

ŽELEZARSKI ZBORNIK

VSEBINA

	Stran
Rodič Alenka — Železarna Ravne REKRISTALIZACIJSKI DIAGRAMI	53
Rodič Jože, A. Segel — Železarna Ravne VPLIV KEMIJSKE SESTAVE NA PREMENSKE TOČKE LEDEBURITNIH ORODNIH JEKEL	65
Uranc Franc — Železarna Ravne KVALITETNEJŠA TOPLOTNA OBDELAVA IZ- DELKOV IZ UTOPNIH JEKEL	77
Kuzman Karel — Kovaška industrija Zreče VPLIV PREOBLIKOVANEGA MATERIALA NA SNOVANJE PROCESOV HLADNEGA MASIV- NEGA PREOBLIKOVANJA JEKEL	83
TEHNIČNE NOVICE Pšeničnik Jože — Železarna Ravne NOVO ORODNO JEKLO č 9750 Utop CO ₂ ZA DELO V VROCEM	93
Sikošek Dušan NOVI VARILNI PRAŠKI IZ PROIZVODNJE ŽELEZARNE JESENICE	103
Društvene vesti	104

LETO 10 ŠT. 2 - 1976

ŽEZB BQ 10 (2) 53 — 108 (1976)



Vsebina	stran	Inhalt	Seite	Contents	Page	Содержание	страница
Rodič Alenka		Rodič Alenka		Rodič Alenka		Rodič Alenka	
Rekristalizacijski diagrami	53	Die Rekristallisations-Diagramme	53	Recrystallization Diagrams	53	Рекристаллизационные диаграммы	53
UDK: 621.785.3.003.63 ASM/SLA: N5, J23c, M27c		UDK: 621.785.3.003.63 ASM/SLA: N5, J23c, M27c		UDK: 621.785.3.003.63 ASM/SLA: N5, J23c, M27c		UDK: 621.785.3.003.63 ASM/SLA: N5, J23c, M27c	
Rodič Jože Antonija Segel		Rodič Jože Antonija Segel		Rodič Jože Antonija Segel		Rodič Jože Antonija Segel	
Vpliv kemijske sestave na premenske točke ledeburitnih orodnih jekel	65	Einfluss der chemischen Zusammensetzung auf die Umwandlungspunkte der ledeburitischen Werkzeugstähle	65	Influence of Chemical Composition on Transformation Points of Ledeburite Tool Steel	65	Влияние химического состава на точки преобразования ледебуритных инструментальных сталей	65
UDK: 669.15 — 194.58 ASM/SLA: N8, M23b, S12, TSh, 2—60		UDK: 669.15 — 194.58 ASM/SLA: N8, M23b, S12, TSh, 2—60		UDK: 669.15 — 194.58 ASM/SLA: N8, M23b, S12, TSh, 2—60		UDK: 669.15 — 194.58 ASM/SLA: N8, M23b, S12, TSh, 2—60	
Uranc Franc		Uranc Franc		Uranc Franc		Uranc Franc	
Kvalitetnejša toplotna obdelava izdelkov iz utopnih jekel	77	Eine qualitätsmassig bessere Wärmebehandlung der Erzeugnisse aus Gesenkstahl	77	Better Heat Treatment of Die Steel Products	77	Более качественная термическая обработка изделий из штамповочных сталей.	77
UDK: 669.14.018.456.2:621.78 ASM/SLA: TSJ		UDK: 669.14.018.456.2:621.78 ASM/SLA: TSJ		UDK: 669.14.018.456.2:621.78 ASM/SLA: TSJ		UDK: 669.14.018.456.2:621.78 ASM/SLA: TSJ	
Kuzman Karel		Kuzman Karel		Kuzman Karel		Kuzman Karel	
Vpliv preoblikovanega materiala na snovanje procesov hladnega masivnega preoblikovanja jekel	83	Einfluss der Verformung des Materials auf die Prozesse der Kaltmassivumformung	83	Influence of material workability on designing massive cold working processes	83	Влияние деформации материала к размышлению о процессах холодного массивного деформирования.	83
UDK: 669.14.018.233 ASM/SLA: CN9, G5		UDK: 669.14.018.233 ASM/SLA: CN9, G5		UDK: 669.14.018.233 ASM/SLA: CN9, G5		UDK: 669.14.018.233 ASM/SLA: CN9, G5	
Tehnične novice	93	Technische nachrichten	93	Technical News	93	Технические новости	93
Društvene vesti		Verelnsnachrichten		Association News		Осведомления организации	

Rekristalizacijski diagrami

Alenka Rodič

Železarna Ravne izvaja obširen raziskovalno razvojni projekt pod naslovom *PLASTIČNA PREDELAVA JEKEL V HLADNEM*. Del tega projekta je s serijo raziskovalnih nalog prevzel v izvajanje tudi metalurški inštitut v Ljubljani s sofinanciranjem raziskovalne skupnosti Slovenije.

V fazi programiranja tega projekta smo zbrali doslej razpoložljivo dokumentacijo in izvedli serijo uvodnih raziskav orientacijskega značaja, da bi se na osnovi ugotovitev v nadaljnjem izvajanju projekta lahko odločili za metodiko, ki naj bi nas najbolj učinkovito privedla do pričakovanih rezultatov projekta.

Raziskovanje odnosov hladne deformacije in rekristalizacije predstavlja pri tem zelo pomemben del, obenem pa neposredno služi razvoju tehnologije in ugotavljanju objektivnih kriterijev fazne in končne kontrole.

Izkušnje so pokazale, da klasični rekristalizacijski diagrami, kakršne poznamo npr. za mehko nelegirano jeklo in nekatera malolegirana jekla, ne dajejo potrebnih in pričakovanih informacij pri visokolegiranih jeklih in zlitinah. Izkazalo se je, da so za posamezne vrste jekel primerne različne metode raziskav, pri čemer pa gre največkrat za kombinacijo mehanskih in metalografskih preiskav.

Izbrali smo vrsto tipičnih predstavnikov posebnih jekel iz proizvodnega programa — dve visokolegirani jekli feritnega tipa, dve visokolegirani jekli avstenitnega tipa, nerjavno in nižje legirano orodno jeklo — za katere v članku podajamo ugotovitve, ki bodo osnova za programiranje raziskovalnega projekta.

Osnova tehnologije hladnega preoblikovanja z vlečenjem so rekristalizacijski diagrami, ki nam nazorno prikazujejo medsebojne odnose strukturalnih sprememb in lastnosti jekla, stopnje deforma-

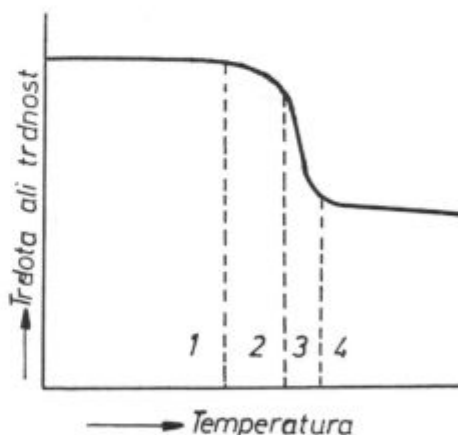
cij in pogojev rekristalizacije, od katerih je odvisna sposobnost za nadaljnje deformacije.

Mehanske utrditve, spremembe fizikalnih lastnosti ter deformacije strukture, ki nastanejo zaradi hladne deformacije, lahko odstranimo delno ali popolnoma, kar je odvisno od temperature žarjenja za rekristalizacijo.

Shema¹ na sliki 1 prikazuje dogajanje v hladno deformiranem jeklu pri ogrevanju na različne temperature: Pri tem ločimo:

— temperaturno območje, v katerem ni nobenih sprememb,

— temperaturno območje poprave ali opomoči kristalov, ki vpliva delno na mehanske lastnosti, ne povzroča pa strukturalnih sprememb,



Slika 1

Shema dogajanj¹ pri ogrevanju hladno deformiranega jekla v različnih temperaturnih območjih:

- 1 — brez sprememb,
- 2 — opomoč ali poprava kristalov,
- 3 — rekristalizacija,
- 4 — sekundarna rekristalizacija.

Fig. 1

Scheme of phenomena¹ in heating cold worked steel in various temperature regions:

- 1 — without changes
- 2 — recovery
- 3 — recrystallization
- 4 — secondary recrystallization

Alenka Rodič, dipl. inž. metalurgije, vodja metalografskih laboratorijev v železarni Ravne.

— temperaturno območje rekrystalizacije, v katerem se bistveno spremenijo mehanske lastnosti in struktura zaradi nastajanja novih kalí, iz katerih rastejo nova zrna;

— temperaturno območje sekundarne rekrystalizacije, ki se izraža z neenakomerno rastjo zrn in s poslabšanjem mehanskih lastnosti.

Poprava kristalov in rekrystalizacija sta termodinamična procesa, pri katerih se odstrani nakopičena energija, ki jo je kovina dobila pri hladni obdelavi.

IZDELAVA REKRISTALIZACIJSKIH DIAGRAMOV

Za rekrystalizacijo je potrebna določena kritična stopnja predelave, ki jo je dobila kovina pred primarno rekrystalizacijo. Za različne stopnje predelave pa je potrebno ugotoviti tudi primerno temperaturo žarjenja, zato lahko rečemo, da imamo za vsako stopnjo deformacije določeno kritično temperaturo rekrystalizacije. Če je stopnja deformacije premajhna, pod kritično stopnjo, nastanejo lahko pri rekrystalizaciji zelo groba zrna, prav tako pa nastane tudi grobozrnata struktura, če je temperatura žarjenja višja od kritične temperature rekrystalizacije. Zelo je treba paziti na režim segrevanja. Če ogrevamo počasi, nastanejo večja zrna, kot če ogrevamo hitreje do enake temperature.

Rekrystalizacijski diagrami združijo oba procesa — primarno rekrystalizacijo in rast zrna. Na klasičnih rekrystalizacijskih diagramih je pokazana odvisnost velikosti zrna od stopnje deformacije in rekrystalizacijske temperature. V glavnem je zrno večje pri manjši stopnji deformacije, če je bila temperatura žarjenja dovolj visoka, da je sploh nastopila rekrystalizacija.

Potrebna rekrystalizacijska temperatura je nižja pri večji stopnji deformacije. Z drugimi besedami rečeno, aktivacijska energija, ki je potrebna za začetek rekrystalizacije, je lahko manjša, če se je nakopičilo več notranje energije pri hladni deformaciji. Omeniti je treba, da pri zelo majhnih stopnjah deformacije sploh ne pride do rekrystalizacije zaradi neznatne notranje energije, ker skoraj ni nobenega padca energije.

Rekrystalizacijske diagrame izdelujemo tako, da z različnimi stopnjami deformacije predelano kovino ogrejemo na različne temperature in po končni rekrystalizaciji izmerimo velikost zrna.

Tako nastanejo klasični rekrystalizacijski diagrami, med katerimi je splošno poznan predvsem tipičen rekrystalizacijski diagram mehkega ogljikovega jekla.

V naslednjih točkah bomo obravnavali nekaj značilnosti manj znanih rekrystalizacijskih diagramov za nekatera visokolegirana jekla.

IZKUŠNJE PRI RAZISKAVAH REKRISTALIZACIJE SO POKAZALE, DA DOLOČANJE OPTIMALNE TEMPERATURE REKRISTALIZACIJE SAMO NA OSNOVI MERITEV VELIKOSTI ZRNA

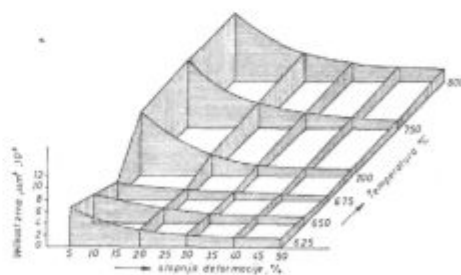
pri mnogih vrstah jekla ni dovolj zanesljivo. Ta ugotovitev še posebno velja za visokolegirana konstrukcijska in orodna nadevtektoidna jekla. Vso pozornost je treba posvetiti kombiniranemu preizkušanju mehanskih lastnosti in metalografskim preiskavam razpotegnjenosti zrna na vzdolžnih metalografskih obrusih. Rekrystalizacija je popolnoma potekla takrat, ko je zrno zopet popolnoma enakoosno. Prav lahko pa se zgodi, da je takrat zrno že nekoliko naraslo. Sledi torej, da minimalna velikost zrna ne določa vedno optimalnih pogojev rekrystalizacije glede sposobnosti jekla za nadaljnje plastično deformiranje v hladnem.

V nadaljevanju podajamo nekaj značilnih rekrystalizacijskih diagramov. Osnovni namen tega članka je z dosedanjimi izkušnjami prispevati k projektu raziskav hladne predelave specialnih jekel, tako da bi za posamezne značilne vrste jekel izbrali najprimernejši tip rekrystalizacijskih diagramov, ki nam pri študiju rekrystalizacijskih pogojev omogoča najboljše uporabne ugotovitve.

REKRISTALIZACIJSKI DIAGRAM ZA JEKLO Č 4961 — RAVNAL 2

(max. 0,05 % C, 22 % Cr, 5,5 % Al)

Iz rekrystalizacijskega diagrama³, ki prikazuje na sliki 2 odvisnost velikosti zrna od stopnje deformacije in temperature rekrystalizacije, se vidi, da je z ozirom na velikost zrna najugodnejša temperatura rekrystalizacije 675° C. Pri temperaturah, ki so nižje od 675° C, imamo popravo kristalov in le delno rekrystalizacijo. Nekako v temperaturnem območju 625 — 675° C nastane prepletanje obeh procesov: poprave kristalov in rekrystalizacije. Pri temperaturah nad 675° C nastanejo že večja zrna in iz diagrama se vidi, da je kritična temperatura rekrystalizacije 700° C. Prav tako se iz diagrama razbere, da nastanejo po rekrystalizaciji finejša zrna pri predhodni večji stopnji deformacije. Za



□ rešnje konst. temperature
□ rešnje konst. stopnje deformacije

Slika 2

Rekrystalizacijski diagram³ jekla Č.4961 — RAVNAL 2. Za izdelavo rekrystalizacijskega diagrama je bila uporabljena žica Ø 5,45 mm, ki je bila predhodno žarjena 20 minut na 750° C.

Fig. 2

Recrystallization diagram³ of Č.4961 — RAVNAL 2 steel. In construction of the diagram 5.45 mm wire previously annealed 20 minutes at 750° C was used.

jeklo Č 4961 je kritična stopnja deformacije okrog 25 %. Pri manjših stopnjah deformacije nastanejo zelo groba zrna.

Zelo važen je tudi čas žarjenja. Pri predolgem času rekristalizacije nastopi sekundarna rekristalizacija ter dobimo zelo groba zrna. Izbrati je treba minimalno potreben čas, ki pa je v glavnem odvisen od vrste jekla. Za jeklo Č 4961 je najugodnejše da ga na rekristalizacijski temperaturi 675° C pri 30 % stopnji deformacije obdržimo približno 30 minut.

Iz tabele 1 vidimo, kakšne so mehanske lastnosti hladno deformiranega jekla, po popravi kristalov pri 600° C in po rekristalizaciji pri 675° C. Vzeta je povprečna vrednost 25 vzorcev. V tem primeru mehanskih lastnosti pri višjih temperaturah rekristalizacije nismo preizkušali.

Tabela 1 — Mehanske lastnosti

Stanje jekla	σ_T N/mm ²	σ_M N/mm ²	δ %	ψ %
Hladno deformirano (30 % stopnja deformacije)	915	1023	15,4	49,2
Poprava kristalov pri 600° C (30 minut)	630	774	23,9	57,7
Rekristalizacija pri 675° C (30 minut)	540	701	29,5	66,4

Iz teh rezultatov vidimo, da ima jeklo, ki je hladno deformirano, visoko trdnost in majhen raztezek. S pravilno toplotno obdelavo se zniža trdnost, hkrati pa se poveča raztezek in razpotegnjena trakasta struktura jekla se spremeni v enakomerne drobnozrnate kristale.

Pri tem velja splošno pravilo, da mora dobra rekristalizacija zagotoviti take mehanske lastnosti in deformacijske sposobnosti jekla, kakršne je imelo jeklo pred hladno deformacijo!

Iz tega klasičnega rekristalizacijskega diagrama smo razbrali naslednje optimalne pogoje:

- temperatura rekristalizacije 675° C,
- čas držanja na temperaturi 30 minut,
- počasno ohlajanje s temperature rekristalizacije,
- stopnja hladne deformacije naj ne bo manjša od 30 %.

Izkušnje pa niso dajale povsem zadovoljivih rezultatov, zato smo se odločili za nekoliko razširjeno raziskavo rekristalizacije, ki nas je privela do zelo pomembnih ugotovitev⁴.

Pri dodatnih raziskavah smo za vse preizkuse uporabili paličasto jeklo Ø 7 mm iz ene izhodne taline, da ne bi bilo razlik med preizkušanci. Kemijska sestava je bila v normalnih predpisanih mejah z vsebnostjo glavnih elementov

- C = 0,02 %,
- Cr = 22,3 %,
- Al = 5,3 %.

Palice smo v enakih standardnih tehnoloških pogojih vlekli v hladnem s tremi različnimi stopnjami redukcije:

- od Ø 7 mm na Ø 6,4 mm s stopnjo redukcije 16,4 %,
- od Ø 7 mm na Ø 5,7 mm s stopnjo redukcije 34 %,
- od Ø 7 mm na Ø 4,2 mm s stopnjo redukcije 64 %.

Rekristalizacijo tako vlečenih palic smo izvajali pri temperaturah 400, 530, 610, 650, 690, 730, 770, 800, 950 in 1000° C. Po 40-minutnem zadrževanju na temperaturi rekristalizacije smo palice gasili v vodi.

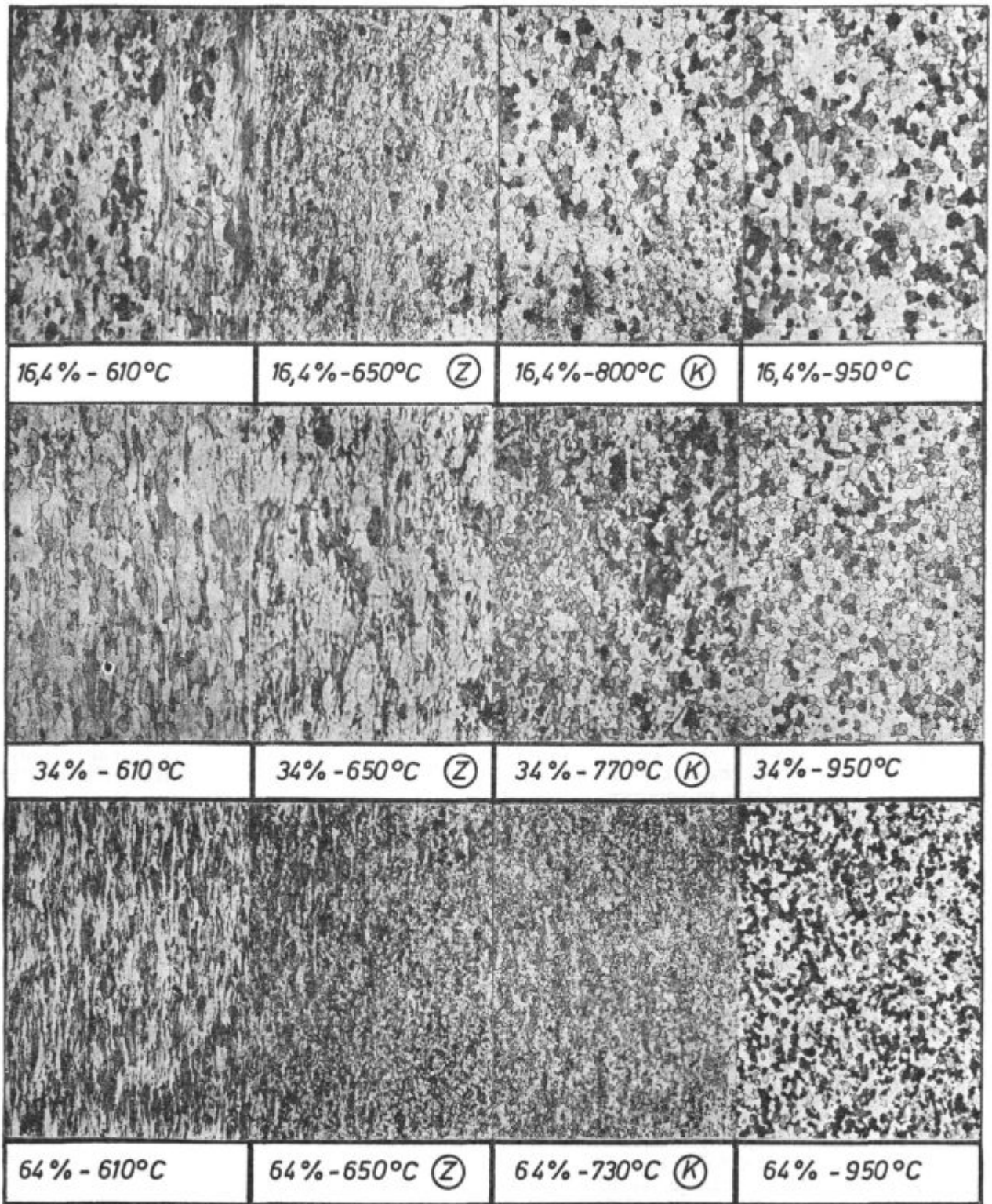
Gašenje v vodi ima v primerjavi s počasnim ohlajanjem poseben pomen. Jeklo Č 4961 — RAVNAL 2 spada v skupino feritnih jekel, ki so pri počasnem ohlajanju nagnjena k izločanju krhkih faz, kar pa v določenih primerih bistveno vpliva na poslabšanje žilavosti in sposobnosti za plastično deformiranje pri vlečenju v hladnem.

Na sliki 3 je zbranih nekaj značilnih mikrostruktur, ki nazorno prikazujejo spremembe pri rekristalizaciji tega jekla. Jasno se vidi stopnja deformiranosti zrn pod vplivom stopnje redukcije. Temperatura začetka rekristalizacije pri 650° C (in morda nekoliko nižje) je približno enaka pri vseh treh različnih stopnjah redukcije, medtem ko so temperature konca rekristalizacije zelo različne, v odvisnosti od stopnje redukcije. Čim večja je stopnja redukcije, tem nižja je temperatura konca rekristalizacije in tem ožji je temperaturni interval poteka rekristalizacije. Pri večji stopnji redukcije dobimo po končani rekristalizaciji finejše zrno. V določenem temperaturnem območju nad temperaturo konca rekristalizacije ne opazimo bistvenih sprememb velikosti zrna, nato pa začne zrno razmeroma enakomerno naraščati, dokler ne opazimo pri višjih temperaturah značilnega pojava sekundarne rekristalizacije (sl. 4). Temperatura sekundarne rekristalizacije je tem nižja in jakost tega pojava je toliko močnejša, kolikor je večja stopnja redukcije pri hladnem deformiranju jekla.

Ta raziskava s serijo metalografskih preiskav mikrostruktur na vzdolžnih obrusih je jasno pokazala, kako pomanjkljive so bile informacije iz klasičnega rekristalizacijskega diagrama na sliki 2. Ta je upošteval le velikost zrna, ne pa razpotegnjenosti pod vplivom hladne deformacije. Prej ugotovljena »optimalna« temperatura rekristalizacije 675° C prav gotovo ne zagotavlja zadostne rekristalizacije, saj se ta pri tej temperaturi komaj dobro začne. Nepopolna rekristalizacija se odraža v neenakomerni mikrostrukturi in nezadovoljivih lastnosti jekla.

Metalografske ugotovitve so v celoti potrdili tudi mehanski preizkusi in meritve trdot.

Slika 5 kaže, da je predvsem kontrakcija obenem z raztržno trdnostjo zelo primerno merilo za ugotavljanje optimalnih pogojev rekristalizacije. Obenem je omejitev minimalne kontrakcije in

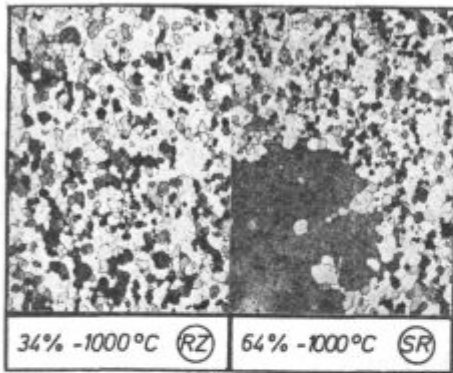


Slika 3

Mikrostrukture jekla C.4961 — RAVNAL 2, hladno deformiranega z navedenimi stopnjami redukcije, po držanju 40 minut na navedenih temperaturah in gašenju v vodi. Povečava 100 ×. (Z — temperatura začetka rekrystalizacije, K-temperatura konca rekrystalizacije)

Fig. 3

Microstructure of C.4961 — RAVNAL 2 steel, cold deformed with the mentioned degrees of deformation, after it was kept 40 minutes at the mentioned temperature and subsequently quenched in water. Magnification 100 times. (Z — temperature of the beginning of recrystallization, K — temperature of the completed recrystallization).

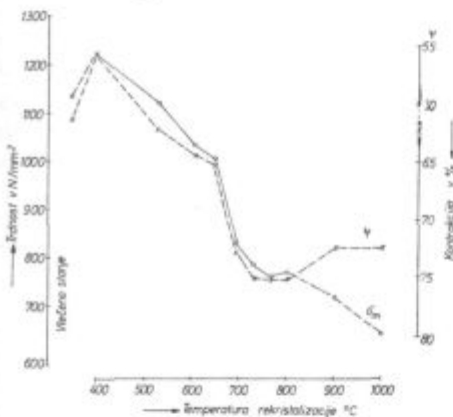


Slika 4

Začetek naraščanja zrn (RZ) in pojav sekundarne rekristalizacije (SR) pri jeklu Č.4961 — RAVNAL 2 po hladni deformaciji z navedeno redukcijo in ogrevanju 40 minut na navedeni temperaturi. S temperature rekristalizacije gašeno v vodi².

Fig. 4

The beginning of grain growth (RZ) and the phenomenon of secondary recrystallization (SR) in Č.4961 — RAVNAL 2 steel after cold deformation with the mentioned reduction, and after heating 40 minutes on the mentioned temperature. From the recrystallization temperature it was quenched in water².



Slika 5

Trdnost in kontrakcija v odvisnosti od temperature rekristalizacijskega žarjenja³ z držanjem 40 minut na temperaturi in gašenjem v vodi. Jeklo Č.4961 — RAVNAL 2, stopnja hladne deformacije 64 %.

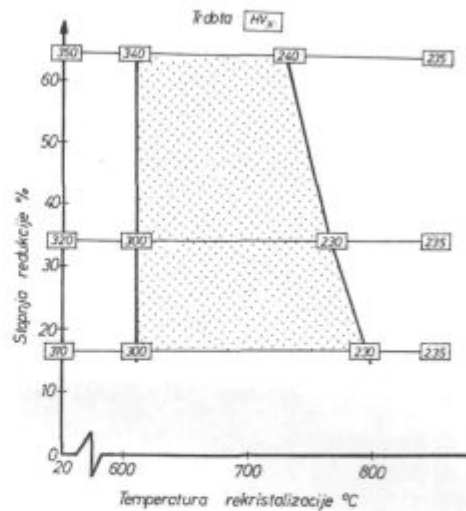
Fig. 5

Strength and contraction related to the recrystallization temperature³ by holding 40 minutes on the temperature and by subsequent quenching in water. Č.4961 — RAVNAL 2 steel. Degree of cold deformation: 64 %.

maksimalne trdnosti zelo umesten kriterij za kontrolo kakovosti v tehnološkem procesu za oceno stopnje popolnosti izvršene rekristalizacije.

