature kaljenja precej oslavljen.

Za strgarske nože in orodja, pri katerih žilavost nima odločilnega pomena, se priporoča kaljenje z višje temperature v okviru normalnega območja, ker to ugodno vpliva na obstojnost noža.

Vsi ti zaključki kažejo neugodne posledice grobih karbidov v brzoreznem jeklu. To moramo upoštevati tudi pri kritičnem ocenjevanju postopkov toplotne obdelave, s katerimi se lahko odpravi evtektična mreža in izboljša enakomernost porazdelitve karbidov, obenem pa se povzroči nastanek grobih karbidov.

Včasih se nekoliko grobim karbidom ni mogoče izogniti, zato moramo razumno presoditi mejo med škodljivo grobimi karbidi in nekoliko grobimi karbidi, ki še ne povzročajo težav in poslabšanja lastnosti. Po naših izkušnjah predstavlja to mejo $I_k = 5,5$ pri jeklu 6-5-2, pri drugih vrstah pa so karbidi povprečno za pol indeksa bolj grobi.

Celotna raziskava je bila izvršena z velikim številom vzorcev jekla iz iste šarže. Za zaključke in ugotavljanje medsebojnih odvisnosti je to določena prednost, ker je izključen vpliv kemijske sestave in dimenzije. Prav zaradi tega pa zaključkov ni mogoče povsem posplošiti, ampak bo treba še nekatere ugotovitve preveriti z jeklom iz večjega števila različnih šarž in različnih vrst. Pri teh nadaljnjih raziskavah nam bodo opisane odvisnosti in zaključki prav gotovo služili za solidno osnovo in smotrno planiranje potrebnih poizkusov.

ZUSAMMENFASSUNG

Der dritte Teil des Artikels über die Schnelldrehstähle behandelt den Einfluss der Grösse der Karbide auf die mechanischen und technologischen Eigenschaften des Schnelldrehstahles 6 — 5 — 2 (BRM-2).

Die Autoren haben bei der Untersuchung eine grosse Anzahl von Proben mit verschiedener Karbidgrösse aus Stahl der gleichen Charge und der gleichen Dimension verwendet. Mit diesem Material untersuchten sie systematisch den Einfluss der Karbidgrösse auf die einzelnen Eigenschaften. Das System der Forschungsplanung ermöglichte die statistische Verarbeitung der Resultate und das Testieren der Bedeutsamkeit der Schlüsse. Mittels der Varianzanalyse und der Mengenregression war es möglich, bei der Verarbeitung der Resultate der praktischen Versuche die grundlegenden Gesetze der gegenseitigen Abhängigkeit und der Einflüsse festzustellen. Diese Abhängigkeiten sind für die einzelnen Eigenschaften mit zahlreichen Diagrammen und Nomogrammen dargestellt.

In den Eingangsuntersuchungen sind die gegenseitigen Abhängigkeiten der Karbidgrösse und der Härte im geglähten und die gehärteten Zustände, die Grössen und die Gleichmässigkeiten des Austenitkorns und der Bruchkör-

Zelegarna Ravne nadaljuje ciklus svojih raziskav na področju karbidov v brzoreznih jeklih z razvojem selektivnega jedkanja in metalografske identifikacije karbidov, z izolacijo karbidov in spektrografsko analizo in z drugimi sodobnimi metodami, pri čemer sodeluje Metalurški inštitut v Ljubljani.

Literatura

1. Hoyle G., E. Ineson, Modification of the carbide structure of high-speed steel, JISI, 1959 Nov. str. 254—269.
2. Sukolski P. J., G. Hoyle, The extrusion of high-speed steel sections, JISI, 1959 Nov. str. 270—277.
3. Geller J. A., Instrumentalnije stali, Moskva, Metalurgizdat, 1964, str. 55—57.
4. Geller J. A., V. K. Zablockij, L. S. Kremnev, Termičeskaja obrabotka bistrorežuščej stali dlja uluščjenja raspredeljenja karbidov, Metalovedenje i termičeskaja obrabotka metalov (1967) 9, str. 18—23.
5. Gühring A., Einfluss der Karbidensbildung auf die Leistung von Schnellstahlschneidbohrern, Härtereie — Technische Mittellungen — Ribensahm, Bd 8, Heft 2, str. 9—19.
6. Jerofejev N. A., G. G. Zaharova, Vlijanje karbidnoj neodnorodnosti na vzniknovenje poverhnostnih defektov u sverl iz bistrorežuščih stalej, Metalovedenje i termičeskaja obrabotka metalov (1967) 9, str. 26—30.
7. Gill J. P., »High-Speed Steel, Carbide Segregate and Grain Size«, Transactions ASM, Vol. 24 (1936) str. 736.
8. Hargue C. J., J. P. Hammond, C. S. Crouse, The angular-appearing carbides in high-speed tool steels, transactions ASM, Vol. 46 (1954) str. 716—726.
9. Megušar J., J. Sinkovic, Selektivno elektrolitsko jedkanje karbidov Me₂C in MeC v brzoreznem jeklu 6-5-2, Zelezarski zbornik 1 (1967) 2, str. 91—94.
10. Rodič J., Metode matematične statistike, Zelezarski zbornik 1 (1967) 2, str. 137—154.
11. Rodič J., J. Rodič, »Brzorezna jekla — I. del, Značilnosti metalografije brzoreznih jekel«, Zelezarski zbornik 1 (1967) 3, str. 177—188.
12. Rodič A., J. Rodič, »Brzorezna jekla — II. del, Velikost karbidov v brzoreznih jeklih pred toplotno obdelavo«, Zelezarski zbornik 2 (1968) 1, str. 1—20.
13. Rodič J., Metode matematične statistike, Zagreb, Metalbiro, 1964.

nung im gehärteten Zustande bearbeitet. Auf Grund dieser Resultate wurde das Material für die Proben bei den folgenden Untersuchungen ausgewählt, so dass alle Versuche mit gleichwertigen Probengruppen mit groben, mittleren und feineren Karbiden durchgeführt wurden.

Das Wichtigste war die Versuchsserie zur Feststellung des Einflusses der Karbidgrösse und der Wärmebehandlung auf die Schneidhaltigkeit der Drehmesser. Die groben Karbide vermindern stark die Messerbeständigkeit besonders bei der günstigsten Wärmebehandlung. Bei den Versuchen wurden gesondert mehrere Kriterien des Messerverschleisses behandelt.

Mit zusätzlichen Versuchen haben die Autoren die Einflüsse auf die Härte des Stahls im geglähten, gehärteten und angelassenen Zustand, auf die Anlassbeständigkeit, auf die mechanischen Eigenschaften beim Ziehen und die Schlagzähigkeit bearbeitet.

Die gesamte Untersuchung führte zu zahlreichen praktischen bedeutsamen Schlüssen, die im Artikel genauer beschrieben sind.

Die groben Karbide wirken schlecht auf fast alle Grundeigenschaften des Schnelldrehstahles ein.

SUMMARY

The third part of paper on high speed tool steels is dealing with influence of carbide size on mechanical and technological characteristics of high speed tool steel 6-5-2 (BRM-2).

Authors have used in their research great number of specimens with different size of carbides. Specimens were made out of steel of the same charge and same dimensions. With this material they have systematically studied influence of carbide size on different characteristics of steel. System of planning of research have enabled the use of statistical treatment of results and testing of significance of results.

By analysis of variance and multiple regression the authors were able to find out the basic laws governing the relations of dependability and influences on the basis of practical tests. These dependabilities have been illustrated for some characteristics by many diagrams and monograms.

In introductory research work were treated relations of carbide grain size and hardness after annealing and

quenching, size and uniformity of austenitic grain and granular structure of fracture after quenching.

On the basis of these results the material was chosen for specimens for further research work so that all the tests were carried out on equal groups of specimens with coarse, medium and fine carbides.

The most important was the series of tests to find out the influence of carbide size and heat treatment on cutting durability of cutting tools. Coarse carbides especially at most suitable heat treatment remarkably cut down the durability of tools. When testing many criterions of durability of cutting tools were studied.

The authors have studied influence of carbides on hardness of steel after annealing, quenching and tempering, influence of carbide size on tempering durability, mechanical properties when drawing and on impact stress. The complex research has lead to number of important facts which are described in detail.

Coarse carbides have very bad influence upon nearly all basic properties of high speed cutting steel.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В третьей части статьи о быстрорежущей стали рассмотрено влияние величины карбидов на механические и технологические свойства быстрорежущей стали марки 6-5-2 (BRM-2).

При исследовании авторы употребили большое количество проб одинаковой величины одного и того же литья стали различной величины карбидов. С этим материалом систематически испытано влияние величины карбидов на отдельные свойства стали. Систем планировки испытания разрешила статистическое рассмотрение результатов и анализ важных заключений.

При помощи анализа дисперсии и массовой регрессии получена возможность при рассмотрении результатов практического исследования определить основные закономерности взаимозависимости влияний. Эти зависимости на отдельные свойства стали приказаны целым рядом диаграмм и номограмм.

В начале исследована зависимость величины карбидов от твердости стали в состоянии отжига и закалки, величина и равномерность аустенитного зерна и зернистость перелома в состо-

янии закалки. На основании полученных результатов выбран материал для проб последующих испытаний. Таким образом испытание выполнено на пробах собранных в однородные группы с грубыми, средними и мелкими карбидами.

Самое важное представляла серия исследований влияния величины карбидов и термической обработки на устойчивость токарных ножей. Грубые карбиды, несмотря на самый подходящий режим терм-ой обработки резко уменьшают стойкость ножей. При этом испытании рассмотрено несколько критерии износа ножей.

Авторы также рассмотрели влияния на твердость стали в состоянии отжига, закалки и отпуска, влияние на устойчивость в состоянии отпуска, на механические свойства при волочении и на ударную вязкость.

Совокупное исследование привело до многочисленных в практике важных выводов которые в статье подробно описаны.

Грубо зернистые карбиды влияют почти на все основные свойства быстрорежущей стали отрицательно.

Vpliv elementov na korozijsko odpornost visokolegiranih jekel v raztaljenih svinčenih soleh

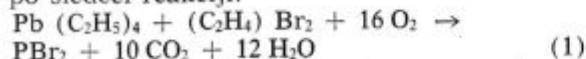
Korozija v raztaljenih svinčenih soleh je dobila zaradi hitrega poteka naziv »katastrofalna oksidacija«. Delno so odporna proti tej obliki oksidacije le visokolegirana jekla. V članku je opisana standardizirana metoda za določanje obsega oksidacije po Calingearthu istočasno pa tudi vpliv posameznih komponent v reagentih, ki se pri poizkusih uporabljajo, na korozijo nekaterih ventilskih jekel. Podrobneje je obdelan vpliv različnih vsebnosti posameznih elementov, ki so nosilci mehanskih in fizikalnih lastnosti in mikrostrukture na korozijsko odpornost ventilskega jekla kvalitete Č 4581. Rezultati preiskav so omogočili precizirati ožje analizno območje in mikrostrukturo, da se doseže optimalna obstojnost proti katastrofalni oksidaciji ob zahtevanih mehanskih lastnostih.

SPLOŠNO

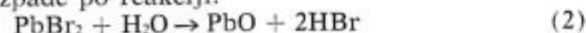
Korozija v raztaljenih svinčenih soleh je ena izmed mnogih vendar malo poznanih oblik korozije. Zaradi oksidnega značaja korodirajočega sredstva spada v grupo korozije zaradi oksidacije in je dobila zaradi linearnega poteka namesto paraboličnega, ki je običajen za nerjaveča jekla naziv, »katastrofalna oksidacija«. Vršni se v medprostoru kovina — oksid in je bila prvič zapažena na zlitinah z visoko vsebnostjo molibdena. Pospeševanja normalnega oksidacijskega procesa pa niso sposobni vsi kovinski oksidi. Do sedaj je bilo ugotovljeno, da najbolj pospešuje oksidacijski proces V_2O_5 in MoO_3 , v manjšem obsegu pa tudi WO_3 , Bi_2O_3 in PbO .

Korozijski učinek V_2O_5 in MoO_3 pride do izraza pri uporabi težkih olj za kurjenje, ki imajo v svojem pepelu celo nad 10 % vanadija v obliki pentoksida.

Učinek PbO pa je pomemben pri motorjih z notranjim zgorevanjem, predvsem na ventilih, zaradi antidetonatorjev, ki so večinoma izdelani na bazi svinca. Ventili se namreč prekrijejo z nasedlino kompleksnih Pb spojin. Svinčev etilfluid, ki je dodan bencinu kot antidetonator zgoreva v motorju po sledeči reakciji:



Nastali svinčev dibromid pri temperaturah nad $500^\circ C$ ob prisotnosti vodnih hlapov ni obstojen in razpade po reakciji:



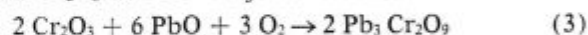
(Predavanje na IX. strokovnem posvetovanju metalurških inženirjev in tehnikov dne 31. maja in 1. junija 1968 v Portorožu.)

Ker je bromovodik lahko hlapen in odhaja iz reakcijskega prostora se ravnotežje v reakciji (2) ne more vzpostaviti. Zaradi tega se večina $PbBr_2$, ki sicer ne deluje kot pospeševalec normalne oksidacije, pretvori v PbO .

Dokazovanje pospešujočega učinka PbO na normalni oksidacijski proces je bilo oteženo zaradi trenutno še ne točno pojasnenih kemičnih reakcij, ki jih povzročajo zgoraj imenovani oksidi v reakcijskem prostoru kovina — oksid.

S poskusi (1) nedvoumno dokazana povečana izguba teže ob prisotnosti PbO , ki narašča proporcionalno z naraščanjem PbO na enoto površine vzorca, ki je izpostavljena reakciji, je sugerirala misel, da pride pri delovanju PbO do nadaljne oksidacije primarnih oksidov (t. j. oksidov, ki se primarno tvorijo na kovinski površini) v višje valentne oblike. Kot dokaz je bil izveden poskus žarenja Cr jekla v zračni atmosferi, kjer so bili dokazani samo Cr^{3+} ioni pri žarenju v prisotnosti PbO pa je bila jasno dokazana tudi prisotnost Cr^{6+} ionov.

Z upoštevanjem gornjih ugotovitev je reakcija med Cr_2O_3 in PbO verjetno sledeča:



Sličen efekt PbO t. j. zvišanje valentne stopnje oksida, se opaža tudi pri reakciji z železom oziroma s Fe_2O_3 .

Na podlagi vseh zgornjih ugotovitev se lahko zaključí:

— Oksidacija nerjavečih jekel v prisotnosti PbO se vrši v medprostoru kovina — oksid ob difuziji kisika navznoter zaradi česar preidejo primarno stvorjeni oksidi n. pr. Cr_2O_3 in Fe_2O_3 v višjo valentno stopnjo Cr^{6+} in Fe^{3+} ionov.

— Če je med oksidacijo nerjavečih jekel prisoten PbO imamo primer pospešene normalne oksidacije t. j. katastrofalno oksidacijo (2) in sicer zato, ker kromov in železov ion prevzmeta višjo valenčno stopnjo zaradi česar poteka reakcija (3) stalno in desno in s tem preprečuje formiranje zaščitnega filma $Cr_2O_3 \times FeO$.

Za preizkušanje oksidacijske odpornosti ventilov oziroma ventilskih jekel v prisotnosti PbO je bilo izdelanih mnogo metod, izmed katerih sta se resničnim pogojem približali le dve. Ena od teh je v USA neuradno standardizirana pod imenom Calingear test in je pod istim imenom poznana tudi v Evropi. Pri tem poizkusu se vzorce jekla ogreva 6 minut v raztaljenih Pb spojinah:

- a) v PbO pri 980°C
 b) v PbO × PbBr₂ pri 845°C
 c) v 2 PbO × 3 PbSO₄ pri 980°C

Po preizkusu se ugotavlja izguba teže v g/dm². Za vsak vzorec se mora uporabiti svež še neuporaben reagent.

Dodatek PbBr₂ in PbSO₄ osnovnemu reagentu PbO je utemeljen z dokazano prisotnostjo teh dveh soli v nasledinah na ventilih. Obe soli nastopata verjetno zaradi nepopolnega poteka reakcije (2) in deloma zaradi vezanja dela PbO z žveplom, ki je v malih količinah vedno prisoten v bencinu.

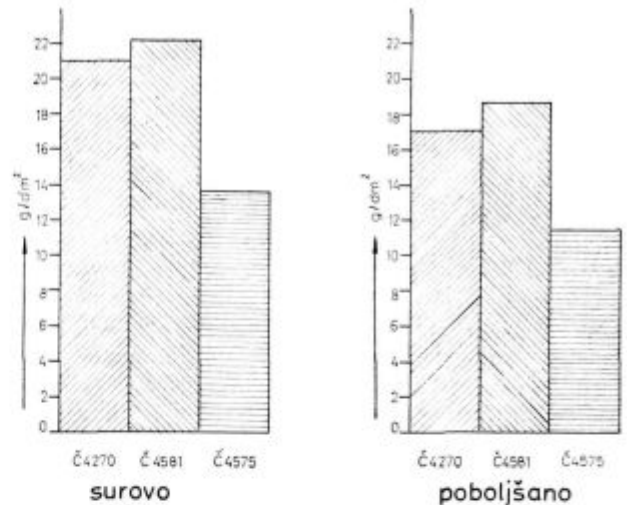
Ostale metode preiskave vpliva svinčevih soli na korozijsko odpornost so dokaj različne.

— John C. Sawyer (1) navaja preizkus v parah (hlapih) PbO pri temperaturi 927°C.

— W. Siedenbug (3) priporoča žarenje pri 900°C v atmosferi dimnih plinov bencina, ki vsebuje etilfluid.

— v splošni literaturi (4, 5, 6) se omenjajo preiskave s potapljanjem v bencinih ali v vodnih raztopinah svinčevega acetata.

izgube v 2 PbO × 3 PbSO₄ praktično enake onim v samem PbO in sicer zaradi učinka žvepla na nikelj, ki ga je v tem jeklu 13,4 %.



Slika 1
Izguba teže v PbO

Tabela 1

Kvaliteta	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	W	Mo %
Č 4270	0,37	2,88	0,39	0,024	0,006	8,1	—	—	0,27
Č 4581	0,76	2,34	0,38	0,018	0,009	19,4	1,5	—	—
Č 4575	0,42	0,23	0,80	0,02	0,005	13,87	13,4	2,26	0,30

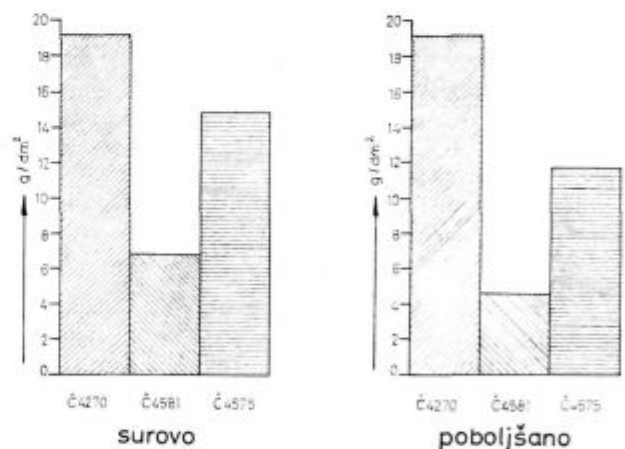
Na splošno se v svetu smatra, da je Calingaert test ravno zaradi dodatnih reagentov PbBr₂ in PbSO₄ najbolj približal resničnim pogojem. Zaradi tega se ta metoda že v mnogih primerih obvezno predpisuje za preiskavo korozijske odpornosti ventilskih jekel n. pr. Stahl-Eisen Werkstoffblatt 490—52.

PREISKAVE IN REZULTATI

Namen izvršenih preiskav je bil v prvi fazi preveriti občutljivost Calingaert testa pri preiskavi jekel različnih sestav in v drugi fazi določiti vpliv različnih vsebnosti posameznih elementov, ter indirektno tudi mikrostrukture pri isti kvaliteti jekla na obseg korozije.

Za prvo fazo so bile izbrane tri kvalitete jekel: kromovo z 8% Cr, kromovo z 19—20% Cr in kromnikljevo s 15% Cr in 13% Ni. Podrobna sestava je razvidna iz tabele št. 1. Vse tri kvalitete jekel so bile preiskane le v PbO in 2 PbO × 3 PbSO₄.

Prvi rezultati, ki so razvidni iz monogramov na sliki št. 1 in 2 so pokazali, da je metoda dovolj občutljiva, da pokaže ne samo vpliv stopnje legiranosti, temveč tudi vpliv termične obdelave. Istočasno se pokaže tudi vpogled na učinek PbO dodanih reagentov. V primeru jekla Č 4575 ostanejo



Slika 2
Izguba teže v 2 PbO × 3 PbSO₄

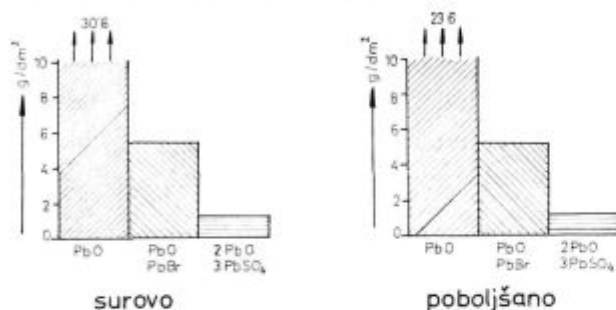
Vpliv mikrostrukture v tej prvi fazi ni bil kontroliran čeprav so kasnejše preiskave pokazale, da ima občuten vpliv na obseg korozije.

V monogramih niso prikazane izgube teže za vzorce mehkega železa kvalitete Č 0147 in nerjavčega jekla kvalitete Č 4571, ki so bili tudi istočasno preiskani. Vzorec kvalitete Č 0147 se je v času preizkusa popolnoma razkrojil v vseh treh raztaženih reagentih medtem, ko se izgube teže za kvaliteto Č 4571 zaradi homogene avstenitne struk-

ture brez izločenih karbidov ne moremo primerjati z ventilskimi jekli, služile pa so samo za upogled na obseg korozije v primeru odsotnosti karbidov v strukturi.

V drugi fazi, so bile izvršene kompletne preiskave na jeklu kvalitete Č 4581 kot trenutno najmasovnejšem ventilskem jeklu za motorje osebnih avtomobilov. V ta namen so bile izdelane šarže z različnimi vsebnostmi silicija in kroma, ki sta glavna nosilca lastnosti jekla. Kot posebna varianta so bile izdelane šarže z dodatkom aluminija.

Rezultati o obsegu korozije v vseh treh korozijskih reagentih za jeklo kvalitete Č 4581 v sestavi, ki je podana v tabeli št. 1 in ki predstavlja srednjo normirano sestavo, so podani v monogramu na sliki št. 3. Opaziti je občuten padec obsega korozije



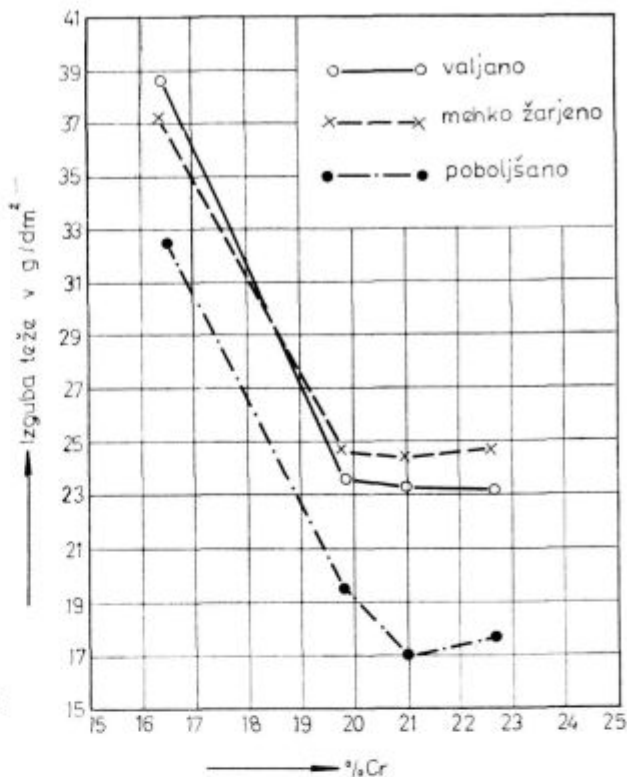
Slika 3

Č 4581 — izguba teže v različnih sredstvih

je v PbO z dodatkom PbBr₂ in PbSO₄. Iz teh rezultatov in iz rezultatov na monogramu na sliki št. 2 se vidi, da je v konkretnem primeru jekla Č 4581 pomembna predvsem korozija v čistem PbO, ker je najboljše stanje. Zato so bile nadaljnje preiskave vpliva različnih vsebnosti elementov in strukture izvedene samo v PbO.