Na sliki 6 je prikazano temperaturno območje rekristalizacije za jeklo Č 4961 RAVNAL 2 pri različnih stopnjah redukcije. Podane so tudi trdote HV₃₀ v vlečnem stanju ob začetku rekristalizacije in ob koncu rekristalizacije.

Za jeklo Č 4961 — RAVNAL 2 smo torej s to raziskavo ugotovili, da poteka v območju 500 — 600°C opomoč ali delna poprava kristalov, v tem-



Slika 6

Trdnota HV₃₀ in temperaturno območje rekristalizacije pri različnih stopnjah redukcije. Jeklo Č.4961 — RAVNAL 2, držanje na temperaturi rekristalizacije 40 minut in gašenje v vodi.

Fig. 6

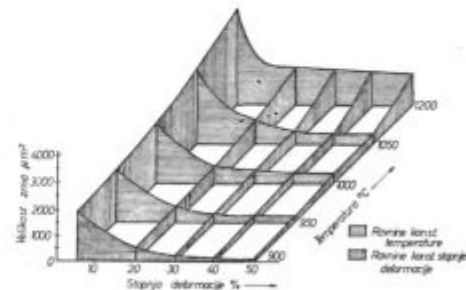
HV₃₀ hardness and temperature interval of recrystallization at various degrees of deformation. Č.4961 — RAVNAL 2 steel. Holding 40 minutes on the temperature and quenching in water.

peraturnem območju 600 — 800°C poteka v odvisnosti od različnih stopenj redukcije rekristalizacija, ki je pri 800°C v vseh primerih končana.

Za študij vplivov hladne deformacije in rekristalizacije, za identifikacijo optimalnih tehnoloških pogojev in za kontrolo je pri tem jeklu najprimernejši raztržni preizkus (trdnost — kontrakcija). Za poglobljen študij so zelo pomembne metalografske preiskave na vzdolžnih obrusih.

REKRISTALIZACIJSKI DIAGRAM ZA JEKLO Č 4561 — RAVNIN 2 (max. 0,2 % C, 21 % Cr, 30 % Ni)

Na sliki 7 je klasičen rekristalizacijski diagram³ za jeklo Č 4561 — RAVNIN 2. Iz diagrama lahko ocenimo kritično temperaturo rekristalizacije ca. 1070°C in kritično stopnjo deformacije ca. 20 %.



Slika 7

Rekristalizacijski diagram³ jekla Č.4561 — RAVNIN 2.

Fig. 7

Recrystallization diagram for Č.4561 — RAVNIN 2 steel.

Rekrystalizacija poteka v območju 900—1050° C. Pri temperaturi pod 850° C je zrno še močno razpotegnjeno. Čas držanja na temperaturi je normalno ca. 30 minut, nato pa sledi gašenje v vodi.

Z ozirom na splošno poznane lastnosti avstenitnih jekel naj bi po možnosti temperatura gašenja ne bila nižja od 1000° C.

V tabeli 2 so navedene mehanske lastnosti hladno deformiranega in rekrystaliziranega jekla (povprečne vrednosti za 25 vzorcev).

Tabela 2 — Mehanske lastnosti

Stanje jekla	σ_T N/mm ²	σ_M N/mm ²	δ %	ψ %
Hladno deformirano (40 % stopnja deformacije)	714	995	19,3	51,2
Poprava kristalov pri 850° C (30 minut)	394	713	40,0	64,0
Rekrystalizacija pri 1000° C (30 minut)	342	668	46,5	70,1

Na velikost zrna ima pri jeklu Č 4561 odločilni vpliv tudi temperatura valjanja. Pri tem jeklu se grobega zrna, ki nastane zaradi nepravilne temperature valjanja, ne da popraviti s toplotno obdelavo. Takšno jeklo je potrebno ponovno predelati v vročem, kar pa največkrat ni tehnično izvedljivo (žica). Da se izognemo grobem zrnu, je treba izbrati pravi režim ogrevanja in valjanja. Če so začetne temperature valjanja visoke, postaja z naraščanjem končne temperature valjanja struktura pri toplotni obdelavi vse bolj grobozrnata in nehomogena. Če znižamo končno temperaturo valjanja, se zmanjša stopnja nehomogenosti in velikost zrna. Čim višja je začetna temperatura valjanja, tem nižja mora biti končna temperatura valjanja, da dobimo drobno zrno in homogeno strukturo po toplotni obdelavi. Poizkusi so pokazali, da mora biti pri začetni temperaturi valjanja 1150° C končna temperatura valjanja 960° C, pri začetni temperaturi valjanja 1100° C pa končna temperatura valjanja 1000° C, da bi dobili enako velikost zrna, kar je osnovni pogoj za uspenšo hladno predelavo. Če valjamo pri zelo nizki začetni temperaturi (1000° C), postane zrno pri toplotni obdelavi pri višjih temperaturah, kot je temperatura valjanja, npr. 1050° C, zelo nehomogeno po malih stiskih ter čezmerno drobno po srednjih in velikih stiskih.

Če je začetna in končna temperatura valjanja znatno višja kot temperatura toplotne obdelave, je struktura po toplotni obdelavi grobozrnata in nehomogena. Ugodno je, če je začetna temperatura valjanja znatno višja in končna temperatura znatno nižja od temperature toplotne obdelave, ker tedaj dobimo pri pravilni toplotni obdelavi drobno zrno. Najbolj homogeno strukturo dobimo tedaj, kadar ležita začetna in končna temperatura valjanja blizu temperature toplotne obdelave.

Pri valjanju z nekoliko prevleki je struktura odvisna v glavnem od režima ogrevanja in valja-

nja. Število prevlekov in razdelitev stiskov na posamezne prevleke bistveno ne vpliva na strukturo. Čim večji je stisk pri valjanju, tem bolj drobno zrno dobimo. Nehomogenost strukture, ki nastane pri toplotni obdelavi močno deformiranega jekla, gre na račun povečanja količine zelo drobnih zrn. Nasprotno nastanejo pri sorazmerno majhnih stiskih zelo groba zrna. Čim večji je stisk, tem večji so tudi kontrasti med velikostjo zrna na površini in v sredini.

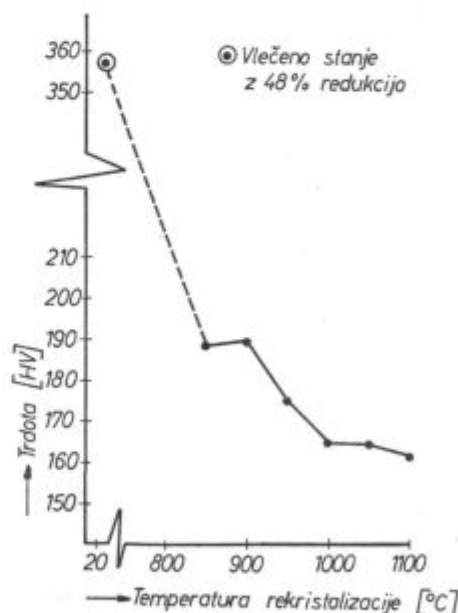
Pri jeklu te vrste je najzanesljivejši kriterij za ocenjevanje stopnje poteka rekrystalizacije metalografska kontrola razpotegnjenosti zrn na vzdolžnih obrusih. Kontrola mehanskih lastnosti sicer zagotavlja lastnosti, ne kaže pa dovolj izrazito optimalnih pogojev toplotne obdelave za popolno rekrystalizacijo.

REKRISTALIZACIJSKI DIAGRAM ZA JEKLO Č 4571 — PROKRON 11

(max. 0,1 % C, 18 % Cr, 9 % Ni)

Raziskavo rekrystalizacije jekla Č 4571 — PROKRON 11 smo omejili v prvi fazi zaradi ugotavljanja optimalne metodike preizkušanja samo na stopnjo redukcije 48 %, zato jo bo treba v naslednjih fazah še razširiti na druge stopnje redukcije.

Valjano jeklo Ø 8 mm je bilo gašeno, po gašenju vlečemo od Ø 8 mm na Ø 5,8 mm v dveh stopnjah, od Ø 8 mm na Ø 6,5 mm in od Ø 6,5 mm na Ø 5,8 mm.



Slika 8

Sprememba trdote po rekrystalizaciji z ogrevanjem 15 minut na navedenih temperaturah in gašenju v vodi za jeklo C.4571 — PROKRON 11, vlečeno z 48 % redukcijo^a.

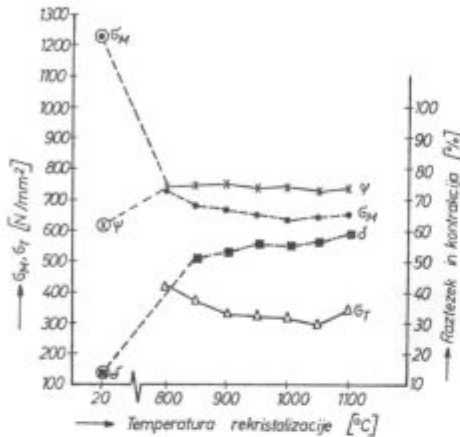
Fig. 8

Hardness variation after recrystallization by heating 15 minutes on the mentioned temperatures and quenching in water. C.4571 — PROKRON 11 steel. Degree of deformation: 48 %^a.

Nato je bilo vlečeno jeklo gašeno in ponovno vlečeno od $\varnothing 5,8$ mm na $\varnothing 4,2$ mm z 48 % redukcijo.

Vzorci $\varnothing 4,2$ mm smo rekristalizirali pri temperaturah 800, 850, 900, 1000, 1050 in 1100° C. Preizkušance za mehanske preiskave, meritve trdote in metalografske preglede smo 15 minut obdržali na navedenih temperaturah, nato pa gasili v vodi.

Na sliki 8 so prikazane spremembe trdot in na sliki 9 spremembe mehanskih lastnosti.



Slika 9

Spremembe mehanskih lastnosti po rekristalizaciji z ogrevanjem 15 minut na navedenih temperaturah in gašenju v vodi za jeklo Č.4571 — PROKRON 11 vlečeno z 48 % redukcijo⁴.

Fig. 9

Variation of mechanical properties after recrystallization by heating 15 minutes on the mentioned temperatures and quenching in water. Č.4571 — PROKRON 11 steel. Degree of deformation: 48 %⁴.

Mikrostrukture na sliki 10 jasno kažejo, kolikšen je pomen metalografskih pregledov pri kontroli poteka rekristalizacije. Že po rekristalizaciji pod 850° C so očitne spremembe trdote in mehanskih lastnosti v odnosu na vlečeno stanje. Mikrostrukture pa jasno pokažejo, da rekristalizacija še ni potekla. V območju 850—1100° C spremembe mehanskih lastnosti niso takšne, da bi očitno pokazale potek rekristalizacije, metalografija pa jasno pokaže, da je mikrostruktura normalna šele po gašenju nad 950° C v vodi.

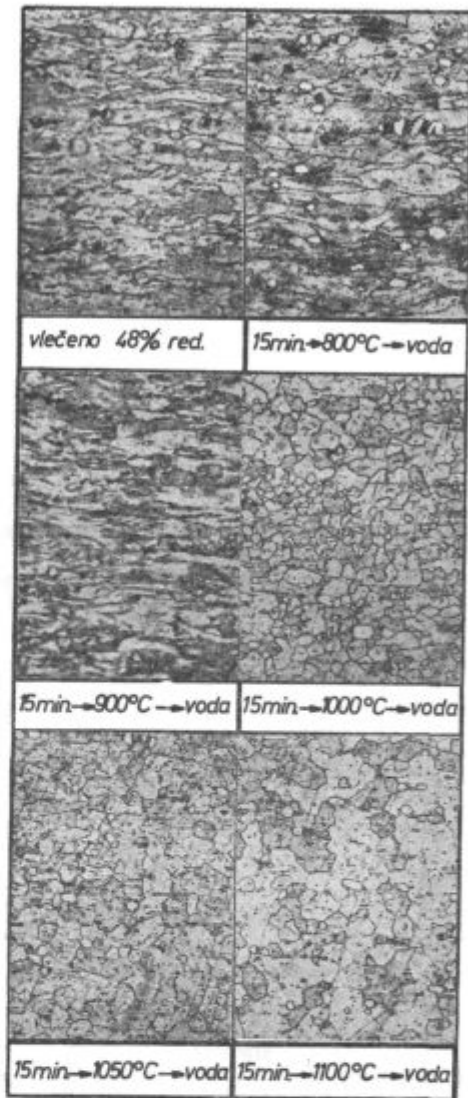
Pri raziskovanju rekristalizacije so pri tem jeklu najzanesljivejše metalografske preiskave vzdolžnih obrusov.

REKRISTALIZACIJSKI DIAGRAM ZA JEKLO »25 Cr«

(0,23 % C, 0,83 % Si, 1,2 % Mn, 24,4 % Cr)

Za raziskavo rekristalizacije jekla 25 Cr smo uporabili jeklo, valjano na $\varnothing 8$ mm in žarjeno, nato pa vlečeno na $\varnothing 5,3$ mm s 56 % redukcijo.

Vlečene palice smo rekristalizirali na temperaturah 400, 500, 600, 700, 750, 800, 850 in 900° C. Na temperaturi rekristalizacije smo obdržali vzorce 40 minut, nato pa smo jih ohladili v vodi.



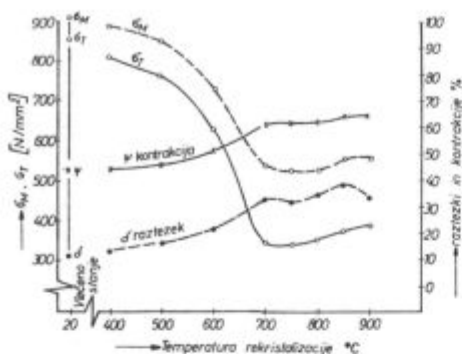
Slika 10

Mikrostrukture⁴ vzdolžnih obrusov pri povečavi 200 × v vlečenem in rekristaliziranem stanju za jeklo Č.4571 — PROKRON 11 vlečeno z 48% redukcijo.

Fig. 10

Microstructures⁴ of longitudinal metallographic specimens at 200 times magnification in as-drawn and recrystallized state. Č.4571 — PROKRON 11 steel. Drawn with 48 % reduction.

Spremembe mehanskih lastnosti (sliki 11 in 12) in trdot (slika 13) ter spremembe mikrostruktur (slika 14) zelo nazorno prikazujejo potek rekristalizacije. Ti diagrami in mikrostrukture nedvomno kažejo, da je najugodnejše območje rekristalizacije pri 700—800° C, za kar ob nazornem prikazu skoraj ni potreben dodaten komentar. Pri temperaturah do 600° C so zrna ostala še močno razpotegnjena. V območju 700—800° C so zrna enakomerna in popolnoma rekristalizirana — enakoosna. V tem območju še ne zasledimo rasti feritnih zrn. Že pri 850° C in še bolj pri 900° C zrno znatno naraste. Čas zadrževanja 40 minut na temperaturi rekristalizacije povsem zadošča.

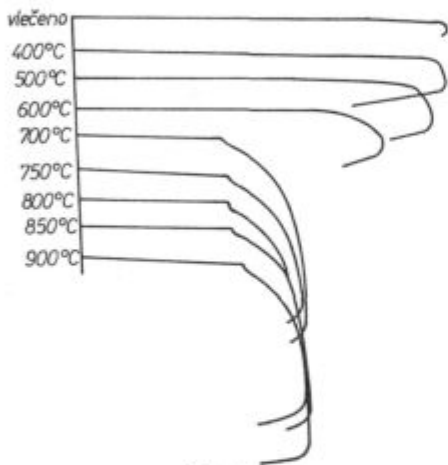


Slika 11

Spremembe mehanskih lastnosti pod vplivom rekristalizacije 40 minut na navedenih temperaturah in gašenja v vodi za jeklo »25 Cr« vlečeno s 56 % redukcijo⁴.

Fig. 11

Variation of mechanical properties influenced by 40 minute recrystallization at the mentioned temperatures and quenching in water. »25 Cr« steel drawn with 54 % reduction⁴.

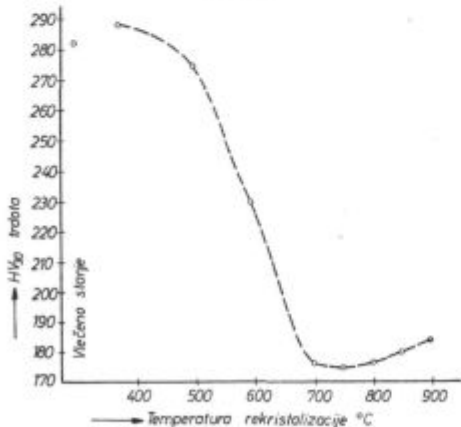


Slika 12

Krivulje napetosti in razteзка registrirane pri trganju prob v vlečenem stanju in po rekristalizaciji jekla »25 Cr«.

Fig. 12

Stress — strain curves recorded at ultimate strength tests of as-drawn samples and after recrystallization of »25 Cr« steel⁴.

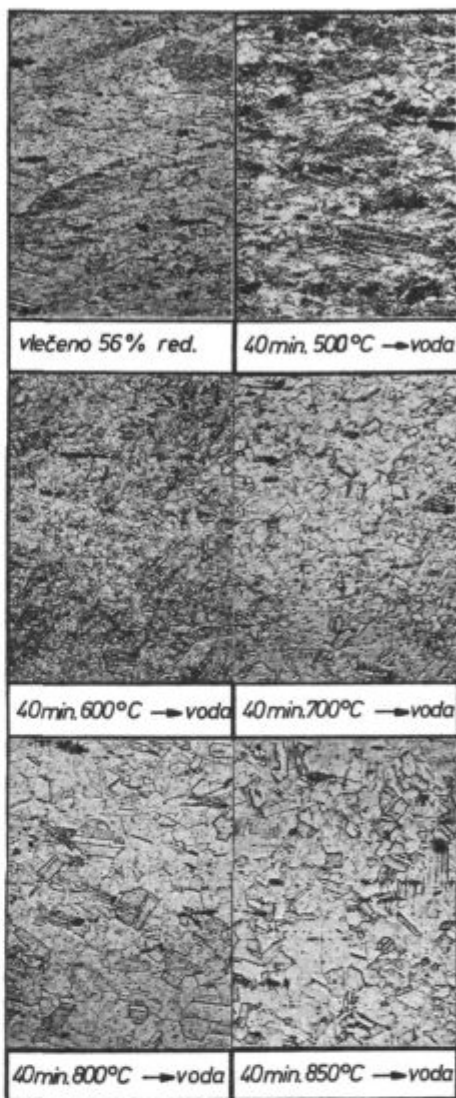


Slika 13

Spremembe trdot pod vplivom rekristalizacije jekla »25 Cr« vlečenega s 56 % redukcijo.

Fig. 13

Variation of hardness influenced by recrystallization of »25 Cr« steel drawn with 56 % reduction.



Slika 14

Spremembe mikrostruktur pod vplivom rekristalizacije jekla »25 Cr« vlečenega s 56 % redukcijo⁴. Povečava 200 ×.

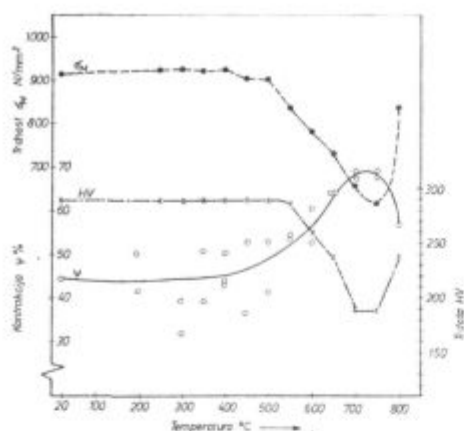
Fig. 14

Changing microstructures influenced by recrystallization of »25 Cr« steel drawn with 56 % reduction⁴. Magnification 200 times.

Preizkusi mehanskih lastnosti zelo nazorno karakterizirajo stanje tega jekla, zato so tudi za kontrolo poteka rekristalizacije najprimernejši. Krivulje napetosti in razteзка, registrirane na trgalnem stroju po izvršeni rekristalizaciji, jasno izražajo mejo razteznosti (glej sliko 12). Seveda predstavlja metalografija dragoceno dopolnilo.

REKRYSTALIZACIJSKI DIAGRAM ZA JEKLO Č 4173 — PROKRON 4 (0,3 % C, 13,5 % Cr)

Nerjavno orodno jeklo Č 4173 — PROKRON 4 smo vlekli⁴ od Ø 8 mm na Ø 7 mm s 23,5 % redukcijo in nato preizkušali odvisnost rekristalizacije



Slika 15
Rekristalizacijski diagram mehanskih lastnosti jekla Č.4173 PROKRON 4 za stopnjo redukcije 23,5 %.

Fig. 15
Recrystallization diagram of mechanical properties of Č.4173 PROKRON 4 steel for 23.5 % degree of deformation.

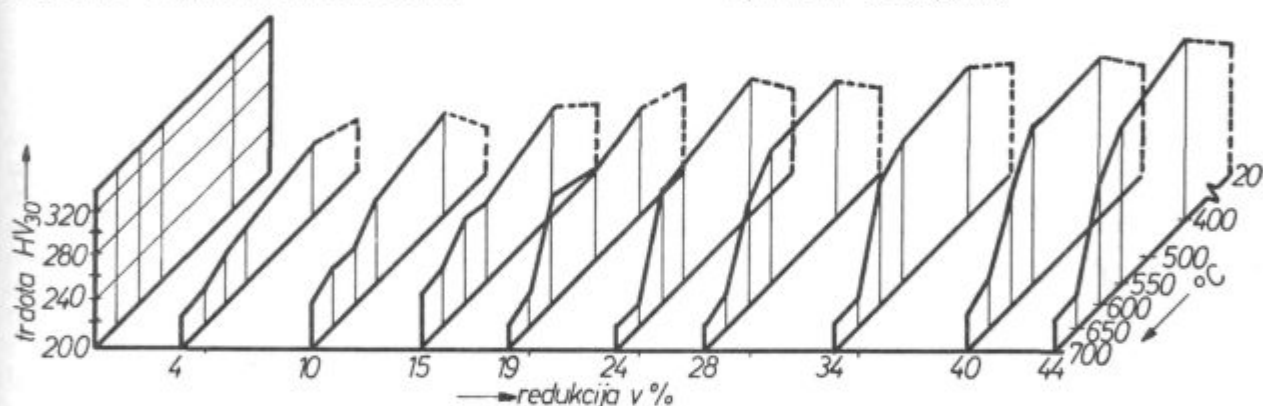
od temperature. Hladno deformirano jeklo smo ogrevali 20—30 minut na različnih temperaturah in ga nato ohlajali na mirnem zraku.

Slika 15 jasno kaže, da je mogoče z meritvami trdote HV dovolj natančno identificirati optimalne pogoje rekristalizacije. Rekristalizacija je zelo učinkovita v temperaturnem območju 700—750° C. Seveda tudi trdnost izraža enako odvisnost od temperature rekristalizacije. Pri raztržnih poizkusih smo ugotovili veliko trosenje pri meritvah kontrakcije, dokler rekristalizacija ne poteče popolno. Tako je torej tudi enakomernost kontrakcije paralelnih preizkušancev merilo za popolno rekristalizacijo hladno deformiranega jekla. Dobro rekristalizirano orodno jeklo Č 4173 — PROKRON 4 ima trdnost pod 700 N/mm², trdoto pod 200 HV in kontrakcijo nad 60 %.

REKRYSTALIZACIJSKI DIAGRAM ZA JEKLO Č 6840 — OW 1 (1,2 % C, 1 % W, 0,1 % V)

Orodno W — V jeklo, valjano Ø 8 mm smo uporabili v mehko žarjenem stanju z naslednjimi lastnostmi:

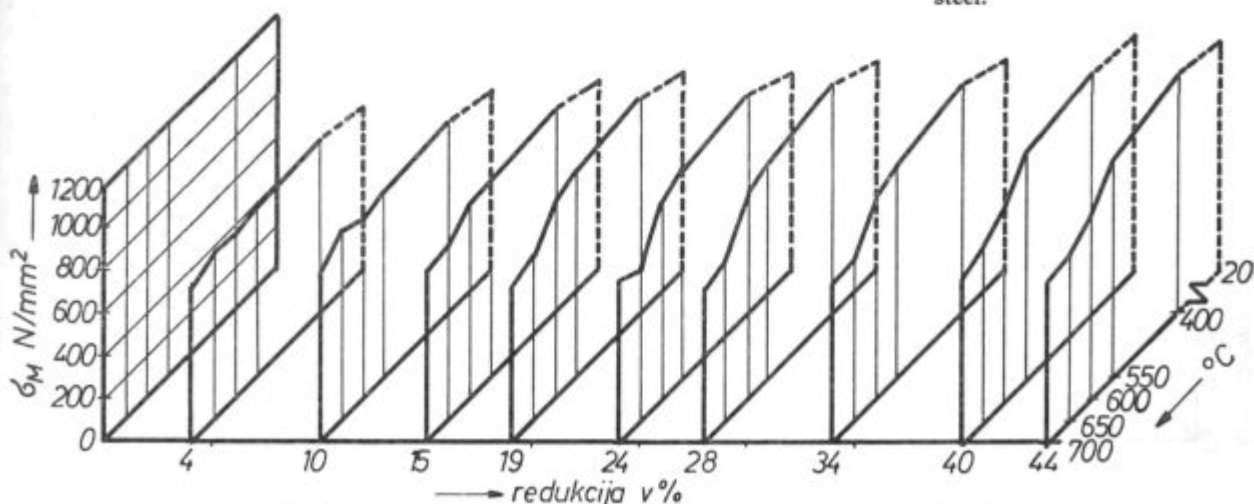
- trdota ... 216 HV₃₀,
- σ_T 398 N/mm²,



Slika 16

Fig. 16

Rekristalizacijski diagram trdot za jeklo Č.6840 — OW 1. Recrystallization diagram of hardness for Č.6840 — OW 1 steel.



Slika 17

Fig. 17

Rekristalizacijski diagram trdnosti za jeklo Č.6840 — OW 1. Recrystallization diagram of strength for Č.6840 — OW 1 steel.

- δ_M 721 N/mm²,
- δ 23,2 %,
- ψ 29,9 %.

Po različnih stopnjah redukcije do 44 % smo jeklo ogrevali za rekrystalizacijo na različnih temperaturah 30 minut in nato ohlajali na zraku. Ohlajanje na zraku je dalo ugodnejše mehanske lastnosti kot ohlajanje v vodi. Pri večjih stopnjah redukcije se je žica že začela trgati med vlečenjem.

Spremembe lastnosti pri rekrystalizaciji so prikazane za različne stopnje redukcije na slikah 16—19.

Rekrystalizacijski diagram trdote na sliki 16 kaže, da s stopnjo hladne deformacije trdota močno narašča. Zanimiva je ugotovitev, da po ogrevanju hladno deformiranega jekla na temperature v območju 400—600° C dobimo celo višje trdote kot v hladno vlečenem stanju. Najvišje so trdote po ogrevanju 30 minut na 400° C, pri višjih temperaturah pa so relativno nižje. V območju deformacij nad ca. 20 % opažamo pri temperaturah nad 600° C izrazit padec trdote, kar pomeni, da v tem območju poteka rekrystalizacija. Trdote so najnižje pri 700° C, pri čemer naj omenimo, da

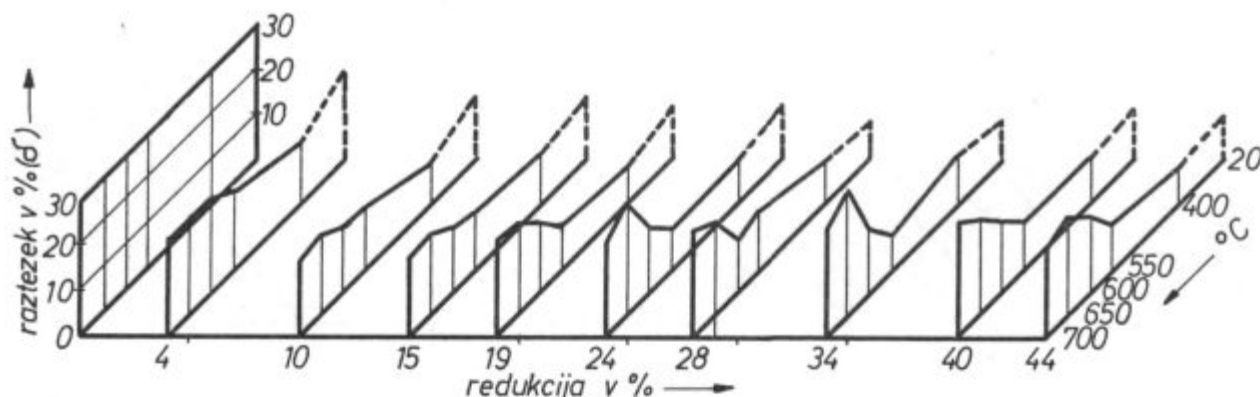
višjih temperatur za rekrystalizacijo nismo preizkušali, ker bi se s tem že približali premenskemu območju Ac.

V območju normalnih stopenj redukcije nad 20 % dosežemo po rekrystalizaciji trdoto, ki je zelo blizu začetnega mehkožarjenega stanja. Pri stopnjah redukcije 10—15 % pa trdote ne moremo zmanjšati občutno pod tisto, ki jo je imelo jeklo v hladno deformiranem stanju (glej tabelo 3), iz česar bi sklepali, da je v tem območju kritična stopnja deformacije, kar pa bo treba še podrobneje raziskati.

Tabela 3 — Trdote HV₃₀

Stopnje deformacije:	4 %	10 %	15 %	34 %	44 %
Hladno vlečeno	245	242	260	300	320
400° C	264	294	299	336	364
600° C	248	253	278	311	312
700° C	229	241	250	224	228

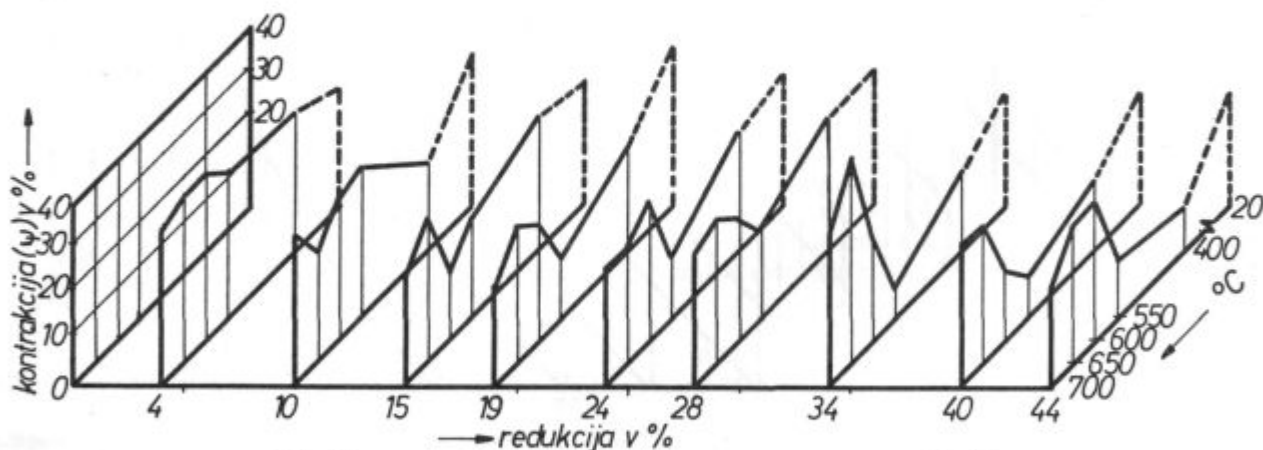
Podobne ugotovitve dobimo tudi iz rekrystalizacijskega diagrama za natezno porušitveno trd-



Slika 18

Fig. 18

Rekrystalizacijski diagram razteška za jeklo C.6840 — Recrystallization diagram of elongation for C.6840 — OW 1 steel.



Slika 19

Fig. 19

Rekrystalizacijski diagram kontrakcije za jeklo C.6840 — Recrystallization diagram of contraction for C.6840 — OW 1 steel.

nost na sliki 17. Meja razteznosti kaže pri rekristalizaciji popolnoma enako odvisnost od temperature in stopnje redukcije, zato tega diagrama ne podajamo.

Podobno bi lahko razlagali rekristalizacijska diagrama za raztezek in kontrakcijo (sl. 18 in 19), ki prejšnje ugotovitve potrjujejo in še dopolnjujeta s tem, da očitno kažeta najboljšo temperaturo rekristalizacije 650° C.

Upoštevač vse rezultate nateznega porušitvenega preizkusa in merjenja trdote je najboljša rekristalizacija v območju 650—700° C.

Primerjalne raziskave pa so pokazale, da je ohlajanje po rekristalizaciji na zraku pri tem jeklu ugodnejše od ohlajanja v vodi.

Ta vrsta orodnega jekla mora biti v mehkožarjenem stanju popolno sferoidizirana. Pri tovrstnih strukturah sekundarno zrno tudi pri večjih povečavah na optičnem mikroskopu ni vidno. Stopnja hladne deformacije je zato v strukturi slabo izražena, zato metalografski pregled za oceno rekristalizacije ni primeren.

ZAKLJUČKI

Pri nekaterih visoko legiranih orodnih in konstrukcijskih jeklih ter jeklih in zlitinah za posebne namene rekristalizacijski diagrami klasičnega tipa niso primerni, ker ne zagotavljajo najpomembnejših ugotovitev, oziroma ne opredeljujejo dovolj natančno najboljših tehnoloških pogojev za rekristalizacijo po hladni predelavi. Tudi v smislu kontrolnih kriterijev za fazno kontrolo kakovosti v procesu predelave v hladnem ne dajejo zadovoljivih podatkov.

Preizkusili smo dve vrsti visokolegiranih jekel feritnega tipa.

Pri jeklu z 22 % Cr in 5,5 % Al je za raziskavo rekristalizacij zanimivo območje 600—1000° C, ki vključuje pri temperaturah nad 900° C že pojav sekundarne rekristalizacije. Začetek rekristalizacije je v območju 600—650° C, konec pa v območju 730—800° C. Čim večja je stopnja redukcije, tem nižja je temperatura konca rekristalizacije in tem finejša je zrno. Za tehnološki postopek je optimalna rekristalizacija pri 800° C z ohlavitvijo v vodi, ki zagotavlja trdnost pod 850 N/mm² in kontrakcijo nad 70 %. Za raziskave in kontrolo je najprimernejši natezni porušitveni preizkus σ_M, ψ .

Pri posebnem visokolegiranem jeklu feritnega tipa s 25 % Cr smo prišli do podobne ugotovitve: optimalni pogoji rekristalizacije so 700—800° C — voda, ki zagotavlja trdnost pod 600 N/mm² in kontrakcijo nad 60 %. Očiten znak za potek rekristalizacije je pojav mejne razteznosti pri registriranju krivulj napetosti in raztezka pri porušitvenem preizkusu.

Raziskave rekristalizacije pri dveh vrstah visokolegiranih jekel avstenitnega tipa 21 % Cr — 30 % Ni in 18 % Cr — 9 % Ni so potrdile, da je za potek rekristalizacije hladno vlečenega jekla potrebno normalno gašenje v vodi s temperature nad 950° C. Za kontrolo poteka rekristalizacije je najzanesljivejša metalografska kontrola. Trdnost pri tem lahko zagotovimo pod 750 N/mm² in kontrakcijo nad 70 %.

Pri nerjavnem orodnem jeklu z 0,3 % C in 13,5 % Cr je za raziskovanje poteka rekristalizacije zanimivo območje 600—800° C. Pri razmeroma majhni stopnji redukcije 23,5 % smo ugotovili optimalno rekristalizacijo pri 700—750° C z ohlajevanjem na zraku (ohlajevanje v vodi ni bilo preizkušeno!), kar zagotavlja trdnost pod 700 N/mm², kontrakcijo nad 60 % in trdoto pod 200 HV.

Malolegirano orodno jeklo za delo v hladnem z 1,2 % C in 1 % W je v mehkožarjenem stanju popolnoma sferoidizirano, zato metalografsko ocenjevanje poteka rekristalizacije ni zanesljivo. Najprimernejše je merjenje trdote ali pa natezni porušitveni preizkus z merjenjem trdnosti in kontrakcije, ki jasno izražata najboljše temperaturno območje rekristalizacije 650—700° C z ohlajanjem na zraku. Raziskava je pokazala, da za to jeklo deformacije v območju 10—15 % niso priporočljive — kritična stopnja!

Na osnovi podanih ugotovitev je mogoče pri nadaljnjih raziskavah metodiko preizkušanja povsem določeno usmeriti in skržiti program potrebnih preiskav. Tudi temperaturno območje rekristalizacij je v tolikšni meri poznano, da bo mogoče potrebne temperature v nadaljnjih raziskavah natančno programirati. Načine ohlajanja po rekristalizaciji smo z raziskavami že precej optimirali. Na račun teh prihrankov v obsegu preizkušanja lahko močno razširimo območje stopenj redukcije pri hladni predelavi, kar je zelo pomembno za uporabo v tehnološkem postopku.

Vse to je le osnova za programiranje in začetek projekta sistematično povezanih raziskovalnih nalog na področju plastične predelave jekel v hladnem.

Literatura:

1. Suman H.: Metalografija, Zavod za izdavanje udžbenika SRS, Beograd 1965.
2. Rodič J., A. Rodič: Matematični računalniški model za tehnologijo hladne predelave — organizacija kontrole in zbiranja podatkov (Poglavje 6 — Rekristalizacijski diagrami), Poročila Metalurškega inštituta v Ljubljani in Zelezarne Ravne, raziskovalna naloga MI-149 iz projekta PREDELAVA KOVIN, Ljubljana, november 1973.
3. Zunc J.: Izdelava rekristalizacijskih diagramov, Zelezarski zbornik 1967, št. 2, str. 113.
4. Rodič A.: Rekristalizacijski diagrami, Interna raziskovalna naloga R-7305 Zelezarne Ravne.
5. Rodič A.: Metalografska identifikacija rekristalizacije feritnih jekel, Interna raziskovalna naloga R-7101 Zelezarne Ravne.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Untersuchungen der Rekristallisationsbedingungen stellen ein Teil des Forschungs- und Entwicklungsprojektes der plastischen Verformung im kalten dar.

In Artikel werden zunächst die Ergebnisse der systematischen Untersuchungen behandelt, welche der optimalen Untersuchungsmethodik für die Feststellung der Verfestigungsstufen und der Rekristallisationsbedingungen bei der Entwicklung der Technologie und der Qualitätskontrolle der einzelnen typischen Sorten der Sonderstähle dienen.

Klassische Rekristallisationsdiagramme geben nicht immer zufriedenstellende Informationen, deswegen sind in dieser Untersuchungsphase für die einzelnen Stahlsorten solche Untersuchungsmethoden ausgewählt, welche die reichsten und die zuverlässigsten Informationen über die Verfestigung und Rekristallisation geben.

Für einen hochlegierten ferritischen Stahl mit 22 % Cr und 5,5 % Al ist die optimale Rekristallisationstemperatur 800° C — Wasser, welche eine Festigkeit unter 850 N/mm² und eine Querschnittsabnahme über 70 % garantiert.

Ein hochchromlegierter ferritischer Sonderstahl mit 25 % Cr erreicht nach einer Kaltverformung die beste Rekristallisationstemperatur im Temperaturbereich von 700° C

bis 800° C und nach dem Schrecken im Wasser, wobei eine Festigkeit unter 600 N/mm² und eine Querschnittsabnahme über 60 % erricht wird.

Bei einem hochlegierten CrNi Stahl des Types 21/30 und 18/9 ist für eine vollständige Rekristallisation das Schrecken im Wasser von einer Temperatur über 950° C nötig. Für die Kontrolle des Rekristallisationsverlaufes ist die metallographische Kontrolle die zuverlässigste.

Ein rostbeständiger Werkzeugstahl mit 0,3 % C und 13,5 % Cr rekristallisiert am besten von 700° C bis 750° C, was eine Festigkeit unter 700 N/mm² und eine Querschnittsabnahme über 60 % zusichert.

Ein schwachlegierter Werkzeugstahl mit 1,2 % C und 1 % W rekristallisiert im Temperaturbereich von 650° C bis 700° C der kritische Deformationsgrad liegt bei 10 bis 15 %. Der Rekristallisationsverlauf wird durch die Änderungen der Härte und der mechanischen Eigenschaften klar angezeigt, die metallographische Prüfung ermöglicht aber keine sicheren Feststellungen.

Auf Grund dieser Einführungsuntersuchungen wird es möglich, das weitere Program der Studie der Rekristallisationsbedingungen auf eine ökonomische und wirkungsvolle Weise auszuführen.

SUMMARY

Investigations on recrystallization conditions are a part of research project on plastic cold working of steel.

Results of initial systematical investigations aimed to the development of the optimal testing method in determining the degrees of hardening and recrystallization conditions are treated in the paper. It is connected to the development of technology and the phase quality control of single special steel more commonly used.

Common recrystallization diagrams do not always give sufficient informations therefore such investigation methods are chosen for single steel which give the richest possible and the most reliable informations on hardening and recrystallization.

In high-alloyed ferritic steel with 22 % Cr and 5.5 % Al the optimal recrystallization 800° C — water gives the strength lower than 850 N/mm² and the contraction over 70 %.

Especially high chromium ferritic steel with 25 % Cr reaches after cold deformation the optimal recrystallization in the interval between 700 and 800° C with subsequent

cooling in water. The achieved strength is below 600 N/mm² and the contraction is over 60 %.

For complete recrystallization of high-alloyed 21/30 and 18/9 Cr/Ni steel, quenching in water from above 950° C is necessary. The most reliable control of the recrystallization is the metallographic method.

The best recrystallization of the stainless tool steel with 0.3 % C and 13.5 % Cr is achieved at 700 to 750° C so that the strength is below 700 N/mm² and the contraction over 60 %.

The recrystallization region of low alloyed tool steel with 1.2 % C and 1 % W is 650 to 700° C, and the critical degree of deformation is 10 to 15 %. The recrystallization is clearly expressed by changing hardness and mechanical properties while metallographic investigation does not enable reliable findings.

Based on these initial investigations further program of studying recrystallization conditions can be made more economically and effectively.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования условий рекристаллизации представляет отдел развития проекта исследования «Пластическая переработка сталей холодной деформацией».

В статье рассмотрены результаты вступительных систематических исследований, предназначенных для развития оптимальной методики исследований определения степени упрочнения и условий рекристаллизации при развитии технологии и фазовой проверки качества отдельных типовых марок специальных сталей.

Так как классические диаграммы о рекристаллизации не всегда дают удовлетворительных сведений, то в этой фазе исследований выбраны для отдельных марок сталей такие методы исследования, которые дают самые обширные и самые надежные сведения о упрочнении и рекристаллизации.

Для высоколегированной стали ферритного типа с 22 % С и 5,5 % Al оптимальная рекристаллизация при 800° C — вода обеспечивает прочность менее 850 Н/мм² и сужение свыше 70 %.

Специальная хромистая сталь с содержанием 25 % Cr имеет после холодной деформации оптимальную рекристаллизацию в

температурном интервале 700—800° C при охлаждении в воде, причем полученная прочность ниже 600 Н/мм² и сужение свыше 60 %.

При высоколегированных Cr/Ni сталях типа 21/30 и 18/9 необходимо для полной рекристаллизации охлаждение в воде при температуре свыше 950° C; для проверки процесса рекристаллизации самый надежный metallografический контроль. Нержавеющая инструментальная сталь с содержанием 0,3 % C и 13,5 % Cr лучше всего рекристаллизуется при 700—750° C, что обеспечивает прочность менее 700 Н/мм² и сужение свыше 60 %.

Низколегированная инструментальная сталь с 1,2 % C и 1 % W рекристаллизуется в пределах 650—700° C; ее критическая степень деформации 10—15 %.

Процесс рекристаллизации ясно выражает изменение твердости и механических свойств; metallografический обзор не дает надежных определений.

На основании этих вступительных исследований будет возможно последующую программу изучения условий рекристаллизации выполнить более экономически и эффективнее.

Vpliv kemijske sestave na premenske točke ledeburitnih orodnih jekel

UDK: 669.15 - 194.58
ASM/SLA: N8, M23b, S12, TSh, 2 - 60

Jože Rodič,
Antonija Segel

V okviru raziskovalnega projekta ledeburitnih orodnih jekel v železarni Ravne so bile opravljene obsežne dilatometrijske preiskave, od katerih je v članku opisano določevanje premenskih točk za vsa jekla iz raziskovalnega programa.

Zanimiva je analiza vplivov kemijske sestave na temperature premenskih točk in na dilatacije v premenskem območju, čeprav ravno pri teh jeklih premenske točke nimajo tolikšnega pomena za toplotno obdelavo kot pri drugih. Zaradi raztapljanja karbidov je temperatura avstenitizacije pri kaljenju precej višja od temperature konca premene alfa-gama pri ogrevanju.

Analize regresije so pokazale izredno visoko statistično pomembnost obravnavanih odvisnosti, tako da so v zaključkih navedeni vplivi statistično zanesljivi, nomogrami v članku pa podrobneje prikazujejo ugotovitve te raziskave. Vse statistične analize porazdelitve in regresij so bile izvršene na računalniku IBM 370/135 z lastnimi posebnimi programi oddelka AOP v železarni Ravne.

Premenske točke predstavljajo zelo pomembne karakteristike vrste jekla in so odvisne od kemične sestave in hitrosti ogrevanja ter ohlajevanja. Spoznavanje premenskih točk preiskovanih jekel predstavlja seveda potrebno osnovo za sistematično planiranje raziskav na področju toplotne obdelave. Zato je bilo določanje premenskih točk vključeno tudi v prvo fazo raziskovalnega projekta ledeburitnih orodnih jekel. Pri tem smo imeli priliko primerjati premenske točke za enajst vrst jekel iz skupine orodnih jekel ledeburitnega tipa. Ponudila se je tudi možnost zanimive računalniške obdelave in analize korelacij, ki jo v nadaljnjem obravnavamo.

Metodika določevanja premenskih točk je splošno poznana, zato naj omenimo le nekaj osnovnih pogojev preizkušanja. Vse meritve smo izvajali z dilatometrom, tipa DITIRC firme ADAMEL in pri tem uporabljali hitrost ogrevanja in ohlajanja $2,5^{\circ}\text{C min.}^{-1}$

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

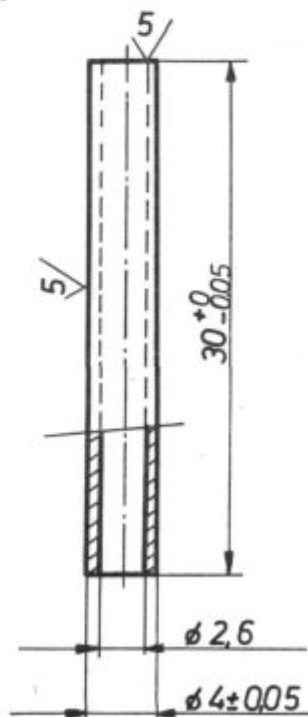
Antonija Segel, metalurški tehnik, raziskovalec za dilatometrijo v metalografskih laboratorijih Železarne Ravne.

Preizkušane za dilatometrijske meritve prikazuje slika 1.

Termoelement je privarjen uporovno v cevki — preizkušancu, katerega vložimo v kremenčevu cev in vse skupaj montiramo v dilatometer.

Pri ledeburitnih orodnih jeklih moramo s temperaturo in časom avstenitizacije omogočiti ustrezno raztapljanje karbidov. Prav pri teh jeklih je zelo pomembno zagotoviti natančno temperaturo avstenitizacije in enak čas, če hočemo rezultate med seboj primerjati. Zato smo tudi pri določevanju premenskih točk preizkušance vedno ogrevali do enake temperature 1040°C in jih po zadržanju 10 minut na tej temperaturi začeli ohlajati s predpisano hitrostjo.

Zaradi različnih načinov odčitavanja premenskih točk na dilatometrijskih krivuljah naj omenimo, da smo pri vseh naših preiskavah odčitavali premene v točki, kjer se začne krivulja odklanjati od premice.



Slika 1
Proba za preiskave na dilatometru DITIRC — ADAMEL.

Fig. 1
Test probe for DITIRC-ADAMEL dilatometer.

Tabela 1: Kemijske sestave in temperature premenskih točk preiskovanih jekel

Oznaka prob	Vrsta jekla	Kemijska sestava					Temperature premenskih točk °C					bainita %
		% C	% Cr	% W	% Mo	% V	Ac ₁	Ac ₃	Ar ₃	Ar ₁	Bs	
		X ₁₆	X ₁₇	X ₁₈	X ₁₉	X ₂₀	X ₀₁	X ₀₂	X ₀₃	X ₀₄	—	
J	2 C — 12 Cr	2,01	12,3	0	0,05	0,06	785	815	745	720	550	1—2
K	1,5 C — 12 Cr	1,58	12,7	0	0,01	0,01	805	840	760	725	—	—
L	1,5 C — 12 Cr — 1 V	1,56	12,3	0	0,01	1,05	800	830	755	725	550	1—2
M	1,5 C — 12 Cr — 1 Mo	1,57	12,0	0	0,99	0,06	800	835	740	685	545*	—
N	1,5 C — 12 Cr — 1 V — 1 Mo	1,58	12,0	0	0,94	1,15	815	840	750	700	—	—
R	č. 4150 — OCR 12	2,03	11,3	0,10	0,06	0,13	770	805	740	705	560*	—
S	č. 4650 — OCR 12 spec.	2,08	11,8	0,85	0,10	0,12	780	815	730	690	550	2
T	č. 4750 — OCR 12 extra	1,59	11,8	1,11	0,66	0,16	800	835	740	690	—	—
U	č. 4850 — OCR 12 VM	1,49	11,2	0,10	0,81	0,93	810	840	745	690	470*	—
V	č. 4754 — CRV	0,91	10,6	0,10	1,05	0,25	800	835	730	630	455	50
Z	č. 7680 — BRM-2	0,82	4,25	6,34	5,07	1,92	810	860	785	660	465	3

* Pri tej temperaturi je dilatometrski krivulja nakazala začetek tvorbe bainita, ki pa ga pri meta-

lografskem pregledu nismo mogli odkriti.

Kemijske sestavine preiskovanih jekel so navedene v tabeli 1, ki podaja tudi temperature premenskih točk.

Znano je, da poteka pri ledeburitnih orodnih jeklih temperaturna premena alfa—gamma v tem-

perturnem intervalu, tako da registriramo pri ogrevanju začetek in konec premene ter obe premenski točki označujemo Ac₁ začetek in Ac_{konec} Za radi poenostavitve pri računalniški obdelavi ne uporabljamo teh različnih oznak (glej slika 2) in smo zato ti dve premenski točki označili z Ac₁ in Ac₃. Analogno je pri ohlajanju premena Ar₃ začetek označena z Ar₃ in Ar_{konec} z Ar₁. Te oznake smo uporabili v vseh tabelah in obdelavah, ker se nanašajo na računaniške vhodne podatke in oznake v banki podatkov za AOP.

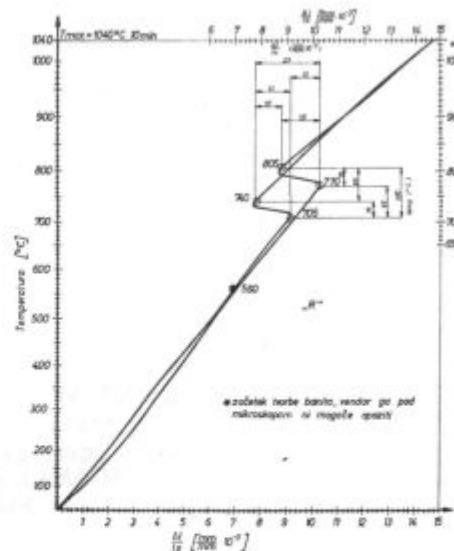
ŽELEZARNA RAVNE Metalografski laboratorij		DILATOMETRSKE PREISKAVE JEKEL	
VK: Istarski delovni nalog		Vrsta jekla po ZH:	
Zap. št.:		Meril. Datum:	
M. št.:		D. M. I. L. V. J. Jeklo (AUS):	
M. št.:		D. M. I. L. V. J. Jeklo (AUS):	
Nativ narave	Koda	Vrednost	Nativ narave
AC ₁	601		Temp. kaljenja v kalnici (°C)
AC ₃	602		Kaleno sredstvo v kalnici
AR ₃	604		Hladišče segrevanja (°C/min)
AR ₁	605		Začetek ZA → M
M _s	606		Konec ZK → M
med 20—100°C	611		Začetek M → PM
med 20—200°C	612		Konec M → PM
med 20—300°C	613		Začetek MJ → B
med 20—400°C	614		Konec MJ → B
med 20—500°C	615		Začetek B → FP
med 20—600°C	616		Konec B → FP
med 20—700°C	617		Začetek BFI → FP
med 20—800°C	618		Konec BFI → FP
Šarža:		Demontiraj:	
Lokacija:	Vrsta:	Opomba:	Vrsta ali delovno:

Slika 2

Dokument za vnašanje dilatometriških meritev v banko podatkov AOP

Fig. 2

Sheet for recording dilatometric measurements for AOP data bank.

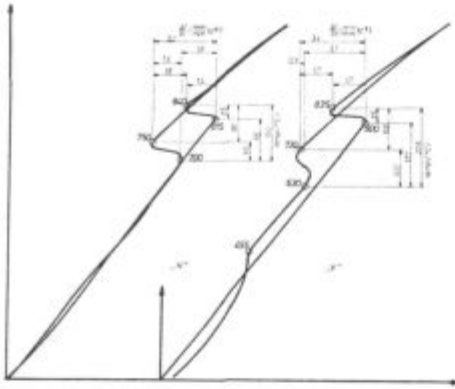


Slika 3

Dilatometriška krivulja posneta pri določevanju premenskih točk jekla C.4150 — OCR 12 (vzorec z oznako R)

Fig. 3

Dilatometric curve recorded in determining transformation points of C.4150 — OCR 12 steel (sample R)



Slika 4

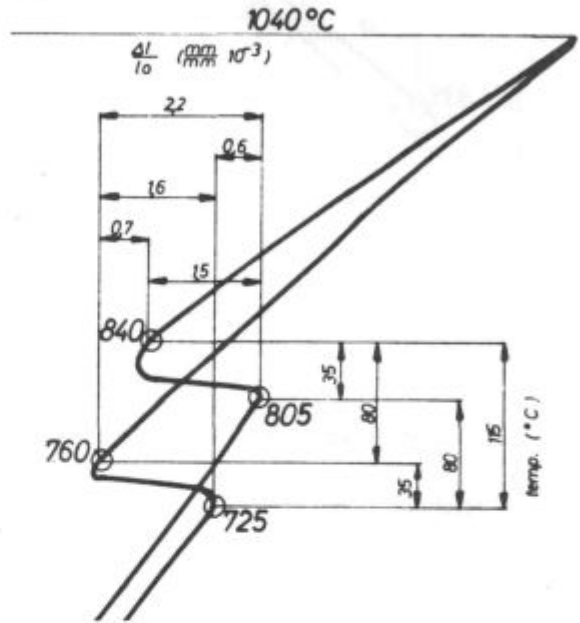
Primer dilatometrijskih krivulj za jeklo Č.4850 — OCR 12 VM (oznaka N) in Č.4754 — CRV (oznaka V)

Fig. 4

Dilatometric curves of Č.4850 — OCR 12 VM (sample N) and Č.4754 — CRV (sample V) steel.