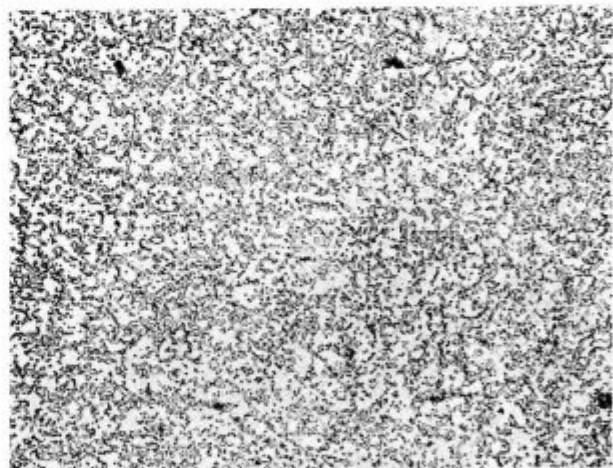
Vpliv kroma je razviden iz diagrama na sliki št. 4. Značilno je, da se od ca. 20 % kroma v jeklu korozijska obstojnost bistveno več ne spreminja. Posebnost je, da je izguba teže v poboljšanem stanju manjša od surovega oziroma mehko žarjenega stanja. Razlaga zmanjšane obsega korozije je v raztapljanju dela karbidov v osnovni strukturi matici. Sam kromov karbid v vseh svojih modifikacijah je sicer odporen proti katastrofalni oksidaciji vendar je v primeru mehko žarjenega stanja v maksimalni količini izločen v jeklu zaradi česar se zmanjša količina kroma v osnovi, kar povzroča zmanjšanje korozijske odpornosti. Zelo neugodno za odpornost proti oksidaciji je tudi izločanje karbidov po mejah zrn, kar je često slučaj na surovem t. j. valjanem jeklu in kar se zelo težko popravi s termično obdelavo. Primer takih neugodnih struktur vidimo na slikah št. 5 in 6, ugodno pa na sliki št. 7.

Silicij v zelo ozkem področju od 1—2 % občutno vpliva na obseg oksidacije (diagram na sl. št. 8). Tudi tu izstopa večja odpornost v poboljšanem stanju iz istih vzrokov kakor v primeru vpliva kroma. Rahel narastek izgube teže pri višjih vseb-



Slika 4

Č 4581 — Vpliv Cr na korozijo

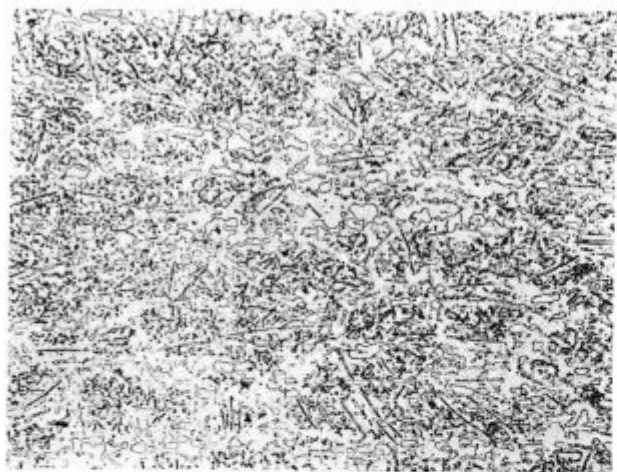


Slika 5

Č 4581 — Mehko žarjeno stanje X 500

nostih silicija se lahko razlaga z neugodno obliko karbidov, ki jo povzročajo že vsebnosti silicija nad 2,5 %. Mikrostrukturo take oblike karbidov vidimo na sliki št. 9.

Posebna pozornost je bila posvečena aluminiju kot elementu, ki močno izboljšuje oksidacijsko odpornost jekla. V primeru jekla Č 4581 so rezultati pokazali neugoden vpliv (diagram na sl. št. 10). Kot razlog se lahko smatra mikrostruktura z zelo neugodnimi velikimi, oglatimi in podolgovatimi karbidi (slika št. 11), ki jih povzročajo večje vsebnosti aluminija v jeklu.



Slika 6
Č 4581 — Valjano stanje × 500



Slika 7
Č 4581 — Poboljšano stanje × 500

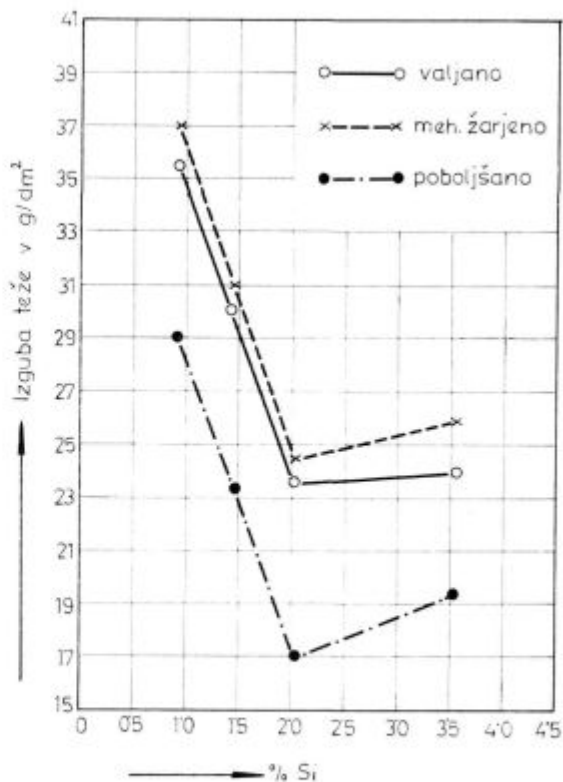
ZAKLJUČKI IN UPORABA REZULTATOV

Osnovni namen preizkusov je bil določiti vpliv različnih vsebnosti onih elementov, ki so glavni nosilci mehanskih in fizikalnih lastnosti ventilskega jekla kvalitete Č 4581 na korozijsko obstojnost v raztaljenih svinčevih solih po Calingaert testu predvsem pa v reagentu PbO.

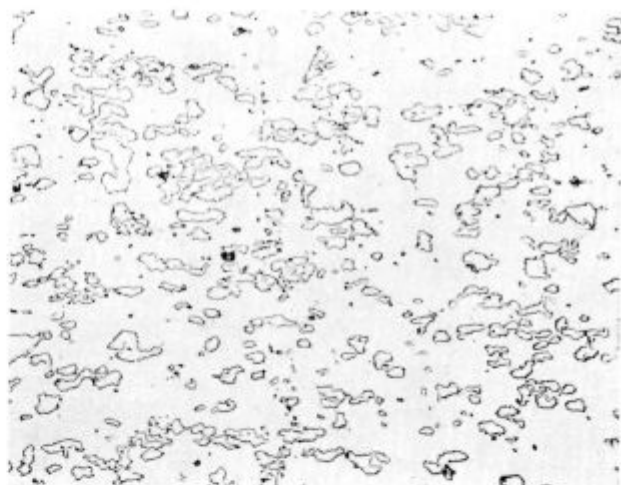
Preiskava je dala poleg zadovoljivih rezultatov tudi vpogled na vpliv stopnje legiranosti in posameznih elementov na obseg korozije.

Na podlagi dobljenih rezultatov so lahko zaključki sledeči:

- navadno mehko železo je v vseh reagentih, ki so predvideni po Calingaert testu, popolnoma neobstoje
- korozijska obstojnost narašča s stopnjo legiranosti, vendar imajo PbO dodani reagenti različen vpliv:
 - = kvaliteta Č 4270 ima približno enake izgube v vseh treh reagentih.



Slika 8
Č 4581 — Vpliv silicija na korozijo

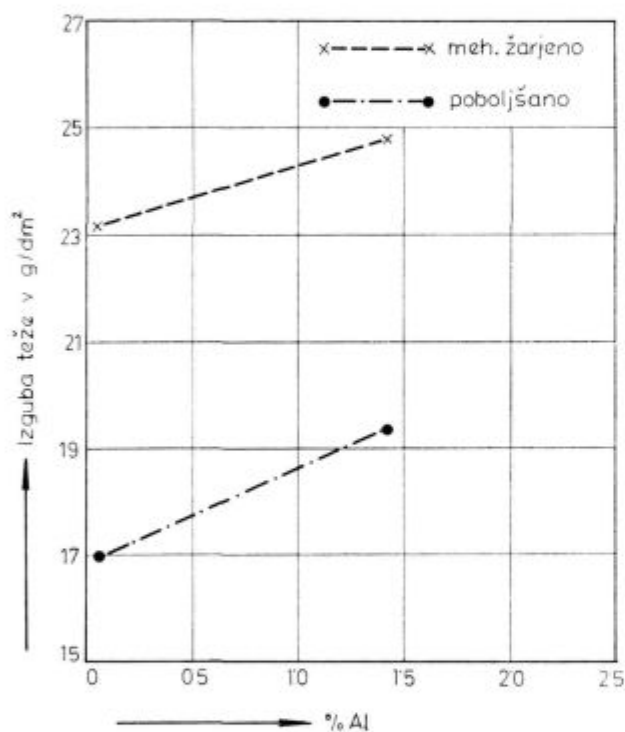


Slika 9
Č 4581 — 3,5 % Si — mehko žarjeno stanje × 500

- = kvaliteta Č 4581 je najbolj izpostavljena oksidaciji v čistem PbO, najmanj pa v reagentu $2 \text{PbO} \times 3 \text{PbSO}_4$,
- = kvaliteta Č 4575 ima najmanjše izgube v $\text{PbO} \times \text{PbBr}_2$, medtem ko ima v ostalih dveh reagentih približno enake izgube, kar je v primeru reagenta $2 \text{PbO} \times 3 \text{PbSO}_4$ posledica učinka žvepla na nikelj.
- v poboljšanem stanju so vsa jekla obstojnejša zaradi homogenejše strukture, predvsem zaradi manjše količine izločenih karbidov, ki se tekom



Slika 10
C 4581 — Vpliv Al na korozijo



Slika 11
C 4581 — 1,4 % Al — poboljšano 500X

termične obdelave delno raztope v osnovi in s tem povečajo korozijsko obstojnost.

- najaktivneje pospešuje normalno oksidacijo čisti PbO
- učinek PbO se z dodanimi reagenti $PbBr_2$ in $PbSO_4$ zmanjšuje, čeprav se pojavlja v primeru avstenitnih ventilskih jekel (n. pr. C 4575) dodatni vpliv žvepla na nikelj. Ta učinek pa ne poveča izgube teže nad ono, ki jo je opaziti v čistem PbO.

Za primer jekla C 4581 pa omogočajo dobljeni rezultati postavitev naslednjih zaključkov:

- Krom, kot glavni legirni element povečuje obstojnost jekla le do določene vrednosti. Kot najoptimalnejši je interval med 20 in 22 % kroma. Višje vsebnosti lahko povzročajo povečanje izgube teže zaradi neugodne strukture.
 - silicij v malem intervalu (1–2 %) močno poveča obstojnost jekla, posebno v primeru, če je Cr pod 20 %, v nasprotnem primeru pa deluje nepovoljno ne glede na vsebnost Cr. Višje vsebnosti od 2,5 % silicija stalno povzročajo neugodne velike karbide in s tem padec korozijske odpornosti jekla.
 - aluminij deluje neugodno na izoblikovanje karbidov in s tem povečuje korozijo.
 - ogljik sicer ni bil posebej preiskan, vendar v zvezi z visokimi vrednostmi izgube teže za jeklo s 16 % Cr, ki je utemeljena z osiromašitvijo osnove na kromu zaradi tvorbe karbidov lahko zaključimo, da bi vsako povečanje ogljika povečalo tudi obseg korozije zaradi dodatnega odvzema kroma osnovni masi za tvorbo karbidov.
 - mikrostruktura je zelo pomemben faktor, ki vpliva na obseg korozije. Najugodnejša je mikrostruktura z enakomerno porazdeljenimi globularnimi karbidi.
- Uporabnost dobljenih rezultatov preiskave za zboljšanje kvalitete jekla C 4581 je bila v tem, da smo lahko na njihovi osnovi in na osnovi zaključkov precizirali:
- ožje analize meje za C, Si in Cr
 - določili najoptimalnejšo mikrostrukturo, ki zagotavlja poleg zahtevanih mehanskih lastnosti tudi zahtevano korozijsko obstojnost v raztaljenih svinčevih solih.

Literatura

1. J. C. Sawyer
Transactions of the Metallurgical Society of AIME
Vol. 221/1961 st. 63–69
2. Kubaschewski
Hopkins
Oxidation of metals and alloys
2. edition London Butterworths 1962
3. H. Cornelius
Stahl und Eisen 1944 Heft 27, st. 433–439 Heft 28 st. 453–459
4. E. Houdremont
Handbuch der Sonderstahlkunde
Verlag Stahleisen M. B. H.
Düsseldorf 1956 I. Band
5. F. Rapatz
Die Edelstähle — Sppinger Verlag
Berlin 1962 5. Auflage
6. Katalog
Böhler Antinitstähle 1957 st. 133–158
7. M. Piščanec
Diplomsko delo

ZUSAMMENFASSUNG

Die Korrosion in geschmolzenen Bleisalzen bekam wegen des schnellen Ablaufes den Titel »katastrophale Oxydation«. Gegen diese Form der Oxydation sind teilweise nur hochlegierte Stähle widerstandsfähig. Im Artikel ist die Standardmethode der Bestimmung des Oxydationsumfanges nach Calingart beschrieben, gleichzeitig aber auch der Einfluss der einzelnen Komponenten in den Reagenten, die bei den Versuchen verwendet werden, auf die Korrosion einiger Ventilstähle. Ausführlicher ist der Einfluss

verschiedener Gehalte einzelner Elemente bearbeitet, die die Träger der mechanischen und physikalischen Eigenschaften und der Mikrostruktur sind, auf die Korrosionsbeständigkeit des Ventilstahles der Qualität C 4581. Die Resultate der Untersuchungen ermöglichten den engeren Analysenbereich und die Mikrostruktur zu bestimmen, um die optimale Beständigkeit gegen die katastrophale Oxydation bei geforderten mechanischen Eigenschaften zu erreichen.

SUMMARY

Corrosion taking part in melted lead bearing salts have been named »catastrophic oxidation«, because of its fast advance. Only high alloyed steels are partially resistive against this kind of oxidation. Paper is dealing with standardized method for establishing the scope of oxidation upon Calingart. At the same time it is dealing with the influence of some components of reagents which are used when testing corrosion of some valve steels. Influence of

different contents of some elements upon corrosion resistance of valve steel C 4581 are dealt with in detail. These elements are carriers of mechanical and physical properties as well as carriers of microstructure. Results have made it possible to establish the limits of content and microstructure to attain optimal corrosion resistance against catastrophic oxidation along with demanded mechanical properties.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Коррозия в расплавленных солях свинца получила вследствие быстрого процесса название »катастрофическая оксидация«. Частично устойчивы этой формы окисления лишь высоко-легированные стали. Автор описывает стандартизованный метод для определения области окисления по Calingart-у а одновременно также влияние отдельных компонент реактивов которая употреблены при опытах коррозии некоторых сортов стали для вы-

делки вентиляей. Подробно исследовано влияние некоторых элементов, носителей механических и физических свойств и микро-структуры различного содержания на коррозионную устойчивость стали марки C 4581 для выделки вентиляей.

Результаты исследования позволили уточнить узкую аналитическую область и микроструктуру для достижения оптимальной устойчивости против катастрофической оксидации при соблюдении требуемых механических свойств.

Delovanje štirislojnih polprevodniških elementov

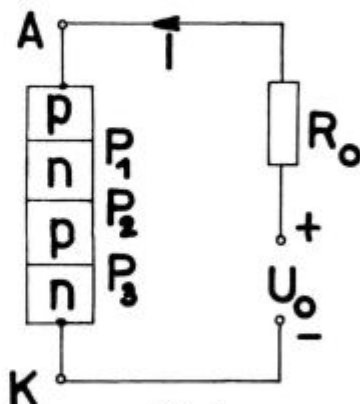
V članku so opisane elektriške lastnosti štirislojnih polprevodniških elementov — dinistorja in tiristorja. Ta dva elementa sta se pojavila na tržišču v ZDA po letu 1959. Od tedaj naprej je njihova proizvodnja dosegla velik napredek, izboljšale so se lastnosti elementov, povečal se je izbor, zaradi masovne proizvodnje se je njihova cena znižala. To velja zlasti za ZDA. V tem času so tudi nekatere evropske države začele s proizvodnjo teh elementov (Sovjetska zveza, Zahodna Nemčija, Češkoslovaška, itd.), tako da bodo štirislojni polprevodniški elementi verjetno v prihodnosti v celoti nadomestili ustrezne plinske elemente (tiratron, Hg ventil z mrežico, itd.), saj imajo v primerjavi z njimi same dobre lastnosti (majhne dimenzije, majhna krmilna moč, veliki tokovi v prevodni smeri ter sorazmerno velike napetosti v zaporni smeri, itd.). Članek je napisan z namenom, da bi te elemente spoznali, kajti v Železarni Jesenice so dobili nekaj novih naprav, ki imajo vgrajene te elemente. To so predvsem nove naprave v valjarni Bela ter žičarski stroji v HVž. Upam, da bo članek pripomogel k boljšemu razumevanju in vrževanju teh naprav.

Polprevodniški elementi s štirislojno strukturo p-n-p-n predstavljajo eno izmed oblik izvedb elementov, kateri pri določeni smeri toka prevajajo, pri spremembi smeri toka pa zapirajo — so neprevodni. Lastnosti, ki določujejo tak način prevajanja, obstojijo v gostoti primesi v slojih polprevodnika, ki sestavljajo element. Različne primesi čistemu polprevodniku lahko različno vplivajo na tip njegove prevodnosti. Razlikujemo n tip prevodnosti (presežek elektronov) in p tip prevodnosti, kjer imamo pomanjkanje elektronov in se prevajanje vrši z vrzelmi. Štirislojen polprevodniški element se sestoji iz obeh tipov prevodnosti, to je iz štirih slojev tipa p in n, ki se izmenično vrste. (Glej sliko 1.)

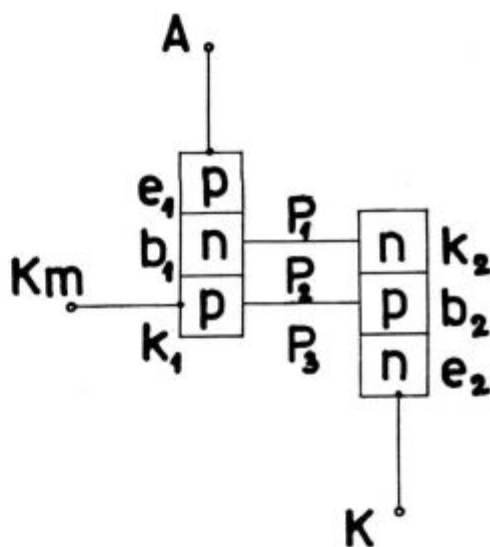
Element lahko predstavimo tudi v obliki dveh transistorjev (p-n-p in n-p-n), katera imata zvezana kolektorja (prehod P_2). Transistorja sta vezana v pozitivni povratni zvezi, kot kaže slika 2.

Kot je razvidno iz slike 2 sta baza in kolektor transistorja Tr 1 odgovarjajoče zvezana s kolektorjem in bazo transistorja Tr 2. Razvidno je, da kolektorski tok enega transistorja prehaja čez bazo drugega ter s tem naredi notranjo povratno zvezo.

Ako priključimo na elektrodi A in K napetosti U_0 (polariteta je prikazana na sliki »a«), bosta oba emitorska prehoda prevajala (P_1 in P_3), a ko-



Slika 1
 Shematični prikaz štirislojnega prevodniškega elementa

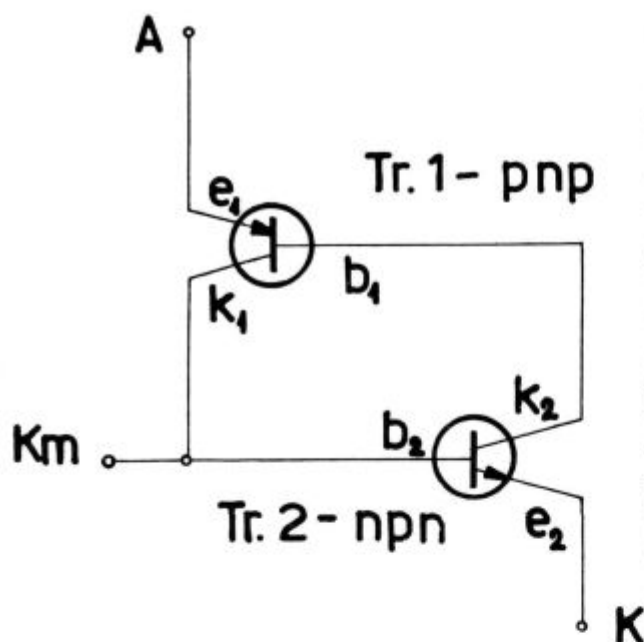


Slika 2a
 Shematična slika strukturni prikaz

lektorski prehod P_2 ne bo prevajal, temveč bo zapiral. Napetost vira U_0 se bo praktično porabila na prehodu P_2 . Tok I_{p2} , ki teče skozi prehod P_2 , predstavlja vsoto kolektorskih tokov obeh transistorjev in toka v zaporni smeri, to je tok kolektorskega prehoda P_2 , ki je polariziran v zaporni smeri. Ako označimo z α_1 in α_2 koeficiente ojačanja emitorskih tokov transistorjev Tr 1 (p-n-p) in Tr 2 (n-p-n) dobimo tok preko prehoda P_2 :

$$I_{p2} = \alpha_1 \cdot I_{e1} + \alpha_2 \cdot I_{e2} + I_{iz}$$

kjer pomeni: I_{e1} in I_{e2} . . . emitorski toki transistorja Tr 1 in Tr 2



Slika 2 b
Vezava z dvema tranzistorjema

I_{iz} . . . izgubni tok (tok v zaporni smeri kolektor-skega prehoda P_2)

Razvidno je, da morajo toki I_{e1} , I_{e2} in I_{p2} biti po velikosti enaki, kot tok v zunanjem tokokrogu I:

$$I_{p2} = I_{e1} = I_{e2} = I$$

Zaradi tega velja:

$$I = \frac{I_{iz}}{1 - (\alpha_1 + \alpha_2)}$$

Enačba nam pove, da je tok I odvisen od velikosti koeficientov ojačanja α_1 in α_2 . Tok I zelo naglo naraste, če se vsota ($\alpha_1 + \alpha_2$) približa 1. Dokler je napetost U_0 med elektrodami A in K majhna, so koeficienti ojačanja α_1 in α_2 prav tako majhi, njihova suma je znatno manjša od 1, tok I je majhen ($I \approx I_{iz}$). Oba transistorja se nahajata v neprevodnem stanju in upornost med elektrodami je velika (nekaj 100 kohm). Opisano stanje odgovarja neprevodnemu stanju elementa, ki ga običajno imenujemo stanje nizke prevodnosti (visoke upornosti).

Ce hočemo, da začne element prevajati, moramo povečati koeficiente ojačanja α_1 in α_2 . Obstajata dva načina povečanja teh koeficientov. Znano je, da koeficient ojačanja emitterskega toka plastnega transistorja raste približno tako, kot raste napetost med kolektorjem in emitorjem. Zaradi tega moramo povečati napetost U_0 , da bosta tudi koeficienta ojačanja α_1 in α_2 rastla, a odgovarjajoče z njima bo rasel tudi tok I. Pri neki vrednosti napetosti $U_0 = U_{vz}$, kjer je U_{vz} napetost preklopa (to je napetost, ki povzroči, da element preide iz neprevodnega stanja v prevodno), eden od transistorjev, npr. Tr 1, začne prehajati v nasičeno

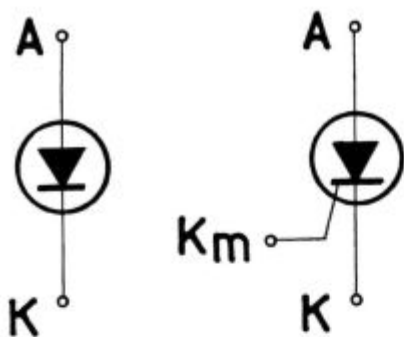
stanje. Kolektorski tok tega transistorja teče v tokokrog baze drugega transistorja Tr 2, ta se odpre ter povzroči, da se pojavi tok v tokokrogu baze prvega transistorja Tr 1. Kolektorska tokova obeh transistorjev sedaj lavinsko naraščata, koeficienta ojačanja α_1 in α_2 se naglo povečujeta in oba transistorja preideta v nasičeno stanje (polno prevajata). Upornost med sponkama A in K se zniža do nekaj desetink ohma. Za to stanje velja, da je $\alpha_1 + \alpha_2 \approx 1$ in tok I omejuje le upornost zunanega tokokroga. Takemu stanju štirisljednega polprevodniškega elementa pravimo stanje visoke prevodnosti (nizke upornosti). Čas prehoda iz enega stanja v drugo stanje traja nekaj μs , ob pogoju da napetost U_0 trenutno povečamo. V prevodnem stanju vsi trije prehodi štiriplastnega polprevodniškega elementa izkazujejo prevajanje v prevodni smeri. Padec napetosti na elementu je le nekoliko voltov, kar je npr. enako padcu napetosti pri običajni silicijevi diodi, ako se ta napaja v nasičenem stanju (to je padec napetosti na diodi pri maksimalnem toku v prevodni smeri).

To je bil eden izmed načinov povečanja koeficientov ojačanja α_1 in α_2 . Drugi način povečanja teh koeficientov je osnovan na temu, da je v silicijevih transistorjih koeficient ojačanja α v veliki meri odvisen od toka emitorja, koeficient zelo hitro naraste pri povečanju tega toka. Zaradi tega štirisljednega polprevodniške elemente lahko prevedemo v prevodno stanje, ako »izpustimo« tok v tokokrogu baze enega od transistorjev. Običajno ima element narejen izvod iz srednjega p področja (baza transistorja Tr 2). V tem slučaju moramo za preklon štiriplastnega polprevodniškega elementa pustiti teči tok pozitivne polaritete čez bazo in emitor transistorja Tr 2. V slučaju, da je izvod narejen iz srednjega n področja, pa pustimo teči tok negativne polaritete čez bazo in emitor transistorja Tr 1. Oba obravnavana načina povečanja koeficientov ojačanja α izkoriščamo za preklon štirisljednega polprevodniških elementov.

p področje ob strani, na katerega je priključen pozitivni pol vira napetosti U_0 , bomo imenovali anoda z oznako A, n področje na drugi strani, h kateremu je priključen negativni pol vira napetosti U_0 , pa bomo imenovali katoda z označbo K. Izvod iz srednjega p področja pa glede na namen uporabe imenujemo krmilna elektroda z oznako Km. Taka označba štirisljednega polprevodniških elementov je pripravna zaradi lažjega razumevanja delovanja vezav s temi elementi.

Terminologija, ki je povezana z elementi tipa p-n-p-n je zelo različna. V literaturi je mogoče zaslediti nazive kot: štirisljedna dioda, preklopna dioda, dinistor, silicijev krmiljeni ventil, krmilna dioda, stromtor, thyristor, SCR (silicon controlled Rectifier), itd. Mi bomo dvoelektrodne štirisljednega polprevodniške elemente imenovali dinistorji (D), a trielektrodne tiristorji (T).

Na naslednji sliki 3 vidimo stikalno oznako omenjenih polprevodniških elementov:



Slika 3

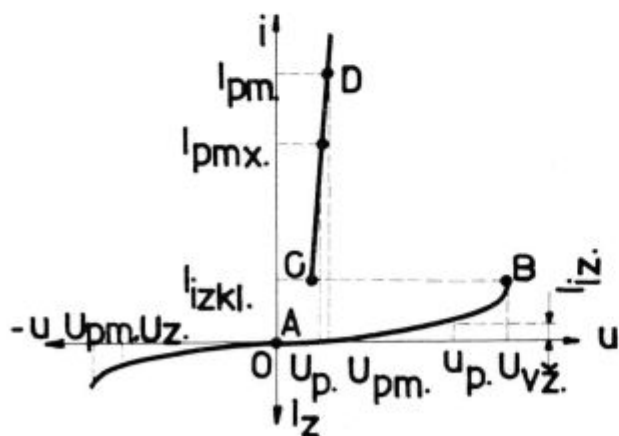
Stikalna oznaka za dinistor in tiristor

Štirislojni polprevodniški elementi so izdelani iz silicija, kar je pogojeno s: prvič: silicijev element ima zelo močno odvisnost ojačanja (α) od toka, ki teče skozi njega in drugič: silicijev element prenese večje napetosti kot npr. germanijev element.

Element je vgrajen v hermetično zaprtem metalnem ohišju, ki ga štiti od zunanjih vplivov in poškodb, obenem pa to ohišje odvaja toploto pri obratovanju elementa, kajti vsak element ima zaradi Joulovega zakona notranje izgube (zaradi notranje upornosti). To toplotno energijo moramo odvajati, če hočemo da nam bo element pravilno deloval. Elementi, ki obratujejo s srednjimi tokovi (nad 100 mA) je anodni izvod običajno izveden v obliki vijaka, ki je spojen z ohišjem.

VA karakteristika, dinistorja

Režim obratovanja štirislojnih polprevodniških elementov zelo dobro ilustrira njihova VA karakteristika, ki je prikazana na sliki 4.



Slika 4

VA karakteristika dinistorja

Na horizontalno os je nanešena napetost u (med anodo in katodo dinistorja), a na vertikalno os tok i , ki teče čez dinistor. Del karakteristike pri pozitivnih napetostih imenujemo prevodni (desni zgorjni del), a pri negativnih zaporni del karakteristike (levi spodnji del).

Odsek AB karakteristike odgovarja izklopljenemu stanju dinistorja (pri prevodni smeri). Pri napetosti $u_p < U_{vž}$ teče preko dinistorja le majhen izgubni tok I_{iz} , ta je tudi merilo za višino napetosti, ki je na element priklopljena v prevodni smeri (u_p). Povišanje te napetosti ne povzroči v enaki meri povečanja toka, dokler napetost ne doseže točko $U_{vž}$. V tej točki karakteristike (točka B) dinistor preklopi in preide iz izklopljenega stanja v vklopljeno, pod pogojem, da lahko tok v tokokrogu naravnamo višje od neke minimalne vrednosti, ki se imenuje tok izklopitve I_{izkl} . Napetost v prevodni smeri, odgovarjajoča točki B na karakteristiki, se imenuje napetost vžiga (preklopa) $U_{vž}$.

Ob preklopu se delovna točka zelo hitro prenese na odsek CD karakteristike, kateri opisuje vklopljeno stanje dinistorja. Da dinistor obdržimo v tem stanju, moramo preko njega pošiljati tok $i \geq I_{izkl}$. Padec napetosti (preostala napetost na elementu) U_p pri vklopljenem dinistorju običajno ne preseže 1,5 — 2 V.

Ako tok v prevodni smeri zmanjšamo do vrednosti $i < I_{izkl}$ dinistor preide v izklopljeno stanje. Odseka AB in CD karakteristike opisujeta stabilno, a del BC nestabilno področje delovanja dinistorja. Z drugimi besedami povedano, pri določenih napetostih in tokovih se delovna točka lahko neskončno dolgo časa nahaja na delih AB in CD, medtem ko je statično stanje dinistorja, pri katerem bi delovna točka ležala na odseku BC, nemogoče.

Ako na dinistor pritismo napetost, z obratno polariteto kot kaže slika 1, tedaj sta oba stranska prehoda dinistorja neprevodna, tok v zaporni smeri je zelo majhen, dinistor se nahaja v zaporni smeri. Kadar ta napetost postane višja od prebojne napetosti U_{zp} nastopi preboj, kateri ob majhni aktivni upornosti zunanjega tokokroga dovede do poškodbe elementa. Nevarno je celo, ako le za kratek čas povišamo napetost v zaporni smeri do velikosti prebojne napetosti ali malo manj.

VA karakteristika tiristorja

Nedostatek dinistorja je v tem, ker pri njem ne moremo spreminjati napetosti vžiga. To lahko obvladamo s tiristorjem. Na sliki 5 je prikazana VA karakteristika tiristorja pri raznih tokovih I_{km} v tokokrogu krmilne elektrode.

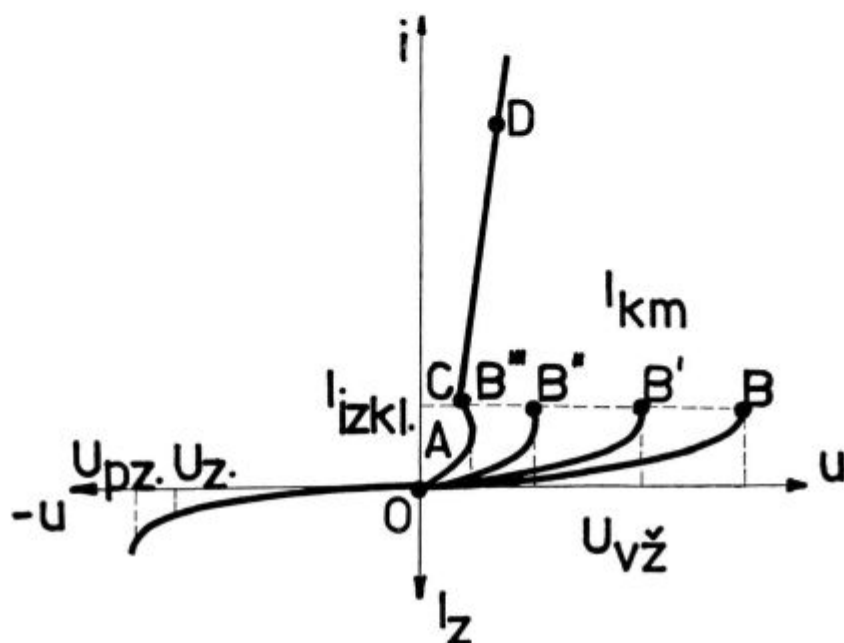
Krivulja pri tokokrogu $I_{km} \approx 0$ je analogna obravnani karakteristiki dinistorja, torej odgovarja stanju, ako je krmilna elektroda izklopljena. Ako povečujemo tok krmilne elektrode se odsek AB karakteristike krajša in napetost vžiga (pre-

$$B'' = U_{VZ}'' \cdot I_{km}'' = \max.$$

$$B' = U_{VZ}' \cdot I_{km}'$$

$$B = U_{VZ} \cdot I_{km}$$

$$B = U_{VZ} \cdot I_{km} = 0$$



Slika 5 VA karakteristika tiristorja

klopa) se znižuje. Pri zadostno velikih krmilnih tokovih npr. pri toku I_{km} , del karakteristike, ki opisuje izklopljeno stanje elementa izgine in VA karakteristika tiristorja preide v karakteristiko normalnega silicijevega ventila (dioda).

Krmilna elektroda igra vlogo vžigne elektrode, kot je npr. vloga mrežice pri tiratronu. Ko tiristor s pomočjo toka krmilne elektrode vklopimo, izgubi on svoje krmilne lastnosti, ter da bi ga izklopili je potrebno, da zmanjšamo tok v prevodni smeri in sicer nižje od velikosti I_{izkl} . Tiristor lahko vklopimo s pomočjo tokovnih impulzov v tokokrogu krmilne elektrode, ki trajajo nekaj mikrosekund. (ob pravilni polariteti napetosti na elementu).

Obravnavani način preklopa tiristorja s pomočjo toka v krmilnem tokokrogu ima velike prednosti. Z njim popolnoma poljubno krmilimo tiristor s tem, da s krmilnim tokom nastavimo napetost vžiga, poleg tega pa nam da možnost krmiljenja velikih moči z malimi močmi krmilnih impulzov.

Zelo važna lastnost tiristorja je ta, da lahko obratuje z impulzi z amplitudo I_{pm} , kateri so lahko večji od največjega dopustnega stalnega toka v

prevodni smeri I_{pmaks} . Torej s takimi elementi lahko preklaplamo tudi velike impulzne moči.

Običajno ne nastavljamo višino vžigne napetosti s konstantnim tokom v krmilnem tokokrogu. Iz zgornjih izvajanj smo videli, da nam impulz z amplitudo, ki odgovarja največjemu dopustnemu krmilnemu toku, preklopi tiristor v vklopljeno stanje v nekaj s. Ako hočemo npr. krmiliti višino usmerjene napetosti, bomo to storili z večjo ali manjšo časovno zakasnitvijo impulzov in ne z morebitno spremembo konstantnega krmilnega toka, ker je to neekonomično.

VKLOP IN IZKLOP ELEMENTOV

V večini vezav, kjer uporabljamo štirislajne polprevodniške elemente, se uporabljajo za vklop ali izklop elementa impulzi. Z impulzi torej element preklopimo iz enega stanja v drugega. Ti impulzi se imenujejo startni impulzi, uporabljamo pa jih v tokokrogu krmilne elektrode pri tiristorju, medtem ko pri dinistorju uporabljamo tak impulz v tokokrogu anoda-katoda. Osnovna zahteva, ki se

postavlja pri vezavah s temi elementi je v zanesljivosti ohranitve vklopljenega ali izklopljenega stanja ter v hitrem prehodu iz enega stanja v drugo pri delovanju impulza.

Za zanesljivo ohranitev izklopljenega stanja je neobhodno potrebno, da je napetost na elementu v prevodni smeri le:

$$U_p \leq (0,7-0,8) U_{vž}$$

in ne več. Proizvajalci garantirajo za določen tip štirisljednega polprevodniškega elementa napetost s tem pogojem.

Dinistor preide iz izklopljenega stanja v vklopljeno stanje, če je na njega pritisnjena v prevodni smeri nekoliko višja napetost od napetosti vklopa, to je:

$$U_o > U_{vž}$$

Pri napetosti vira

$$U_o < U_{vž}$$

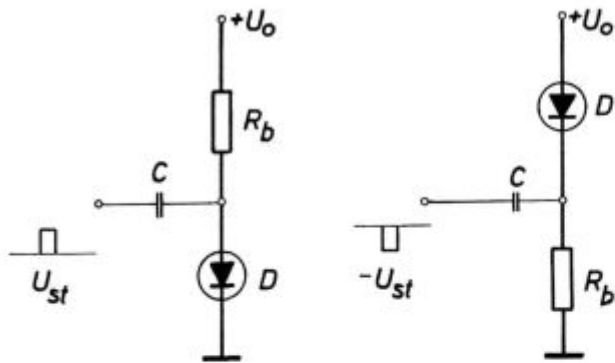
se prekop lahko doseže s pomočjo startnega napetostnega impulza U_{st} odgovarjajoče polaritete, katera se prištevata napetosti med elektrodama (v tem primeru moramo zadostiti pogoj):

$$U_o + |U_{st}| \geq U_{vž}$$

S tem dinistor prekopimo iz izklopljenega stanja v vklopljeno. Ako hočemo dinistor zopet spraviti v izklopljeno stanje, moramo zmanjšati tok skozi dinistor in sicer na vrednost:

$$I \leq I_{izkl.}$$

Slika 6 kaže primera, kako lahko dosežemo vklopitev dinistorja



Slika 6

Vklop dinistorja s startnimi impulzi

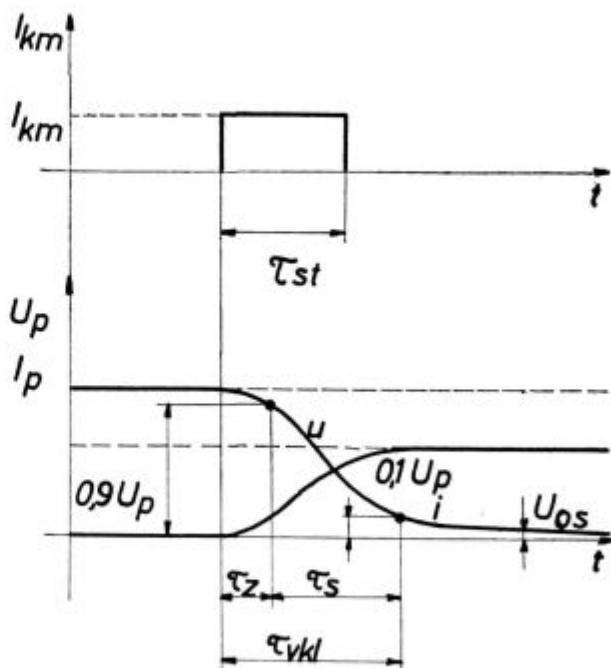
Prva nam prikazuje vklop dinistorja s pomočjo pozitivnega startnega impulza, druga pa s pomočjo negativnega startnega impulza.

Tiristorji delajo v režimu pri katerem vladajo pogoji:

$$U_o < U_{vž}$$

in prekopijo iz izklopljenega stanja v vklopljeno, seveda pri polariteti za prevodno stanje tiristorja,

ako damo v tokokrog krmiljne elektrode tokovni impulz. Slika 7 nam podaja časovno karakteristiko preklopa tiristorja.



Slika 7

Časovna karakteristika preklopa tiristorja

Slika nam prikazuje, da lahko čas preklopa tiristorja iz izklopljenega stanja v vklopljeno τ_{vkl} razdelimo na dva intervala in sicer:

- čas zadrževanja τ_z
- čas stabilizacije τ_s

Čas zadrževanja je potreben zato, da se v okolici krmilne elektrode nabere zadosti velik naboj, ki povzroči proces lavine in s tem prevajanje tiristorja. Čas stabilizacije pa je potreben za stabiliziranje stanja visoke prevodnosti. Po izvršitvi procesa preklopa ostane na tiristorju le še minimalen padec napetosti.

Za zanesljiv prekop tiristorja je potreben startni impulz, ki traja:

$$\tau_{st} > \tau_z$$

Pri večjih tokovih v tokokrog krmiljne elektrode I_{km} , se lahko čas nekoliko skrajša in s tem je lahko čas trajanja startnega impulza krajši. Po eksperimentalnih podatkih za tiristorje sovjetske proizvodnje tipa D 235 in D 238 mora biti pri maksimalnem toku krmilne elektrode $I_{km_{maks}}$ čas trajanja startnega impulza $1,5-3 \mu s$ in ne krajši. Generator startnih impulzov mora imeti dovolj nizko impedanco, da lahko dobimo dovolj velik krmiljni tok. Navajam nekatere parametre za tiristorje iz sovjetske proizvodnje.

Tiristorji tipa VKDUV:

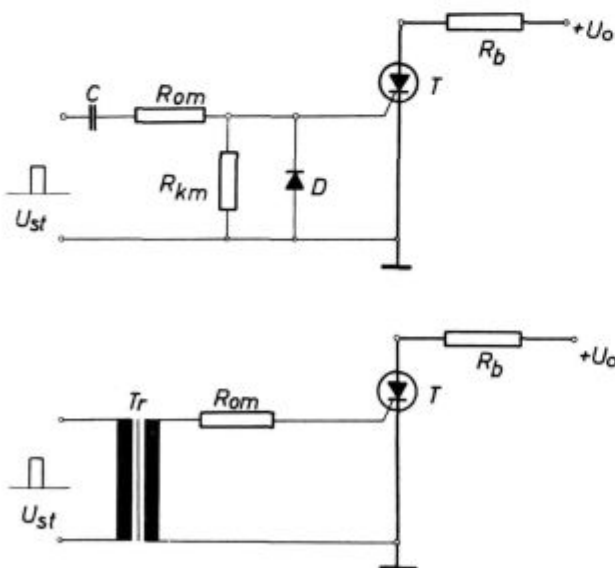
- moč krmilnega toka 20 W
- dopustna amplitudna vrednost napetosti startnega impulza 20 V
- dopustna amplitudna vrednost toka startnega impulza 1 A
- čas trajanja amplitudne vrednosti toka startnega impulza (minimalno) $2 \cdot 10^{-5}$ s
- delovni tok, srednja vrednost (A) do 200 A
- padec napetosti, srednja vrednost (V) do 0,9 V
- maksimalna napetost preklopa (v prevodni smeri, amplitudna vrednost) do 1000 V
- maksimalna zaporna napetost (amplitudna vrednost) do 1000 V
- temperatura pnpn strukture do + 110° C
- čas vklopa τ_{vkl} do 10 μ s
- čas izklopa τ_{izkl} do 25 μ s
- frekvenca komutacije 500 Hz
- načini hlajenja: vodno, prisilno z ohlajevalcem, množina vode 30 l/min., temperatura vode + 30° C
- teža tiristorja z radiatorjem 1150 gr
- brez radiatorja 450 gr

Že iz teh podatkov, ki so seveda mejni, lahko izračunamo močnostno ojačanje:

$$A_m = \frac{g}{P_{km}} = \frac{1000 \cdot 200}{1 \cdot 20} = 10000$$

Ta faktor je zelo visok. Torej resnično drži trditev, da lahko z malim tokom v tokokrogu krmiljne elektrode krmilimo glavni bremenski tok.

Na sliki 8 sta prikazana dva načina vklopa tiristorja s startnimi impulzi.



Slika 8
Vklop tiristorja s startnimi impulzi

Kapacitivnost ločilnega kondenzatorja C mora biti tolikšna, da bi ob koncu delovanja startnega impulza v krmilnem tokokrogu vzdrževal tok:

$$I_{km} \geq I_{km_{min}}$$

Običajno se kapacitivnost kondenzatorja izbira v mejah med 0,03 do 0,1 μ F. Dioda D preprečuje pojavo negativnega impulza v krmilnem tokokrogu pri praznenju kondenzatorja. Kondenzator ni potreben tam, kjer nimamo enosmerne napetosti v pavzah med impulzi (npr. shema s transformatorjem).

Da prilagodimo impedanco vira startnih impulzov k tiristorskemu tokokrogu, večkrat uporabljamo transformator. Pri tem stiku seveda odpade tudi kondenzator.

Za omejitev toka do te meje, da ni nič več nevaren tiristorju, je priporočljivo v krmilni tokokrog vezati upor Rom z upornostjo nekaj deset ohmov. Upor Rkm z upornostjo 0,5—3 kohm preskrbi galvanško zvezo krmiljne elektrode s katodo tiristorja.

Pri preklopu štirislajnih polprevodniških elementov vseh tipov iz vklopljenega v izklopljeno stanje je nujno, da je tok skozi tiristor:

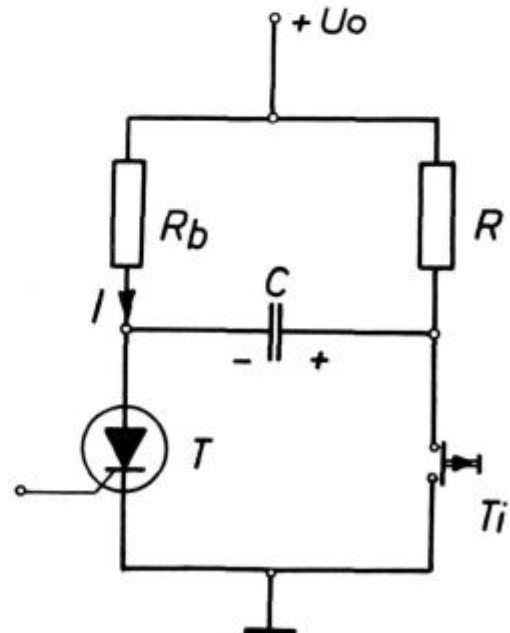
$$I_p < I_{izkl}$$

(za tiristorje mora biti v tem primeru $I_{km} = 0$).

Praktična izvedba izklopa je izvedena sledeče:

- prekinitve anodnega tokokroga
- povečanje upornosti upora, ki je priklopljen zaporedno z elementom
- ako uporabimo izmenično napetost (tok preneha, ko gre napetost preko 0)
- ako damo na anodo napetost, ki je kratkotrajna in obratne polaritete

Zadnji način izklopitve elementa ilustrira veza na sliki 9.



Slika 9
Izklop tiristorja

Pri vklopu tiristorja T se polni tudi kondenzator C in čez določen čas: $\approx 3\tau$, kjer pomeni:

$$\tau = R \cdot C$$

to je časovna konstanta tokokroga polnjenja kondenzatorja, postane napetost na tem kondenzatorju U_c , enaka napetosti napajanja U_0 . Pri pritisku tipke Ti tiristor dobi napetost U_c , ki je obrnjene polaritete kot napajalna napetost U_0 , kar privede do njegovega izklopa. To velja pod pogojem, če je:

$$U_0 < U_{vž}$$

Popolnoma analogna shema se lahko uporabi tudi za dinistor.

Pri takih načinih izklopa sledi, da moramo uporabljati take štirislojne polprevodniške elemente, ki imajo garantirano napetost v zaporni smeri (U_z). Kapacitivnost komutirajočega kondenzatorja mora biti dovolj velika, da bi se napetost v zaporni smeri na elementu ohranila toliko časa, kolikor je potrebno za njegov izklop. To je podano z:

$$C \geq \frac{I_p \cdot \tau_{izk}}{U_0} (\mu F)$$

kjer pomeni:

I_p — tok v prevodni smeri (tok obremenitve) (A)

τ_{izk} — čas izklopa elementa (μs)

U_0 — napetost napajalnega vira (V)

Čas izklopa τ_{izk} štirislojnih polprevodniških elementov se razdeli na dva intervala:

1. čas padca toka v prevodni smeri do $0,1 I_p$, τ_p
2. čas, ki je potreben za ustavitev krmilnih lastnosti elementa, τ_{ust} .

Čas padca normalno ni večji od $1 \mu s$, čas τ_{ust} pa je odvisen od vrste pogojev, npr. proporcionalen je temperaturi pri prehodu, proporcionalen je velikosti toka v prevodni smeri, kateri je tekel neposredno pred njegovim izklopom, itd. Čas izklopa je kar enak:

$$\tau_{izk} = \tau_p + \tau_{ust} \approx \tau_{ust}$$

Naveden je v tovarniških podatkih elementa. To smo že navedli predhodno za tiristorje sovjetske proizvodnje.

Na element v presledku $t < \tau_{izk}$ ne smemo ponovno dati napetost v prevodni smeri. Ako damo napetost v zaporni smeri nam kažejo eksperimentalni podatki, da se zmanjša τ_{izk} za 20–30%. Podaljšanje procesa izklopa τ_{izk} določa minimalni interval med dvema zaporednima vklopoma, to je mejna frekvenca komutacije.