Za ilustracijo podaja slika 3 dilatometrijsko krivuljo jekla Č 4150 — OCR 12, slika 4 pa dilatometrijske krivulje za jekli Č 4850 — OCR 12VM in Č 4754 — CRV.

Jeklo Č 4850 — OCR 12 VM (»N«) je v vseh primerih pokazalo najenakomernejši potek krivulj zunaj premenskega območja. Krivulji ogrevanja in ohlajanja se skoraj pokrivata. Drugo skrajnost med obravnavanimi vrstami jekel kaže dilatometrijska krivulja za jeklo Č 4754 — CRV (»V«), ki je edina pokazala pri ohlajanju jasno izraženo bainitno premeno.

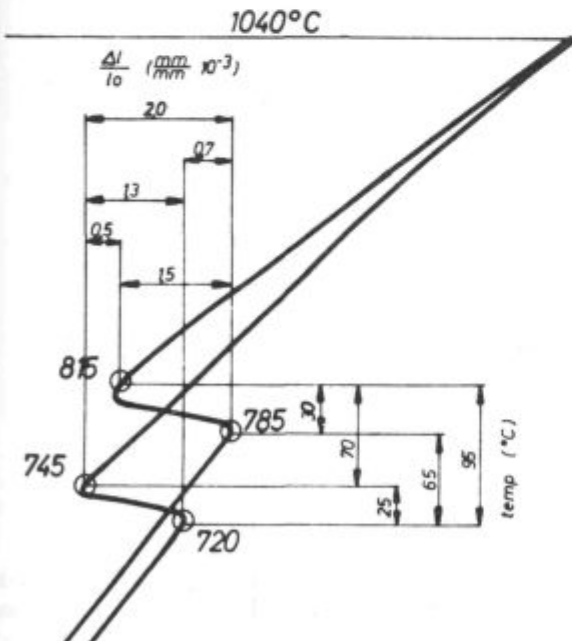


Slika 6

Jeklo K 1,5 % C — 12 Cr

Fig. 6

Steel K 1.5 % C — 12 % Cr

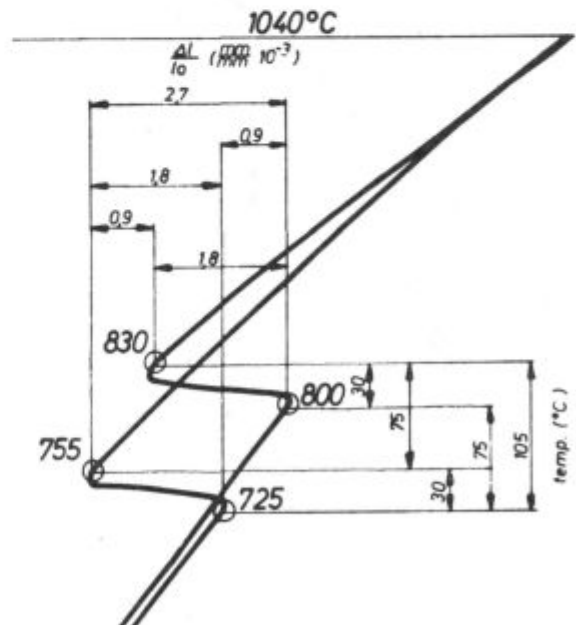


Slika 5

Jeklo J 2 % C — 12 % Cr

Fig. 5

Steel J 2 % C — 12 % Cr.

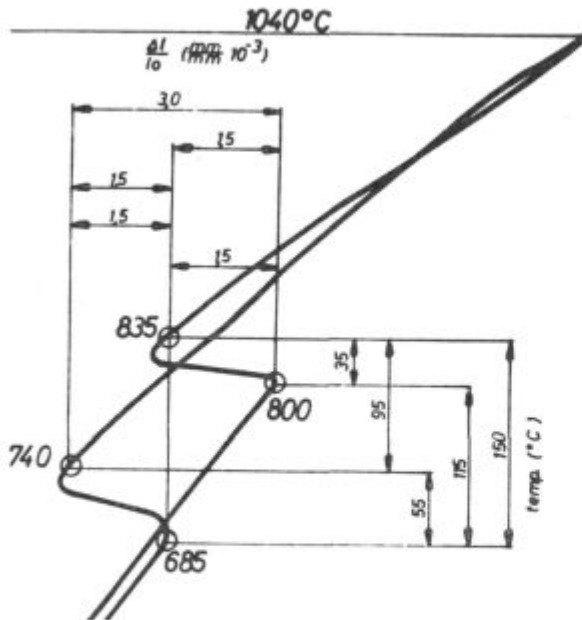


Slika 7

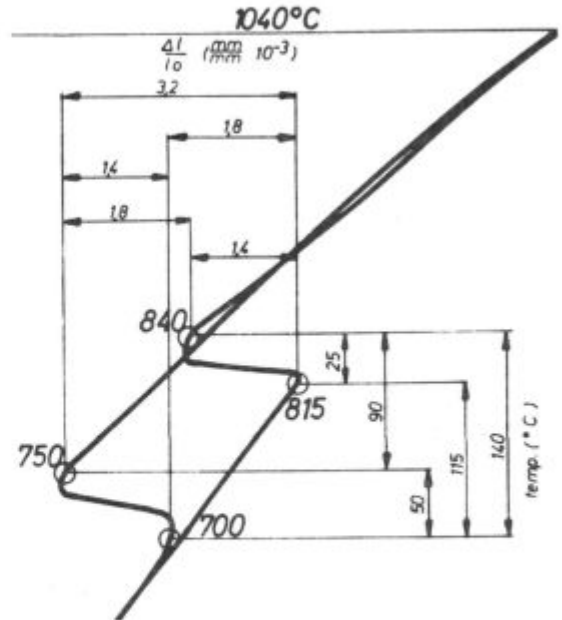
Jeklo L 1,5 % C — 12 % Cr — 1 % V

Fig. 7

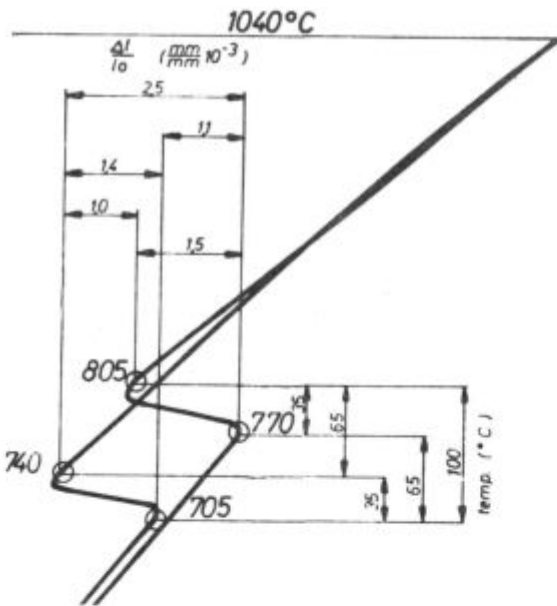
Steel L 1.5 % C — 12 % Cr — 1 % V



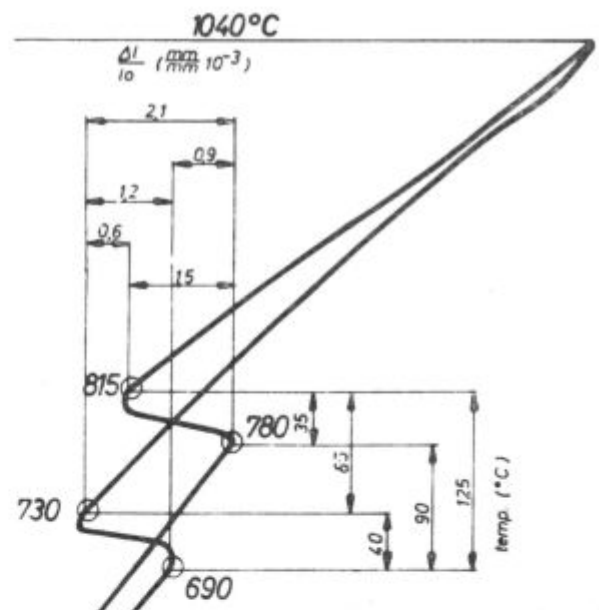
Slika 8
Jeklo M 1,5 % C — 12 % Cr — 1 % Mo
Fig. 8
Steel M 1.5 % C — 12 % Cr — 1 % Mo



Slika 9
Jeklo N 1,5 % C — 12 % Cr — 1 % V — 1 % Mo
Fig. 9
Steel N 1.5 % C — 12 % Cr — 1 % V — 1 % Mo



Slika 10
Jeklo R Č.4150 — OCR 12
Fig. 10
Steel R Č.4150 — OCR 12

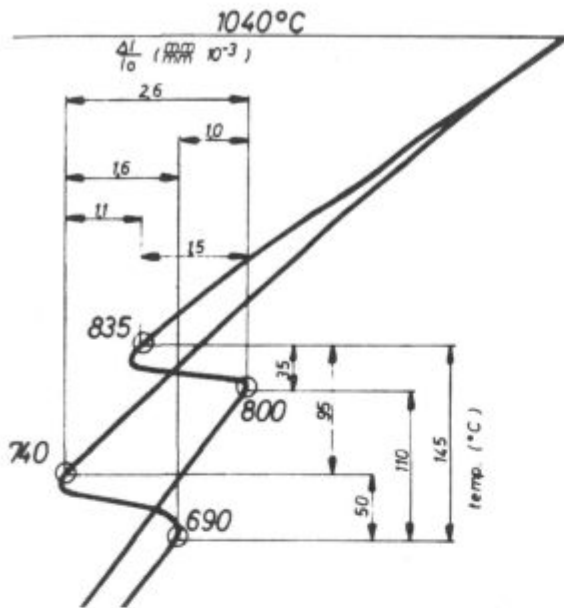


Slika 11
Jeklo S Č.4650 — OCR 12 special
Fig. 11
Steel S Č.4650 — OCR 12 special

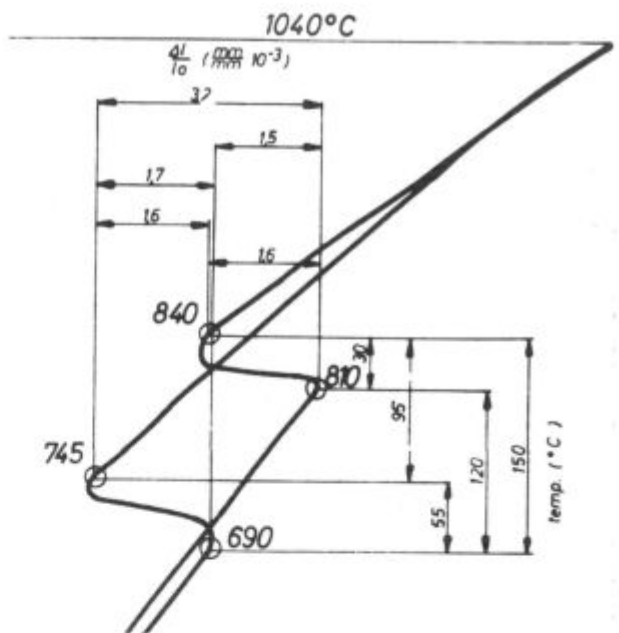
Vse podatke, označene z x_{01} do x_{20} v tabelah 1 do 3, smo uporabili kot vhodne podatke za analizo korelacij.

Tabela 4 podaja izvleček računalniškega izpisa, ki ponazarja območja variacij vseh spremenljivk v analizah korelacije, ki smo jih pri raziskavah izvršili.

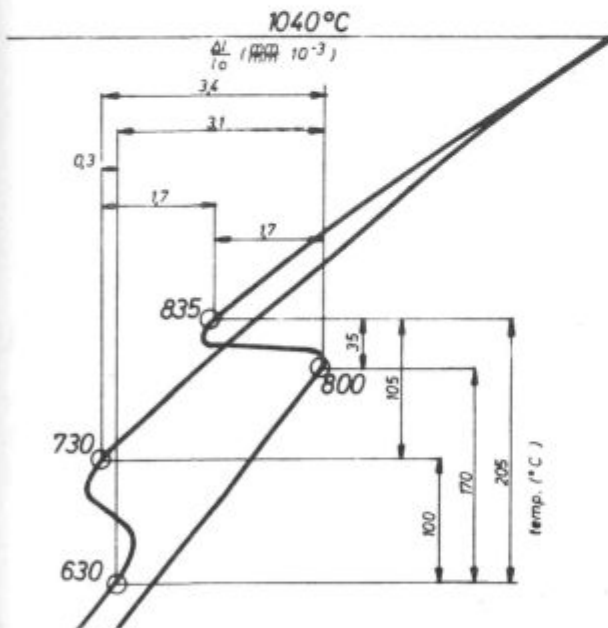
V tabeli 5, ki prikazuje korelacijsko matriko med odvisnimi spremenljivkami x_{01} do x_{14} in neodvisnimi spremenljivkami x_{16} do x_{20} , ki predstavljajo elemente v kemijski sestavi, so podani parcialni koeficienti korelacije med pari spremenljivk. Koeficienti brez predznaka, torej pozitivni, ponazarjajo premo sorazmerno odvisnost, negativni pa obrat-



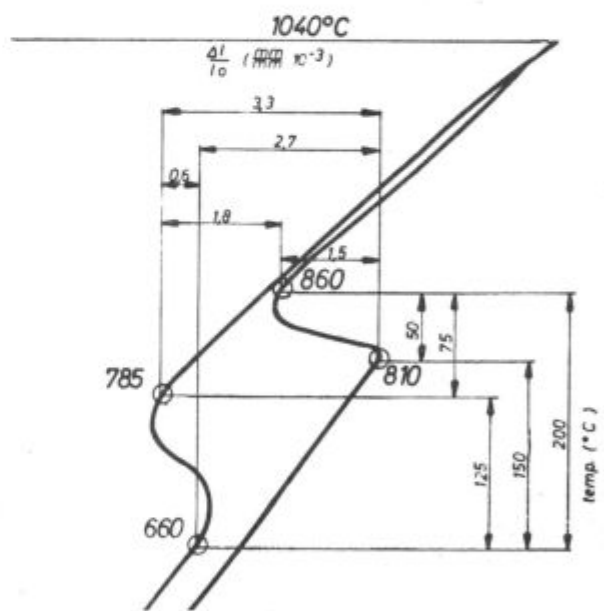
Slika 12
Jeklo T č.4750 — OCR 12 extra
Fig. 12
Steel T č.4750 — OCR 12 extra



Slika 13
Jeklo U č.4850 — OCR 12 VM
Fig. 13
Steel U č.4850 — OCR 12 VM



Slika 14
Jeklo V č.4754 — CRV
Fig. 14
Steel V č.4754 — CRV



Slika 15
Jeklo Z č.7680 — BRM 2
Fig. 15
Steel Z č.7680 — BRM 2

nosorazmerno odvisnost med spremenljivkama. Pregled take korelacijske matrike nam da zgoščeno mnogo informacij, ki jih lahko izkoristimo za nadaljne analize vplivov in odvisnosti. Poglejmo nekaj teh!

Pri ugotavljanju vplivov kemijske sestave — vsebnosti ogljika, kroma, volframa, molibdena in

vanadija — na temperature in temperaturne razlike premenskih točk so vse enačbe regresije zadovoljile kriterije statistične pomembnosti nad 99 %.

Slika 16 prikazuje vpliv ogljika in vanadija na temperaturo premene A_c začetek s koeficientom determinacije $R^2 = 0,924$ in 95 % območjem napake $\pm 8,9^\circ\text{C}$ za odvisno spremenljivko. Temperatura te

Tabela 2 — Temperaturna razlika med premenskimi točkami

Oznaka prob	Vrsta jekla	Temperaturne razlike v °C				
		Ac ₃ — Ac ₁	Ac ₃ — Ar ₃	Ar ₃ — Ar ₁	Ac ₁ — Ar ₁	Ac ₃ — Ar ₁
		x ₀₅	x ₀₆	x ₀₇	x ₀₈	x ₀₉
J	2 C — 12 Cr	30	70	25	65	95
K	1,5 C — 12 Cr	35	80	35	80	115
L	1,5 C — 12 Cr — 1 V	30	75	30	75	105
M	1,5 C — 12 Cr — 1 Mo	35	95	55	115	150
N	1,5 — 12 Cr — 1 V — 1 Mo	25	90	50	115	140
R	č. 4150 — OCR 12	35	65	35	65	100
S	č. 4650 — OCR 12 spec.	35	85	40	90	125
T	č. 4750 — OCR 12 extra	35	95	50	110	145
U	č. 4850 — OCR 12 VM	30	95	55	120	150
V	č. 4754 — CRV	35	105	100	170	205
Z	č. 7680 — BRM-2	50	75	125	150	200

Tabela 3 — Razlike dilatacij med premenskimi točkami

Oznaka prob	Vrsta jekla	Razlike med odčitki dilatacij premenskih točk				
		Ac ₁ — Ac ₃	Ac ₃ — Ar ₃	Ar ₁ — Ar ₃	Ac ₁ — Ar ₁	Ac ₁ — Ar ₃
		x ₁₀	x ₁₁	x ₁₂	x ₁₃	x ₁₄
J	2 C — 12 Cr	1,5	0,5	1,3	0,7	2,0
K	1,5 C — 12 Cr	1,5	0,7	1,6	0,6	2,2
L	1,5 C — 12 Cr — 1 V	1,8	0,9	1,8	0,9	2,7
M	1,5 C — 12 Cr — 1 Mo	1,5	1,5	1,5	1,5	3,0
N	1,5 C — 12 Cr — 1 V — 1 Mo	1,4	1,8	1,4	1,8	3,2
R	č. 4150 — OCR 12	1,5	1,0	1,4	1,1	2,5
S	č. 4650 — OCR 12 spec.	1,5	0,6	1,2	0,9	2,1
T	č. 4750 — OCR 12 extra	1,5	1,1	1,6	1,0	2,6
U	č. 4850 — OCR 12 VM	1,6	1,6	1,7	1,5	3,2
V	č. 4754 — CRV	1,7	1,7	0,3	3,1	3,4
Z	č. 7680 — BRM-2	1,5	1,8	0,6	2,7	3,3

Tabela 4 — Osnovni statistični podatki spremenljivk v analizi korelacij

št.	Spremenljivka naziv	Srednja vrednost	Območje	
			od	do
01	Premenska točka Ac ₁ °C	797,7	770	815
02	Premenska točka Ac ₃ °C	831,8	805	860
03	Premenska točka Ar ₃ °C	747,2	730	785
04	Premenska točka Ar ₁ °C	692,7	630	725
05	Temperaturna razlika Ac ₃ — Ac ₁ °C	34,1	25	50
06	Temperaturna razlika Ac ₃ — Ar ₃ °C	84,5	65	105
07	Temperaturna razlika Ar ₃ — Ar ₁ °C	54,5	25	125
08	Temperaturna razlika Ac ₁ — Ar ₁ °C	105,0	65	170
09	Temperaturna razlika Ac ₃ — Ar ₁ °C	139,1	95	205
10	Razlika dilatacij Ac ₁ — Ac ₃ 10 ⁻³	1,54	1,40	1,80
11	Razlika dilatacij Ac ₃ — Ar ₃ 10 ⁻³	1,20	0,50	1,80
12	Razlika dilatacij Ar ₁ — Ar ₃ 10 ⁻³	1,31	0,30	1,80
13	Razlika dilatacij Ac ₁ — Ar ₁ 10 ⁻³	1,44	0,60	3,10
14	Razlika dilatacij Ac ₁ — Ar ₃ 10 ⁻³	2,74	2,00	3,40
16	% C v končni analizi	1,60	0,85	2,18
17	% Cr v končni analizi	11,19	4,29	12,70
18	% W v končni analizi	0,73	0,00	6,40
19	% Mo v končni analizi	0,89	0,01	5,15
20	% V v končni analizi	0,54	0,01	1,97

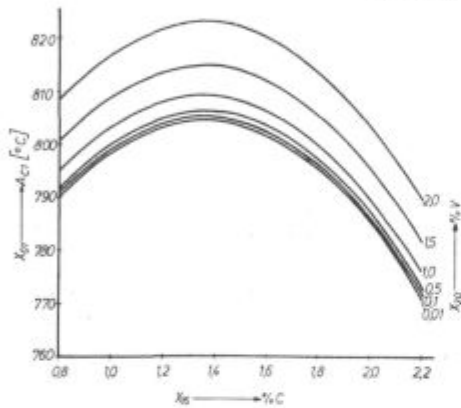
Tabela 5 — Izrez korelacijske matrike v izpisu računalnika (nazivi spremenljivk so navedeni v tabeli 4)

	Premenske točke				Razlike temperatur					Razlike dilatacij				
	x_{01}	x_{02}	x_{03}	x_{04}	x_{05}	x_{06}	x_{07}	x_{08}	x_{09}	x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}
x_{16}	-0,74	-0,87	-0,50	0,66	-0,48	-0,43	-0,86	-0,85	-0,86	-0,30	-0,73	0,56	-0,81	-0,78
x_{17}	-0,29	-0,61	-0,68	0,57	-0,84	0,10	-0,87	-0,59	-0,69	0,05	-0,52	0,64	-0,67	-0,50
x_{18}	0,26	0,59	0,75	-0,39	0,86	-0,21	0,74	0,43	0,54	-0,17	0,35	-0,49	0,47	0,31
x_{19}	0,45	0,73	0,71	-0,56	0,78	0,005	0,87	0,65	0,73	-0,15	0,63	-0,56	0,68	0,58
x_{20}	0,59	0,67	0,74	-0,20	0,32	-0,10	0,56	0,41	0,43	0,10	0,60	-0,19	0,49	0,69

$$x_{01} = 719,22 + 126,934 \cdot x_{16} - 46,936 \cdot x_{16}^2 + 4,4597 \cdot x_{20}^2$$

Deleži povečanja R^2 : x_{16} % C za 0,8470 x_{20} % V za 0,0768

Skupaj: 0,9238



Slika 16

Vpliv sestave na premensko točko $A_{c\text{začetek}}$

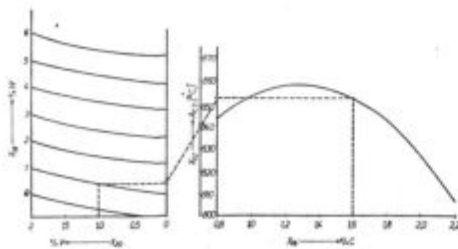
Fig. 16

Influence of composition on the transformation point A_c

$$x_{02} = 770,566 + 106,382 \cdot x_{16} - 41,360 \cdot x_{16}^2 + 3,99 \cdot x_{18} + 0,838 \cdot x_{20}^2$$

Deleži povečanja R^2 : x_{16} % C za 0,8650 x_{20} % V za 0,0479 x_{18} % W za 0,0403

Skupaj: 0,9532



Slika 17

Vpliv sestave na premensko točko $A_{c\text{konec}}$

Fig. 17

Influence of composition on the transformation point A_c

premene je najvišja pri vsebnosti 1,4 % ogljika, ki ima prevladujoč vpliv. Vanadij povišuje temperaturo te premene v celotnem območju variacij, čeprav je njegov vpliv precej šibkejši od ogljika. Vpliv kroma, volframa in molibdena v tej regresijski analizi ni bil statistično pomemben.

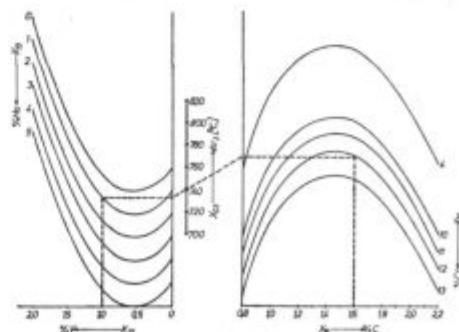
Podobno so izraženi tudi vplivi kemijske sestave na temperaturo premene $A_{c\text{konec}}$, ki jih prikazuje nomogram na sliki 17. Poleg ogljika in vanadija je pokazala pomemben vpliv tudi vsebnost volframa. Koeficient determinacije pri tej odvisnosti je 0,953, napaka določitve odvisne spremenljivke s 95 % statistično zanesljivostjo pa je $\pm 8,3$ °C. Vsebnost ogljika izraža pri svojem vplivu podoben maksimum kot na sliki 16, le da je ta maksimum pomaknjen k nekoliko nižji vsebnosti ogljika, kar je razumljivo zaradi dodatnega upoštevanja volframa — karbidotvorca. Volfram in vanadij v celotnem območju variacij povišujeta temperaturo premene $A_{c\text{konec}}$, čeprav je zanj parcialni koeficient korelacije znatno manjši kot za ogljik.

$$P = 99 \% \quad R^2 = 0,968 \quad 1,96 S_{y,x} = 8,6$$

$$x_{03} = 704,935 + 109,168 \cdot x_{16} - 37,65 \cdot x_{16}^2 - 0,1511 \cdot x_{17}^2 - 16,438 \cdot x_{19} - 66,021 \cdot x_{20} + 59,792 \cdot x_{20}^2$$

Deleži povečanja R^2 : x_{20} % V za 0,7528 x_{17} % Cr za 0,1517 x_{16} % C za 0,0460 x_{19} % Mo za 0,0179

Skupaj: 0,9684



Slika 18

Vpliv sestave na premensko točko $A_{r\text{začetek}}$

Fig. 18

Influence of composition on the transformation point A_r

Vpliv kemijske sestave na premenske točke je pri ohlajanju (A_r) bistveno drugačen kot pri ogrevanju.

V odvisnosti temperature začetka premene pri ohlajanju (slika 18) od kemijske sestave so popolnoma zamenjane vloge posameznih elementov. Močno prevladuje vpliv vanadija, ki temperaturo začetka premene znižuje, kar je prav nasprotno od njegovega vpliva na premene pri ogrevanju. Najnižja je temperatura začetka premene pri 0,5 % V. Temperatura konca premene pa pri ohlajanju ne kaže statistično pomembne odvisnosti od vanadija (Slika 19).

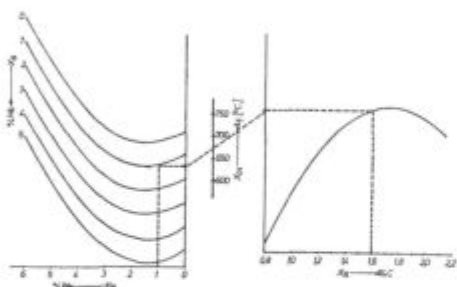
$$P > 99,9 \% \quad R^2 = 0,984 \quad 1,96 S_{y,x} = 10,1$$

$$x_{04} = 383,23 + 399,36 \cdot x_{16} - 115,4 \cdot x_{16}^2 -$$

$$- 25,28 \cdot x_{18} + 8,93 \cdot x_{18}^2 - 35,61 \cdot x_{19}$$

Deleži povečanja R^2 :

x_{16}	% C	za 0,6078
x_{18}	% W	za 0,1959
x_{19}	% Mo	za 0,1799
Skupaj: 0,9836		



Slika 19

Vpliv sestave na premensko točko $A_{r\text{konec}}$

Fig. 19

Influence of composition on the transformation point A_r

Temperaturo začetka premene pri ohlajanju precej znižuje krom. Molibdenov vpliv je manj pomemben, čeprav tako kot krom to temperaturo znižuje linearno.

Ogljik kaže tako pri ogrevanju kot pri ohlajanju enako obliko vpliva, le da je pri odvisnostih temperatur $A_{c\text{začetek}}$, $A_{c\text{konec}}$ in $A_{r\text{konec}}$ najpomembnejši vplivni element, pri odvisnosti premene $A_{r\text{začetek}}$ pa je njegov delež determinacije zelo majhen.