Štirislojni polprevodniški elementi delajo do frekvence nekoliko 10 kHz.

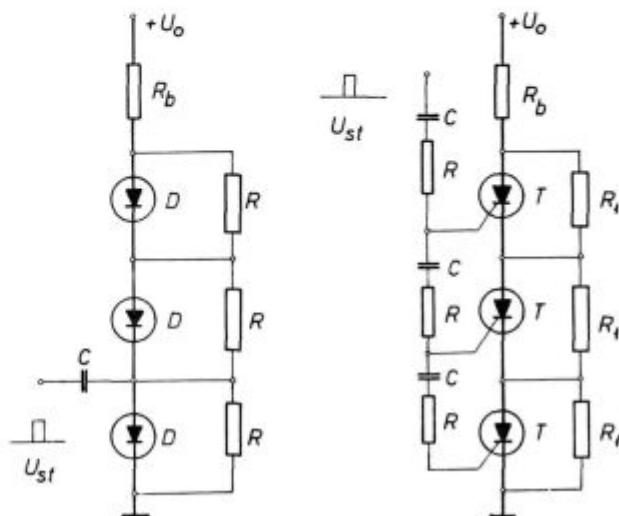
Če hočemo povečati komutacijsko moč, moramo povečati tok in napetost v prevodni smeri. Vendar gremo lahko samo do I_{pmax} in U_{pmax} , to je do mejnih vrednosti elementov. Za povečanje komutacijske moči lahko elemente vezemo zaporedno. Vendar moramo zaradi pravilne razdelitve napetosti na posamezne elemente imeti paralelno k vsakemu elementu še upor. Velja, da se izklopljeno stanje ohrani, če je:

$$U_0 < m \cdot U_{vž}$$

kjer pomeni:

m — število elementov

Preklop iz izklopljenega stanja v vklopljeno dosežemo s startnim impulzom in sicer pri dinistorjih tako, da z impulzom vklopimo samo en dinistor. Ko ta vklopi, je s tem sedaj na druge elemente pritisnjena večja napetost od $U_{vž}$, in preidejo v vklopljeno stanje. Pri tiristorjih pa vezemo vse krmilne elektrode preko kondenzatorjev skupaj in uporabimo en startni impulz. Slika 10 nam prikazuje opisane vezave.

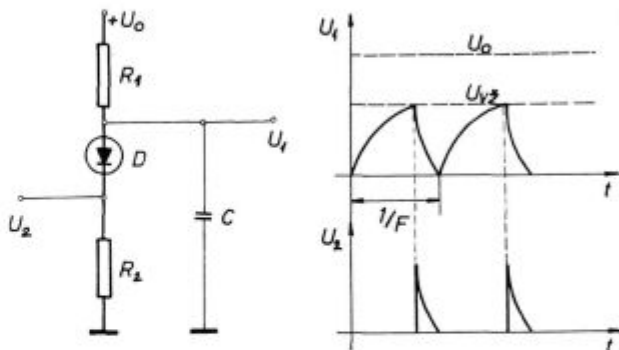


Slika 10

Zaporedne vezave elementov

UPORABA DINISTORJEV

Kot smo videli, je dinistor preklopni element in se uporablja tudi v vezjih, kjer je preklop funkcija napetosti. To pa je zelo obširno področje, zato je tudi uporabnost dinistorjev zelo velika. Upam, da se bo iz obravnavanih primerov dovolj jasno videlo, kako vsestransko je element uporabljiv. Slika 11 nam prikazuje generator žagaste napetosti.



Slika 11

Generator žagaste napetosti

Ko priključimo napetost U_0 , ki mora biti večja od $U_{vž}$, se začne kondenzator C polniti preko R_1 . Napetost na kondenzatorju raste tako dolgo, do-

kler ne doseže $U_{vž}$. V tem momentu dinistor vklopi in začne prevajati ter izprazni kondenzator C. Če je upornost R_1 izbrana tako, da velja:

$$\frac{U_0}{R_1} < I_{izkl.},$$

se po izpraznitvi kondenzatorja dinistor vnovič povrne v izklopljeno stanje in proces se ponovi. Upornost R_2 , ki je:

$$R_2 \ll R_1$$

je v tokokrogu zaradi tega, da omeji tok skozi dinistor.

Pogoj, da to vezje deluje je:

$$U_0 \gg U_{vž}$$

Frekvenca žagaste napetosti je:

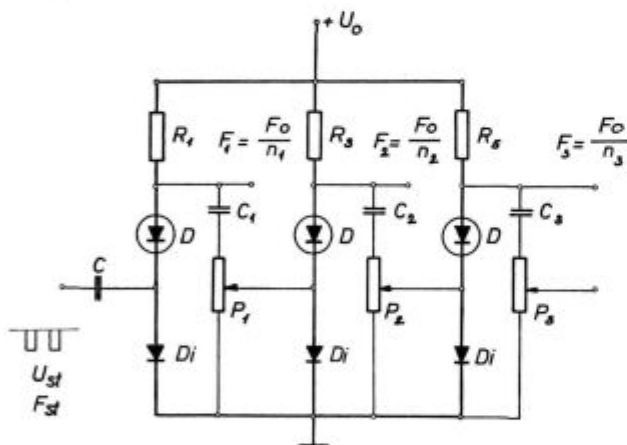
$$F = \frac{1}{R_1 C \ln \frac{1}{1-\gamma}}$$

kjer je:

$$\gamma = \frac{U_{vž}}{U_0}$$

Istočasno pa ob vsakem vklopu dinistorja dobimo impulz U_2 , s frekvenco F, kot je frekvenca žagaste napetosti U_1 .

Slika 12 nam prikazuje delitelj frekvence z dinistorji.



Slika 12
Frekvenčni delitelj

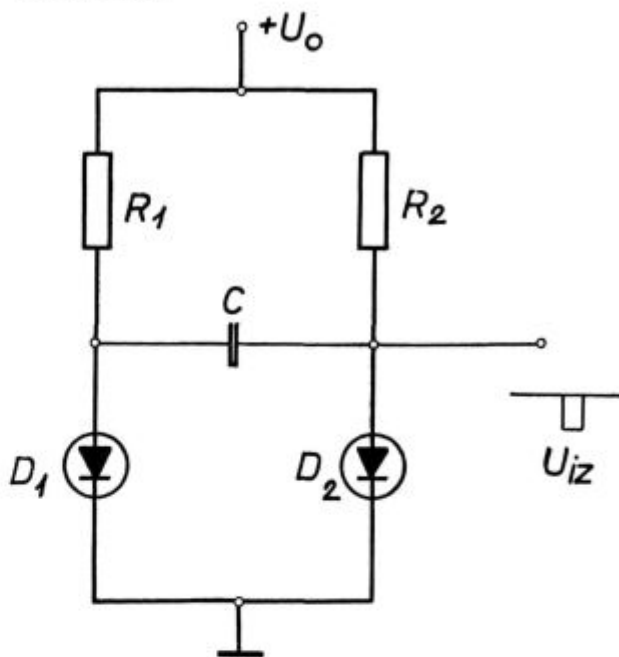
Napetost raste na kondenzatorju C eksponentno. Ako je v momentu prihoda sinhronizacijskega impulza napetost na kondenzatorju U_c taka, da velja:

$$U_c + |U_{sinhr}| < U_{vž}$$

potem dinistor ne vklopi. Ako povečamo sinhronizacijske impulze amplitudno tako, da bo dinistor preklopil v vklopljeno stanje in sicer ne pri prvem impulzu, ampak šele pri drugem, dobimo delitelj frekvence ($n = 2$). Slika prikazuje trikaskadni delitelj frekvence. Z upori P_1 , P_2 in P_3 pa postavljamo

velikost faktorja delitve n. Dioda pa je vgrajena za preprečitev negativnega povratnega impulza, upori R_1 , R_3 in R_5 pa so vstavljeni v vezje zato, da omejijo tok skozi dinistor na dopustno vrednost.

Slika 13 nam prikazuje astabilni multivibrator z dinistorji.



Slika 13
Astabilni multivibrator

Pogoj za delovanje tega vezja je:

$$U_0 > U_{vž}.$$

Pri priklopu napetosti U_0 eden od obeh dinistorjev mora preklopiti v vklopljeno stanje. Predpostavimo, da dinistor D_1 vklopi. Steče tok I_p in nastane padec napetosti na R_1 . Zato se začne kondenzator C polniti preko upora R_2 . Dinistor D_1 se izklopi, čim se na kondenzatorju pojavi napetost $U_c = U_{vž}$, kajti ta napetost je za D_1 negativna napetost. Zaradi tega se zdaj dinistor D_2 vklopi, kajti $U_c = U_{vž}$ je za dinistor D_2 pozitivna napetost. Kondenzator se izprazni preko dinistorja D_2 in se začne polniti preko upora R_1 . Proces se ponavlja in na izhodu dobimo negativne impulze U_{iz} .

Drugi pogoj, da naprava deluje je:

$$\frac{U_0 - U_{vž}}{R} > I_{izk},$$

sicer bi dinistor sam izklopil, takoj ko bi tok padel pod vrednost I_{izk} .

Ako predpostavimo:

$$R_1 = R_2 = R \\ U_{vž1} = U_{vž2} = U_{vž}$$

in ima kondenzator vrednost:

$$C \geq \frac{I_p \cdot \tau_{izk}}{U_0} \text{ (}\mu\text{F)}$$

tedaj dobimo frekvenco:

$$F = \frac{1}{2 RC \ln \frac{1}{1-\gamma}}$$

pri čemer velja:

$$\gamma = \frac{U_{vz}}{U_0}$$

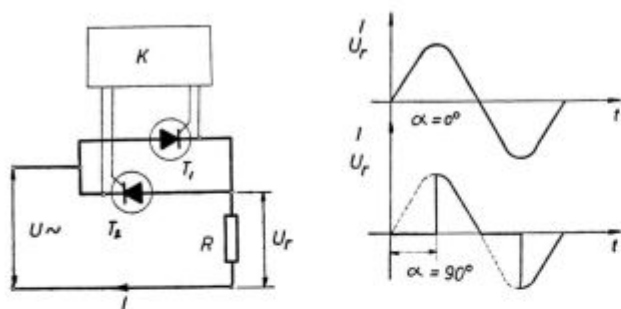
Ogledali smo si nekaj osnovnih vezav z dinistorji. Mislim, da primeri dovolj jasno ilustrirajo uporabnost teh elementov.

UPORABA TIRISTORJEV

Tiristorje uporabljamo v najrazličnejše namene, kot:

- za krmiljenje izmeničnih tokov
- za krmiljeni usmernik
- za krmiljeni razsmernik
- za stikalo pri enosmernih tokovih
- za krmiljenje srednje vrednosti enosmerne napetosti s spreminjanjem razmerja časov vklopa in izklopa
- za pretvarjanje enosmerne napetosti v izmeničnega s prisilno komutacijo

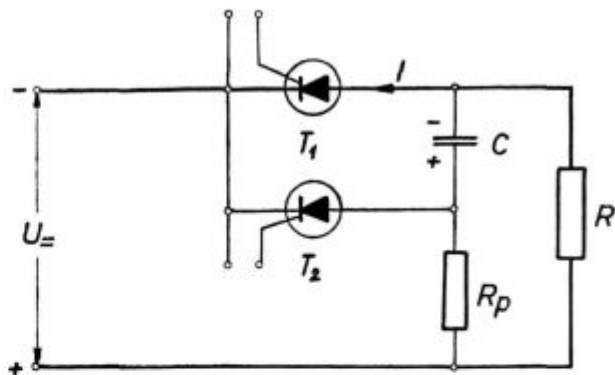
Ako ilustriramo nekatere zgornje trditve s primeri, bomo najbolj videli uporabnost tiristorjev. Slika 14 nam prikazuje krmiljenje izmeničnega toka.



Slika 14
Krmiljenje izmeničnega toka

Ce premikamo impulze, ki jih daje posebna krmilna naprava K za kot α relativno glede na napajalno napetost U , tedaj spreminjamo čas prevajanja posameznega tiristorja in s tem izmenično napetost U_R na bremenu R . Vezje je reverzibilno ter ga uporabljamo od reda mW do reda več $100 kW$.

Slika 15 nam prikazuje tiristor kot stikalo v enosmernih tokokrogih.

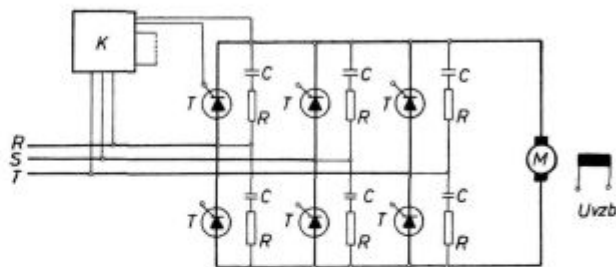


Slika 15
Tiristor kot stikalo

V vezju na sliki n moramo tiristorja le vklopiti, izklopijo pa se sami (ko gre napetost skozi 0). V enosmernih tokokrogih tega ni in moramo zato uporabljati posebna vezja. Zgornja slika prikazuje tako vezje. Če glavni tiristor T_1 prevaja, tedaj se kondenzator C polni čez pomožni upor R_p . Ko vklopimo pomožni tiristor T_2 , se tiristor nenadno negativno polarizira in se tok I skozi glavni tiristor T_1 zmanjša pod $I_{izk.}$, zato tiristor T_1 neha prevajati. Tako lahko vidimo, da vezje deluje kot enosmerno stikalo.

Eno najvažnejših področij uporabe tiristorjev je krmiljenje enosmerne napetosti. Sodobni stroji zahtevajo vse več reguliranih pogonov s srednjimi močmi in tam so tiristorji najbolj uporabni. Zato tudi današnja tehnika vse bolj uporablja tiristorjska vezja za krmiljenje Ward-Leonardovih agregatov ali pa manjših enosmerne napetosti strojev. Tiristorji se odlikujejo zaradi zelo dobrega izkoristka, majhnih dimenzij, zelo hitrega delovanja, majhne teže in sorazmerno velike mehanske neobčutljivosti.

Slika 16 nam prikazuje trifazno mostično tiristorjsko usmerniško vezavo.



Slika 16
Trifazna mostična tiristorjska usmerniška vezava

Bistvo te vezave je v tem, da lahko s časovno premaknitvijo impulzov (za kot α relativno glede na vhodno napetost) reguliramo izhodno srednjo vrednost enosmerne napetosti, ta pa lahko napaja npr. tokokrog vzbujanja, ali pa kotvin tokokrog enosmerne napetosti stroja. Torej s spreminjanjem enosmerne napetosti lahko spreminjamo število vrtljajev motorja.

Slika prikazuje tudi zaščito tiristorjev z RC elementi. Ta zaščita je predvsem prenapetostna in sicer proti udarnim prenapetostim. Vrednost elementov je:

$$C \approx 0,5 \mu\text{F}$$
$$R \approx 10 \text{ ohm}$$

Kot pretokovno zaščito uporabljamo ultrarapidne talilne varovalke. Pogosto pa izvedemo za preobremenitve zaščito z »mrežno zaporo«, ki je znana že iz Hg usmerniške tehnike.

KRMILJENJE VAUGHN ŽIČARSKIH STROJEV S TIRISTORJI

V Železarni Jesenice smo v okviru rekonstrukcije žičarne dobili nove ameriške stroje firme VAUGHN. Po svoji konstrukciji, tako mehanski kot električni, so izvedeni zelo zahtevno. Za nastavljanje brzine pa so uporabljeni najnovejši polprevodniški elementi (transistorji, diode, zenner diode in tiristorji). Zagon, nastavljanje željene hitrosti in ustavitev je izvedena električno. Za zagon in nastavljanje brzine je vgrajen poseben enosmerni ojačevalec — generator, kajti značilnost žičarskih strojev je v tem, da stroj začne vleči žico počasi in da po določenem času pride aperiodično do

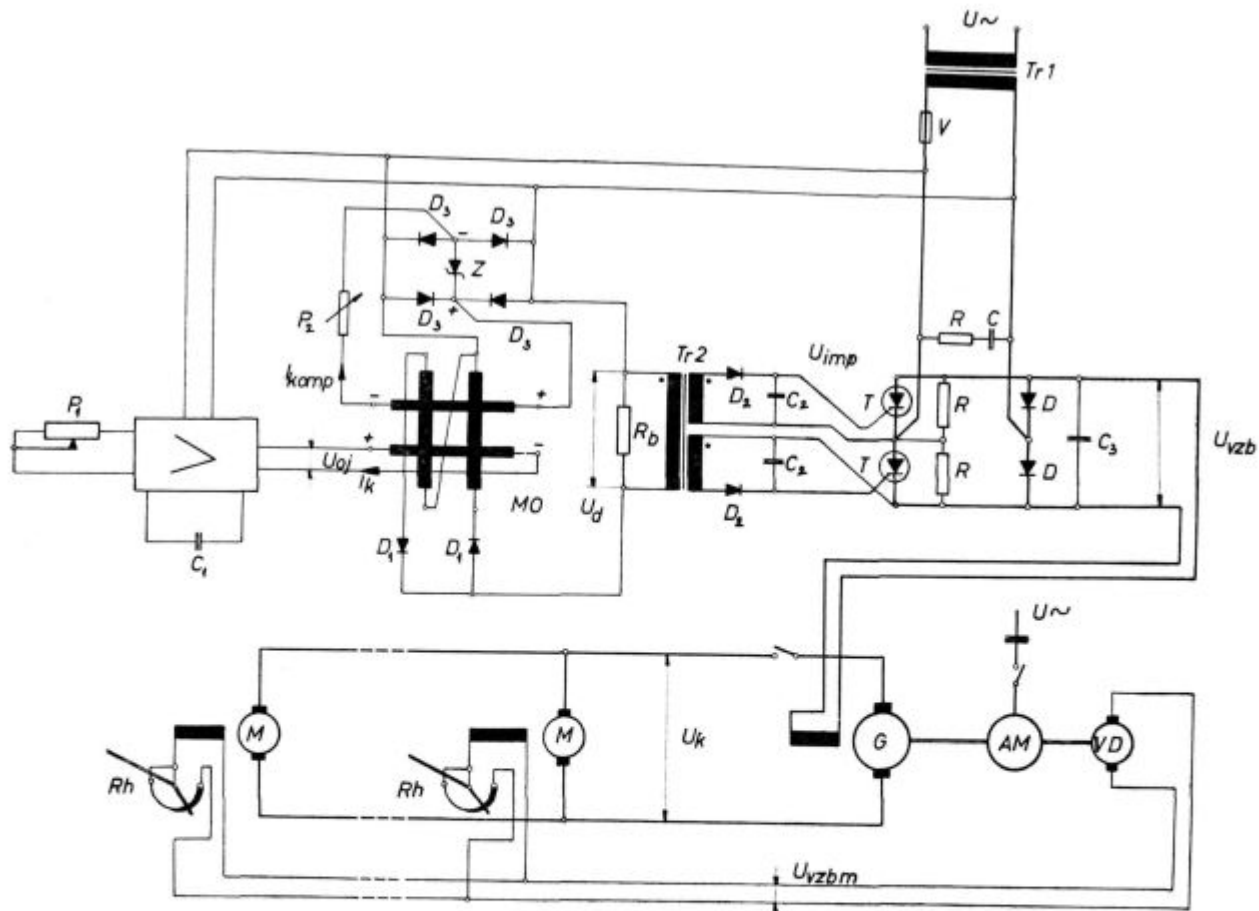
polne, odnosno do željene hitrosti. Podobno je pri menjavi hitrosti (npr.: z manjše hitrosti na večjo). Zaviranje je izvedeno električno in sicer tako, da stroj potroši energijo magnetnega polja in vztrajnosti, ki še ostane v strojih po izkloplitvi, v ohmskih uporih. S tem dosežemo hitro zaustavitev stroja, kar je za posluževalca stroja življensko važno.

Kot sem že omenil, so stroji izvedeni zelo moderno. Skušal bom opisati en tak stroj, princip je tudi pri ostalih strojih te firme enak.

Pogon stroja je izveden z enosmernimi motorji, te pa napaja enosmerni generator. Enosmerni generator mehansko žene asinhronski kratkostičen motor, ta pa tudi poganja vzbujevalni generator za vzbujanje enosmernih motorjev. Vidimo, da je uporabljen princip Ward-Leonardovega agregata. Vzbujanje enosmernega generatorja pa je izvedeno s tiristorji. Podrobno vezje nam kaže slika 17.

Enosmerni motorji imajo tuje vzbujanje, ki je konstantno, te tokokroge pa napaja vzbujevalni generator. Teh motorjev je več, odvisno seveda od tega, koliko stopenjski je stroj.

Mi torej opisujemo večstopenjski stroj za vlečenje žice. Pod pojmom stopnja razumemo eno od reduciranj preseka žice. Da to dosežemo, moramo imeti navijalni boben, ki vleče žico skozi votlico, ki je vgrajena pred njim. Torej za eno stopnjo



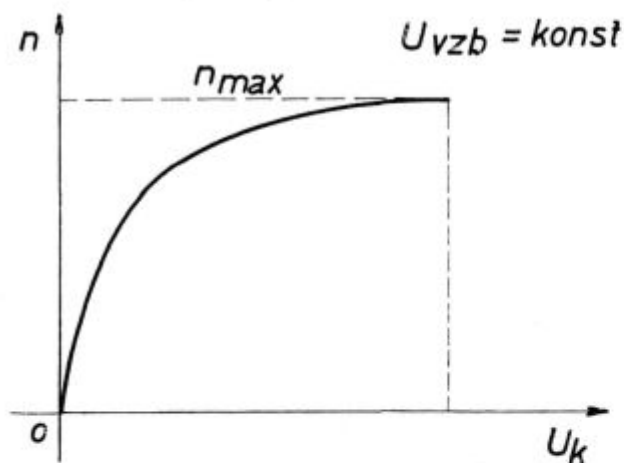
Slika 17
Shema krmiljenja VAUGHN žičarskih strojev

moramo imeti vlečni boben in votlico. Vsak vlečni boben pa poganja enosmerni motor. Pri vsaki stopnji reduciramo presek za cca 25 %, torej je žica po tej stopnji daljša za cca 25 %, zato se mora vlečni boben vrteti za 25 % hitreje od prejšnje stopnje. To povečanje hitrosti je izvedeno mehansko s pomočjo reduktorja. Vsaka stopnja ima torej večjo brzino vrtenja zaradi žice, ki se podaljšuje. Vrtilni reostat, ki je vezan v vzbujevalnem tokokrogu motorja, potrebujemo samo za fino regulacijo števila vrtljajev motorja. Od kota zavrtitve reostata je namreč odvisna vzbujevalna napetost in s tem vrtljaji motorja. Reostat je preko ročice mehansko vezan s kolutom, preko katerega teče žica. Na drugi strani imamo vzmet, ki kolot pritiska nazaj. Bistvo tega je, da se primerjata sila vleka žice in sila odpora vzmeti. Ko sta ti dve sili v ravnotežju, drsnik na reostatu miruje, torej motor se vrti s pravilnim številom vrtljajev (vzbujanje motorja je pravilno). Ako se reostat premakne, je vzrok v temu, da je vlek žice premagal odpor vzmeti, torej se motor vrti prepočasi, zato se bo reostat zavrtel tako, da bo zmanjšal vzbujevalni tok skozi motor in stanje se bo stabiliziralo. Če pa je vlek vzmeti prevelik, se bo reostat tako zavrtel, da bo povečal vzbujevalni tok skozi motor, motor bo začel teči počasneje in stanje se bo prav tako stabiliziralo.

Ako se sedaj povrnemo nazaj na sliko 17, vidimo da je vzbujanje generatorja izvedeno s tiristorji. Mi lahko zvezno spreminjamo napetost U_{vzb} , s tem zvezno spreminjamo napetost U_k in zaradi tega lahko tudi nastavljamo poljubno število vrtljajev, torej hitrost vleka žice.

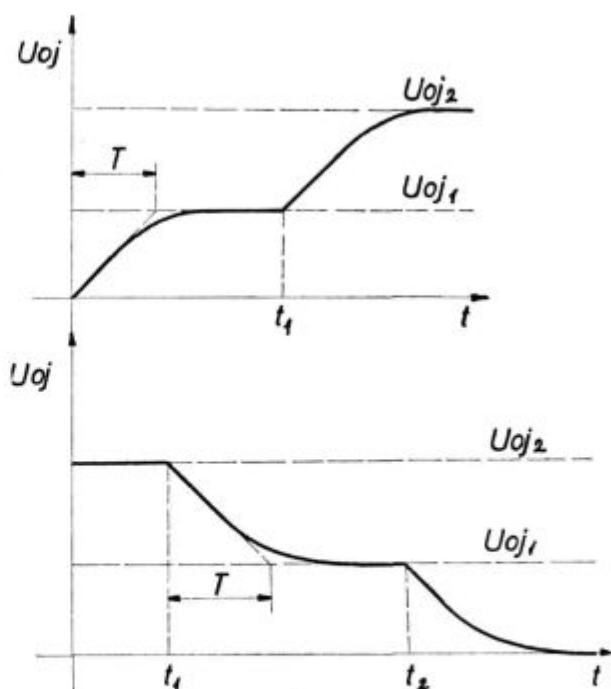
Slika 18 nam prikazuje to odvisnost, seveda pod pogojem, da je napetost U_{vzb_m} konstantna.