Na sliki 19 je precej jasno prikazan zelo podoben in skoraj enako močen vpliv molibdena in volframa na zniževanje temperature konca premene pri ohlajanju.

Zanimiva je ugotovitev, da na širino temperaturnega območja premen pri ogrevanju najmočnejše vpliva volfram, ki to razliko temperatur linearno povečuje s parcialnim koeficientom determinacije 0,748, medtem ko jo vanadij in krom linearno zmanjšujeta, vendar z znatno manjšim parcialnim koeficientom determinacije 0,146, oziroma 0,028. Enačba regresije je pri tem

$$\Delta T(A_{c\text{konec}} - A_{c\text{začetek}}) = 53,55 - 1,6 \% \text{ Cr} +$$

$$+ 2,32 \% \text{ W} - 5,91 \% \text{ V}$$

s 95 % napako $\pm 4,1^\circ\text{C}$ in $R^2 = 0,923$.

Medtem ko je za vsa preiskovana jekla širina premenskega območja pri ogrevanju od 25 do 50°C, je premensko območje pri ohlajanju precej širše in znaša od 25 do 125°C. S koeficientom determinacije $R^2 = 0,9696$ in napako $1,96 S_{y,x} = 12,6$ velja enačba regresije

$$\Delta T(A_{r\text{začetek}} - A_{r\text{konec}}) = 216,14 - 36,96 \% \text{ C} -$$

$$- 0,728 (\% \text{ Cr})^2 - 11,36 (\% \text{ V})^2$$

Največji je parcialni koeficient determinacije za krom (0,804).

Temperaturne razlike med koncem premene pri ogrevanju in začetkom premene pri ohlajanju so za vsa preiskovana jekla 65 do 105°C. Rezultate za to regresijsko analizo podaja slika 20.

$$P > 99,9 \% \quad R^2 = 0,9904 \quad 1,96 S_{y,x} = 5,4$$

$$x_{06} = 193,18 + 193,29 \cdot x_{16} - 65,79 \cdot x_{16}^2 -$$

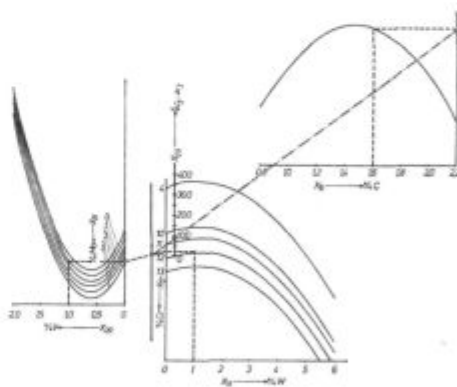
$$- 1,559 \cdot x_{17}^2 + 32,565 \cdot x_{18}^2 - 14,04 \cdot x_{18}^3 -$$

$$- 7,566 \cdot x_{19} - 166,77 \cdot x_{20} + 136,02 \cdot x_{20}^2$$

Deleži povečanja R^2 :

x_{20}	% V	za 0,3968
x_{16}	% C	za 0,2540
x_{19}	% Mo	za 0,2297
x_{18}	% W	za 0,0593
x_{17}	% Cr	za 0,0506

Skupaj: 0,9904



Slika 20

Vpliv sestave na temperaturno razliko $A_{c\text{konec}} - A_{r\text{začetek}}$

Fig. 20

Influence of composition on the temperature difference $A_{c\text{konec}} - A_{r\text{začetek}}$

Pri analizah širine premenskih območij je prav gotovo najpomembnejša razlika temperatur med koncem premene pri ogrevanju in koncem premene pri ohlajanju. Ta razlika ponazarja celotno širino premenskega območja, ne upoštevajoč raztapljanje in izločanje karbidov. Za celo skupino preiskovanih jekel se ta širina območja spreminja od 95 do 205°C in nanjo vplivajo prav vsi elementi kemijske sestave, kakor prikazuje slika 21.

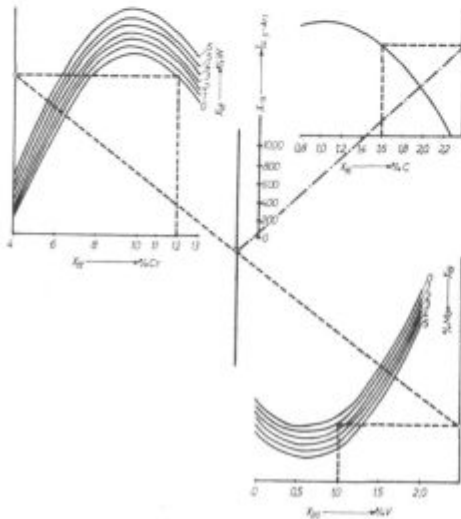
$$P > 99,9 \% \quad R^2 = 0,99995 \quad 1,96 S_{yx} = 1,1$$

$$x_{09} = -2027,62 + 150,9 \cdot x_{16} - 72,76 \cdot x_{16}^2 + \\ + 463,99 \cdot x_{17} - 23,57 \cdot x_{17}^2 + 37,22 \cdot x_{18} - \\ - 30,57 \cdot x_{19} - 436,04 \cdot x_{20} + 353,88 \cdot x_{20}^2$$

Deleži povečanja R^2 :

x_{16}	% C	za 0,7951
x_{17}	% Cr	za 0,1238
x_{20}	% V	za 0,0417
x_{19}	% Mo	za 0,0260
x_{18}	% W	za 0,0133

Skupaj: 0,9999



Slika 21

Vpliv sestave na temperaturno razliko $Ac_{konec} - Ar_{konec}$

Fig. 21

Influence of composition on the temperature difference $Ac - Ar$

S celo serijo regresijskih analiz smo obravnavali dilatacije v premenskem območju. Tudi te regresije so bile vse statistično zelo pomembne.

Razlike dilatacij v celotnem območju od $Ac_{začetek}$ do Ar_{konec} so vsekakor najzanimivejše, zato naj samo za ta primer podamo rezultate regresijske analize:

$$P > 99,9 \% \quad R^2 = 0,997 \quad 1,96 S_{yx} = 0,138$$

$$\frac{\Delta l}{l_0} (Ac_{začetek} - Ar_{konec}) = x_{13} = 9,422 - \\ - 10,176 \cdot x_{16} + 2,8998 \cdot x_{16}^2 - 0,0397 \cdot x_{18} - \\ - 0,132 \cdot x_{18}^2 + 0,885 \cdot x_{19} + 0,242 \cdot x_{20}^2 \dots \\ \dots \left[\frac{mm}{mm} \cdot 10^{-3} \right]$$

Deleži povečanja R^2 :

x_{16}	% C	za 0,7823
x_{19}	% Mo	za 0,1041
x_{18}	% W	za 0,0951
x_{20}	% V	za 0,0154

Skupaj: 0,9969

ZAKLJUČKI

Premenske točke so vsekakor značilna lastnost vrste jekla, zato je razumljivo, da nas je v raziskovalnem projektu najprej zanimala odvisnost premenskih karakteristik od kemijske sestave jekla.

Standardne premenske točke Ac in Ar so pri ledeburitnih orodnih jeklih v praksi res nekoliko manj pomembne, ker so pri toplotni obdelavi temperature avstenitizacije znatno višje zaradi raztapljanja karbidov. Kljub temu so nekatere ugotovitve izvršenih meritev in analiz zelo zanimive.

Posebna prilika za ugotavljanje vplivov posameznih legirnih elementov na premenske karakteristike se je nudila s serijo talin J, K, L, M, N, pri katerih lahko s planiranimi variacijami pri isti matični talini ugotavljamo vplive elementov posamezno. Pri vseh drugih talinah pa so mogoče zanimive medsebojne primerjave za tipične kemijske sestave jekel.

Ob sistematičnih variacijah kemijske sestave tipičnih jekel smo izkoristili tudi dane možnosti za statistične obdelave z metodo regresijske analize. Te smo razdelili na tri dele z ugotavljanjem vpliva kemijske sestave na:

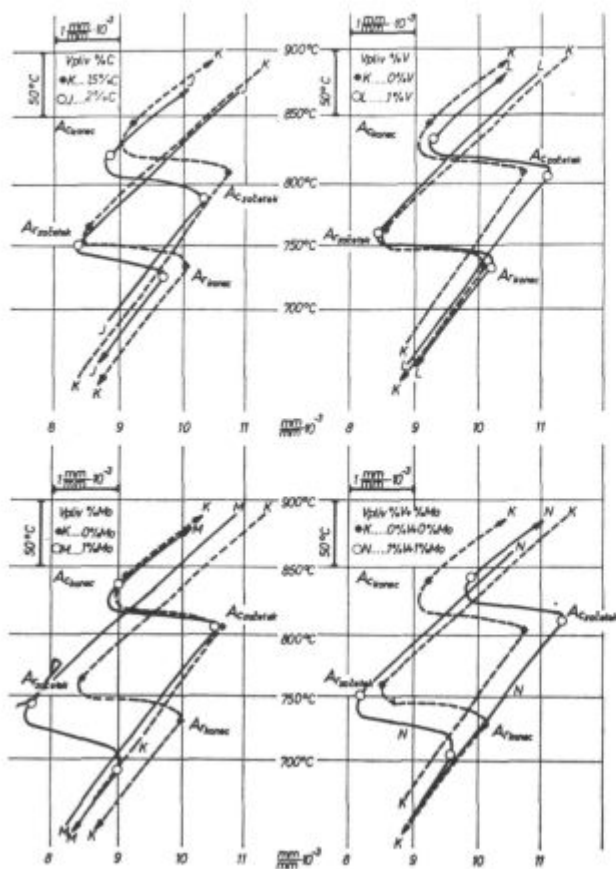
- temperature premenskih točk,
- temperaturne razlike med premenskimi točkami,
- dilatacije v premenskih območjih.

Iz nekaterih podatkov v tabelah 2 in 3 hitro ugotovimo, da talini V in Z znatno odstopata od družine ostalih ledeburitnih jekel. To je tudi razumljivo, saj sta to bistveno drugačni vrsti jekel in smo ju vključili v analizo predvsem zaradi medsebojnih primerjav.

Pri regresijskih analizah smo kljub razmeroma majhnemu številu šarž ugotovili izredno visoke stopnje determinacije (R^2) in razmeroma majhne standardne napake za 95 % območje statistične zanesljivosti.

Premeni $Ac_{začetek}$ (v analizi Ac_1) in Ac_{konec} (Ac_3) sta odvisni predvsem od vsebnosti ogljika, kar poleg nomogramov na slikah 16 in 17 nazorno ilustrira tudi zgornji levi del slike 22. Nižji odstotek ogljika zviša temperaturo obeh premenskih točk. V regresijski analizi sta se izkazala kot statistično pomembna vpliva vsebnosti vanadija in volframa, vendar sta oba z znatno nižjim koeficientom determinacije R^2 v primerjavi z vplivom ogljika komaj omembe vredna. Tudi to ugotovitev potrjuje ilustracija na sliki 22. Molibden skoraj ne vpliva na premenske temperature pri ogrevanju.

Pri regresijah za temperature plemen Ar nekoliko preseneča majhen koeficient determinacije za vpliv molibdena, saj se ta močno izraža na slikah 18 in 19, pa tudi ilustracije na slikah 22 in 23 potrjujejo znane ugotovitve iz prakse drugih vrst jekel. Molibden močno vpliva na premene pri ohlajanju in povzroča histerezo, med Ac in Ar , ki jo večkrat v praksi kaljenja lahko s pridom izkori-

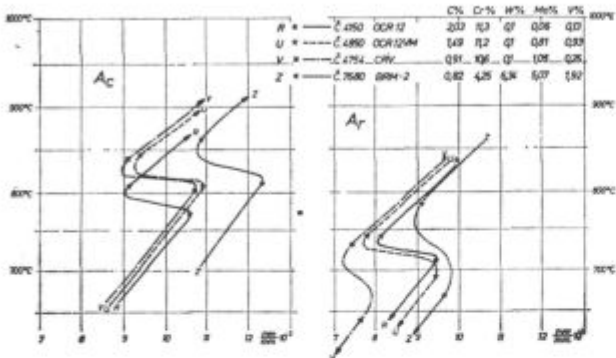


Slika 22

Vpliv ogljika, vanadija in molibdena na premenske točke Ac in Ar za ledeburitno orodno jeklo z 12 Cr

Fig. 22

Influence of carbon, vanadium, molybdenum on the transformation points Ac and Ar for ledeburite tool steel with 12 % Cr.



Slika 23

Primerjava premenskih točk za štiri vrste tipičnih ledeburitnih jekel

Fig. 23

Comparison of transformation points for four typical ledeburite steel.

ščamo. Naj kar takoj omenimo, da si pri ledeburitnih orodnih jeklih ne moremo privoščiti počasnega ohlajanja ali časovnega intervala med padanjem temperature od temperature avstenitizacije do $Ar_{začetek}$ ker ne smemo dopuščati prekomernega izločanja karbidov iz trdne raztopine.

Iz prikazanega vpliva vanadija na sliki 22 bi sklepali, da je vpliv vanadija neznamenit. Podrobnejša analiza regresije s pomočjo slike 18 pa nam kaže izredno močan vpliv vanadija, obenem pa nam pojasni majhne razlike na sliki 22 zaradi sovpadanja temperatur Ar_3 za 0 in 1 % V.

Sliki 18 in 19 nam zelo nazorno kažeta vpliv molibdena, obenem pa nam nakazujeta sugestije za spremembe kemijske sestave, če želimo potisniti premene Ar k nižjim temperaturam z izkoriščanjem možnosti počasnega prenosa orodij od ogrevanja na temperaturi avstenitizacije do ohlajevalnega sredstva z zadržanjem v avstenitnem območju nad $Ar_{začetek}$. Te možnosti nam daje visoka vsebnost molibdena ob nižjih vsebnostih drugih legirnih elementov.

Tolerance določanja temperatur premenskih točk s 95 % statistično zanesljivostjo iz kemijske vsebnosti ogljika in karbidotvornih elementov v jeklu znašajo po opravljenih analizah ± 8 do $10^\circ C$.

V drugi seriji regresijskih analiz smo ugotavljali, kateri elementi odločajo, kolikšne so temperaturne razlike med premenskimi točkami. Zanimivo je, da na širino temperaturnega intervala premene alfa-gama pri ogrevanju najmočneje vpliva volfram.

Posebno zanimiva je temperaturna razlika med koncem premene pri ogrevanju in začetkom premene pri ohlajanju. Odvisnost te temperaturne razlike od sestave je prikazana na sliki 20. Žal je, kakor že omenjeno, ta analiza pri ledeburitnih orodnih jeklih le teoretično zanimiva, pri toplotni obdelavi v praksi pa skoraj nima pomena. Z enakim redom velikosti izražajo vpliv V, C, Mo, nekoliko manj pa W in Cr.

Na sliki 21 je obravnavano celotno temperaturno območje premen.

Drugih temperaturnih razlik nismo grafično prikazali, pač pa smo jih analizirali in podali z regresijskimi enačbami.

V tretjem delu regresijskih analiz so zanimivi podatki o jakosti vplivov posameznih elementov na velikost dilatacij v premenskih območjih.

Kot praktično dopolnilo k sliki 22 je na sliki 23 podana primerjava premenskih točk za štiri tipične vrste jekel. Ta primerjava dobro dopolnjuje prejšnje ugotovitve.

ZUSAMMENFASSUNG

Im Artikel werden die Einflüsse der chemischen Zusammensetzung auf die Umwandlungstemperaturpunkte und auf die teilweise und gesamte Dehnung im Um-

wandlungsbereich für elf Sorten der ledeburitischen Stähle behandelt. Die Regressionsanalyse umfasst folgende Gehaltsbereiche der einzelnen Elemente:

$C = 0.85 - 2.18 \%$, $Cr = 4.29 - 12.7 \%$, $W = 0 - 6.4 \%$,
 $Mo = 0.01 - 5.15 \%$, $V = 0.01 - 1.97 \%$.

Die festgestellten Regressionsabhängigkeiten besitzen einen hohen Bestimmtheitsmass (R^2) und eine verhältnismässig kleine Standardabweichung für den Bereich der 95 % statistischen Sicherheit.

Die Umwandlungspunkte A_c Anfang und A_c Ende sind vor allem vom Kohlenstoffgehalt abhängig und erreichen einen Maximum bei einem Gehalt von 1.4—1.6 %. Eine Verminderung oder eine Erhöhung des Kohlenstoffgehaltes im Vergleich mit diesem Gehalt erniedrigt die Umwandlungstemperaturpunkte. Die Karbidbildenden Elemente beeinflussen die einzelnen Umwandlungspunkte verschieden oder mit verschiedener Stärke, was auf den Nomogrammen und von den Anteilen der Vergrößerung des

Bestimmtheitsmasskoeffizienten für die einzelnen Elemente dargestellt ist.

Molibden hat fast keinen Einfluss auf die Umwandlungstemperaturen beim Erwärmen, jedoch beeinflusst den Umwandlungsverlauf beim Abkühlen stark. Auf diese Weise vergrössert Molibden stark die Hysterese im Umwandlungsbereich.

Der Einfluss von Vanadium ist bedeutend beim Erwärmen sowie beim Abkühlen, es hat einen entscheidenden Einfluss vor allem auf die Umwandlungstemperatur A_c Anfang w_0 beim 0.5 % V ein Minimum der Umwandlungstemperatur auftritt, ein grosserer Vanadiumzusatz erhöht diese Temperatur stark.

Wolfram erweitert den Umwandlungstemperaturbereich stark.

SUMMARY

Influence of the chemical composition on transformation temperatures, and on partial and overall dilatations in the transformation region is presented in the paper for 11 ledeburite tool steel. In analyses of regression the following composition intervals are included: 0.85 to 2.18 % C, 4.29 to 12.7 % Cr, 0 to 6.4 % W, 0.01 to 5.15 % Mo, and 0.01 to 1.97 % V.

The determined regression relationships have a very high degree of determination (R^2) and relatively small standard error for the region of 95 % statistic reliability.

Transformations A_c and A_c depend mainly on carbon content and the maximum is exhibited at 1.4 to 1.6 % C. Lower and higher carbon values decrease the transformation temperatures. Carbide-forming elements influence the single transformation points in various ways and with dif-

ferent intensity as shown in nomograms and by the increase of the coefficient of determination for single elements.

Molybdenum has nearly no influence on transformation temperatures on heating but it has a very great influence during cooling. Thus hysteresis in the transformation region is highly enlarged.

Influence of vanadium is important in heating and in cooling, the highest influence has on the transformation point A_c where the minimum is reached at 0.5 % V while higher addition of vanadium intensively increases this temperature.

Tungsten highly enlarges the region of transformation temperatures.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье рассмотрено влияние химического состава на точки преобразования и на парциальные и общие дилатации в пределах преобразования 11-ти марок инструментальных сталей ледобуритного типа. В анализах регрессии включены следующие пределы содержания отдельных элементов: $C = 0.85 - 2.18 \%$, $Cr = 4.29 - 12.7 \%$, $W = 0 - 6.4 \%$, $Mo = 0.01 - 5.15 \%$, $V = 0.01 - 1.97 \%$.

Установленные регрессивные зависимости имеют очень высокую степень детерминации (R^2) и сравнительно низкую стандартную погрешность в области 95-ти % статистической надежности.

Точки преобразования A_c начало и A_c конец зависят главным образом от содержания углерода максимум которого находится при содержании 1.4 — 1.6 %. Снижение или увеличение углерода в отношении на это содержание снижает темп-ру точек преобразования. Карбидообразующие элементы влияют на отдельные точки

преобразования различно, или же с различной силой; это показано на рисунках при помощи номограмм. Влияние оказывает также увеличение коэффициента детерминации на отдельные элементы.

Молибден почти не оказывает влияние на темп-ру преобразования при нагреву, хотя очень сильно влияет на процесс точек преобразования при охлаждении. Таким образом в пределах преобразования значительно увеличивает гистерезис.

Влияние ванадия имеет значение при нагреве а также при охлаждении, но его решающее влияние главным образом на темп-ру преобразования A_c начало, при которой темп-ра преобразования с содержанием 0.5 % V имеет свой максимум, по мере увеличения содержания ванадия, температура преобразования сильно повышается.

Вольфрам значительно расширяет зону темп-ого преобразования.

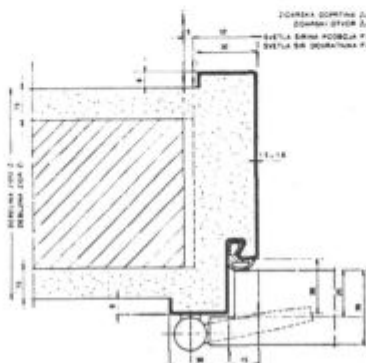
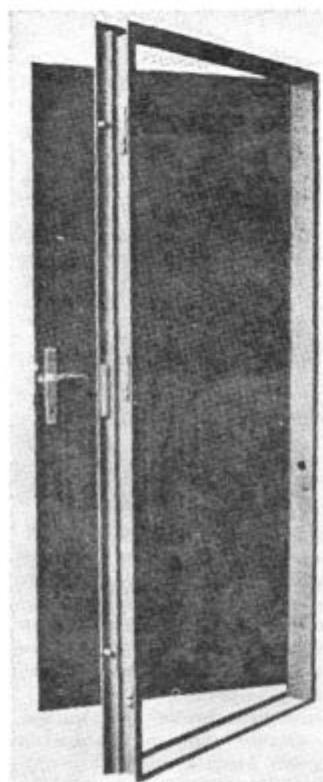
SLOVENSKE
ŽELEZARNE



ŽELEZARNA JESENICE

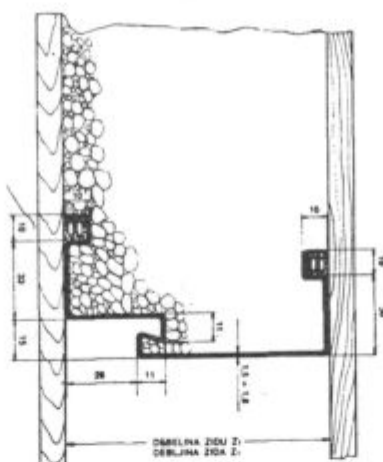
NOVI PROIZVOD METALNI DOVRATNIK

ARHITEKTI!
PROJEKTANTI!
INVESTITORI!
GRADJEVINCI!



MOKROMONTAŽNI DOVRATNIK

Mokromontažni dovratniki upotrebjavajo se kod klasične ugradnje s upotrebom bilo kakvog materijala, gde se radi s oblogom. Mogu se ugraditi odmah kod zidanja ili, pošto pustimo otvore u zidu, nakon zidanja s tim što ih najpre umetnemo i zatim zidove obložimo.



TUNELSKI DOVRATNIK

Dovratnik se postavi u pravilan položaj na određeno mesto. Zatim zid pokrijemo oplatom preko dovratnika. U utor dovratnika može se staviti sredstvo zaptivanja, koje sprečava prodor cementnog mleka. Polaganje tapeta vrši se do utora, gde su tapete zaključene i po utoru zalepljene. o želji korisnika moguće je montirati i drvene ukrasne letve, koje se vijcima pritrvrde na metalnu letvu dovratnika. U slučaju upotrebe u klasičnoj gradnji, obloga se ravna do gornjeg ruba dovratnika, tako da je širina dovratnika jednaka konačnoj debljini zida. Upotrebljiv je i kod klasične gradnje s ciglom i konačnim oblaganjem. Dovratnik nema sidra.

Mere vratnih krila Mere krila			Mere dovratnika Mere podboja				Mere zidarskih odprtina Mere zidarskih otvora				
širina širina	višina visina	K ₁	širina širina	višina visina	P ₁	P ₂	P ₃	za mokro montažo za mokru montažu		za suho montažo za suhu montažu	
								širina širina	višina visina	širina širina	višina visina
K ₁	K ₂	K ₁	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	Z ₂	Z ₃	Z ₂	Z ₁	
650	626	2000	602	632	1981	1996	676	2028	642	2003	
750	726	2000	702	732	1981	1996	776	2028	742	2003	
850	826	2000	802	832	1981	1996	876	2028	842	2003	

Svestrana upotrebljivost za:

industrijske zgrade — bolnice, klinike — turističke objekte — masovnu individualnu gradnju stanova — itd.

Prednosti: lakša, brža i jednostavna ugradnja — meko zatvaranje i odlično zaptivanje specijalnom zaptivnom gumom — pouzdana anti-korozijska zaštita — neosetljivi prema mehaničkim oštećenjima — standardne dimenzije

Kvalitetnejša toplotna obdelava izdelkov iz utopnih jekel

UDK: 669.14.018.456.2 : 621.78
ASM/SLA: TS J

Franc Uranc

Medtem ko so temperature posameznih faz toplotne obdelave navadno natančno določene s predpisi, ni tako tudi s časi. Čas ogrevanja je treba sproti predpisovati glede na velikost in obliko izdelkov, ki jih mislimo toplotno obdelati.

Težave lahko nastanejo tudi pri predpisovanju popuščnih temperatur, ki dokončno določajo trdnost in žilavost izdelka. Kadar je dopustno kaljenje v različnih ohlajevalnih sredstvih, imamo še eno neznanko toplotne obdelave več.

Na primeru izdelkov iz utopnih jekel smo prikazali vpliv dejavnikov toplotne obdelave in dimenzij ter oblik izdelkov na končno trdoto. Raziskali smo vse možne vzročne zveze in podali ustrezne korelacijske koeficiente. Podajamo tudi kratek pregled pomena velikosti korelacijskega koeficienta.

UVOD

Računalniška tehnika nam omogoča natančno in objektivno ovrednotiti kupe izkustvenih podatkov, ki jih drugače zaradi nepreglednosti ne bi mogli uporabiti za sistematsko izboljšavo tehnoloških postopkov.

Pri nas smo se lotili med drugim tudi statistične obdelave in računalniškega izračuna obstoječih predpisov toplotne obdelave. Ena od ožjih nalog s tega področja je izpopolnjevanje tehnologije toplotne obdelave vseh izdelkov iz utopnih jekel Utop Mo 1 (Č 4751) in Utop extra 2 (Č 5742). S primerno razvrstitvijo zbranih podatkov smo lahko analizirali pomembnost posameznih stopenj toplotne obdelave, oziroma dimenzij ter oblike izdelkov iz posameznih jekel. Računalnik nam je povedal, kako lahko še pripomoremo h kvalitetnejši, natančnejši toplotni obdelavi, katere pogoje moramo še natančneje predpisati, oziroma katere predpise moramo vestneje upoštevati kot do zdaj.

V kratkem prikazujemo logični postopek, ki privede po preprosti poti do tako koristnih sklepov.

1. Glavni vplivni dejavniki toplotne obdelave

Predpostavili smo, da so peči, v katerih ogrevamo izdelke za kaljenje in popuščanje, zadosti podobne med seboj in jih ni treba posebej upoštevati. Iz množice podatkov o toplotni obdelavi utopov, trnov, puš, recipientov smo najprej izbrali

tiste, ki občutno vplivajo na mehanske lastnosti izdelkov. Gotovo vplivajo na strukturo in lastnosti orodij temperature in časi ogrevanja ter popuščanja. Vpliv toplotne obdelave pa je določen z načinom, kako so izdelki vloženi v peč, kako veliki so in kakšno obliko imajo. Upoštevati moramo razlike, ki nastanejo, če smo predgrevali v eni ali v več stopnjah, popuščali enkrat ali večkrat. Da bi zajeli v računih vse te razlike, smo podatke o toplotni obdelavi, katere rezultati so nam že znani, primerno uredili.

2. Urejanje podatkov

Vse podatke, ki veljajo za toplotno obdelavo v globinskih pečeh, smo klasificirali po naslednjih kriterijih:

a) Vrsta jekla: Utop Mo 1, Utop extra 2, Utop extra 1.

b) Vrsta izdelka (oblika): trni, polni bati, recipienti, puše, utopni bloki.

c) Število izdelkov, ki so hkrati v peči — to je navadno določeno s težo odkovka, toda nujno ni.

d) Teže odkovkov — v glavnem so teže v analizi zajetih izdelkov do 1000 kg, zato težjih, ki so v manjših serijah, nismo obravnavali.

e) Kalilno sredstvo: zrak, komprimiran zrak, olje.

f) Podajanje, navajanje rezultirajočih trdot v istih enotah. Odločili smo se za enote HB.

3. Obdelava podatkov

Na osnovi zbranih podatkov smo izračunali regresije za statistični nivo 90 %. Glede na višino izračunanih vrednosti razmerja varianc F lahko določimo višino nivoja pomembnosti regresijskih enačb. Prostostne stopnje so 1 in $(n-1)$, pri čemer je število podatkov v eni koloni označeno z n .

Regresije smo računali tako, da smo upoštevali vse spremenljivke do druge stopnje in poleg tega določali tudi vplive naslednjih interakcij: teža odkovka in čas na kalilni temperaturi, zunanje mere izdelka in čas ogrevanja na kalilni temperaturi, interakcije teže in dimenzij izdelkov s časom in temperaturo popuščanja, interakcija časa ogrevanja na kalilni temperaturi in popuščne temperature. Število interakcij, ki bi se lahko še upravičeno upoštevale, je še večje, toda ne moremo si privoščiti velikega računa, če nimamo zelo veliko zbranih podatkov o toplotni obdelavi.

Kot smo pri naših računih ugotovili, so bile vse te domnevne interakcije malo pomembne.

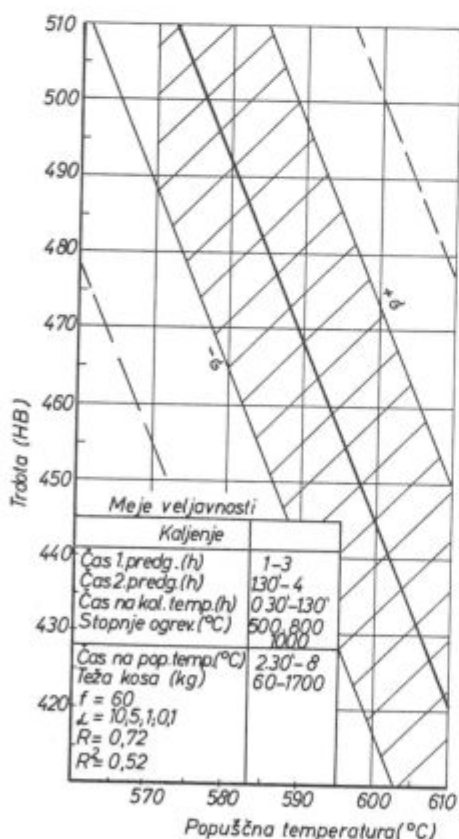
Franc Uranc, dipl. ing. metalurgije, raziskovalec v Železarni Ravne

To je razumljivo, saj imamo veliko možnosti variacij toplotne obdelave že, če spreminjamo popuščne temperature ter kalilna sredstva.

Rezultat računalniške obdelave je ugotovljena regresijska odvisnost trdote od popuščne temperature. Bolj poredko smo ugotovili regresijsko odvisnost trdote od dimenzij izdelka, kar je normalno, saj ta odvisnost tudi ni želena, temveč je samo posledica učinka mase in se pojavlja predvsem pri utopih, ki so kaljeni s komprimiranim zrakom.

V diagrame, ki predpisujejo toplotno obdelavo, smo vrisali pasove, znotraj katerih nastopa 68 % vseh vrednosti trdot. Takšno območje vrednosti imenujemo sigma pas. Ta je ožji za izdelke, ki jih kalimo na mirnem zraku, kot za tiste, ki jih kalimo s komprimiranim zrakom. (sl. 1 in sl. 2). Z izračuni smo dobili koeficiente determinacije, ki so tudi podani v diagramih. Koeficient determinacije r^2 pove, kakšna je trdnost povezave med neodvisno in odvisno spremenljivko. Ta koeficient je dejansko razmerje med raztrosom ali varianco, ki je odstranjena z variacijo in varianco izvernih podatkov. Ta raztros imenujemo σ^2 .

$$r^2 = \frac{\sum \hat{y}^2}{\sum y^2}$$

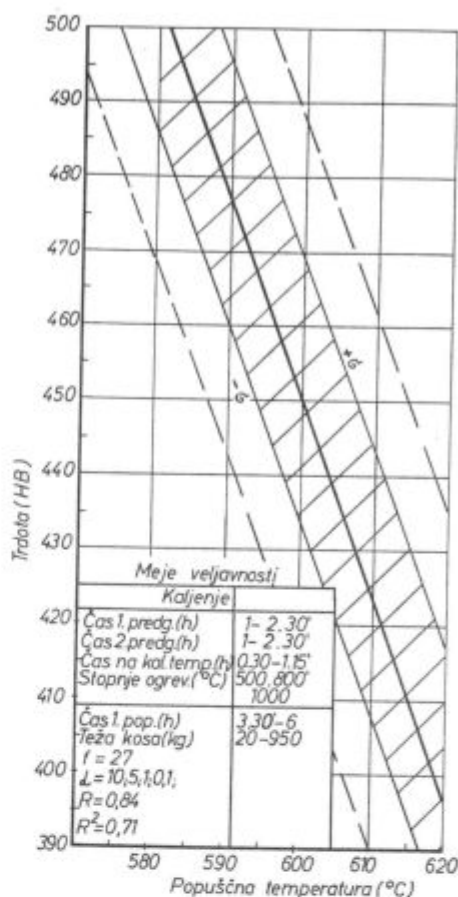


Slika 1

Toplotna obdelava trnov, polnih batov, puš in recipientov. Kaljenje s komprimiranim zrakom.

Fig. 1

Heat treatment of mandrills, massive pistons, bushes, and recipients. Quenched by compressed air.



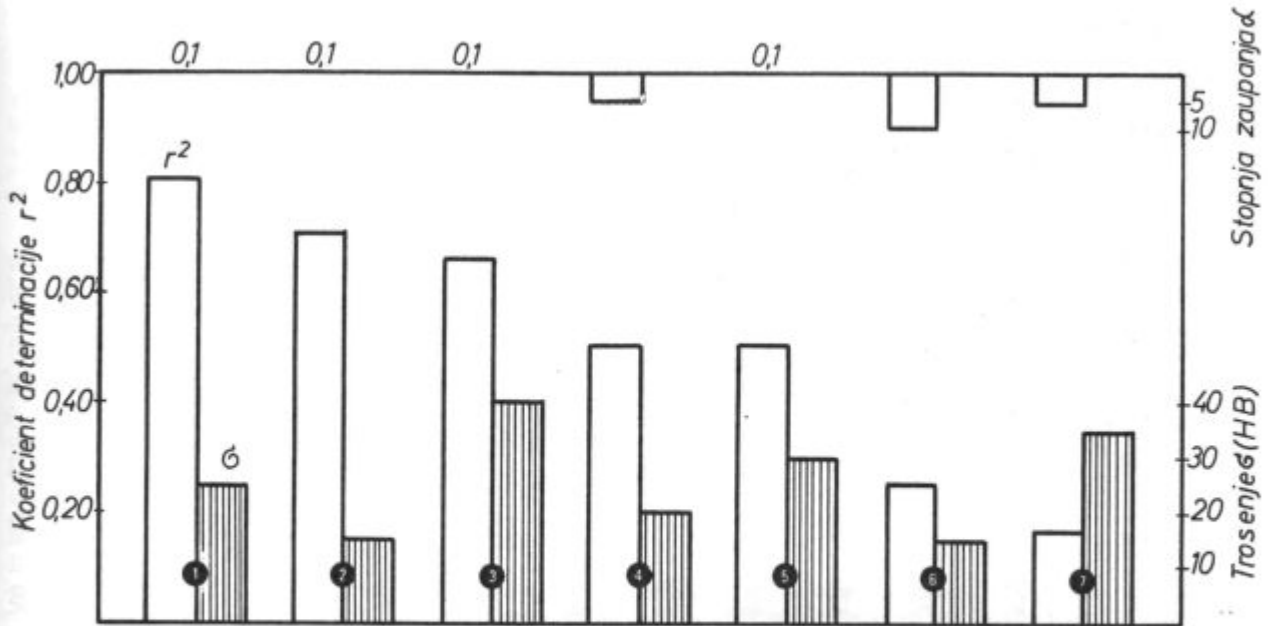
Slika 2

Toplotna obdelava trnov, polnih batov, puš in recipientov. Kaljenje na mirnem zraku.

Fig. 2

Heat treatment of mandrills, massive pistons, bushes and recipients. Quenched in air.

Korelacijski koeficient pove, kolikšen delež variacij je pojasnjen z regresijsko krivuljo. Diagram kaže samo korelacijsko krivuljo in je opremljen s korelacijskim koeficientom ali pa lahko kaže delež pojasnjenih vrednosti, torej popolnost prileganja krivulje resničnim podatkom. Na slikah vidimo poleg označenih prostostnih stopenj f tudi korelacijske koeficiente, ki so označeni z R . Da bi lažje razumeli podatke tabele in diagramov, si predstavljajmo pri korelacijskem koeficientu $R = 0,3$ ali manj, da ne obstaja pomembna odvisnost med spremenljivkami. Če je ta koeficient med $0,5$ in $0,7$ je zveza pomembna, pri $0,7$ do $0,9$ je tesna in nad $0,9$ je zelo tesna, skoraj funkcijska povezava, med obravnavanimi spremenljivkami. Natančnejše formulacije pa povedo, kakšen je ta koeficient, če ni korelacijske zveze. Če ni nikakršne korelacije, je za verjetnostno raven $0,10$ (to je 10 %) in prostostno stopnjo 20 korelacijski koeficient lahko do $0,36$, za prostostno stopnjo 50 pa $0,23$. Za verjetnostno raven $0,05$ pa je pri prostostni stopnji 20 koeficient samo $0,42$ in za prostostno stopnjo 50 samo $0,27$. Torej je v tem primeru samo $0,05$ možnosti, da se pojavi korelacijski koeficient,



Slika 3

Fig. 3

Raztros trdot in trdnost korelacijske zveze med trdoto in popuščno temperaturo.

1. — Puše in recipienti kaljeni na mirnem zraku.
2. — Trnji, bati, puše in recipienti kaljeni na mirnem zraku.
3. — Puše in recipienti kaljeni s komprimiranim zrakom.
4. — Trnji in polni bati kaljeni na mirnem zraku.
5. — Trnji, bati, puše in recipienti kaljeni s komprimiranim zrakom.
6. — Trnji in bati kaljeni s komprimiranim zrakom.
7. — Utopi in puše kaljeni s komprimiranim zrakom.

Scattering of hardness data and correlation between the hardness and the temperature of tempering.

- 1 — Bushes and recipients quenched in air
- 2 — Mandrils, pistons, bushes and recipients quenched in air
- 3 — Bushes and recipients quenched by compressed air
- 4 — Mandrils and massive pistons, quenched in air
- 5 — Mandrils pistons, bushes, and recipients quenched by compressed air
- 6 — Mandrils and pistons quenched by compressed air
- 7 — Dies and bushes quenched by compressed air

ki bo večji od 0,27. Iz teh podatkov lahko sklepamo o pomembnosti naših vrednosti pri danih označenih prostostnih stopnjah in verjetnostnih ravneh. Verjetnostno raven, ki primerja dejansko porazdelitev podatkov s popolnoma naključno porazdelitvijo, opišemo s količnikom α . Če je ta količnik 10 % (ali 0,10), pomeni to, da je pomembnost korelacijske zveze na ravni 90 %.

Pri naših raziskavah smo ugotovili povsod pri visokem verjetnostnem nivoju in dovolj številnih prostostnih stopnjah tesno korelacijsko zvezo, saj je tudi pri verjetnosti 0,1 korelacijski koeficient nad 0,23. Zato lahko rečemo, da v danem območju raziskav zanesljivo obstajajo korelacijske zveze.

Slika 3 prikazuje statistična merila zanesljivosti toplotne obdelave obravnavanih izdelkov.

SKLEPI

Z analizami smo ugotovili nepravilnosti kot tudi pravilnosti pri toplotni obdelavi naših utopnih jekel. Ker nismo ugotovili odvisnosti trdote od časov ogrevanj na kalilni temperaturi in tudi ne od časov popuščanj, smo lahko samo zadovoljni.

Lahko da so ti časi nekoliko predolgi, toda smo varni, kar je za prvo analizo ugodno. Daleč najpomembnejša neodvisna spremenljivka je popuščna temperatura. Precej rahla korelacijska povezava pa lahko pomeni, da:

1. popuščanje še ni zadosti natančno predpisano,
2. predpisov ne upoštevamo tako vestno, kot bi jih lahko,
3. morda preveč dejavnikov medsebojno vpliva, tako da tega z obstoječim številom podatkov ne moremo iz vrednotiti.

Računi jasno pokažejo, da dobimo enakomernje rezultirajoče trdote po kaljenju na mirnem zraku kot po kaljenju s komprimiranim zrakom. V prvem primeru nastopajo večji koeficient determinacije in manjši standardni odkloni.

Vpliv dimenzij in oblik izdelkov ni pomemben, saj lahko izračunamo skupne krivulje za različne izdelke, ki so iz enakega jekla in kaljeni v istem kalilnem sredstvu. Odvisnost trdote je podobna pri manjših in večjih, pri okroglastih in oglatih izdelkih vsaj od popuščne temperature, če že ne od drugih pogojev toplotne obdelave.

Tabela: Trdnost korelacijske povezave med pogoji toplotne obdelave in končno trdota

I z d e l e k	Teža (kg)	Jeklo	Kaljenje			Popušč. temp. (°C)	Čas 1. pop. (h)	Odvisnost	Koeff. deter. r^2	Stev. prost. stopenj
			1. predgr.	2. predg.	Čas ogrevanja (h) na kalil. temper.					
Puše, recipient	7—1700	Utop Mo 1	1 do 3	1 do 3,5	0,5 do 1,5	570—610	2,5—8	Trdota — pop. temp.	0,66	39
Puše, recipient	150—950	Utop Mo 1	1,5 do 2,5	2 do 2,5	1 do 1,25	570—620	3,5—6	Trdota — pop. temp.	0,81	18
Trni, polni bati	60—850	Utop Mo 1	1 do 3	1,5 do 4	0,5 do 1,5	570—600	3—7	Trdota — pop. temp.	0,17	21
Trni, polni bati	20—360	Utop Mo 1	1 do 2,5	1 do 2,5	0,5 do 1,25	590—615	4—6	Trdota — pop. temp.	0,51	9
Trni, bati, puše recipienti	60—1700	Utop Mo 1	1 do 3	1,5 do 4	0,5 do 1,5	570—610	2,5—8	Trdota — pop. temp.	0,52	60
Trni, bati, puše recipienti	20—950	Utop Mo 1	1 do 2,5	1 do 2,5	0,5 do 1,25	580—620	3,5—6	Trdota — pop. temp.	0,71	27
Utopi	50—1850	Utop ex. 2	1 do 3	2,5 do 4,5	1 do 2,5	560—670	3—12	Trdota — mera	0,31	98
Utopi in puše	50—1850	Utop ex. 2	1 do 3	1 do 2,5	1 do 2,5	550—670	3—12	Trdota — pop. temp.	0,25	107
Utopi	240—1400	Utop ex. 2	2 do 3	1,5 do 2	1,5 do 2	580—640	7—10	Trd.-čas 2. pop.	0,21	18
Utopi	60—1500	Utop ex. 2	1 do 3	2 do 3	1 do 1,5	560—580	4—8	Trd.-čas 1. pop.	0,51	12
Utopi	500—1300	Utop ex. 1	1 do 3	2 do 3	1 do 1,5	650	7—10	Trd.-čas 2. pop.	0,35	9

Opomba: Na kalilno temperaturo se ogreva preko stopenj na 500, 800 in 1000° (izdelki iz Utop Mo 1) oz. 500, 700 in 890° C (izdelki iz Utop ex. 2)

ZUSAMMENFASSUNG

Es wird der Einfluss verschiedener Einflussfaktoren, der Wärmebehandlung, der Grösse und der Form der Erzeugnisse aus Gesenkstahl auf die Härte dieser Erzeugnisse dargestellt. Für die gegebene Betriebspraxis ist mittels der mathematisch statistischen Analyse und durch die Bestimmung der Korrelationskoeffiziente festgestellt

worden, dass die Härte nur von der Anlasstemperatur beeinflusst wird und dass deren Einfluss nicht vollkommen bestimmt ist. Diese Unbestimmtheit kann von den subjektiven wie von den objektiven Einflüssen abhängig sein.

SUMMARY

Influence of various parameters of heat treatment, and of the size and the shape of the steel products on their hardness is presented in the paper. The normal production program was analyzed statistically. The calculated correlation coefficients showed that only the temperature

of tempering influences the hardness but its influence is not clearly defined. Undeterminable relationships may be caused by subjective and objective conditions in the heat treatment.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье рассмотрены разные влияния, которые оказывает термическая обработка и форма изделий из штамповочных сталей на твердость этих изделий. На примере из промышленной практики с точным статистическим анализом и исчислением коэффи-

циентов корреляции определено, что на твердость изделия влияет только темп-ра отпуска и, что это влияние пока еще недостаточно выяснено. Выяснение не выполнено вследствие субъективных и объективных влияний термической обработки.

SLOVENSKE
ŽELEZARNE



ŽELEZARNA
JESENICE

Proizvaja:

debelo, srednjo in tanko pločevino

dinamo trakove

hladno valjane trakove

vlečeno, brušeno in luščeno jeklo

vlečeno žico

vlečeno žico — patentirano

pleteno patentirano žico za prednapeti beton

hladno oblikovane profile

cestne varnostne ograje

jeklene podboje za vrata

dodajni material za varjenje:

- oplaščene nelegirane elektrode za obločno varjenje
- oplaščene nizkolegirane elektrode za obločno varjenje
- oplaščene visokolegirane elektrode za obločno varjenje
- oplaščene elektrode za navarjanje
- oplaščene posebne elektrode za obločno varjenje
- žice za plamensko varjenje
- žice za varjenje v zaščitnem plinu
- žice za avtomatsko obločno varjenje pod praškom
- praški za avtomatsko varjenje
- tehnični plin ARGON

žičnike

jekleni sekanec

Vpliv preoblikovanega materiala na snovanje procesov hladnega masivnega preoblikovanja jekel

UDK: 669.14.018.233
ASM/SLA: CNg, G5

Karel Kuzman

Pomembnost uvajanja procesov hladnega masivnega preoblikovanja jekel v našo elektro in kovinsko predelovalno industrijo je nesporno dokazana. Namen pričujočega članka pa je opozoriti na posebnosti, ki jih zahtevamo od preoblikovanih materialov, da bi dosegli tehnološko zanesljivo in rentabilno proizvodnjo.

1. UVOD

Hladno masivno preoblikovanje jekel je industrijsko uporabno le tedaj, če smo v procesu ugodno rešili tri glavne probleme:

- preoblikovalna orodja so tako izdelana, da se ob visokih obremenitvah nenormalno ne trošijo;
- preoblikovani material prenaša velike trajne deformacije, ne da bi se kjerkoli po volumnu, in površini obdelovanca pojavile lokalne porušitve;
- obdelovanci so tako površinsko obdelani, da se mazalni film med orodjem in obdelovancem nikoli ne pretrga.

V zadnjem času so bila razvita posebna hitroreznata jekla, ki lahko prenašajo pritiske od 2300 do 2500 N mm⁻², pri tem pa ostanejo še dovolj žilava. Prav tako se da z nitriranjem povečati njihovo odpornost proti obrabi. Deli orodij, pri katerih se ne zahteva večja žilavost ali upogibna trdnost in se dajo dovolj togo vgraditi, pa se izdelujejo iz karbidnih trdin, ki dovoljujejo tlačne obremenitve do 3000 in 3500 N mm⁻², njihova obraba pa je povprečno desetkrat manjša od obrabe jeklenih orodij.

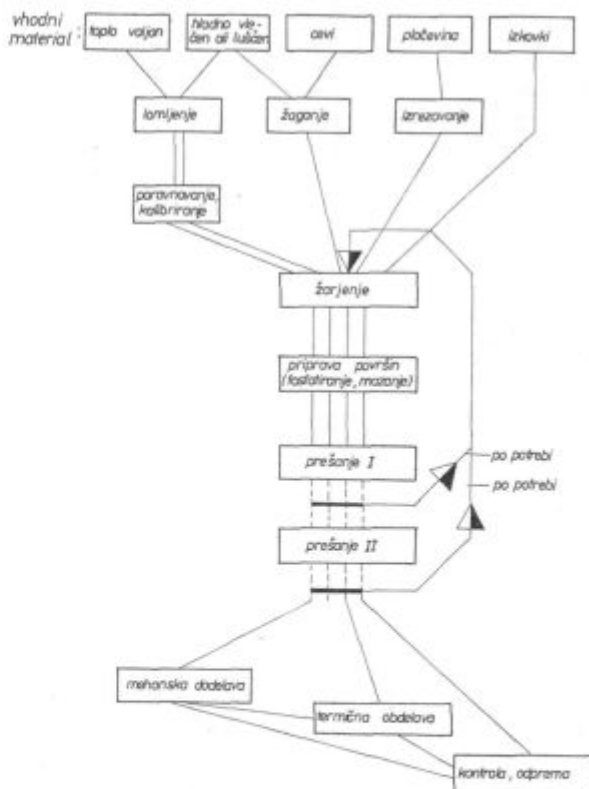
Orodja so kljub visokim trdnostnim kvaliteta zelo močno obremenjena, včasih dosega delovne napetosti 90 % njihove zrušilne trdnosti. Zato je razumljivo, da sprememba preoblikovalnega pritiska za okoli 10 % lahko poveča ali zmanjša obstojnost orodij, povečanje obremenitve za 20 do 40 % pa zelo pogostokrat vodi do njihove takojšnje porušitve. Iz tega pridemo do logičnega zaključka, da je rentabilnost hladnega preoblikovanja izredno odvisna od pravilne zasnove postopka ter kasneje med proizvodnjo od dosledne tehnološke discipline. Ker so obremenitve orodij poleg tornih pogojev med orodjem in obdelovancem odvisne tudi od preoblikovalnih odporov materiala, ki jih opisujemo s krivuljo plastičnosti (1), je

dovolj utemeljena zahteva, da je treba za vse obravnavane materiale poznati krivuljo plastičnosti, obenem pa se truditi, da bi ta krivulja ležala čim nižje. Znižanje krivulje le za nekaj odstotkov vnaša v proces večjo varnost ter boljše obstojnosti orodij.

Pri snovanju tehnoloških postopkov moramo poleg obremenitve orodij, dovoljenih deformacij materiala upoštevati še končno stanje izdelka. Čestokrat se namreč za kakšen izdelek zahteva, da mora imeti predpisano trdnost. Tedaj vzamemo mehkejši osnovni material in ga s hladno predelavo spravimo v željeno stanje. Pri tem bo preoblikovanje potekalo ob ugodnejših nižjih pritiskih.

Redkokdaj se končna oblika obdelovanca doseže z eno samo operacijo. Običajno so izdelki

POTEK PROCESA HLADNEGA PREŠANJA



Slika 1
Potek procesa hladnega prešanja.
Fig. 1
Cold pressing process

Mag. Karl Kuzman, dipl. ing. str., Unior — kovaška industrija Zreče

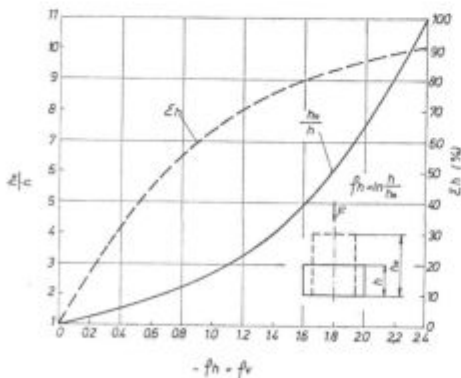
takih oblik, s takimi spremembami presekov, da je treba oblikovanje opravljati postopoma, ker moramo upoštevati obrabo in obremenitve orodij, pogoje mazanja ter končno stanje obdelovanca. Pri takšnem postopnem oblikovanju torej tehnologijo sestavljajo zanke, ki so vedno sestavljene iz najmanj treh operacij: žarjenje (mehko ali napestno), priprava površin ter prešanje, kar je prikazano na sliki 1.

2. Dopustne deformacije

Postopki hladnega masivnega preoblikovanja so pogojeni tudi s sposobnostjo obdelovanega materiala, da brez porušitev prenese velike deformacije. Že pri hladnem nakrčevanju glav vijakov se pojavljajo dokajšnje deformacije, saj niso redki primeri, ko je razmerje med višino surovca in višino končne glave vijaka 4:1, kar ustreza okoli 75 % deformaciji. V plastomehaniki se uporablja računanje z logaritmičnimi deformacijami, ker velja, da je zaradi nestisljivosti materiala v plastičnem področju vsota vseh logaritmičnih deformacij enaka ϕ . Za povezavo z ostalimi načini izražanja deformacij je podana slika 2, kaj več pa je mogoče najti v naših učbenikih (2), (3), (4).

Največji delež novejših postopkov preoblikovanja predstavljajo različne kombinacije med protismernim in istosmernim iztiskavanjem. Na slikah 3 in 4 so podani pritiski, ki obremenjujejo pestiče pri iztiskavanju različnih vrst jekel, in to v odvisnosti od stopnje deformacije.

V uvodu smo že omenili, da smo pri snovanju tehnologije čestokrat omejeni s prevelikimi pritiski na orodje, predvsem na pestiče. To je posebno kritično pri protismernem iztiskavanju, kjer pri majhnih in razumljivo večjih deformacijah obremenitve močno naraščajo. Tako pri protismernem iztiskavanju jekla Č. 1431 nikoli ne moremo priti izpod 2400 N/mm², pri Č. 1221 pa ne izpod 1700 N/mm².



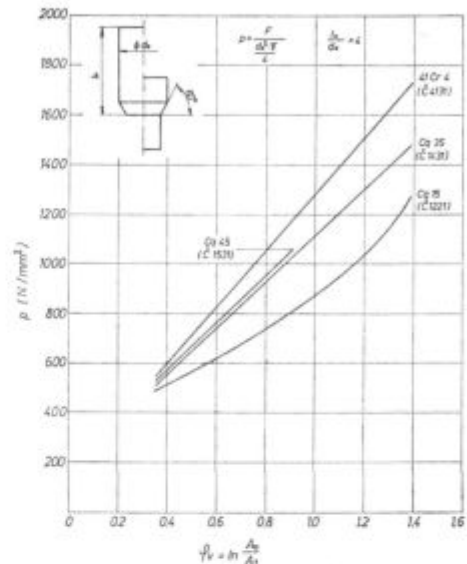
Slika 2

Odvisnost specifične deformacije ϵ_h in razmerja višin h_0/h od logaritmične deformacije višine ϕ_h pri nakrčevanju cilindričnega preizkušanca.

Fig. 2

Relationship between the specific deformation ϵ_h and the height ratio h_0/h , from the logarithmic deformation of height ϕ_h in compression of cylindrical sample.

Popolnoma drugačna stvar pa je pri istosmernem iztiskavanju. Na sliki 3 vidimo, da tudi pri jeklu Č 4131 in deformaciji $\phi_v = 1,4$ ($\Sigma A = 75\%$) obremenitev pestiča ne presega 1800 N/mm². V tem primeru je tehnologija omejena samo s sposobnostjo preoblikovanega materiala, z nevarnostjo pojavljanja razpok. Razumljivo je, da mora biti pri tem tudi geometrija matrice ustrezna, površine orodij visokokvalitetno polirane, surovci površinsko obdelani, . . .