Ta v našem primeru zelo malo variira, torej karakteristika prikazuje relane razmere.



Slika 18
Karakteristika enosmernega motorja

Slika 17 nam prikazuje tudi celotno krmiljenje tiristorjev, vključno z impulzno napravo. S potenciometrom P_1 nastavljamo velikost napetosti U_{oj} , kondenzator C pa je vgrajen zaradi tega, da dobi-



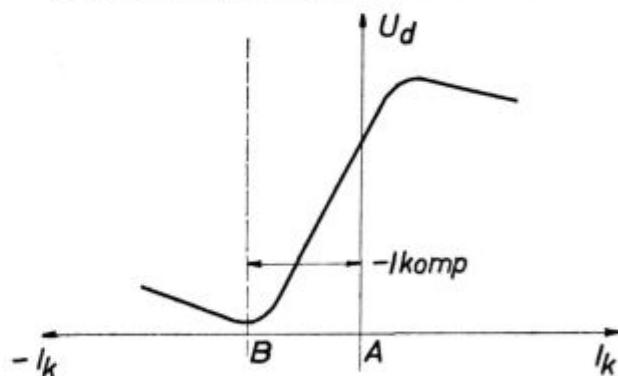
Slika 19
Časovni diagram napetosti U_{oj}

mo pravilno časovno konstanto naraščanja napetosti U_{oj} . Slika 19 nam kaže, kakšna naj bo ta napetost. Časovna konstanta T naj bo taka, da bo stroj počasi pridobival na hitrosti (reda 5 sek.). To je važno zaradi tega, da stroj izčrpa ob prehodnih pojavih ne odtrga.

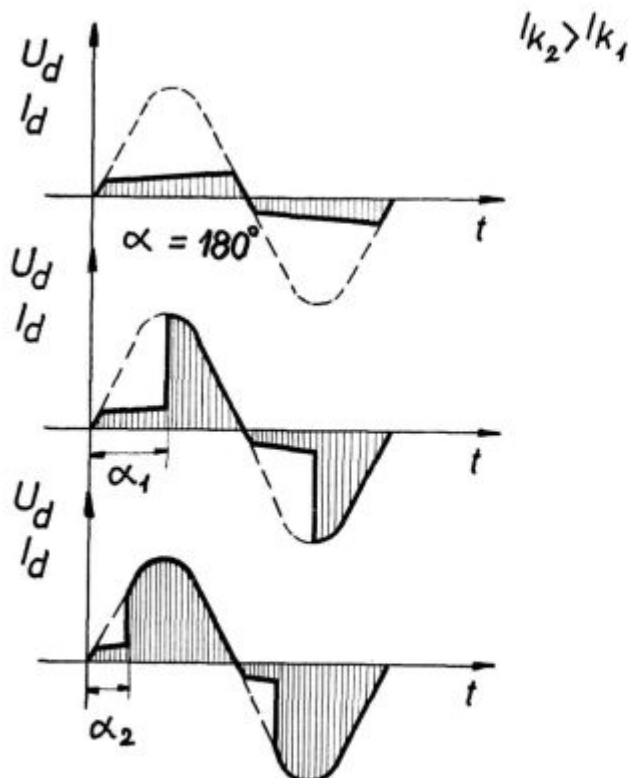
Napetost U_{oj} napaja magnetni ojačevalnik MO . Ta skupno z impulznim transformatorjem Tr_2 tvori impulzno napravo za krmiljenje tiristorjev. Naprava deluje takole: sinhronizacija med impulzi in napajalno napetostjo U_{\approx} je dosežena tako, da imamo skupni transformator Tr_1 , ki napaja impulzno napravo ter vzbujevalni tokokrog. S tem je problem sinhronizacije odpadel.

Napetost U_{oj} napaja eno od krmiljnih navitij MO . Bistvo MO je v tem, da na izhodu dobimo tako veliko izmenično napetost, kolikor je veliko vzbujanje (napetost U_{oj}).

Slika 20 nam prikazuje karakteristiko MO .

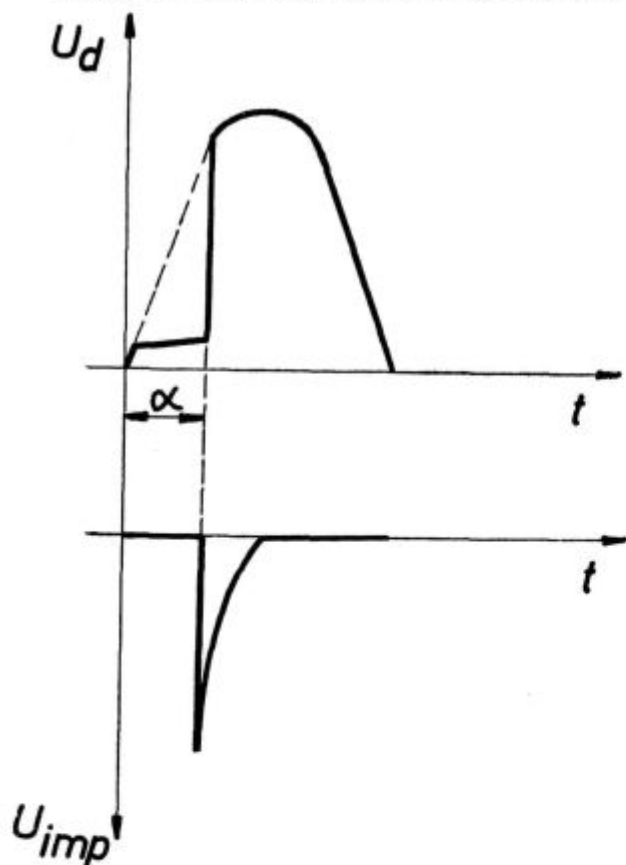


Slika 20
Karakteristika magnetnega ojačevalca



Slika 21

Razmere na sekundarni strani magnetnega ojačevalca



Slika 22

Razmere na primarni in sekundarni strani impulznega transformatorja

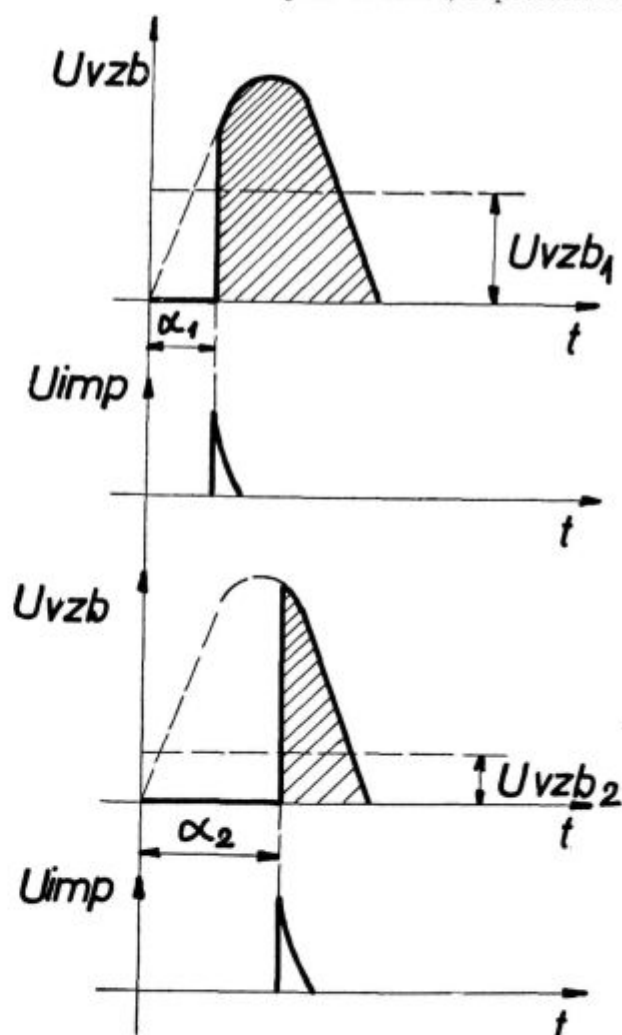
Vidimo, da imamo večjo napetost U_d , kadar imamo večje vzbujanje MO, torej večjo napetost U_{oj} (I_k). Istočasno s tem pa se seveda spreminja kot zakasnitve vklopa tiristorja α . (Slika 21.)

Na uporu RB nastane padec napetosti, ki se prenese na primarno stran impulznega transformatorja Tr 2, na izhodu transformatorja pa dobimo v odvisnosti od primarne napetosti sekundarno napetost U_{imp} . Ta je največja seveda takrat, ko je sprememba primarne napetosti največja, zato v tistem momentu dobimo impulz. Jasno je to razvidno iz slike 22, ki kaže, kakšne impulze dobimo na izhodu impulznega transformatorja.

Ti impulzi so seveda premaknjeni za toliko, kolikor je veliko vzbujanje MO z napetostjo U_{oj} .

Vidimo, da čim večja je U_{oj} , tem manj zakasnjene dobimo impulze za vžig tiristorjev, s tem pa seveda večjo izhodno napetost U_{vzb} (glej sliko 23).

Vidimo, da je MO delno še pri toku $I_k = 0$ odprt. To pa mi ne želimo, zato na drugo krmiljno navitje vezemo stabilizirano napetost v nasprotni smeri. S tem pomaknemo ordinato iz točke A v točko B. Dobimo željene razmere, s potence-



Slika 23

Spreminjanje vrednosti U_{vzb} pri različnih kotih vklopa tiristorjev

тром P_2 pa nastavljamo velikost premika ordinate. Na izhodu MO dobimo napetost Ud, katere velikost je odvisna od velikosti napetosti Uoj. Slika v nam to prikazuje.

Na sekundarni strani imamo vezano diodo zaradi tega, da dobimo za vsak tiristor pravi impulz, kajti tiristorja sta vezana z diodama v Grätz spoju, kondenzator C_2 je vezan zato, da loči krmiljno elektrodo od katode, upora R pa sta vgrajena zaradi pravilne porazdelitve napetosti na tiristorje.

Zaščita tiristorjev je izvedena z RC elementi (prenapetostna) ter talilno varovalko V (pretokovna). Kondenzator C_3 je namenjen za glajenje napetosti.

ZUSAMMENFASSUNG

Im Artikel versuchte ich das physikalische Bild der vierschichtigen Halbleiterelemente zu geben. Ein besonderer Nachdruck ist auf der Beschreibung der VA-Karakteristiken dieser Elemente, weil eben diese sehr gut die Einwirkung der Elemente darstellen. Es sind die Arten des Ein- und Ausschaltens dargestellt sowie die Faktoren, die auf diese einwirken. Gegeben sind die Grundschaltungen des Dinistor-Tiristor. Am Schluss ist das Schema der Steuerung der VAUGHN-Drahtziehmaschinen mittels der Tiristoren dargestellt.

SUMMARY

In the paper the physical picture of four-layer semiconductor is given.

These are dinistor and tiristor. Especially emphasized is description of VA properties of these elements.

The ways of switching in and switching out are shown and factors influencing it.

The basic circuitry for dinistor-tiristor are shown. At the end regulating scheme of cold drawing wire machine VAUGHN is shown attained by tiristors.

Literatura

1. Rafael Cajhen, Krmiljena silicijeva dioda — tiristor, Elektrotehniški vestnik, Ljubljana, 1964/9-10 — str. 203 do 205
2. Marijan Lorkovič, Tiristori kao sklopni elementi, Elektrotehničar, Zagreb, 1963/3 — 4 — str. 33—36
3. SA. S. Kublanovskij, Shemi na četirehslajnih poluprovodnikovih priborah, Energija, Moskva, 1967, str. 1—10
4. Tugomir Šurina, Tranzistorska tehnika, str. 382—393, Tehnička knjiga, Zagreb
5. Dokumentacija firme Westinghouse USA, za žičarske stroje VAUGHN

Die Drahtziehmaschinen erfordern eine sehr genaue Regulierung der Umdrehungen des Motors, deswegen ist die Regulierung der Drehzahl so ausgeführt, dass wir kontinuierlich die Spannung der Gleichstrommotoren ändern. Den verschiedenen Spannungswert erreichen wir aber mit der verschiedenen Erregung des Generators, der die Gleichstrommotoren speist. Die kontinuierliche Aenderung der Generatorerregung erreichen wir aber mit der verschiedenen Zeit der Tiristoreinschaltung. Es ist auch die Impulseinrichtung dargestellt, die die Ausschaltung des Tiristors im bestimmten Punkt besorgt mit Rücksicht darauf, welche Umdrehungen wir erreichen wollen.

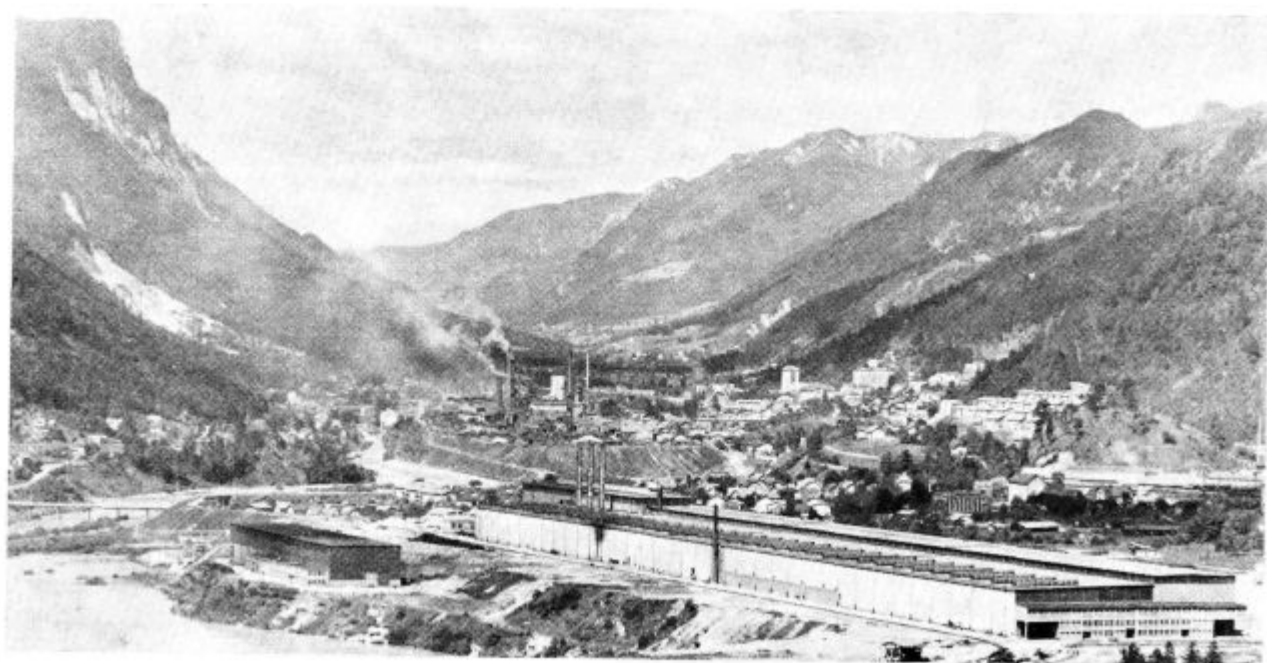
ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Афтор излагает физическая данные четырёх-слойных полупроводниковых элементов; это динистор и тиристор. Особенно обширно описаны вольт-ампер характеристики этих элементов потому что именно эти характеристики показывают действие элементов. Показаны способы включения и выключения а также и коэффициенты влияния на эти действия. Приведены основные сочленения динистор-тиристор. В конце статьи рассмотрена схема управления машин для производства проволоки система VAUGHN с тиристором.

Машины для выделки проволоки требуют точную регулировку вращений мотора, поэтому регулировка числа вращений выполнена так что разрешает непрерывно изменять напряжённость питания однонаправленных двигателей. Изменение напряжения достигается разлчным возбуждением генератора который питает двигатели. Непрерывное изменение возбуждения генератора получаем изменением времени включения тиристора.

Описана импульсное приспособление которое позволяет выключение тиристора в определенное время в зависимости от того какое вращение желаем получить.

Pogled na železarske Jesenice in valjarno Bela



Vodik v jeklu, ferolegurah in litini in metoda določanja

Metoda določanja vsebnosti vodika v ferolegurah, jeklu in litem železu s pomočjo vakuumske ekstrakcije pri 650° C nam je v predpisano odvzetih vzorcih dala rezultate, ki se v dveh oziroma treh paralelkah med seboj zadovoljivo ujemajo. Metoda je za kontrolo proizvodov železarne zadovoljiva.

UVOD

Visoka kemijska reaktivnost vodika in velika podobnost v lastnostih z nekaterimi kovinami in pa njegova sposobnost, da se pojavlja v molekularni, atomarni ali ionski obliki je vzrok, da vodik vpliva na lastnosti kovin.

Pod normalnimi pogoji je plinasti vodik v molekularnem stanju. Če pa molekula sprejme energijo, npr. toploto, disociira v atome.

Vodik se v atomarni obliki lahko dolgo obdrži. Ko pa se spremeni nazaj v zelo stabilno molekulo, sprosti prej vezano energijo, ki jo v obliki toplote veže nase tuja molekula trdne substance, npr. kovine.

Topnost in propustnost vodika v kovini

Atomi vodika na površini kovine delujejo drugače kot v njeni notranjosti. Na površini kovine se vodik adsorbira in kot adsorbiran pri nižjih temperaturah pri nekaterih kovinah tudi ostane. Pri višjih temperaturah pa nekatere kovine, med njimi tudi železo, vodik ne samo adsorbirajo, temveč ga tudi absorbirajo — vodik vanje okludira.

Vezavo vodika s kovino, oziroma pot vodika skozi kovino, si predstavljamo približno tako, da se izvrši:

- 1) adsorbcija: $H + K(ov.) \rightarrow HK$
- 2) vezava: $HK + HK \rightarrow H_2K + K$ ali $HK + H \rightarrow H_2K$
- 3) desorbcija: $H_2K \rightarrow H_2 + K$

Topnost in propustnost železa za vodik sta v veliki meri odvisni tudi od zunanjih činiteljev, kot sta temperatura in pritisk. Topnost je z njima premo sorazmerna. Različni elementi, kot so: ogljik, silicij, mangan, nikelj, volfram, idr., ki jih železo vsebuje, vplivajo na topnost in propustnost železa za vodik.

Topnost vodika v jeklu je odvisna tudi od strukture jekla. Avstenitno jeklo bolj raztaplja vodik kot feritno jeklo.

Velik vpliv na topnost vodika ima tudi prede-lava oziroma obdelava jekla. Npr. žarenje oklu-divno sposobnost železa za vodik zniža.

Kot je topnost vodika v kovini odvisna od strukture železa oziroma jekla, je analogno od strukture odvisna tudi propustnost oziroma permeabilnost. V α -strukturi vodik laže prodre skozi mrežo kot v γ -strukturi.

Kot topnost, je tudi propustnost odvisna od kemijskih elementov, ki jih železo oziroma jeklo še vsebuje.

Ker se torej vodik v jeklu nahaja ali v plinasti obliki v luknjicah oziroma mehurčkih (porah), ali v trdni raztopini vodik-železo (α -faza), ali v obliki, ko se elektroni vodikovega atoma dobe-sedno vrinejo v železove atome (β -faza, ki je ne-stabilna), ima vodik v različnih svojih fazah in oblikah različen vpliv na lastnosti jekla oziroma železa. α -faza povzroči npr. krhkost materiala, plin v porah ali mehurčkih pa nezaželeno poroznost.

Vpliv vodika na lastnosti jekla

Vodik more imeti velik vpliv na nekatere me-hanske in kemijske lastnosti jekla. Vpliva npr. na plastičnost jekla, ne pa na njegov elastični modul in magnetne lastnosti. Vodik v mehurčkih povzroči poroznost jekla. Pri višjih temperaturah je, kot smo že omenili, njegova topnost večja, pri točki strjevanja taline pa vodik, ki je bil prej topen, začne izhajati in povzroči poroznost na površini ingota, ulitka, ipd. V sredini ingota, kjer je jeklo še vroče, vodik ostane (izhaja šele pozneje npr. med ležanjem ali predelavo) in ga je zato v sredini ingota vedno več kot na površini. Zato vodik vpliva na strukturo jekla predvsem v no-tranjosti.

Vodik vpliva tudi na kemične lastnosti jekla. Ker se izredno rad veže na ogljik oziroma razkraja cementit, tvori metan.

Vodik povzroči v jeklu, predvsem v konstruk-cijskem in orodnem t. im. kosmiče in kot las tenke razpoke, vendar v odvisnosti od hitrosti ulivanja, ulivne temperature, pogojev talenja, rafinacije in kemijske sestave vložka.

Zaradi vsebnosti vodika se jeklo slabo vari; bolje povedano, zvari takega jekla ali s takimi elektrodami, ki vsebujejo vodik, niso kvalitetni. Ko varimo, dosežemo visoke temperature tudi do 3000° C in vodik disociira in se kot atomaren

v jeklu močno raztaplja. To so opazili predvsem pri delu z oplasčenimi elektrodami. Zvari so zaradi prisotnosti vodika porozni in imajo razpoke.

Tudi pri luženju se jeklo navzame vodika, zlasti še, če lužimo pri višjih temperaturah. Pri odstranjevanju rjaste površine jekla v kopeli, se vodik razvije v status nascendi, je močno reaktiven in povzroči mehurčke. Z žveplom tvori žveplovodik, ki zavre pretvorbo atomov vodika v molekule in s tem prepreči tudi izstop vodika.

Kako pride vodik v talino

Ko so spoznali, kakšen vpliv ima vodik na jeklo, so skušali eliminirati njegov dostop v talino že med proizvodnjem. S poskusi so spoznavali različne faktorje, ki vplivajo na vsebnost vodika v jeklu v posameznih fazah proizvodnje. Kontrolirali so vsebnost vodika med raztapljanjem, rafinacijo, ob dodajanju dodatkov, med ulivanjem ipd. Težko je bilo dobiti reprezentativen vzorec za pogoje, pod katerimi se je talina v agregatu v dotični fazi dejansko nahajala. Vendar so s poskusi dokazali, da pride vodik v talino v glavnem z vodo, to je, z vlago iz zraka, rjastimi ostružki, rudo, talili in primesmi, ki tvorijo žlindro. Razen tega pride vodik v talino s ferolegurami, pa še iz oblog peči, ponovc in kokil, s premazi in z gorivi. Sposobnost žlindre, da zaščiti talino in zadržuje pronicanje vodika vanjo, je odvisna predvsem od njene bazičnosti oziroma kislosti in viskoznosti.

Vsebnost vodika v talini znižujejo suhi dodatki, višja vsebnost kisika v talini, močno kuhanje jekla, višja vsebnost ogljika in aktivna oksidacijska bazična žlindra in ne previsoka temperatura talenja.

Vpliv vodika na lito železo in kako pride vodik v talino

Tudi v litem železu nastopajo plini, kot so: kisik, vodik, ogljikov monoksid, dušik, metan in vodna para, ki povzročijo neljube spremembe fizikalnih in kemijskih lastnosti litega železa. Motnje v trdnosti, trdoti, raztezkih in žilavosti, poroznost in razpoke so posledica vsebnosti plinov, predvsem vodika.

Vodik pride v železno talino tako kot v jekleno že med talenjem, ulivanjem iz oblog peči in ponovc, iz goriv in iz ne dovolj osušenih peščenih form. Ne nazadnje dobi talina vodik še zaradi vlage v zraku. Vodik, ki ga lito železo dobi med talenjem je tisti, ki povzroči motnje v trdnosti in ostale mehanske napake.

Pri strjevanju talina vodik sicer oddaja, vendar ga tudi adsorbira in absorbira iz eventualno vlažnih form in atmosfere, da moremo smatrati, da ga manj odda kot sprejme.

V litem železu vodik nastopa v atomarni — ionski obliki v tekočem in trdnem stanju železa. Nastopa pa pogosto še kot metan. Vendar je v litem železu, za primerjavo z jeklom vodika znatno manj, in je v večini vezan, zato ga je tudi

teže določiti, oziroma izločiti iz taline. Delež metana v mešanici plinov je v litem železu večji kot v jeklu.

V glavnem je vodik v litem železu absorbiran predvsem v površinskih delih, ker se lito železo na zraku izredno hitro pokrije z oksidno plastjo. Pri tej reakciji so soudeležene OH-grupe. Tvorba oksidov na površini in absorpcija vodika sta torej v tesni odvisnosti, oboje pa zavisi od velikosti površine in vsebnosti grafita, ki absorbira večje količine plina, ker je higroskopnen in povečuje površino.