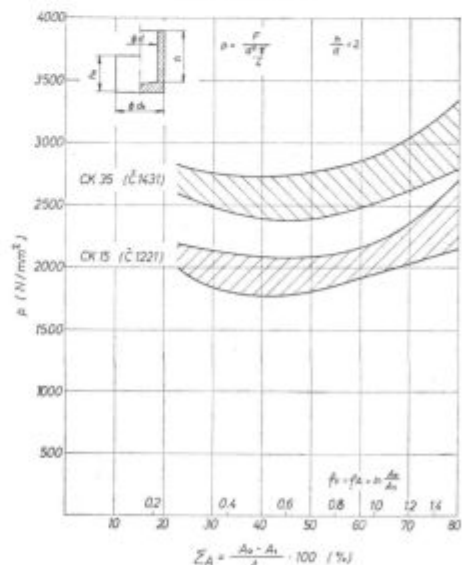


Slika 3

Specifični pritisk na pestič p pri istosmernem iztiskavanju polnih teles po Kastu (5).

Fig. 3

Specific punch pressure p in forward extrusion of rods by Kast (5).



Slika 4

Specifični pritisk na pestič p pri protismernem iztiskavanju dveh vrst jekla po Kastu (6).

Fig. 4

Specific punch pressure p in backward extrusion of two steels by Kast (6).

Kakšni naj bodo torej kriteriji, po katerih bomo spoznali, ali je jeklo ustrezno za hladno masivno preoblikovanje? Kakšni naj bodo prevzemni preizkusi, na podlagi katerih bomo vnaprej ocenjevali kvaliteto materiala, da ne bomo šele tedaj ugotovili, da material ne ustreza, ko bodo iz preše prihajali defektni izdelki ali pa ko se bo orodje nenadoma porušilo?

Vsekakor se ne moremo sklicevati na tlačni preizkus po JUS C A4 006. Ta predpisuje višino preizkušanca enako njegovemu dvakratnemu premeru, kar zahteva posebno izvedeno orodje, odlično paralelnost, če nečemo, da pride do uklona preizkušanca. Prav tako ta standard ne navaja načina mazanja tlačnih ploskev. Ob pogojih slabega ali celo suhega trenja dobi preizkušavec močno sodčkasto obliko in zelo komplicirano deformacijsko stanje, zato sprememba višine ni ustrezno merilo o preoblikovalnih sposobnostih materiala (7).

Standard niti ne pojasnjuje, kakšne deformacije morajo doseči posamezni materiali, da so sposobni za preoblikovanje v hladnem.

Ustreznejši tlačni preizkusi naj potekajo tako, da je deformacija čim bolj homogena, kar je mogoče doseči le z odličnim mazanjem, z brušenimi kontaktnimi ploskvami orodij in obdelovancev ter z višinami preizkušancev $h_0 = 1,2 \div 1,5 d_0$. Kot mazivo lahko uporabljamo 0,05 do 0,20 mm debele teflonske folije (preizkus moramo večkrat prekiniti, ker preizkušavec prestriže folijo, pa jo moramo nadomestiti z novo), lahko uporabljamo razne paste ali prahove na bazi MoS_2 ali pa preizkušance fosfatiramo in namažemo s posebnimi olji, mazivi z MoS_2 ali mili.

Kakšno deformacijo pa moramo doseči pri tlačnem preizkusu, da bomo lahko sklepali, če je jeklo sposobno za hladno predelavo? O tem se po svetu veliko razpravlja, niso še postavljene absolutne meje.

Tudi na seminarju na Institutu za preoblikovanje na tehnični univerzi v Stuttgartu, ki je bil od 26. do 28. 6. 1975 in je bil posvečen problemom hladnega masivnega preoblikovanja kovin (udeležilo se ga je veliko raziskovalcev in uporabnikov), so veliko govorili ravno o takšnih problemih. Končni zaključek diskusij je bil, da je osnovni pogoj za osvajanje novih tehnologij hladnega masivnega preoblikovanja resnično dobro sodelovanje med proizvajalcem in predelovalcem jekla. Ta dva morata na podlagi osnovnih preizkusov in kritične analize proizvodnih rezultatov sestaviti prevzemne pogoje za jeklo. Ti prevzemni pogoji so lahko različni za enako kvaliteto jekla, ker so pač prirejeni različnim pogojem predelave.

Postopki nakrčevanja in istosmernega iztiskavanja n. pr. zahtevajo posebno kvaliteto površino, postopki z visokimi obremenitvami orodij nižjo krivuljo plastičnosti, ki je pogostokrat dosegamo z vsebnostjo ogljika blizu spodnje dovoljene meje; postopki z ozkimi višinskimi tolerancami izdelkov zahtevajo čim manjše razlike med krivuljami plastičnosti znotraj šarže ali med posameznimi

šaržami. Včasih mora biti jeklo posebno čisto, drugič površinsko le minimalno razogljčeno.

Jekla, ki bi ustrezala vsem navedenim zahtevam, je mogoče izdelati, bila bi idealna, toda po mnenju razpravljalcev iz velikih zahodnoevropskih podjetij bi bila odločno predraga in zato industrijsko neuporabna.

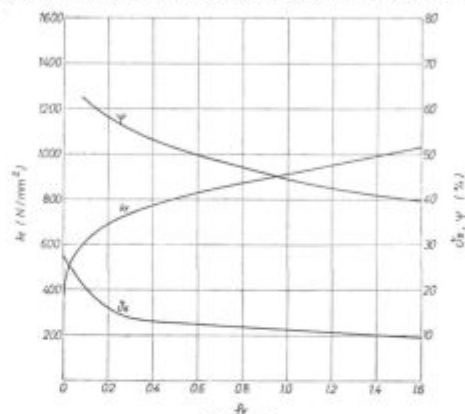
Kljub vsemu, da naj bodo tudi maksimalne deformacije stvar dogovora, pogledimo nekaj splošnih podatkov o tem, kakšne deformacije se dosega pri običajnih postopkih preoblikovanja, ki jih morajo obdelovanci brez težav prenesti. Tako podaja tabela 1 podatke po Gentsch-u (8), kjer se jasno vidi, da so največje deformacije zopet odvisne od vrste postopka.

Po DIN 1654 se mora preizkušavec z $h_0 = 1,5 d_0$, brez razpok nakrčiti na $h = 0,5 d_0$, kar ustreza deformaciji $\varphi_v = 1,1$. V knjigi (9) pa je navedeno, da je za izdelavo nekaterih glav vijakov potrebno, da osnovni material pri tlačnem preizkusu prenese deformacijo $\varphi_v = 1,5$. (temu ustreza $\Sigma_{\theta} = 77\%$). Standard niti ne pojasnjuje, kakšne deformacije morajo doseči posamezni materiali, da so sposobni za preoblikovanje v hladnem.

Prav tako je v knjigi (9) obravnavan tipski preizkus, kjer se preizkušanci $\varnothing 10 \times 16$ nakrčujejo s silo 20 Mp. Višina pri končni sili je nato merilo preoblikovalnosti materiala. Če se preizkus ustavi (zaradi razpoke ali pa je bila že dosežena maksimalna sila), pri $h = 8 \div 10$ mm, je material zelo slab; pri $h = 2 \div 4$ mm ($\varphi_v = 1,4 \div 2,1$) pa zelo dober. Ker je končna višina seveda tudi odvisna od trdnostnih razmer, od krivulje plastičnosti, je ustrezna modifikacija tega preizkusa zaradi svoje enostavnosti zelo primerna za dogovorjeni prevzemni preizkus med proizvajalcem in predelovalcem jekla.

3. Mehanske lastnosti

Znano je, da se s hladno deformacijo spremeni tudi mehanske lastnosti kovin. Poveča se nji-



Slika 5

Mehanske lastnosti jekla Cq 45 (C.1531) v odvisnosti od deformacije v hladnem stanju po VDI (10). Jeklo sestave 0,47 % C, 0,69 % Mn, 0,20 % Cr, 0,24 % Mo, 0,026 % P, 0,026 % S je bilo mehko žarjeno pri 690° C.

Fig. 5

Mechanical properties of Cq 45 steel (C.1531) depending on cold deformation according to VDI (10). Steel with 0,47 % C, 0,69 % Mn, 0,20 % Cr, 0,24 % Mo, 0,026 % P, and 0,026 % S was soft annealed at 690° C.

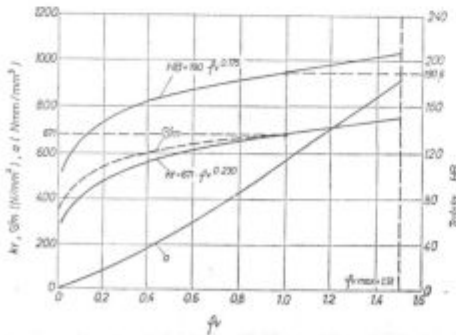
hova trdnost, meja plastičnosti, trdota, zmanjšata pa se razteznost in kontrakcija. Pri hladnem masivnem oblikovanju imamo opravka z velikimi deformacijami, pa so zato tudi spremembe mehanskih lastnosti dokaj velike. Tako je npr. iz slike 5 razvidno, da se deformacijska trdnost k_f , ki jo lahko imenujemo tudi meja tečenja, s 360 N mm^{-2} v začetnem stanju poveča ob deformaciji $\varphi_v = 1,6$ na 1030 N mm^{-2} ali skoraj za trikrat. Pri tem se je kontrakcija zmanjšala za polovico, razteznost pa za dve tretjini.

Prav tako se z naraščajočo deformacijo povečuje tudi trdota preoblikovanega materiala. Na sliki 6 je prikazana sprememba mehanskih in preoblikovalnih lastnosti domačega jekla, ki so bile ugotovljene s pomočjo diskontinuirnega tlačnega preizkusa, opisanega v (1). Ker postaja material vedno manj žilav, se krivulja zrušilne trdnosti σ_m vedno bolj približuje krivulji tečenja k_f in pravimo, da ima jeklo vedno manj plastične rezerve.

V uvodu je bilo tudi že omenjeno, da je krivulja plastičnosti $k_f = k_f(\varphi_v)$ osnova za računanje preoblikovalnih sil in s tem za dimenzioniranje preoblikovalnih postopkov. Prav tako je krivulja plastičnosti najnatančnejša osnova za sklepanje o preoblikovalnih lastnostih materialov. Če imamo namreč za material, ki je v redni proizvodnji pokazal dobre rezultate, ki smo ga na primer šele dobili, iz njegove krivulje vnaprej zelo zanesljivo sklepamo o njegovem obnašanju v kasnejši predelavi.

Določanje krivulje plastičnosti je zvezano z nekaj posebno opreme in tehniko vrednotenja, kar razumljivo ni dosegljivo v vsakem podjetju. Zato smo pri naših preizkusih istočasno z zbiranjem podatkov za krivuljo plastičnosti merili trdoto preizkušancev in dobili odvisnost trdote od deformacije. Takšna krivulja se dobi zelo enostavno, saj je poleg merjenja trdote potrebno meriti le trenutne višine preizkušancev in iz njih izračunati primerjalno deformacijo. Ker pri tem ni potrebno poznati velikosti preoblikovalne sile, lahko za nakrčevanje vzamemo kateri koli preoblikovalni stroj.

Slabost krivulje trdote je, da je merjenje trdot zvezano s precejšnjim trosenjem. Med našimi pre-

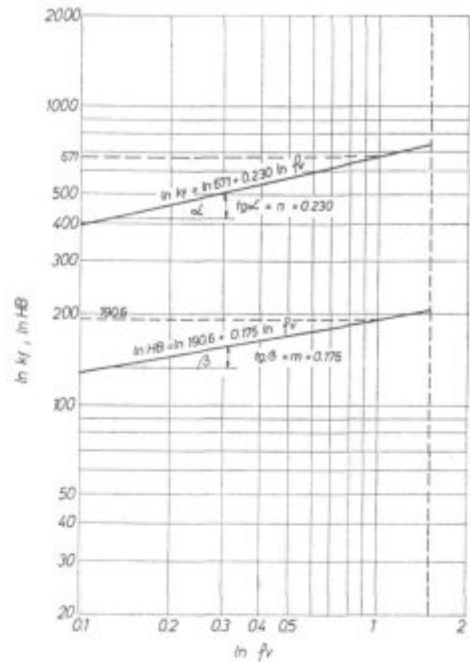


Slika 6

Preoblikovalne in mehanske lastnosti mehkožarjenega jekla C.0146 v odvisnosti od deformacije v hladnem stanju.

Fig. 6

Formability and mechanical properties of soft annealed C.0146 steel depending on cold deformation.

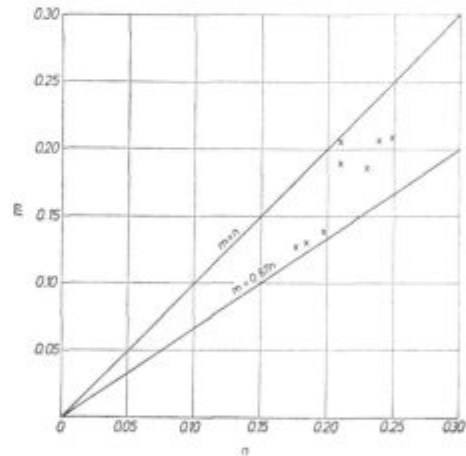


Slika 7

Krivulja plastičnosti in krivulja trdot za jeklo C.0146 v dvojnolgaritemskem diagramu.

Fig. 7

Plasticity and hardness curves of C.0146 steel in double logarithmic scale.



Slika 8

Odvisnost eksponenta krivulje trdot m od eksponenta krivulje plastičnosti n .

Fig. 8

Relationship between the exponent m of the hardness curves and the exponents n of the plasticity curves.

izkusi smo obdelovali veliko število vzorcev različnih vrst jekel. Nato smo za te podatke iskali, katera funkcija bi najboljše aproksimirala krivuljo plastičnosti, oziroma krivuljo trdot. Ugotovili smo, kar se tudi po svetu najpogosteje uporablja, da so za aproksimacijo najustreznejše potenčne funkcije. Te funkcije v dvojnolgaritemskem diagramu preidejo v premice, zato je statistično vrednotenje dokaj poenostavljeno (slika 7). Ko smo testirali jakost teh odvisnosti, smo za vse krivulje plastičnosti

nosti dobili korelacijske koeficiente, večje od $R = 0,95$, za krivulje trdot pa večje od $R = 0,85$.

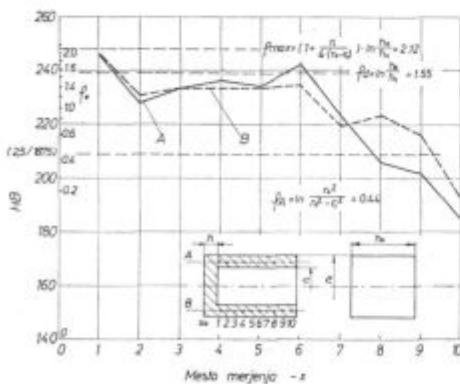
EkspONENT potenčne funkcije, ki aproksimira krivuljo plastičnosti in ki je v dvojno logaritemskem diagramu enak tangensu naklonskega kota premice, postaja zadnje čase vedno bolj pomemben kot merilo za preoblikovalne lastnosti materialov. Tako je iz plastomehanike poznano, da je **ekspONENT potenčne funkcije, pogosto imenovan tudi eksponent utrjevanja -n-** točno enak primerjalni logaritmični deformaciji tedaj, ko pri nateznem preizkusu sila doseže največjo vrednost.

Pri vseh preizkusih, ki smo jih opravili, smo ugotovili, da krivulja trdot manj strmo narašča kot krivulja plastičnosti, torej, da je eksponent $-m-$ vedno manjši od eksponenta $-n-$ (slika 8). To zanimivo odvisnost bomo v naših nadaljnjih raziskavah skušali podrobneje obdelati.

4. Uporaba krivulj trdote

Skoraj vsi hladno oblikovani kovinski izdelki, ki jih srečujemo v vsakodnevni praksi, so takih oblik, da bi zanje tudi z najmodernejšimi metodami plastomehanike ne mogli teoretično določiti deformacijskega stanja po njihovem celem volumnu. Zato moramo uporabljati različne eksperimentalne metode, od katerih je najenostavnejše, a žal tudi manj natančno, merjenje trdot (11). S to metodo ob znani krivulji odvisnosti trdote od deformacije nato na obdelovancih izmerjenim trdotam določimo deformacijo.

Natančno poznavanje deformacijskega stanja je zelo pomembno za preverjanje zanesljivosti izbranega tehnološkega postopka. Če imamo na primer izdelek iz jekla Č 0146 (slika 6), za katerega smo pri tlačnem preizkusu brez razpok dosegli $\varphi_v = 1,51$, nato pa smo pri merjenju trdot po celem preseku izdelka našli največ $HB = 200$, tedaj vemo, da smo material deformirali največ do $\varphi_v = 1,30$ in da imamo zato še precej rezerve. Pri trdotah nad $HB = 220$ pa že obstaja nevarnost prvih razpok.

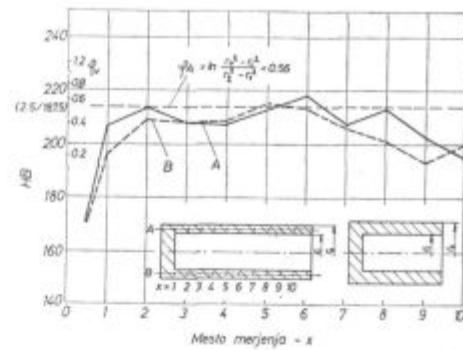


Slika 9

Potek trdote po preseku preizkušanca, izdelanega s postopkom protismernega iztiskavanja.

Fig. 9

Variation of hardness on the cross section of slug made by backward extrusion.



Slika 10

Potek trdote po preseku preizkušanca, izdelanega z vlekom z redukcijo stene.

Fig. 10

Variation of hardness on the cross section of slug made by draw wipe operation (reduction of the wall).

Čeprav se zdi protismerno iztiskavanje lončka s stališča deformacijskega stanja dokaj enostavno, vidimo iz slike 9, da to ni res. Največje deformacije dosežemo pri prehodu iz dna v steno lončka, potem pa se proti vrhu lončka vedno bolj zmanjšujejo. Takšno sliko nam daje tudi merjenje trdot. S pomočjo znane odvisnosti med trdoto in deformacijo, ki je na sliki tudi pokazana, lahko sedaj določimo dosežene deformacije.

Največja deformacija je po Dipperju (12) $\varphi_{max} = 2,12$, ki smo jo na navedenem mestu tudi dosegli. Prav tako se izračunana deformacija dna dokaj dobro ujema z izmerjeno. Deformacija prečnega preseka φ_A je s stališča merjenja trdot najslabše definirana vrednost. Obravnavanje podanega primera lahko zaključimo s podatkom, da smo pri tlačnem preizkusu osnovnega materiala dosegli $\varphi_{v,max} = 2,4$, kar pove, da so preoblikovalne sposobnosti že dokaj izčrpane, uporaba slabšega materiala pa bi bila problematična.

Pri postopkih, kjer so deformacije po volumnu obdelovanca bolj enakomerne, kot je to pri vlečenju žice, izdelavi vijakov in matic, vleku z redukcijo stene (slika 10), pa z znano krivuljo trdot lahko teoretično dokaj natančno vnaprej določimo, kakšno trdoto, oziroma trdnost bomo dobili po preoblikovanju. Če cevki na sliki 10 odstružimo dno in poravnamo vrhni del, dobimo celoten volumen z zrušilno trdnostjo $\sigma_m = 700 + 800 \text{ N mm}^{-2}$, ki smo jo dosegli po deformaciji preseka $\varphi_A = 0,56$ iz materiala, ki je v mehko žarjenem stanju imel $\sigma_v = 370 \text{ N mm}^{-2}$, in $\sigma_m = 520 \text{ N mm}^{-2}$.

5. Krivulje plastičnosti in toplotna obdelava

Omenili smo že, da krivulja plastičnosti služi za računanje preoblikovalnih sil, obenem pa opisuje preoblikovalne sposobnosti materiala, kajti konča se pri deformacijah, kjer se pojavijo prve razpoke, torej tam, kjer je plastičnost materiala popolnoma izčrpana. Ker pa so preoblikovalne spo-

sobnosti precej odvisne tudi od toplotne obdelave preoblikovanega jekla, se zadnje čase s krivuljami plastičnosti ocenjujejo tudi načini toplotne obdelave.

Osnovni problem jekel za hladno masivno preoblikovanje je v tem, da naj bi vsebovala čim več

perlita v kroglasti obliki, torej da bi jekla imela čim višjo stopnjo sferoidizacije. Toda stopnja sferoidizacije narašča z daljšimi časi žarjenja, kar pa predstavlja večje stroške.

S tega stališča zato ni absolutnega merila, kakšna mora biti toplotna obdelava jekel za hladno

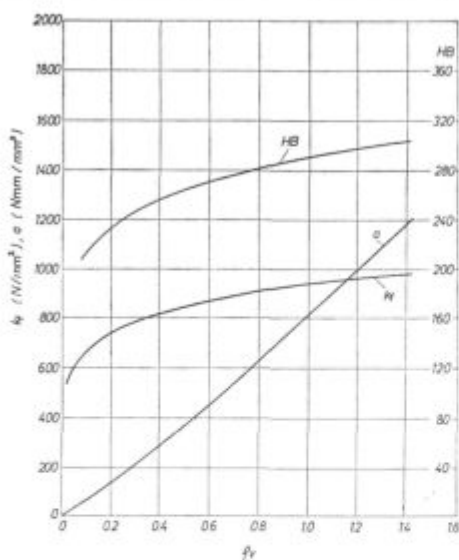
Tabela 1 — Približno rentabilno dosegljive specifične in logaritmične deformacije pri hladnem iztiskavanju različnih kovin

material	istosmerno iztiskavanje			protistosmerno iztiskavanje		
	ϵ_A [%]	ϵ_s [%]	φ_g	ϵ_A [%]	ϵ_s [%]	φ_g
Č. 1120, Č. 1121, Č. 1220, Č. 1221	85	75	2,4	75	55	1,4
Č. 4320, Č. 4321, Č. 4120	80	65	1,7	70	45	1,2
Č. 1330, Č. 1331, Č. 4730						
Č. 1531, Č. 1431, Č. 4130	75	55	1,4	65	40	1,1
Č. 4731, Č. 4131						
Pb, Sn, Al 99,99, Al 99,5	99	97	4,6	99	97	4,6
Al Mg1 Si1, Al Mn1	95	85	2,5	90	70	1,8
Al Cu5 Mg1, Zn	80	65	1,7	70	45	1,2

specifična deformacija prereza $\epsilon_A = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \cdot 100$ [%]

specifična deformacija stene $\epsilon_s = \frac{s_0 - s_1}{s_0} \cdot 100$ [%]

glavna logaritmična deformacija $\varphi_g = \ln \frac{A_1}{A_0}$

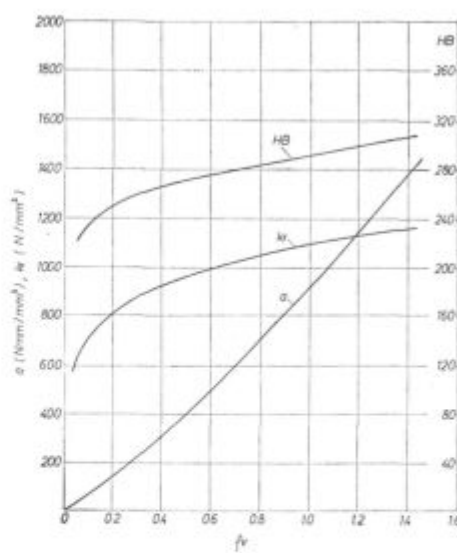


Slika 11

Trdota HB, deformacijska trdnost k_f in specifično deformacijsko delo a v odvisnosti od primerjalne logaritmične deformacije φ , za mehkožarjeno jeklo Č.4320.

Fig. 11

HB hardness, flow stress k_f and specific deformation energy related to the comparative logarithmic deformation φ , for soft annealed Č.4320 steel.



Slika 12

Trdota HB, deformacijska trdnost k_f in specifično deformacijsko delo a v odvisnosti od primerjalne logaritmične deformacije φ , za mehkožarjeno jeklo Č.4721.

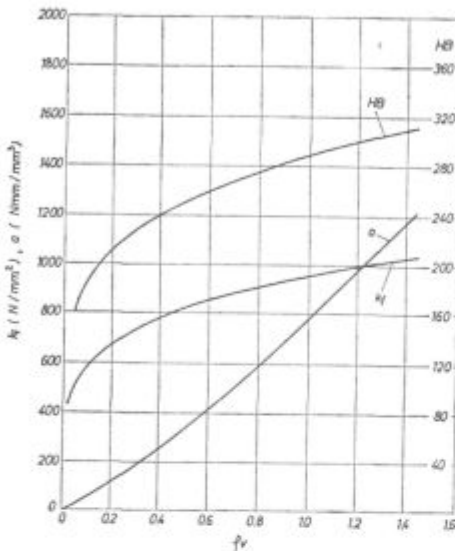
Fig. 12

HB hardness, flow stress k_f and specific deformation energy related to the comparative logarithmic deformation φ , for soft annealed Č.4721 steel.

preoblikovanje. Billigmann in Feldmann navajata (9), da je za običajne primere hladnega preoblikovanja zadovoljiva 70 % sferoidizacija, ki dopušča približno naslednje maksimalne deformacije:

jeklo

	Č. 1331 Ck 22	Č. 1431 Cq 35	Č. 1531 Cq 45	Č. 3830 42 Mn V 7
φ_{max}	2,0	1,8	1,9	1,8

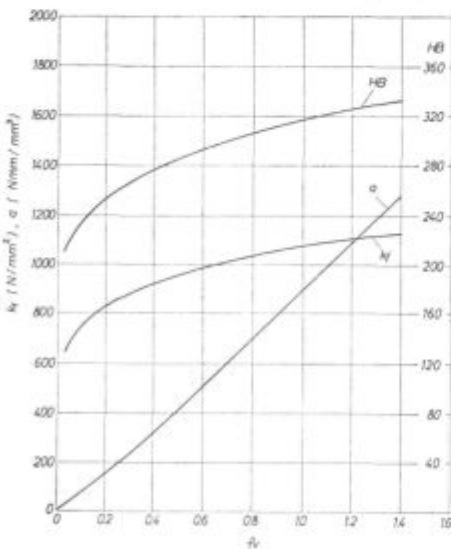


Slika 13

Trdota HB, deformacijska trdnost k_f in specifično deformacijsko delo a v odvisnosti od primerjalne logaritmčne deformacije φ_v za mehkožarjeno jeklo Cq 35 (Č.1431).

Fig. 13

HB hardness, flow stress k_f and specific deformation energy related to the comparative logarithmic deformation φ_v for soft annealed Cq 35 steel (C.1431).



Slika 14

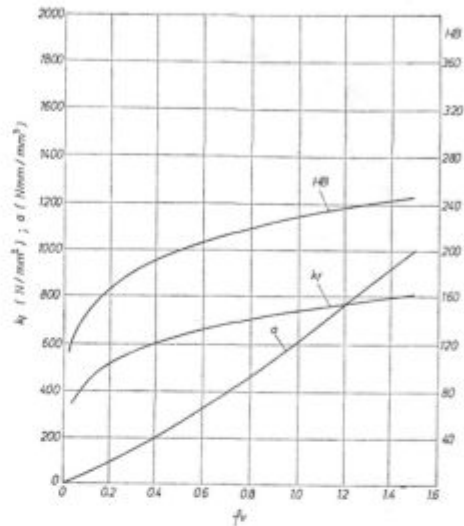
Trdota HB, deformacijska trdnost k_f in specifično deformacijsko delo a v odvisnosti od primerjalne logaritmčne deformacije φ_v za mehkožarjeno jeklo C.4731.