Vpliv vodika je izredno velik že na samo živnost železne taline. Poroznost pa, ki jo vodik povzroči, je vedno nezaželena. Vodik, ki se pri strjevanju taline sprosti, ker se topnost zmanjša, ostaja v veliki meri pod površino in povzroča pore. Talina se navadno na robovih najprej strdi in ti predeli oddajajo vodik navzven, pa tudi v talino nazaj. Če je vsebnost vodika tolikšna, kolikor znaša njegova topnost v tekoči fazi železa pri temperaturi strjevanja, se talina vodika ne navzema več in se tvorijo pore v debelih in tankih stenah ulitka v enaki količini. Če pa količina vodika v talini leži pod mejo topnosti, se talina vodika še navzema in se z njim obogati in povsem izhaja v obliki mehurčkov.

Del vodika, ki ostane v talini raztopljen v atomarni obliki v mreži železa, pozneje tvori molekule, ki so v obliki mehurčkov pod takim pritiskom, da razbijejo kristalno strukturo in v jeklu povzročijo kosmiče, v litini pa krhkost.

Razen krhkosti vodik povzroča tudi tako imenovano obratno belo plast litega železa, predvsem pri debelejših stenah. (Tako obratno belo plast sicer more povzročiti tudi žveplo, vendar so jo opazovali tudi tam, kjer žvepla praktično ni bilo, to je v nodularnem livu, zato so smatrali, da ji botruje vodik.)

Obratna bela plast se tvori, ko prodre vodik, ki ga že strjeni del odda razen navzven še v notranjost, od koder ga talina ni sposobna več oddati. V notranjosti ta vodik zavira ali popolnoma prepreči grafitizacijo pri tempranju, oziroma feritizacijo. V taki beli plasti ni mehurčkov oziroma por. Obenem pa vodik razen cementita stabilizira še perlit. Zaradi tega naraste trdota in vlečna trdnost (vlečna trdnost le tedaj, če ulitek ni porozen), vendar povzroči z vodikom vezan ferit nižji raztezek in žilavost. Material postane krhek in občutljiv za udarce in velike in nenadne toplotne spremembe. Litina, če je krhka, je nagnjena k tvorbi razpok.

DOLOČANJE VODIKA V JEKLU

Slabše mehanske lastnosti, poroznost, razpoke in kosmiče pripisujejo, kot uvodoma povedano, vsebnosti plinov, zlasti vodika v jeklu.

Prve poizkuse določiti vsebnost vodika so izvedli že leta 1861. Vse metode, ki so jih do danes

uporabili, med seboj niso primerljive, zato še vedno iščejo najboljšo.

Po različnih principih te do danes znane metode določanja vsebnosti vodika, razdelimo v glavnem v dve večji kategoriji, in sicer:

1. z ekstrakcijo plinaste zmesi (ki jo v 89—98 odstotkih sestavlja vodik) pri temperaturi 650°C v vakuumu dobimo vsebnost vodika iz trdnega vzorca;

2. z ekstrakcijo plinaste zmesi, ki jo sestavljajo vodik, ogljikov monoksid, dušik, kisik in metan pri temperaturi $1800\text{--}2000^{\circ}\text{C}$ določimo vsebnost vodika iz raztaljenega vzorca.

Obe metodi sta uporabni za določanje vsebnosti vodika v nelegiranih in legiranih jeklih, v ferolegurah in v litini, čeprav bi po mnenju nekaterih avtorjev druga metoda dajala točnejše rezultate predvsem za legirana jekla in litino. Pri višjih temperaturah sicer dobijo večjo količino plina iz vzorca, vendar bi to bila zmes plinov, iz katere je pozneje vodik potrebno izolirati.

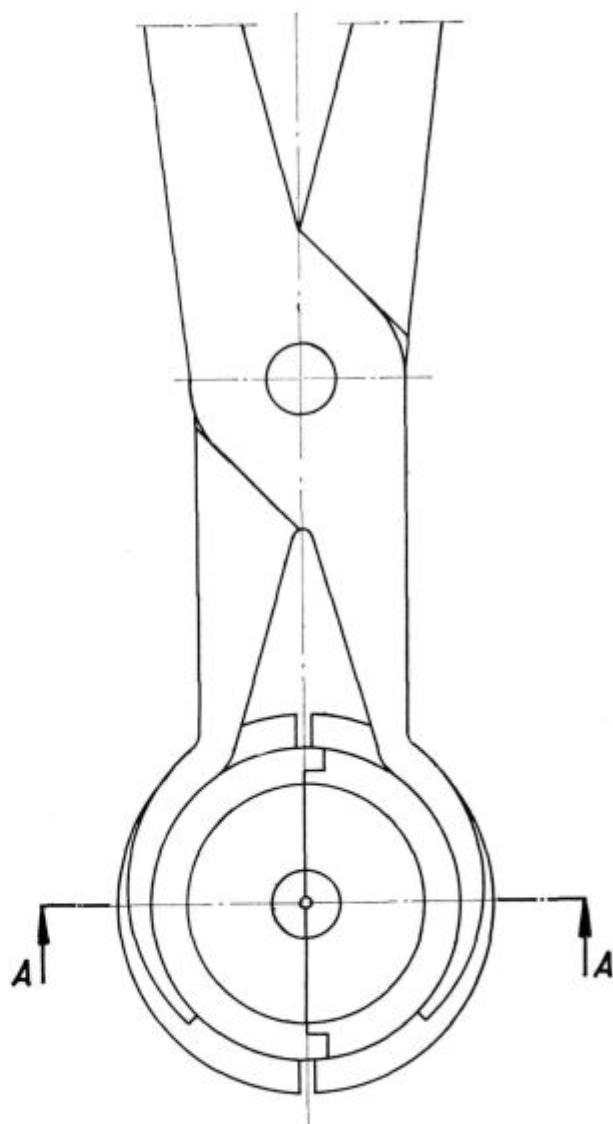
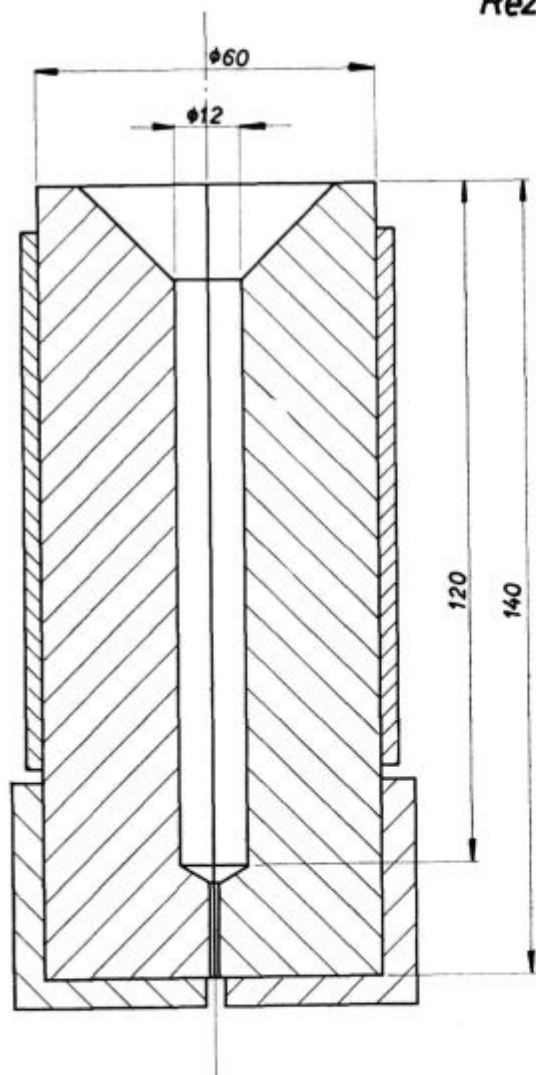
Prva metoda je hitra in enostavna. Izhajanje plina v vakuumu je funkcija časa, meritev pa se

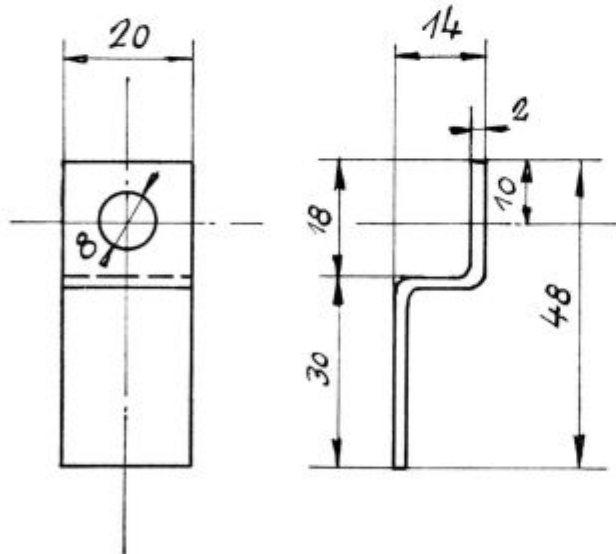
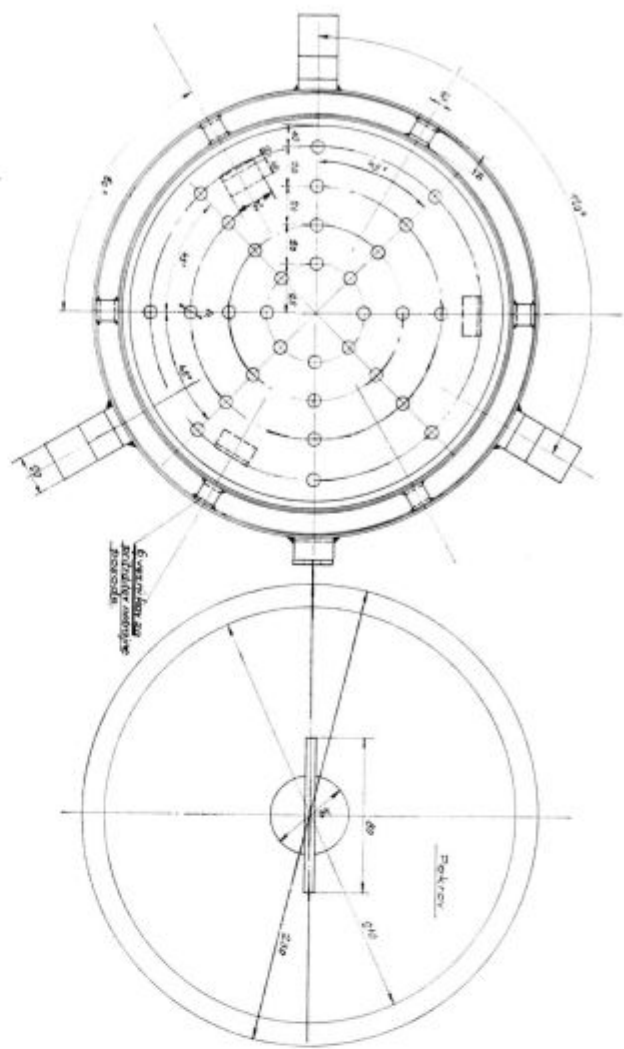
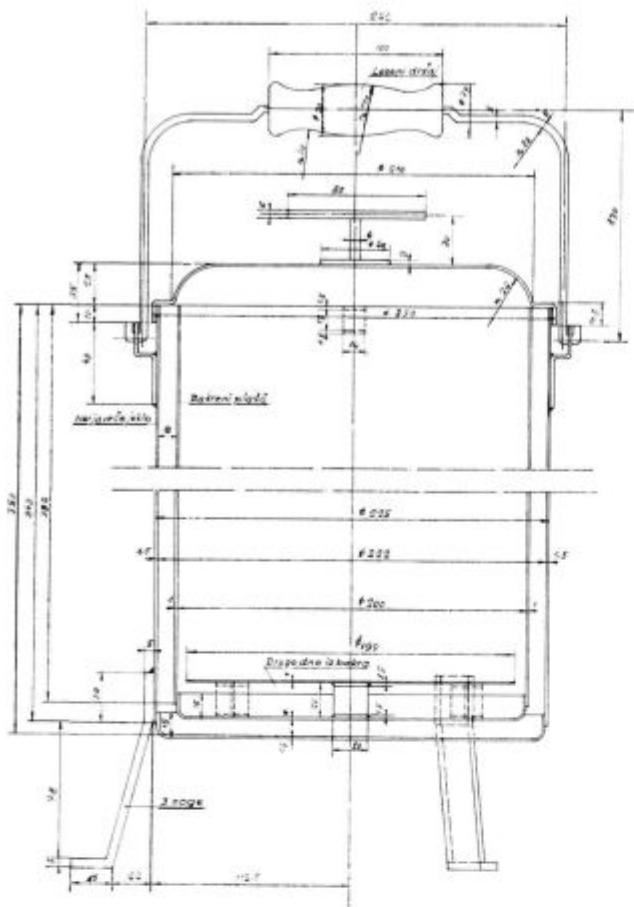
izvrši z merjenjem volumna oziroma pritiska plina v manometru. Pri 650°C v vakuumu $3 \cdot 10^{-4}$ tora v 30—45 minutah ekstrahiramo plin, ki ga v glavnem sestavlja vodik. Pogoj za eksaktnost te metode, ki nam daje primerljive in relativno točne rezultate, je brezpogojno skrbno in točno po predpisih vzet in pripravljen in do analize shranjen vzorec.

Jemanje vzorca

Uporabljamo bakreno kokilo (skica 1), ki jo ogrejemo oziroma osušimo na ta način, da vanjo ulijemo raztaljeno jeklo. Prvi ulitek zavržemo. Nato iz peči s probno zajemalko, ki mora biti pokrita z žlindro, zajamemo jeklo in ga čim hitreje prenesemo h kokili. S taline v zajemalki posnamemo žlindro in talino pomirimo z 0,2 ut. % Al v obliki žice, $\varnothing 1\text{--}2\text{ mm}$, ki jo pomočimo do dna zajemalke. (Zaradi kuhanja jekla bi nam sicer plini izšli.) Takoj nato ulijemo tekoče jeklo v kokilo v enem curku, neprekinjeno. Kokilo s probo

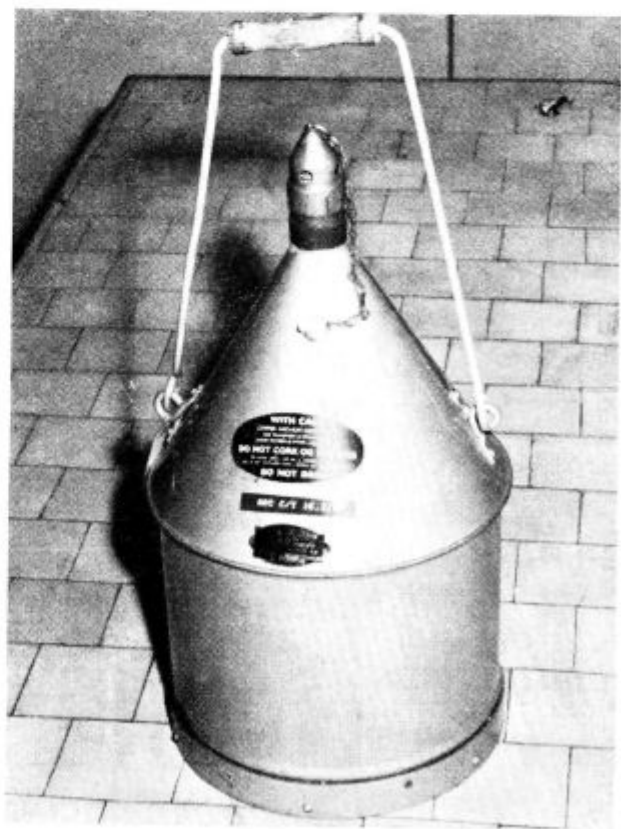
Rez AA





potisnemo v vedro, napolnjeno z mrzlo vodo. Po 5 sek. vzamemo probo iz vode in osušeno (osuši se zaradi lastne toplote), vsaj še 100°C toplo prenesemo v tekoči kisik, kjer pri -180°C v trenutku zmrzne. Posodo za prenašanje kisika iz kisikarne v jeklarno vidimo na sliki 1. Posodo, v kateri je tekoči kisik za zmrznjenje vzorca pred analizo, pa predstavlja skica 2.

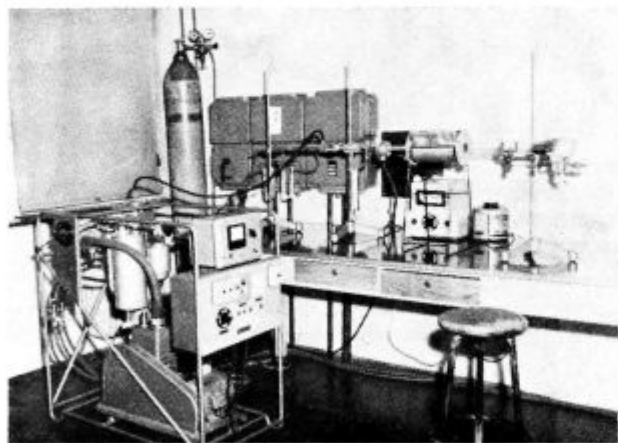
Slika 1



Cas od trenutka, ko prinesemo jeklo z zajemalko iz peči, pa do tedaj, ko vržemo vzorec v posodo s kisikom, ne sme biti daljši od 30 sekund. Če v tem času nismo uspeli uliti vzorca, moramo postopek ponoviti. V posodi s kisikom prenesemo vzorec do brusilne plošče, mu kar najhitreje odbijemo nalitek in spodnji del, nato pa preostali srednji del vzorca med vmesnim občasnim ohlajanjem v tekočem kisiku, na fini smirkovi plošči obrusimo, da mu odstranimo vso oksidno plast (obrusiti ga smemo do 1 mm). Vzorec se ne sme ogreti, ostati mora zmrznjen. Če opazimo, da med brušenjem vzorec izgublja zgornjo ledeno plast, je znak, da smo ga pregreli in ga moramo, še predno se je vsa ledena plast otalila, v tekočem kisiku ponovno zamrzniti. Na dva dela razdeljen vzorec prenesemo v plastični vrečki zaviti v CO₂-led ali CO₂-led-aceton mrzotvorno zmes (5 ml acetona na 1 kg CO₂-ledu), katere temperatura je cca -80° C. Posoda mora biti hermetično zaprta, da v njej vzorec, ne da bi se odtalil, počaka na analizo tudi do dva dni. Pozneje analiza ni več zanesljiva.

Priprava vzorca za analizo

Predno začnemo z analizo, to je predno vzorec prenesemo v aparat za določanje vodika, ga pustimo ogreti maksimalno 10 minut v eksikatorju na sobno temperaturo. Nato primemo vzorec s pinceto, ga operemo v etilalkoholu in etru in ga osušimo v toku dušika, ki mora biti osušen s silikagelom in magnezijevim perkloratom. Tak vzorec takoj prenesemo v aparaturo v kvarcno epruveto. Teža vzorca naj bo za jeklo 10—20 g. Stehramo ga po končani analizi!



Slika 2

Aparatura za določanje vodika (slika 2) je sestavljena iz treh glavnih elementov:

- I. peč, kjer se vzorec segreje na 650° C,
- II. visoko vakuumska črpalka, ki ustvari do $1 \cdot 10^{-6}$ tora,

III. kvarcna epruveta in stekleni del aparature, kjer merimo volumen ekstrahiranega plina, ki ga 89—98 % sestavlja vodik (Skica 3 in 4)

I.

Električna peč je podobna znani marsovi pečici, le gretja nima s silitnimi palicami. Opremljena je s termoregulatorjem in upornikom. Pečico prižgemo dobrih 30 minut pred začetkom analize, da se segreje na 650° C.

II.

Visoko vakuumski sistem sestavljajo:

- rotacijska črpalka
- oljna difuzijska črpalka
- lovilce par z vodnim hlajenjem
- programski ventil
- magnetni ventil za predčrpalko
- vakuumska gumi cev za priključek rotacijske črpalke na programski ventil
- Penning vakuummeter z merilnima glavama Pirani in Penning in kazalko predvakuuma oziroma vakuuma
- nosilni kovinski okvir
- stikalna plošča, priključek 380/220 V

Vakuum na stekleni aparaturi pri obrusih kontroliramo s preizkuševalcem vakuuma tipa Tesla TP-3, merimo pa ga z vakuummeterom na črpalki. Ventile in obruse moramo držati absolutno tesne, kar dosežemo s tem, da jih predhodno operemo z etilalkoholom in namažemo z vakuumskotesno silikonsko mastjo. V stekleni del aparature levo od tropskega ventila namestimo posebno stekleno ladjico, napolnjeno z vedno svežim fosforpentoksidom in kosom vate. Fosforpentoksid posrka ev. izločeno vodo, vata pa zadrži ev. delce kovine, ki bi mogli poškodovati vakuumskotesni obrus tropskega ventila.

III.

Evakuirani aparaturi obrnemo tropski ventil tako, da je desni del aparature zaprt, nataknejo na kvarcno epruveto obroč iz azbesta in potisnemo epruveto v peč segreto na 650° C. Pri tej temperaturi ostane vzorec v peči cca 30 minut, oziroma toliko časa, da iz vzorca vodik ne izhaja več, to je do tedaj, ko nivo v desnem kraku manometra ne raste več. Nato vzamemo aparaturo iz peči, snamemo s kvarcne epruvete azbestni obroč in jo potisnemo v stekleno cev, kjer jo počasi ohladimo z mrzlim zrakom na sobno temperaturo. Ko se po nekaj minutah kvarcna epruveta ohladi, odčitamo (skozi lupo) nivojsko razliko v desnem in levem kraku manometra in iz vsote obeh razlik izračunamo vsebnost vodika po formuli:

$$V_{H^2} = \frac{(V_A - V_p) dp \cdot f}{A}$$

$$V_p = \frac{A}{\sigma}$$

kjer pomeni:

V_H — volumen absorbiranega vodika v ml/100 g

V_A — volumen aparature v ml

V_p — volumen vzorca

A — zatehta vzorca

σ — specifična teža vzorca

dp — vsota razlike nivojev v manometru

f — faktor (za olje: 0,0097; za HG: 0,122)

V_A — volumen aparature izračunamo, oziroma izmerimo volumen posameznih delov aparature in te vrednosti seštejemo. Volumen epruvete iz kvarcnega stekla označujemo navadno z V_1 , volumen ostalega steklenega dela aparature pa z V_2 .

$V_A = V_1 + V_2$

$V_2 = V_3 + V_4 + V_5$, kjer pomeni:

V_3 — volumen dela steklene aparature levo od tropskega ventila

V_4 — volumen tropskega ventila

V_5 — volumen levega dela manometrične cevi od tropskega ventila do ničlišča.

DOLOČANJE VODIKA V FEROLEGURAH

Ker so ferolegure, ki jih dodajamo raztaljenemu jeklu ali litemu železu eden glavnih virov vodika v talini, moramo pri njihovi uporabi za legiranje vedeti za vsebnost vodika v njih. Vedeti moramo predvsem zato, da že v naprej skušamo eliminirati dostop vodika v talino, oziroma ga odvzeti feroleguri na primer z žarenjem pri cca 850°C. Pri tej temperaturi ferolegura izgubi vodo, ki je močan vir vodika.

Določanje vsebnosti vodika v ferolegurah poteka v glavnem po istem postopku, ki velja za jeklo. Razlika je le v tem, da ne jemljemo vzorec v raztaljeni obliki oziroma iz tekočega stanja, kot pri jeklu, temveč grude ferolegure zdrobimo do granulacije cca 10 mm in jih po postopku ekstrakcije plinov, katerih glavni sestavni del predstavlja vodik, določimo pri 650°C in pri $3 \cdot 10^{-4}$ tora, enako kot v jeklu.

Nekateri avtorji sicer navajajo dokazne poskuse, da pri 650°C iz ferolegure ne moremo določiti celotne vsebnosti absorbiranega vodika in da bi za popolno ekstrakcijo plina bila potrebna višja temperatura, vsaj 1050°C, če že ne celo talilni postopek. Drugi avtorji spet smatrajo, kar je razvidno iz polemik v strokovnih časopisih, da je temperatura 650°C za ekstrakcijo v vakuumu dovolj visoka, da dobimo iz ferolegur toliko vodika, da nam rezultati morejo služiti kot dovolj natančni in uporabni za primerljivost in orientacijo. Predvsem je važno to, da pri tej temperaturi 650°C ne ekstrahiramo še drugih plinov ter da je v zmesi vodik v taki večini, da ostale pline moremo zanemariti.

Postopek priprave vzorca za analizo ferolegure se le toliko razlikuje od že opisanega pri jeklu, da stehtane komade ferolegur, granulacije cca 10 mm ne peremo v alkoholu in etru in ne sušimo v dušikovi atmosferi, temveč jih takoj, ko smo jih pripravili prenesemo v kvarcno epruveto steklene aparature in postopamo dalje enako kot z jeklom. Zatehta za eno določitev naj bo pri ferolegurah nekoliko nižja kot pri jeklu, ker ferolegure navadno, posebno pa nežarjene, vsebujejo več vodika kot jeklo ali litina. V nobenem primeru naj zatehta ne preseže 15 g.

Ko pripravljamo vzorec za analizo iz večje grude ferolegure, moramo paziti na to, da ne jemljemo komadov s površine grude, temveč cca 2–3 mm pod površino. Vzorec ne sme biti porazen. Pri tem je potrebno vedeti, tudi, če ferolegura ni bila pri skladiščenju oziroma ležanju mokra, ker je že za zračno vlago higroskopna.

Poleg vodika vsebujejo ferolegure še ogljikov monoksid, metan in dušik. Ti plini pri 650°C, ko ekstrahiramo vodik, ne izhajajo, oziroma jih je v zmesi plina, ki ga merimo, tako malo, da jih smemo zanemariti, enako kot pri jeklu.

Vsebnost vodika izračunamo po istem obrazcu kot smo ga navedli pri jeklu.

DOLOČANJE VODIKA V SIVI LITINI

Nekateri avtorji ugotavljajo, da iz litine, zaradi nizke vsebnosti vodika (litina ga praviloma vsebuje mnogo manj kot legure ali jeklo) in ker je vodik v litini v večji meri vezan, ni možno ugotoviti celotne vsebnosti vodika. Literatura omenja, da so rezultati, ki so jih dobivali z ekstrakcijo vodika pri 650°C in v vakuumu 10^{-5} tora, mnogo nižji od onih, ki so jih dobili s talilno metodo, ki ugotavlja vsebnost vodika iz raztaljenega vzorca pri 1800–2000°C.

Ker v železarni Štore nimamo možnosti uvesti talilno metodo, smo uporabili enako metodo za določanje vodika kot v jeklu in ferolegurah. Ulili in pripravili smo vzorec za analizo po postopku za jeklo. Hitro strjevanje vzorca in hitra ohladitev v tekočem kisiku povzroči zamrzovanje plinov v vzorcu in jim onemogoči izhod. Kokila iz bakra omogoči, da se vzorec litine hitro ohladi.

Izračun vsebnosti vodika v litini napravimo po obrazcu, ki smo ga uporabili za jeklo in ferolegure.

REZULTATI

Iz tabel 1, 2 in 3 so razvidni rezultati določanja vodika po metodi, ki jo opisujemo.

Tabela 1 nam predstavlja vrednosti, ki smo jih dobili pri določanju vodika v ferolegurah. Ferolegure imajo manj homogeno razdeljen vodik, kar potrjuje nihanje vrednosti posameznih paralelnih določitev.

Tabela 1

Zap. št.	Naziv mater.	Izvor	Kvalit. %	Stev. vag.	Prispelo datum	Odvzem vzorca datum	V_{H_2} ml/100 g	V_{H_2} x	V_{H_2} 2. J.*	Opomba	
1	FeSi	Jajce	76,87	kamion	26. 1. 67	6. 2. 67	6,87; 5,22	5,45	5,85	5,97	iz skladišča; nežarjen
2	FeMn	Sibenik	80,69	kamion	1. 4. 66	6. 2. 67	6,64; 8,68	7,72	7,68	6,85	iz skladišča; nežarjen
3	FeSi	Jajce	73,82 76,87	kamion	20. 1. 67	7. 2. 67	12,44; 12,69	14,49	13,21	—	v jeklarni, izpred peči; nežarjen
4	SiMn	Sibenik	69,58	kamion	20. 4. 66	7. 2. 67	3,67; 3,92	4,07	3,89	—	v jeklarni, izpred peči; nežarjen
5	FeMn	Sibenik	75,07	kamion	29. 4. 66	7. 2. 67	11,03; 11,59	11,09	11,20	—	v jeklarni, izpred peči; nežarjen
6	FeCr	SSSR	68,90	152214	13. 9. 65	9. 2. 67	5,29; 4,45	3,52	4,42	—	iz jeklarne; nežarjen
7	FeV	SSSR	51,0	komad.	dec. 66	9. 2. 67	19,32; 18,01	18,52	18,62	—	iz jeklarne; nežarjen

2. J.* — rezultat laboratorija Železarne Jesenice

Tabela 2

Zap. št.	Naziv mater.	Izvor	Kvalit.	Stev. šarže	Odvzem vzorca datum	vzorca ura	V_{H_2} ml/100 g	V_{H_2} x	Opomba	
1	Jeklo	Štore	CK 10	976	7. 2. 67	9.30	6,45; 6,68	6,95	6,69	iz peči, pred izpustom pred dodatkom ferolegure
2	Jeklo	Štore	CK 10	976	7. 2. 67	9.50	6,40; 6,20	6,20	6,30	po dodatku ferolegure iz ponovce v livni jami, pl. II
3	Jeklo	Štore	55Si7	982	9. 2. 67	8.50	5,51; 5,38	5,38	5,45	pred dodatkom ferolegure iz peči, pred izpustom
4	Jeklo	Štore	55Si7	982	9. 2. 67	9.25	6,76; 6,57	6,57	6,67	po dodatku ferolegure iz ponovce v livni jami, pl. II

Tabela 3

Zap. št.	Naziv mater.	Izvor	Kvalit.	Stev. šarže	Odvzem vzorca datum	vzorca ura	V_{H_2} ml/100 g	V_{H_2} x	Opomba	
1	Siva litina	Štore	trda	kupolka	10. 1. 67	10.30	1,07; 1,11	1,11	1,09	z žleba, pred dodatkom S
2	Valjčna litina	Štore	ploč.	plam. 19466 19467	13. 2. 67	8.55	3,23; 3,14	3,39	3,25	iz peči, pred izpustom

Pod zaporedno številko 1 in 2 v tabeli so še vrednosti za vsebnost vodika, ki so jih zaradi primerljivosti določili v laboratoriju Železarne Jesenice. Za analizo feromangana in ferosilicija smo odvzeli za vsakega po štiri grude, od katerih smo dve analizirali v laboratoriju doma, dve pa poslali v laboratorij Železarne Jesenice.

V jeklu (tabela 2) je vodik homogeno razporejen v vzorcu iz Cu-kokile, oziroma v talini, iz katere smo vzorec v paralelki (2 zajemalki iz peči) odvzeli.

Tabela 3 predstavlja vsebnost vodika v trdi litini iz kupolne peči z žleba pred ponovco, pred dodatkom žvepla, oziroma vsebnost vodika v pločevinskih valjih.

Ker po teoriji, ki jo opisujemo že uvodoma, smatramo, da z našo metodo določanja vsebnosti vodika iz trdnega vzorca pri 650°C ne moremo ekstrahirati v visokem vakuumu vsega vodika, mislimo, da so dobljene vrednosti verjetno nekaj nižje, kot bi jih sicer dobili z metodo določanja vodika iz raztaljenega vzorca pri 1800—2000°. Naslednje preiskave bodo šele pokazale, če nam metoda more služiti vsaj za ocenjevanje slabe in dobre kvalitete sive litine iz kupolke in plamenice, kar zadeva vpliv vsebnosti vodika na kvaliteto litine, če že z njo ne bomo mogli dobiti relativno točnih vrednosti za vsebnost vodika.

Literatura

1. A. Frommhagen: »Wasserstoff im Gusseisen«, Giesserei-Praxis, Nr. 17, 1964, sept. S. 319/329.
2. J. Calmettes, Ch. Dubois, P. Bastieu: »Etude du dosage de l'hydrogène dans l'acier«, Memoires Scientifiques Rev. Metallurgie, No 7, 1959, S. 641/656.
3. Borut Marinček, H. Feichtinger: »Gase im Gusseisen«, Giesserei, Heft 18, Aug. 1959, S. 489/497.
4. Zitter H., H. Krainer: »Probenahme und Bestimmung von Wasserstoff im Stahl unter Betriebsbedingungen«,

- Arch. Eisenhüttenwesen, H. 7, Juli 1958, S. 401/410.
5. Hans Rothmann, Werner Keil, Heinz Richter: »Über die Bestimmung des Wasserstoffs im Ferrolegierungen«, Erzmetall, H. 5, Bd. XVI, 1963, S. 239/242.
 6. M. Hauin, E. Jaudon: »Appareils de dosage des gaz dans les aciers«, Chimie Analytique — Vol. 45, No 12, Des. 1963, S. 623/633.
 7. Th. Kraus, O. Winkler: »Nouveau Procédé de Dosage Rapide des Gaz dans les Métaux«. Revue de Metallurgie — Jan. 1964, S. 87/91.
 8. Peter von der Forst: »Zum Einfluss des Wasserstoffs auf die Eigenschaften von Gusseisen«. Giesserei, H. 24, Nov. 1959, S. 931/937.
 9. A. Königer, M. Odcudahl: »Betrachtungen über Gasgehalte in gelöster und gebundener Form in Eisen-Kohlenstoff-Gusslegierungen«. Giesserei Techn. Wissensch. Beihefte, H. 28, April 1960, S. 1545/1556.
 10. V. Zedník, M. Sicha: »Einfluss von Gasen auf die Güte des Roheisens und Gusseisens«. Giesserei, H. 25, Dez. 1957, S. 745/746.
 11. Vsevolod Kuhn: »Dosage de l'hydrogene, de l'azote et de l'oxygene dans les Fontes et les aciers. Fonderie 221, Juillet 1964, S. 233/245.
 12. Slavko Tarman: »Problematika vodika v visoko siliciranih jeklih«. »Zelesar« tehnična priloga, št. 1, junij 1961, str. 54/63.
 13. M. Smialowski, Hydrogen in Steel.
 14. Metals Handbook.

ZUSAMMENFASSUNG

Viele physikalische Eigenschaften von Eisen und Stahl sind vom Gasgehalt abhängig. Das Metall löst und durchlässt den Wasserstoff in Abhängigkeit von verschiedenen äusseren Einwirkungen wie Temperatur und Druck, der chemischen Zusammensetzung, der Bearbeitung und der Herstellungsart. Im molekularen Zustand verursacht er

Sprödigkeit und Porosität des Metalls. Deswegen ist die Kenntnis des Wasserstoffgehaltes im Eisen und Stahl ein wichtiger Faktor. Die Methode der Extraktion im Vakuum ist eine der einfachsten Methoden und für die Erzeuger von Stahl und Guss bzw. deren Kontrolllaboratorien eine gute Methode zur Verfolgung der Qualität der eigenen Erzeugnisse.

SUMMARY

Physical characteristics of iron and steel depend considerably on the amount of gases they contain. The amount of hydrogen dissolved in metals depends on various factors, such as temperature, pressure, chemical analysis and many other technological factors. Hydrogen

causes brittleness and porosity. Therefore, it is interesting and very essential to know the quantity of hydrogen in iron and steel. Vakuum extraction is one of the most simple methods in hydrogen determination and a very convenient one for quality control in steel plants and foundries.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Много физических свойств железа и стали зависят от содержания газов. Металл, в зависимости от внешних влияний т. е. темп. и давления, химического состава, обработки и технологии получения, растворяет и пропускает водород, который в атомарной форме вызывает водородную хрупкость и образование

трещин. Поэтому необходимо учитывать содержание водорода в чугунах и сталях. Метод определения водорода при помощи экстракции в вакууме представляет один из самых простых способов и может послужить в лабораторном испытании как хороший способ следить за качеством чугуна и стали.

Proizvodnja in uporaba jeklarskega grodlja z nižjim manganom

Članek obravnava proizvodnjo in uporabo jeklarskega grodlja z nižjim manganom, ki se v svetu vedno bolj uveljavlja. Vpliv višjega in nižjega mangana v grodlju na tehnološki proces v SM peči. Rezultati analiz izvršeni na elektroplavžu in v jeklarni Železarne Štore. Ekonomski učinki uporabe grodlja z nižjim manganom.

UVOD

V okviru študije perspektivne orientacije proizvodnje grodlja na elektroplavžu v Železarni Štore, smo postavili kot osnovo najoptimalnejši ekonomski učinek v tehnološkem procesu naših glavnih proizvodov: pri jeklu in ulitkih. Zato smo našo študijo obravnavali s tehnologijo in proizvodnimi stroški grodlja, od katerega je odvisna vsa rentabilnost nadaljne predelave. Razmišljanja o ekonomiki proizvodnje grodlja na elektroplavžu so privedla do zaključka, da je najugodnejša proizvodnja samo ene vrste grodlja takšne sestave, ki bo uporaben za izdelavo jekla, kokil, težkih ulitkov in tudi nodularne litine. Takšen grodelj pa je le beli grodelj z nižjim manganom, ker je le-ta uporaben za vse navedene tehnologije.

Naša osnova je torej čim cenejši beli grodelj iz razpoložljivih domačih surovin, ki ga bo mogoče uporabiti tako za jeklarski proces, kot za direktno ulivanje kokil in njihovo uporabo kot grodelj za vložek v jeklarskih pečeh ter končno tudi za izdelavo specialnih kvalitet grodljev z obdelavo izven plavža.

Ker je tehnologija direktnega ulivanja kokil iz jeklarskega grodlja in obdelava istega izven plavža še v fazi raziskav in osvajanja, se bomo v naslednjem omejili na obravnavo vsebnosti mangana v belem grodlju z ozirom na ekonomske učinke in uporabnost v tehnologiji SM peči.

IZKUSNJE SOVJETSKIH IN DRUGIH ŽELEZARN

V zadnjih 15 letih so tako v Sovjetski zvezi kot v ZDA prešli pri izdelavi SM jekla na grodelj z nižjim Mn in to z namenom, da pocenijo proizvodni proces.

Starejše ugotovitve in mnenja, da višji Mn deluje kot zaščita pred premočno oksidacijo v fazi taljenja in zato kot zaščita pred lomom v rdečem,

dalje kot zaščita pred tvorbo mehurčkov ter da izboljšuje odžveplanje v času raztaljevanja, so se z novejšimi raziskavami pokazale kot netočne. Pri raziskavah, kjer so obravnavali jeklarske grodlje v zelo širokem intervalu, tako da so imeli v vložku SM peči % Mn od 0,15 do 2,30 %, so rezultati poskusov pokazali, da v času rafinacije Mn nima vpliva na vsebnost O₂ v talini, temveč v glavnem le ogljik in zato vsebnost visokega Mn v vložku ni tako nujna.

V Sovjetski zvezi ugotavljajo, da Mn že takoj po ulivanju tekočega grodlja v SM peč oksidira in preide v žlindro, iz katere pa se le delno reducira, tako da znaša izkoristek vložnega Mn le 5 do 15%.

Edini vpliv različnega % Mn v jeklarskem grodlju se je pokazal pri povečani porabi potrebnih Mn — zlitin v času rafinacije oz. za končno legiranje taline. V Vzhodni Nemčiji so izvršili vrsto poskusov, da bi ugotovili vpliv različnega % Mn v grodlju na izkoristek Mn in na porabo Fe Mn. Delež grodlja v vložku je znašal 40 %. Ugotovili so, da se je pri vložku grodlja z 0,5 % Mn namesto z 2,0 % Mn povečala poraba FeMn za 1,7 — 2,5 kg/t jekla. Takšno povišanje porabe FeMn so ugotovili tudi drugi avtorji in potrdili dejstvo, da ima nižji Mn v vložku vpliv na porabo FeMn v SM peči.

Prav tako so raziskovali vpliv deleža Mn v vložku SM peči na kvaliteto izdelanega jekla po valjanju ter ugotovili, da nizek Mn v vložku nima vpliva na kvaliteto izdelanega jekla.

Zanimivi so podatki, da je npr. v Železarni Magnitogorsk padla v letih 1950 do 1958 vsebnost Mn v jeklarskem grodlju od povprečno 1,58 % na 0,20 %. Podobne vsebnosti imajo tudi v Kuznecku, dočim je v železarnah na jugu Sovjetske zveze Mn v jeklarskih grodljih v mejah od 0,5 do 1,3 %.

Statistični podatki iz ZDA kažejo kako se je gibala vsebnost Mn v jeklarskih grodljih v različnih obdobjih: l. 1945 — 1,75 do 2,25 %, l. 1950 — 1,0 do 1,50 %, l. 1957 pa so že uporabljali tudi grodelj z 0,50 % Mn.

Seveda se pa pri uporabi jeklarskih grodljev z nižjim Mn poudarja, da je treba temu primerno prilagoditi tehnološki proces SM peči, predvsem v tem smislu, da se doseže čim večja redukcija Mn iz žlindre, kar pa je odvisno poleg koncentracij, predvsem od bazičnosti žlindre (dodatkov CaO), količine žlindre in temperatur.

PRIMERJAVA STANDARDOV

Razvoju plavžarske in jeklarske tehnologije so se v različnih državah prilagajali tudi standardi, ki določajo razpone vsebnosti posameznih elementov za različne vrste jeklarskih grodljev.

Navajamo izvleček iz ruskih GOST - standardov, ki opredeljujejo jeklarski grodelj po različnih kvalitetah.

Kvaliteta grodlja	Si	Mn	
		I. razred	II. razred
M 1	0,76 . . . 1,25	max. 1,0	1,01 . . . 1,75
M 2	max. 0,75	max. 1,0	1,01 . . . 1,75
B 1	1,26 . . . 1,75		0,60 . . . 1,20
B 2	0,70 . . . 1,25		0,50 . . . 0,80
T	0,20 . . . 0,60		0,80 . . . 1,30

Ameriški ASTM — standardi iz l. 1961 določajo za Si in Mn v jeklarskem grodlju:

Kvaliteta grodlja	Si	Mn
Jeklarski grodelj — severni	max. 1,50 (po razredih 0,25)	1,01 . . . 2,00 (po razr. 0,50)
Jeklarski grodelj — južni	max. 1,50 (po razredih 0,25)	0,40 . . . 0,75 (brez razredov)

Jugoslovanski standardi za jeklarske grodlje pa predpisujejo višjo vsebnost Mn. Za primerjavo navajamo vsebnosti Si in Mn:

Razred	Si	Mn
I	max. 1,00	min. 1,70
II	max. 1,10	1,20 . . . 1,70
III	max. 1,40	1,00 . . . 1,20

PROIZVODNJA GRODLJA Z VIŠJIM IN NIŽJIM MANGANOM

Pri proizvodnji jeklarskega grodlja v elektroplavžu Železarne Štore predstavlja ljubijski limonit glavno Fe — komponento, saj znaša njegov delež po bilanci železa skoraj 70%. Vsebnost Mn v limonitu je v povprečju okoli 2,15%.

Ker smo morali proizvodnjo jeklarskega grodlja prilagoditi zahtevam naših standardov, smo normalnemu vsipu za jeklarski grodelj dodajali še Mn rudo. Z dodatkom Mn rude v količini cca 40 kg/t grodlja je bilo možno zagotoviti pri normalnem tehnološkem procesu vsebnost Mn v jeklarskem grodlju nad 1,70%, saj se v povprečju giblje vsebnost Mn precej nad 2%.

Uporaba standardnega vsipa brez dodatka Mn rude nam da jeklarski grodelj z vsebnostjo Mn v glavnem intervalu 1,45 . . . 2,15% v odvisnosti

od stopnje redukcije Mn. V povprečju je tudi v tem primeru vsebnost Mn okoli 1,75%, torej v I. razredu po naših standardih, vendar pa je nihanje vsebnosti od preboda do preboda tolikšno, da dobimo v navedeni interval le okoli 60% vseh prebodov, dočim so ostali prebodi zunaj navedenih mej.

V opazovanem obdobju (julij—avgust 1967 ter december 1967 in prva polovica januarja 1968), nižjim Mn, smo imeli v določenih kampanjah vsip ko smo analizirali proizvodnjo grodlja z višjim in elektroplavža z ali brez Mn rude. Analiza 450 prebodov z uporabo Mn rude v vsipu je pokazala povprečno vsebnost Mn 2,33%, dočim je pri 360 prebodih brez Mn rude v vsipu znašala ta vsebnost 1,82%. Iz prve skupine je bil uporabljen v vložku SM peči tekoči grodelj od 202 prebodov s povprečno vsebnostjo Mn 2,37% ter iz druge skupine grodelj od 137 prebodov s povprečno vsebnostjo 1,78% Mn.

Našo teoretično domnevo, da je povprečje vsebnosti Mn v jeklarskem grodlju pri našem standardnem vsipu brez uporabe Mn rude pri 1,75%, potrjuje tudi novejša kampanja proizvodnje jeklarskega grodlja (od 17. 2. do 15. 3. 1968), kjer je pri 240 prebodih znašala povprečna vsebnost 1,73% Mn.

UPORABA GRODLJA Z NIŽJIM IN VIŠJIM MANGANOM V SM PEČI

Analiza uporabe jeklarskega grodlja z nižjim in višjim Mn v SM peči jeklarne Železarne Štore je bila izvršena za obdobje julij — avgust 1967 ter december 1967 in prva polovica januarja 1968 in to z namenom, da bi ugotovili kakšno je povečanje porabe FeMn in Si Mn pri uporabi različnega grodlja. Navedeno obdobje smo analizirali zato, ker smo imeli v drugi polovici avgusta zaradi kampanje direktnega ulivanja kokil iz jeklarskega grodlja, grodelj z nižjim Mn (brez Mn rude v vsipu elektroplavža), v mesecu decembru in januarju pa smo imeli normalno proizvodnjo jeklarskega grodlja z nižjim Mn za domačo jeklarno ter proizvodnjo grodlja z višjim Mn za prodajo.

Pri naši analizi smo zasledovali šarže pri katerih je bil v vložku SM peči uporabljen tekoči grodelj v skupnem vložku s približno 35%, dočim je bil del grodlja, ki se uporablja v trdni obliki, nekontroliran, vendar približno enake sestave kot uporabljeni tekoči grodelj. Vendar pa je že z navedeno količino tekočega grodlja s kontrolirano kemično sestavo možno določiti vplive višjega ali nižjega % Mn v grodlju v vložku SM peči.

V naših raziskavah smo se omejili na vpliv različnega grodlja na % Mn v prvi predprobi, % Mn v končni predprobi pred izpustom šarže ter na količinsko porabo Mn-zlitin.

Uporabljeni grodelj v jeklarni je imel vsebnost Mn, ki je podana v tabeli 1 ter prikazana s kumulativno pogostnostjo v diagramu (sl. 1.).

Tabela 1

% Mn v grodlju	Grodelj brez Mn rude v vsipu			Grodelj z Mn rudo v vsipu		
	štev. šarž	pogost. v %	kumul. pog. %	štev. šarž	pogost. v %	kumul. pog. %
	pod 1,10	3	2,2	2,2	—	—
1,11 ... 1,30	6	4,4	6,6	4	2,0	2,0
1,31 ... 1,50	20	14,6	21,2	3	1,5	3,8
1,51 ... 1,70	30	21,8	43,0	10	5,0	8,5
1,71 ... 1,90	36	26,3	69,3	15	7,5	16,0
1,91 ... 2,10	20	14,6	83,9	28	13,8	29,8
2,11 ... 2,30	12	8,8	92,7	31	15,3	45,1
2,31 ... 2,50	7	5,1	97,8	37	18,3	63,4
2,51 ... 2,70	3	2,2	100,0	28	13,8	77,2
2,71 ... 2,90	—	—	—	20	9,9	87,1
2,91 ... 3,10	—	—	—	14	6,9	94,0
3,11 ... 3,30	—	—	—	6	3,0	97,0
3,31 ... 3,50	—	—	—	5	2,5	99,5
nad 3,51	—	—	—	1	0,5	100,0
skupaj šarž	137			202		

Odvisnost % Mn v prvi predprobi od različnega % Mn v jeklarskem grodlju je podana v tabeli 2 in v diagramu (Sl. 2.).

Tabela 2

% Mn v prvi predprobi	Grodelj brez Mn rude v vsipu			Grodelj z Mn rudo v vsipu		
	štev. šarž	pogost. v %	kumul. pog. %	štev. šarž	pogost. v %	kumul. pog. %
	pod 0,10	14	10,6	10,6	3	1,5
0,11 ... 0,15	28	21,6	31,6	21	10,7	12,2
0,16 ... 0,20	43	32,3	63,9	98	50,0	62,2
0,21 ... 0,25	20	15,0	78,9	36	18,4	80,6
0,26 ... 0,30	13	9,8	88,7	20	10,2	90,8
0,31 ... 0,35	6	4,5	93,2	6	3,1	93,9
0,36 ... 0,40	1	0,8	94,0	4	2,1	96,0
0,41 ... 0,45	2	1,5	95,5	3	1,5	97,5
0,46 ... 0,50	3	2,2	97,7	1	0,5	98,0
0,51 ... 0,55	1	0,8	98,5	4	2,0	100,0
0,56 ... 0,60	2	1,5	100,0	—	—	—
skupaj šarž	133			196		

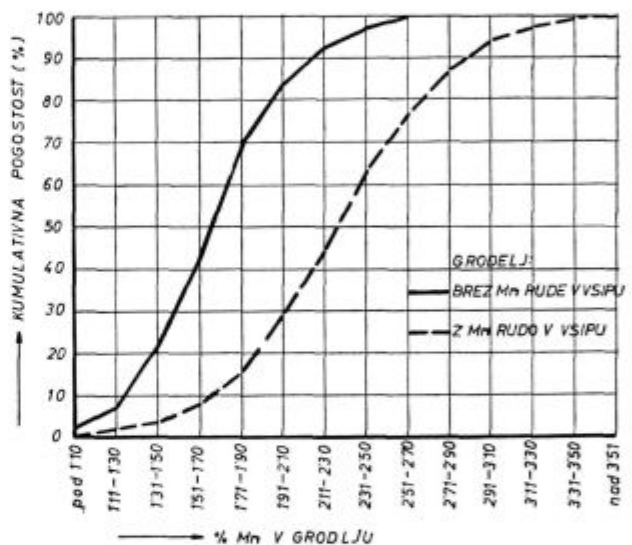
Tabela 4

Končni % Mn v jeklu	Grodelj z Mn rudo v vsipu			Razlika porabe			Grodelj brez Mn rude v vsipu		
	Fe Mn	Si Mn	št. šarž	Fe Mn	Si Mn	št. šarž	Fe Mn	Si Mn	
	pod 0,45	1,95	2,00	55	1,58	2,10	41	+ 0,37	— 0,10
0,46 ... 0,55	2,55	1,44	16	1,70	1,37	19	+ 0,85	+ 0,07	
0,56 ... 0,65	3,12	1,36	11	2,77	1,54	23	+ 0,35	— 0,18	
0,66 ... 0,75	2,49	2,22	23	2,68	1,30	47	— 0,19	+ 0,92	
0,76 ... 0,85	3,33	3,05	14	3,08	2,01	36	+ 0,25	+ 1,04	
0,86 ... 0,95	6,28	2,00	10	3,70	2,30	19	+ 2,58	— 0,30	
0,96 ... 1,05	9,00	1,89	6	4,96	2,82	11	+ 4,04	— 0,93	
nad 1,06	13,30	3,33	2	7,50	4,17	6	+ 5,80	— 0,84	
skupaj šarž			137			202			

Odvisnost % Mn v zadnji predprobi od različnega % Mn v jeklarskem grodlju je podana v tabeli 3 in v diagramu (Sl. 3.).

Tabela 3

% Mn v zadnji predprobi	Grodelj brez Mn rude v vsipu			Grodelj z Mn rudo v vsipu		
	štev. šarž	pogost. v %	kumul. pog. %	štev. šarž	pogost. v %	kumul. pog. %
	0,16 ... 0,20	3	2,2	2,2	—	—
0,21 ... 0,25	7	5,1	7,3	9	4,6	4,6
0,26 ... 0,30	19	14,0	21,3	25	12,7	17,3
0,31 ... 0,35	31	22,8	44,1	50	25,5	42,8
0,36 ... 0,40	37	27,1	72,8	38	19,5	62,3
0,41 ... 0,45	13	9,7	80,9	32	16,4	78,7
0,46 ... 0,50	14	10,3	91,2	24	12,2	90,9
0,51 ... 0,55	4	2,9	94,1	9	4,6	95,5
0,56 ... 0,60	5	3,7	97,8	2	1,0	96,5
0,61 ... 0,65	3	2,2	100,0	7	3,5	100,0
skupaj šarž	136			196		

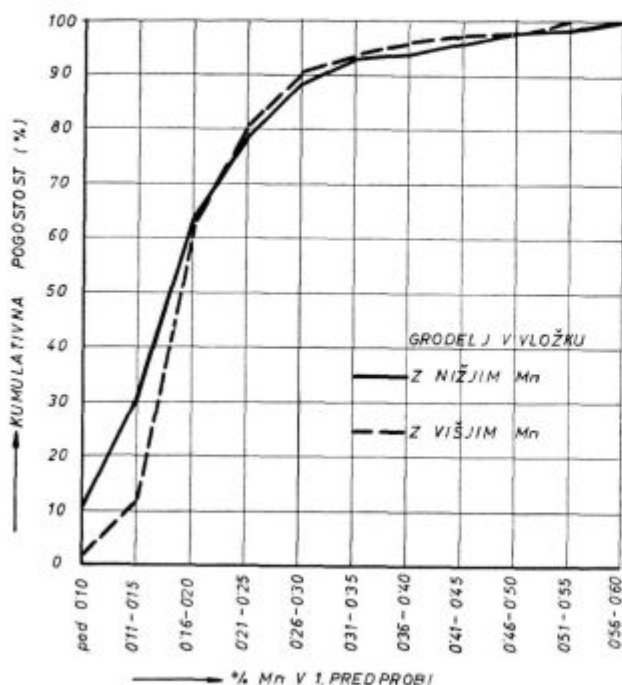


Slika 1

Uporabljeni grodlj v SM peči brez in z uporabo Mn rude v vsipu elektroplavža

(poraba v kg/t jekla)

Iz tabele 2 in tabele 3 je razvidno, da se število šarž ne ujema s celotnim številom obravnavanih šarž (137 in 202), to pa zato, ker smo šarže z ne-normalnimi rezultati, ki so padli izven navedenih mej, izločili iz analize.



Slika 2

Ovisnost % Mn v prvi predprobi od različnega % Mn v jeklarskem grodlju

Poraba Mn-zlitin: Fe Mn in Si Mn je podana v tabeli 4 in v diagramu (sl. 4.), skupna poraba Mn pa v tabeli 5 in v diagramu (sl. 5.).

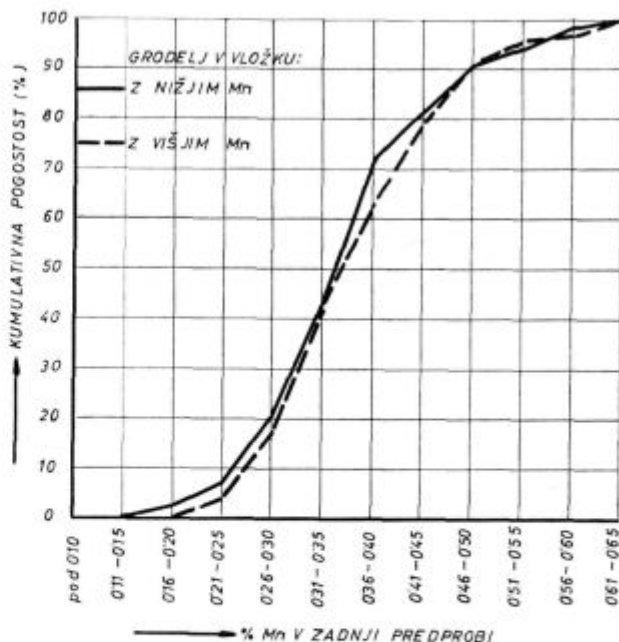
Tabela 5

(poraba v kg/t jekla,

Končni % Mn v jeklu	Poraba Mn iz Fe Mn in Si Mn		Razlika Mn
	Grodelj brez Mn rude v vsipu	Grodelj z Mn rudo v vsipu	
pod 0,45	2,76	2,54	+ 0,22
0,46 ... 0,55	2,85	2,17	+ 0,68
0,56 ... 0,65	3,23	3,09	+ 0,15
0,66 ... 0,75	3,31	2,86	+ 0,45
0,76 ... 0,85	4,48	3,62	+ 0,86
0,86 ... 0,95	6,00	4,27	+ 1,73
0,96 ... 1,05	7,98	5,56	+ 2,42
nad 1,06	12,16	8,34	+ 3,82
povprečna razlika + 0,73			

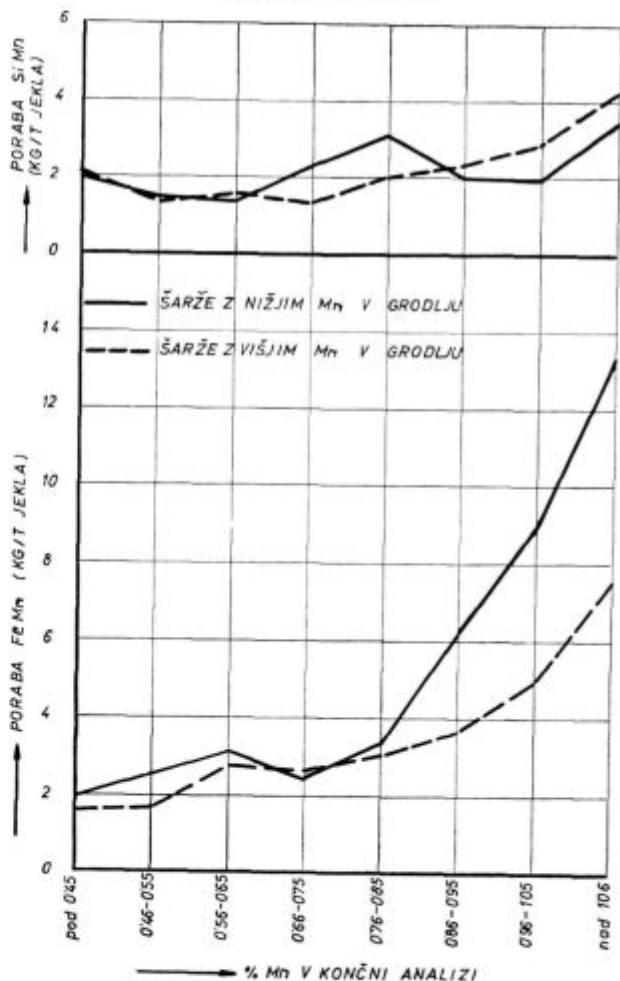
Ocena rezultatov

Razlika v vsebnosti Mn pri dveh različnih skupinah uporabljenih grodljev je znašala okoli 0,60%. Kot je razvidno iz rezultatov, ima različni % Mn določen vpliv na potek tehnološkega procesa SM peči.



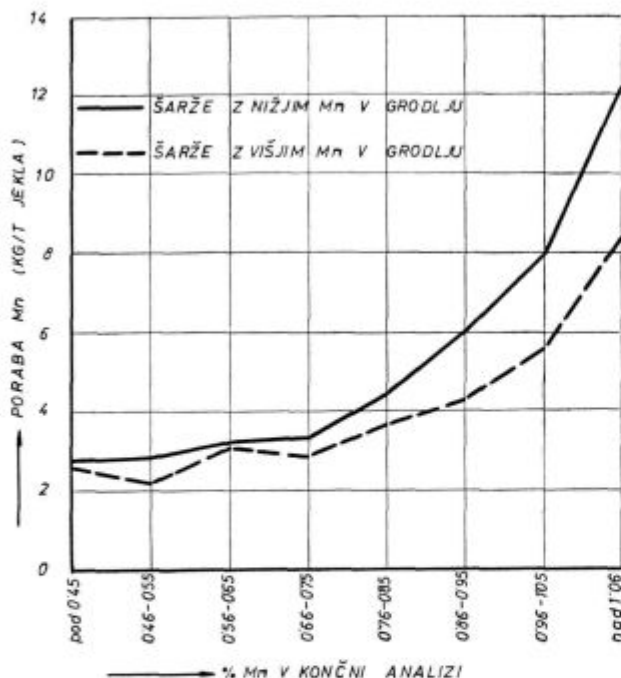
Slika 3

Ovisnost % Mn v zadnji predprobi od različnega % Mn v jeklarskem grodlju



Slika 4

Poraba FeMn in SiMn v odvisnosti od % Mn v končni analizi jekla ter od različnega % Mn v jeklarskem grodlju



Slika 5

Skupna poraba Mn iz FeMn in SiMn v odvisnosti od % Mn v končni analizi jekla ter od različnega % Mn v jeklarskem grodlju

Vpliv nižjega % Mn v grodlju na % Mn v prvi predprobi je nekoliko večji v razredih pod 0,20 % Mn, dočim se pozneje krivulji kumulativne pogostosti skoraj pokrivata oz. ima grodelj z višjim Mn celo nižje vrednosti.

Zanimiva je slika 3, ki prikazuje kumulativne pogostosti % Mn v zadnji predprobi v odvisnosti od različnega % Mn v grodlju. Obe krivulji se skoraj prekrivata, vendar je pa % Mn v zadnji predprobi, ki je odločilen za končno legiranje Mn-zlitin, nekoliko nižji pri uporabi grodlja z nižjim Mn. To tudi zahteva nekoliko večjo porabo Mn-zlitin.

Poraba Mn-zlitin prikazana na sliki 5 potrjuje ugotovitve drugih avtorjev, da je pri uporabi grodlja z nižjim Mn, poraba le-teh nekoliko višja. Poraba progresivno narašča z večjim % Mn v končni analizi in to hitreje pri uporabi grodlja z nižjim Mn, kar je tudi logično z ozirom na nižje koncentracije MnO v žilindri. Pri tem pa moramo pripomniti, da je bilo pri šaržah z nad 0,95 % Mn v končni analizi le malo primerov ter zato rezultati niso popolnoma ekzaktni v tem območju.

Izračunamo povprečno povečanje porabe Mn-zlitin, ki nas je zanimalo, znaša pri uporabi grodlja z nižjim Mn z upoštevanjem števila šarž 0,73 kg Mn/t jekla.

EKONOMSKI UČINKI

Ker smo želeli ugotoviti kakšen vpliv ima uporaba jeklarskega grodlja z nižjim Mn na ekonomičnost tehnološkega procesa proizvodnje grodlja

in jekla v Železarni Štore, smo analizirali ekonomski učinek na elektroplavžu in v jeklarni.

Iz računov vsipa za elektroplavž sledi, da lahko računamo pri uporabi standardnega vsipa brez dodatka Mn rude, z vsebnostjo Mn v jeklarskem grodlju 1,45 do 2,15 % v odvisnosti od stopnje redukcije Mn, ki pa je v povprečju kot sledi iz navedenih podatkov le okoli 40 %-na. Zato smo v naši kalkulaciji izločili tudi samo Mn rudo iz vsipa in jo nadomestili z ekvivalentnim deležem limonita.

Znižanje lastne cene jeklarskega grodlja zaradi izločitve Mn rude iz vsipa je naslednje (cene konec I. 1967):

1. Izločitev Mn rude iz vsipa
 $40 \text{ kg Mn rude} \times 387,72 \text{ Ndin/t} = 15,51 \text{ Ndin/t}$
2. Prihranek na elektroenerg.
 $20 \text{ kWh/t} \times 0,076 \text{ Ndin/kWh} = 1,52 \text{ Ndin/t}$
 $17,03 \text{ Ndin/t}$
3. Ekvivalentna nadomestitev železne rude
 $11 \text{ kg limonita Ljubija} \times 127,20 \text{ Ndin/t} = 1,40 \text{ Ndin/t}$
 Efektivni prihranek $15,63 \text{ Ndin/t grod.}$
 Podražitev proizvodnje jekla:
 $0,73 \text{ kg Mn iz fero-zlitin} \times 3.360 \text{ Ndin/t} = 2,45 \text{ Ndin/t jekla}$

Pri letni proizvodnji 22.500 t jeklarskega grodlja za domačo jeklarno predstavlja skupni prihranek 351.675 Ndin, podražitev proizvodnje jekla pa znaša pri 37.000 t jekla letno 90.650 Ndin, ali pozitivna razlika je 241.025 Ndin.

Prikazani prihranek pa ne upošteva ostalih prednosti in možnosti, ki jih nudi jeklarski grodelj z nižjim Mn, ker omogoča proizvodnjo enotnega grodlja uporabnega razen v jeklarni tudi za livarsko tehnologijo kot omenjeno že v uvodu, s tem neprimerno večjo pocenitev surovinske baze in poenostavitev vsipa za elektroplavž.

ZAKLJUČEK

Pri iskanju različnih možnosti znižanja oz. spremembe tehnoloških normativov proizvodnje grodlja smo prišli do zaključka, da je ena izmed rešitev, izločitev dodatka Mn rude iz vsipa elektroplavža ter s tem proizvodnja cenejšega jeklarskega grodlja z nižjim Mn, ki je uporaben v procesu SM peči ter prav tako v livarski tehnologiji.

Namen prvih raziskav na tem področju je bila ugotovitev vpliva nižjega % Mn v grodlju na potek tehnologije SM peči ter ugotovitev skupnega ekonomskega efekta obratov elektroplavža in jeklarne. Rezultat je vsekakor pozitiven, ker je pokazal, da je poraba Mn-zlitin le nekoliko višja, prihranek na elektroplavžu pa znatno večji. Zato je tudi v sedanjih praksi v Železarni Štore že izvršen prehod na proizvodnjo jeklarskega grodlja z nižjo vsebnostjo Mn.

Potrebno pa je pripomniti, da je izvršena analiza bolj ali manj le uporabna orientacija, ker za ekzaktno raziskavo obravnavanega problema ne razpolagamo z večimi važnimi parametri tehnološkega procesa SM peči, predvsem količino žindre, pa tudi analizo žindre, temperaturo kopeli, točnimi časi dodatkov apna in Mn-zlitin itd. Stabilnost tehnološkega procesa moti tudi izredno močno nihanje vsebnosti Mn v grodlju ter temperatura grodlja, kar pa bo mogoče v prihodnosti ublažiti s predvideno postavitvijo mešalca za tekoči grodelj na elektroplavžu, ki bo zbral vsaj 10 prebodov, s tem pa bo možno tudi prilagoditi čas

ulivanja celotne količine grodlja v SM peč v tehnološko najugodnejšem trenutku.

Trdimo pa lahko, da je izvršena analiza dala odgovor na vprašanje ali je dodatek Mn rude v vsip elektroplavža opravičen ali ne.

Literatura

1. F. Gruner in drugi. »Beitrag zur Manganführung beim basischen Siemens-Martin-Verfahren«, Neue Hütte (Leipzig) 10 (1963), stran 577—584.
2. K. G. Trubin, G. N. Ojks. »Metallurgija stali«, Izdateljstvo Metallurgija, Moskva 1964.
3. H. E. McGannon. »The Making, Shaping and Treating of Steel«, Eighth Edition United States Steel, Pittsburgh, 1964.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Entwicklung der Eisen- und Stahltechnologie in der Welt geht in der Richtung der Erzeugung und Verwendung von Stahlroheisen mit niedrigerem Mangangehalt. Deswegen wiesen wir mit dem Vergleich auf die Mangangehalte im Stahlroheisen in verschiedenen Standards.

In unserer Analyse stellten wir die Folgen der Ausscheidung von Manganerz aus dem Möller des Elektrohochofens dar. Vogewiesen ist die Einwirkung des niedrigeren oder höheren Mangangehaltes im Roheisen in Bezug auf den Mangangehalt in der ersten Vorprobe des SM-Ofens, auf

den Mangangehalt in der letzten Vorprobe sowie auf den Verbrauch von Manganlegierungen.

Aus der Wirtschaftlichkeitsberechnung resultiert die Feststellung, dass die Ausscheidung von Manganerz aus dem Möller des Elektrohochofens am Platze ist, da das Roheisen mit dem niedrigeren Mangangehalt auf der einen Seite einen billigeren Rohstoff für den Stahlprozess darstellt, auf der andern Seite gibt es aber die Möglichkeit der Verwendung auch in der Giessereitechnologie.

SUMMARY

The pig iron with lower manganese content is introduced in iron and steel production practice. Therefore, the comparison of Mn content in various pig irons has been made according to different standards.

The influence of elimination of manganese from the burden of electric furnace have been studied. The relation among various Mn contents in pig iron and percent of

Mn in the first and last preliminary sample and consumption of Mn alloys was established.

The elimination of Mn, resulting from the burden of electric furnace, was proved to be economical. Pig iron with a lower Mn content offers a cheaper raw material for steel production process. On the other hand such a pig iron could be used in a foundry technology as well.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развитие технологии чугуна и стали устремлено к применению белого чугуна с более низким марганцем. Поэтому предложено сравнение содержания марганца в белом чугуне в различных стандартах.

Исследованы результаты анализа плавки без добавления марганцевой руды в загрузку электродомновой печи. Указано влияние более низкого и более высокого содержания Mn в

первой предварительной пробы на содержание Mn в последней предварит. пробы а также и на расход Mn-сплавов.

Из экономического расчёта следует, что загрузка в электродомновой печи без добавки Mn-руды оправдана: белый чугун с более низким Mn даёт более дешёвое сырьё для SM-процесса а также возможность применения этого чугуна в чугуно-литейной технологии.

Določevanje silicija v ferovanadiju s perklorovo kislino

Silicij se da enostavno določiti v ferovanadiju s perklorovo kislino, če se oborina vanadijevega pentoksida reducira s primernim reducentom. Izolirani silicijev dioksid je zelo čist, metoda je kratkotrajna in zanesljiva

PRINCIP METODE

Ferovanadij se razkroji v dušikovi kislini. V vreli perklorovi kislini pride vanadij v vanadijev pentoksid, silicijeva kislina pa postane netopna. S primernim redukcijskim sredstvom raztopimo vanadijev pentoksid, medtem ko ostane silicijeva kislina netopna in lahko filtrirna.

EKSPERIMENTALNI DEL

Kemikalije

Dušikova kislina, HNO_3 , p. a. (1+1)

Perklorova kislina, HClO_4 , p. a. (60 do 70 %)

Hidrazinklorid, $\text{NH}_2\text{NH}_2 \cdot 2 \text{HCl}$, 5-odstotna raztopina

Žveplova (VI) kislina, H_2SO_4 , p. a. (1+1)

Fluorovodikova kislina, HF , p. a. (35 %)

Klorovodikova kislina, HCl , p. a. (1+10)

POSTOPEK

2 g drobno zmletega ferovanadija zatehtamo v 400 ml čašo, jo pokrijemo z urnim steklom in postavimo v hladilno vodo. Na vzorec vlijemo 20 ml dušikove kisline. Ko se reakcija pomiri, izplaknemo urno steklo z vodo, čašo pa postavimo na zmerno ogrevano kuhhalno ploščo. Raztopini dolijemo še 30 ml perklorove kisline med mešanjem. Nad čašo postavimo infrardečo luč za površinsko izparevanje. Ko se pojavijo močne bele pare, pustimo raztopino vreti še 5 minut.

Ohlajeno raztopino razredčimo s 100 ml vrele vode in med mešanjem dokapavamo 5-odstotno raztopino hidrazinklorida, dokler se ne reducira ves vanadijev pentoksid, in raztopina ne postane intenzivno modre barve. Tekočino precedimo skozi srednje gost filterški papir, silicijevo kislino pa

spravimo kvantitativno na papir. Filterški papir z oborino dobro speremo s toplo klorovodikovo pralno vodicco (1+10) in končno še z vročo vodo.

V platinskem lončku previdno upepelimo filter in ostanek žarimo pri 1100°C do konstantne teže (a). Ostanek v lončku omočimo s 6 kapljicami žveplove (VI) kisline (1+4) in dolijemo še 5 do 10 ml fluorovodikove kisline. Ko pod infrardečo lučjo izparimo vsebino, žarimo lonček pri 1100°C do konstantne teže (b). Ugotovljena zguba teže je silicijev dioksid.

Odstotek silicija zračunamo po obrazcu:

$$\% \text{ Si} = \frac{(a-b) \times 0.4672 \times 100}{z}$$

kjer pomeni (a) težo platinskega lončka z nečistim ostankom pred odkajenjem, (b) težo lončka po odkajenju silicijevega tetrafluorida in (z) zatehtano vzorca, vse v gramih. Dovoljeno odstopanje med določitvama se zračuna po obrazcu:

$$0.02 + 0.03 \times \% \text{ Si}$$

Če odstopata določitvi za več od dovoljenega odstopanja, moramo analizo ponoviti.

V razpredelnici so navedeni rezultati za silicij v ferovanadiju, ki smo jih ugotovili primerjalno s klorovodikovo in s perklorovo kislino.

Vzorec št.	% Si po HCl postopku	% Si po HClO_4 postopku	Dovoljeno odstopanje v %
1	0,58	0,59	0,037
2	0,54	0,52	0,036
3	1,02	1,03	0,051
4	1,42	1,46	0,063

SKLEP

Rezultati potrjujejo, da je postopek s perklorovo kislino enakovreden postopku s klorovodikovo kislino. Pri postopku s perklorovo kislino se izognemo dolgotrajnemu dvakratnemu izparevanju. Izparevanje perklorove kisline pod infrardečo lučjo je mirno in se ni bati brizganja, če kuhalik ni prevroč.

ZUSAMMENFASSUNG

Man löst Ferrovanadin vorsichtig in Salpetersäure (1 + 1). In siedender Oberchlorsäure wird die Kieselsäure insolubilisiert, Vanadin aber geht in die unlösliche Form von Vanadinpentoxid über. Der kalte Rückstand wird mit

siedendem Wasser verdünnt und der Vanadinpentoxid tropfenweise mit 5 %-er Hydrazinchloridlösung reduziert. Die Kieselsäure wird abfiltriert und nach bekannter Weise bestimmt.

SUMMARY

After solving the sample in nitric acid (1 + 1), silicon in ferrovanadium can be determined as silicon dioxide in very pure form with perchloric acid. The solution is evaporated to white fumes, preferably under a radiant infrared heater. In hot aqueous solution vanadium pentoxide is

reduced with hydrazin chloride, and silicon dioxide is filtered off and ignited. The difference in weights before and after volatilization of silicon tetrafluoride gives the content of silicon in ferrovanadium.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Феррованадий осторожно растворяют в азотной кислоте (1:1). В горячей перхлорной кислоте двуокись кремния (SiO_2) растворяется а ванадий переходит в нерастворимую форму V_2O_5 . Остаток

разбавляют с горячей водой и восстанавливают V_2O_5 с 5 % раствором гидразинхлорида добавая его по капелькам. SiO_2 отфильтровывают и определяют известным методом.