Fig. 14

HB hardness, flow stress k_f and specific deformation energy related to the comparative logarithmic deformation φ_v for soft annealed C.4731 steel.

Za preoblikovanje z večjimi deformacijami moramo stopnjo sferoidizacije bistveno dvigniti in podaljšati čase žarjenja.

Trajanje žarjenja se kaže tudi na legi krivulje plastičnosti. Tako navaja Jonck (13) (tabela 2), kako se deformacijska trdnost znižuje s podaljševanjem časov žarjenja. Iz podatkov se lepo vidi, da podaljšanje časa s 16 na 32 ur prinese znižanje

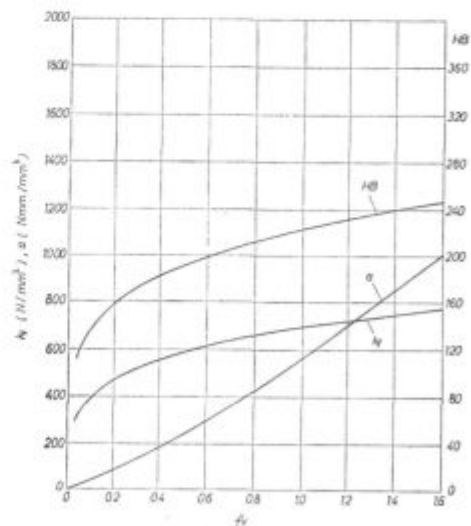


Slika 15

Trdota HB, deformacijska trdnost k_f in specifično deformacijsko delo a v odvisnosti od primerjalne logaritmčne deformacije φ_v za mehkožarjeno jeklo JMP - 15 (C.1221).

Fig. 15

HB hardness, flow stress k_f and specific deformation energy related to the comparative logarithmic deformation φ_v for soft annealed JMP-15 steel (C.1221).

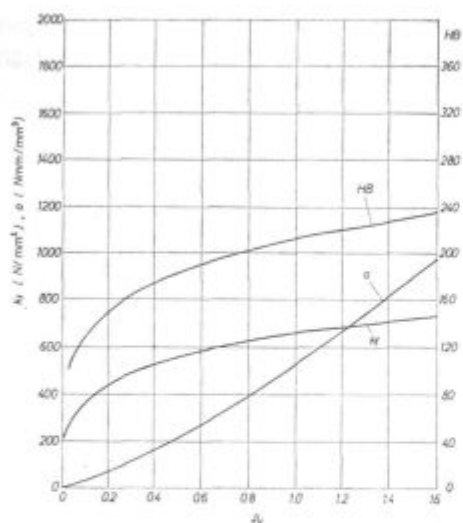


Slika 16

Trdota HB, deformacijska trdnost k_f in specifično deformacijsko delo a v odvisnosti od primerjalne logaritmčne deformacije φ_v za mehkožarjeno jeklo KONJAKI.

Fig. 16

HB hardness, flow stress k_f and specific deformation energy related to the comparative logarithmic deformation φ_v for soft annealed KONJAKI steel.



Slika 17

Trdota HB, deformacijska trdnost k_f in specifično deformacijsko delo a v odvisnosti od primerjalne logaritmične deformacije ϕ_v za mehkožarjeno jeklo KV 10.

Fig. 17

HB hardness, flow stress k_f and specific deformation energy related to the comparative logarithmic deformation ϕ_v for soft annealed KV 10 steel.

trdnosti le za en odstotek. Žal Jonck ni podal, kako se pri tem poveča stopnja sferoidizacije, oziroma maksimalna dopustna deformacija.

Zaključek tega kratkega razmišljanja je nedvoumen. Za dolge čase žarjenja se odločamo le tedaj, ko imamo opraviti z izrednimi deformacijami, bolj redko pa zato, da bi z njimi zmanjševali preoblikovalno silo. Prav tako je koristno kritično pregledati obstoječe postopke hladnega masivnega prenjimi je gotovo neka jtakšnih, ki bi brez posledic oblikovanja, ki že tečejo v naših tovarnah, med

Tabela 2 — Vpliv trajanja žarjenja pri 700° C na deformacijsko trdnost k_f pri $\phi_v = 0,5$ za jeklo 16 Mn Cr 5 (C. 4120) po Joncku (13)

začetno stanje	čas žarjenja (h)	k_f (N mm ⁻²)	indeks (%)
ferit + perlit	0	760	107,5
ferit + perlit	4	737	104
ferit + perlit	8	724	102,5
ferit + perlit	16	711	101
ferit + perlit	32	706	100
martenzit	4	800	113
martenzit	8	794	112,5
martenzit	16	764	108
martenzit	32	756	107

prenesli skrajšanje relativno zelo dragega žarjenja. Tudi tukaj je nesebično sodelovanje med proizvajalcem in predelovalcem jekla zelo zaželeno.

6. Sklep

S tem je bilo podano nekaj najvažnejših vplivov preoblikovanega materiala na procese hladnega masivnega preoblikovanja jekel. Zavedati se moramo, da so na tem področju tehnološki faktorji zelo močno med seboj povezani. Zato moramo vedno preveriti možnost, kakšne posledice, oziroma prihranke ima sprememba enega faktorja na ostale. Kot smo videli, je obraba orodij močno povezana s preoblikovalnimi lastnostmi materiala in s tem, kako smo dimenzionirali tehnološke zanke, opisane v sliki 1, torej, kolike so deformacije in pritiski v posameznih operacijah. Prav tako ni potrebno posebej poudarjati pomembnosti pravilnega oblikovanja orodij, njihove geometrijske natančnosti, upoštevanja elastičnih deformacij orodij in obdelovancev, priprave fosfatnega sloja ipd.

Tabela 3 — Mehanske in preoblikovalne lastnosti preizkušanih jekel

material	mehanske lastnosti v mehkožarjenem in nedeformiranem stanju				preoblikovalne lastnosti					
	σ_r [$\frac{N}{mm^2}$]	σ_m [$\frac{N}{mm^2}$]	δ_s [%]	ψ [%]	HB	k_{f0} [$\frac{N}{mm^2}$]	n	HB ₀	m	$\phi_{v \max}$
Č. 4120	374	524	30,0	69,4	132	850	0,214	—	—	1,23
Č. 4320	398	568	26,0	74,2	158	948	0,197	288,5	0,138	1,41
Č. 4721	510	650	23,7	67,2	187	1092	0,177	311,5	0,127	1,43
Č. 5420	510	615	21,4	68,9	187	994	0,147	—	—	1,11
Č. 1431	375	595	25,0	60,0	146	934	0,210	285,0	0,206	1,45
Č. 4731	506	671	25,0	67,2	173	1076	0,185	316,0	0,130	1,28
Č. 4582	417	637	40,0	68,5	179	1615	0,424	—	—	0,84
JMP-15	336	426	32,0	75,2	117	739	0,210	226,5	0,189	1,50
Č. 0146	279	349	40,0	71,6	106	671	0,230	190,6	0,175	1,51
KONJAKI	253	306	32,0	73,5	—	689	0,239	220,0	0,205	1,64
KV 10	275	393	32,0	67,5	111	660	0,248	212,5	0,208	1,68
KV 35	388	592	31,1	59,0	125	1023	0,203	—	—	1,32

Tabela 4. — Kemična sestava in čistoča preizkušanih jekel (ugotovljeno v raziskovalnem oddelku Zelezarne Jesenice)

material	kemična sestava [%]										čistoča			
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Al	Sn	sulf	A + C	B + D	skupaj
Č. 4120	0,18	0,25	0,52	0,025	0,016	0,63	0,12	0,31	0,048	—	<0,02	0,60	1,84	2,44
Č. 4320	0,16	0,25	1,16	0,019	0,008	0,92	0,12	0,56	0,042	—	<0,05	0,44	2,52	2,96
Č. 4721	0,22	0,28	1,10	0,024	0,057	1,32	0,12	0,24	0,010	—	0,05	0,64	1,84	2,48
Č. 5420	0,16	0,29	0,45	0,011	0,010	1,57	1,40	0,21	0,026	0,022	<0,10	0,24	2,12	2,36
Č. 1431	0,34	0,29	0,58	0,024	0,012	0,10	0,07	0,21	0,032	—	<0,05	0,64	1,72	2,36
Č. 4731	0,30	0,29	0,68	0,016	0,012	1,12	0,17	0,24	0,061	—	<0,10	0,48	1,80	2,28
Č. 4582	0,05	0,75	1,78	0,035	0,010	18,10	10,80	0,15	0,050	—	<0,10	0,52	1,76	2,28
JMP-15	0,15	0,09	0,35	0,013	0,018	0,09	0,05	0,20	0,045	—	<0,05	0,72	1,64	2,36
Č. 0146	0,05	0,03	0,34	0,013	0,055	0,05	0,05	0,14	0,002	0,018	<0,05	2,56	1,64	4,20
KONJAKI	0,02	0,02	0,25	0,015	0,032	0,07	0,08	0,20	—	—	<0,10	1,40	2,64	4,04
KV 10	0,01	0,02	0,74	0,008	0,016	0,05	0,06	0,29	—	—	<0,10	0,40	2,88	3,32
KV 35	0,35	0,35	0,64	0,012	0,026	0,43	0,07	0,16	0,034	0,022	<0,10	0,72	2,08	2,80

To razmišljanje je lahko tudi opozorilo, da postanejo tehnološki problemi zelo zamotani, ko uvajamo neko tehnologijo, licenco ali pa samo idejo, potem pa brez dovolj znanja, razmišljanja in podatkov začnemo uvajati različne spremembe na orodjih, materialih ali postopkih.

Na koncu so podane še mehanske in preoblikovalne lastnosti nekaterih jekel Zelezarne Jesenice, njihova kemična sestava in čistoča ter narisane krivulje trdot, deformacijske trdnosti in specifičnega deformacijskega dela v odvisnosti od primerjalne deformacije (slike 6, 11 do 17). Podatki so dobljeni s pomočjo diskontinuirnega tlačnega preizkusa, opisanega v literaturi (1).

Največje deformacije, $\varphi_{v, \max}$, ki smo jih dosegli pri preizkusih, žal še niso tiste, pri katerih bi se pojavile razpoke. Poizkuse smo morali prej prekiniti, ker nismo imeli dovolj močnega stroja ali pa je obstajala nevarnost (npr. pri Č. 4582), da bi se zaradi prevelikih pritiskov porušilo eksperimentalno orodje. Toda na podlagi kasnejših tehnoloških preizkusov smo večkrat ugotovili, da je z obravnavanimi materiali mogoče doseči deformacije, kot so podane v tabeli 1.

Navedeni podatki bodo prav tako dobra osnova za teoretično preverjanje obstoječih tehnoloških postopkov in za snovanje novih, članek pa naj bi bil potrdilo zahteve, da so uspehi hladnega masivnega preoblikovanja jekel mogoči le tedaj, ko dobro sodelujeta proizvajalec in predelovalec jekla. V tem primeru je bilo to med raziskovalnim oddel-

kom Zelezarne Jesenice, Uniorjem, kovaško industrijo Zreče in ob sodelovanju s fakulteto za strojništvo iz Ljubljane.

Literatura

1. Kuzman, K., Razingar, A.: Ocena sposobnosti domačih jekel za masivno preoblikovanje v hladnem. ZE ZB 7 (1973) št. 4
2. Goligranc, F.: Tehnika preoblikovanja. Univerzitetna založba, Ljubljana 1964
3. Prelog, E.: Elasto — in plastomehanika v strojništvu. Univerzitetna založba, Ljubljana 1966
4. Čizman, V.: Osnove teorije plastičnosti in preoblikovanja kovin. Univerzitetna založba, Ljubljana 1972
5. Kast, D.: Berechnung des Kraft — und Arbeitsbedarfs mit Hilfe des Umformwirkungsgrades beim Voll — Vorwärtsfließpressen von Stahl. Ind. — Anz. HGF 69/17
6. Kast, D.: Modelgesetzmäßigkeiten beim Rückwärtsfließpressen geometrisch ähnlicher Nöpfe. Ind. — Anz. HFG 70/46
7. Kuzman, K.: Uporabnost tlačnega preizkusa za ugotavljanje nekaterih preoblikovanih lastnosti jekel. VII Savj. proizv. maš. Novi Sad 1971
8. Gentzsch, G.: Kaltstauchen, Fließpressen, Massivprägen. VDI Düsseldorf 1968
9. Billigmann, Feldmann: Stauchen und Pressen. Carl Hanser, München 1973
10. Fließkurven metallischer Werkstoffe VDI 5-3201, Bl. A3, Düsseldorf 1957
11. Wilhelm, H.: Untersuchungen über den Zusammenhang zwischen Vickershärte und Vergleichsformänderung bei Kaltumformvorgängen. Bericht aus dem Institut für Umformtechnik, Universität Stuttgart 1969 No. 9
12. Dipper, M.: Das Fließpressen von Hülsen in Rechnung und Versuch. Archiv für das Eisenhüttenwesen. 20 (1949) 275/286
13. Jonck, R.: Eigenschaften kaltumgeformter Werkstücke. Seminar Kaltmassivumformung, Institut für Umformtechnik TU Stuttgart 1975

ZUSAMMENFASSUNG

Die Wirtschaftlichkeit der Kaltmassivumformung ist von dem richtigen Entwurf des Verfahrens abhängig, wobei die Wahl der richtigen Stahlsorte von ausschlaggebender Bedeutung ist. Der Stahlverbraucher und Stahlherzeuger müssen bei der Auswahl der richtigen Stahlsorte eng zusammen arbeiten und die Abnahmebedingungen für

den Stahl gemeinsam zusammenstellen. Diese Bedingungen müssen den Anforderungen der Umformungstechnologie eines bestimmten Artikels angepasst werden und können deshalb für dieselbe Stahlsorte verschieden sein.

Die Kriterien für die Bewertung der Fähigkeit der Stähle für die Kaltmassivumformung sind noch nicht voll-

kommen geklärt, weil dazu eine genaue Kenntnis des Deformationszustandes im ganzen Volumen des Umformlings nötig wäre.

Trotzdem gibt uns die Fließkurve, welche wir mit dem einseitigen Stauchversuch erhalten, genügend Daten auch für die Bewertung der Stahlqualität, sowohl vom Standpunkt der chemischen Zusammensetzung wie auch der Form des Stahlegefüges.

Es sind noch die Verformungseigenschaften der Stähle vom Erzeugungsprogramm des Hüttenwerkes Jesenice angegeben, erhalten mit Hilfe des diskontinuierlichen Stauchversuches. Die technologischen Versuche bestätigten die Ergebnisse der laboratorischen Untersuchungen und zeigten, dass mit den einheimischen Materialien möglich ist die verlangten Umformungen nach internationalen Vorschriften zu erreichen.

SUMMARY

Profitableness of masive cold forging process depends on correct process design where the correct steel choice is essential.

Manufacturer and user of steel must closely cooperate in choosing the steel quality and they must together compose the surveying conditions for steel. These conditions must be adjusted to the demands of the forming technology for single products and therefore they can vary for the same steel.

Criteria for cold workability of steel are not completely clear since more detailed knowledge of deformation state through the whole worked piece should be necessary.

Nevertheless, yield curves obtained by compression test give enough data also for estimation of steel quality either according to the chemical composition or according to the microstructure of steel.

Workability properties of steel from the production program of Jesenice Ironworks are presented. They were obtained by discontinuous compression tests. Technological tests confirmed the laboratory investigations and they showed that own materials can achieve the demanded deformations according to the international criteria.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рентабельность холодной массивной деформации зависит от правильно подготовленного плана выполнения способа, причем решающее значение представляет выбор качества стали. Потребитель и производитель стали должны вместе, при тесном сотрудничестве, приготовить условия приема стали. Эти условия должны согласоваться технологией формирования определенного изделия и, поэтому, могут различаться при одном и том же сорте стали. Критерии для оценки способности стали к объемному преобразованию в холодном состоянии пока еще недостаточно исследованы, для этого необходимо познание точного деформационного состояния по целой емкости изделия.

Несмотря на это, кривые полученные односторонним испытанием на сжатие не дают достаточно данных для оценки качества стали, также с позиции что касается химического состава и формы микроструктуры стали. Кроме этого поданы способы свойств преобразования стали Металлургического завода Есенице полученные при помощи непрерывного испытание на сжатие. Технологические испытания подтвердили лабораторные исследования и показали, что с домашними материалами можно получить деформацию, которая отвечает международным критериям.

Tehnične novice

Novo orodno jeklo Č 9750 Utop Co 2 za delo v vročem stanju

Jože Pšeničnik

UVOD

Delovni pogoji pri predelavi kovin in zlitin so ob zahtevah po povečevanju produktivnosti vedno težji. To zahteva intenziven razvoj boljših in novih vrst jekel za izdelavo orodij. Posebno pri orodjih za delo v vročem zahtevamo poleg odpornosti proti obrabi v vročem in popuščne obstojnosti zaradi karakteristik oblik in značilnosti uporabe orodij tudi čim boljše žilavost, čeprav vemo, da so si te lastnosti dokaj nasprotne. Hiter tempo v tehnološkem postopku in vedno hujša temperaturna nihanja v delovnem ciklusu z ogrevanjem in intenzivnim ohlajanjem povzročajo velike zahteve po odpornosti proti termičnemu utrujanju.

Marsikdaj se zdijo tako ostre zahteve skoraj nerešljive, izkušnje pa kažejo, da so le rezultati razvoja s sistematičnim raziskovalnim delom v ozki povezavi med proizvajalcem in uporabnikom specialnih orodnih jekel razveseljivi in vzpodbudni.

Železarna Ravne je z vzornim sodelovanjem z Mariborsko livarno in Elektrokovino iz Maribora ter s podjetjem Lama iz Dekanov pri Kopru svoj proizvodni program orodnih jekel za delo v vročem dopolnila z novim specialnim jeklom UTOP Co 2, katerega želimo s tem sestavkom predstaviti.

Ta tip jekla je posebno uporaben za zahtevna orodja stiskalnic za predelavo kovin, predvsem pa bakrovih legur.

V letu 1973 so se za razvoj novih jekel odprle nove možnosti. Železarna Ravne je začela z redno proizvodnjo jekel po postopku električnega pretaljevanja pod žlindro (EPZ) v novem obratu. Homogena mikrostruktura, ugodna kristalizacija in posebna čistost EPZ jekel je pokazala možnosti boljše plastične predelave, kar odpira nove perspektive celotni potrošnji orodnih jekel.

Na osnovi do sedaj proizvedene količine jekla Utop Co 2 za redno proizvodnjo, ki se bo v letu 1975 približala 70 tonam, lahko trdimo, da smo ga toliko spoznali in preizkusili, da ga lahko predstavimo našim proizvajalcem orodij, kar je tudi namen tega članka.

Jeklo Utop Co 2 je že v redni proizvodnji. Zanj lahko sprejemamo naročila in nudimo vse normalne kakovostne garancije.

STANDARDNE KARAKTERISTIKE IN OSNOVNI PODATKI ZA UPORABO JEKLA Č 9750 UTOP Co 2

Smerna kemijska sestava v %:

C	Si	Mn	Cr	Mo	V	Co
0,32	0,3	0,3	3,0	3,0	0,5	3,0

Primerjava s tujimi standardi

ZR NEMCIJA		SSSR
W. No 17007	DIN 17006	GOST
1.2365	X 32 Cr Mo V 33	3 H 3 M 3 K 3 F

Jože Pšeničnik je metalurški tehnik in višji strokovni sodelavec za plastično predelavo in toplotno obdelavo jekla v železarni Ravne.

Tip jekla

Jeklo Č 9750 Utop Co 2 je plemenito visokolegirano Co-Mo-Cr-V orodno jeklo, namenjeno za delo v vročem. Kaljivo je v olju in na zraku. Ima odlično meroobstojnost v kombinaciji z odpornostjo proti obrabi in odlično žilavost. Dodatek kobalta omogoča posebno odpornost proti obrabi na višjih delovnih temperaturah in poveča odpornost proti termičnemu utrujanju. Ob takih lastnostih jekla dosežemo z orodji večjo produktivnost.

Orodje lahko hladimo tudi z vodo.

Značilnostj in osnovne lastnosti

Jeklo Č 9750 Utop Co 2 se odlikuje predvsem z naslednjimi lastnostmi:

- odlična odpornost proti obrabi v vročem,
- odlična žilavost v vročem,
- dobra obdelovalnost v žarjenem stanju,
- dobra sposobnost za poliranje,
- dobra kaljivost,
- zelo dobra meroobstojnost,
- odlična popuščna obstojnost.

Jeklo Č 9750 Utop Co 2 se izdeluje v normalnem proizvodnem programu po EPZ postopku, zato ima zagotovljeno izredno čistost ter homogenost makro in mikro strukture.

Primerjava lastnosti

Če primerjamo glavne lastnosti jekla Č 9750 Utop Co 2 z lastnostmi drugih poznanih vrst jekel, bomo prav lahko ugotovili, kdaj se bomo odločili za izbiro tega jekla (slika 1).

Jeklo Č 9750 Utop Co 2 ima npr. prednost pri izbiri pred jeklom Utop Mo 1 ali Utop Mo 2 predvsem takrat, kadar z obstojnostjo v vročem in z žilavostjo jekla Utop Mo 1 ali 2 nismo več povsem zadovoljni.

Visoka vsebnost molibdena in kobalta omogočata jeklu visoko popuščno obstojnost in tudi trdoto v vročem.

Področje uporabe

Naštete lastnosti jekla Č 9750 Utop Co 2 kažejo, da je jeklo namenjeno zahtevnim orodjem za delo v vročem in to predvsem tam, kjer se zahteva odlična odpornost proti obrabi v kombinaciji z odlično žilavostjo in odpornostjo proti škajenju.

Če k temu dodamo še dobro meroobstojnost in odlično popuščno obstojnost, je pomen tega jekla za izdelavo zahtevnih orodij kompliciranih oblik jasen.

Iz tega jekla izdelujejo visoko zahtevna orodja stiskalnic za brizganje in stiskanje medenine, za notranje puše in matrice ter za druge izpostavljene dele orodij pri utopnem kovanju. Uporablja se tudi za izdelavo modelov za brizganje medenine in lahkih kovin z visokimi pritiski.

Zaradi dodatka kobalta v ugodni kombinaciji z drugimi elementi omogočajo orodja iz tega jekla večjo produktivnost zaradi občutno boljše vzdržljivosti od mnogih drugih krom-molibdenovih jekel.

Orodja, izdelana iz jekla Č 9750 Utop Co 2, lahko hladimo z vodo, kar njihovo uporabnost še poveča.

	Č 9750 Utop Co2	Č 6451 Utop 2	Č 4753 Utop Me2	Č 6444 OSWRO 4	Č 6442 OSWRO 2	Č 4850 OCR-12 KM	Č 7580 BHM-2
Odpornost proti obrabi	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████
Žilavost	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████
Heroobstojnost	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████
Obdelovalnost	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████
Trdota v vročem	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████
Odpornost proti termičnemu utrujanju	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████

Slika 1

Primerjava lastnosti jekla Č 9750 Utop Co 2 in drugih znanih vrst orodnih jekel.

Tipizacija

Jeklo Č 9750 Co 2 je novo in se na domačem tržišču šele uveljavlja, zato je seveda še »netipizirano«. Zaradi lastnosti pa mu lahko pripisujemo dobre perspektive pri uveljavljanju na širokem področju uporabe orodnih in visokotrdnih konstrukcijskih jekel za uporabo v vročem.

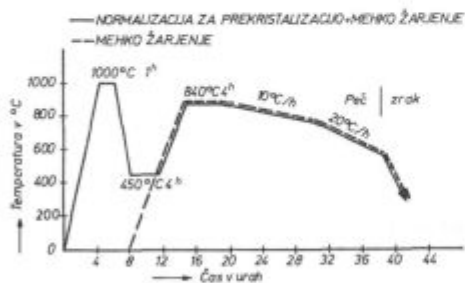
Vroča predelava

Normalno področje vroče predelave je 1080–800° C. Pri ogrevanju in zadrževanju na temperaturi pred vročo predelavo je treba upoštevati nagnjenost tega jekla k razogljčenju in ukreniti vse za zaščito.

Zaradi kaljivosti na zraku je občutljivost tega jekla pri ohlajanju po končani vroči predelavi razumljiva. Zagotoviti je potrebno primerno počasno ohlajanje v peči ali v dobrem izolacijskem sredstvu.

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

Za doseganje dobrih osnovnih lastnosti ima končna temperatura vroče predelave velik pomen in naj bo čim bližja



Slika 2

Diagram normalizacije in žarjenja za jeklo Č 9750 Utop Co 2.

spodnji temperaturi predpisanega območja, vendar ne nižja od 800° C. Seveda mora biti tudi začetna temperatura pravilna.

Po končani vroči predelavi je potrebno to jeklo čimprej žariti.

Mehko žarjenje

Po vroči predelavi se priporoča pred mehkim žarjenjem normalizacija, ki sicer ni obvezna, pač pa s prekrystalizacijo prispeva pomemben delež pri zagotavljanju homogene mikrostrukture in doseganju boljnjih lastnosti jekel z mehkim žarjenjem.

Ogrevanje mora biti tako pri normalizaciji kakor pri mehkem žarjenju počasno in po možnosti stopenjsko.

Temperatura normalizacije za prekrystalizacijo je 1000° C z zadrževanjem 1 uro na temperaturi.

Temperatura mehkega žarjenja je 800–840° C.

Čas zadrževanja na temperaturi je 4–6 ur. Pri normalizaciji in žarjenju je treba ustrezno zagotoviti varovanje pred razogljčenjem površine.

Hitrost ohlajanja po končanem zadrževanju na temperaturi mehkega žarjenja, predvsem v območju 800–650° C, ne sme presegati 20° C/h, od temperature 650° C pa je nadaljnje ohlajanje lahko hitrejše.

Slika 2 prikazuje postopek normalizacije in mehkega žarjenja.

Trdota po žarjenju

Trdota jekla Č 9750 Utop Co 2 v žarjenem stanju je max. 240 HB.

Obdelovalnost

V žarjenem stanju se to jeklo dobro obdeluje.

Žarjenje za odpravo napetosti

Žarjenje za odpravo napetosti se izvaja v temperaturnem območju 600–700° C z zadrževanjem na temperaturi najmanj 1 uro. Pri večjih debelinah nad 25 mm se na vsakih 25 mm povečanja debeline čas zadrževanja na temperaturi podaljša za 1 uro. Ohlajanje se izvaja počasi v peči do 500° C, dalje pa na mirnem zraku.

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

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

Kaljenje

Normalno območje temperatur kaljenja je 1020–1060° C. Pri večini orodij za delo v vročem se zaradi boljše popuščne obstojnosti držimo maksimalnih temperatur kaljenja okrog 1060° C.

Za orodja manjših debelin se kaljenje izvaja z ohlajanjem na mirnem zraku, za debelejša orodja pa je potrebno intenzivnejše ohlajanje s stisnjanim zrakom ali pa v olju, če to dovoljuje oblika orodja. Uporablja se tudi kaljenje v olju ali v termalni kopeli na ca. 550° C, nakar sledi ohlajanje na zraku.

Trdota po kaljenju na zraku je 42–46 HRC, vendar zaradi zaostalega avstenita sekundarna trdota po popuščanju naraste in je višja kot po kaljenju.

Trdota po kaljenju v olju je 49–53 HRC.

Pri ogrevanju na temperaturo avstenitizacije se zelo priporoča dobro predogrevanje v območju 600–850° C, ker s tem dosežemo boljše enakomernost temperature po preseku na temperaturi kaljenja. To precej zmanjša deformiranje orodij pri kaljenju. Na temperaturi predogrevanja zadržujemo orodja približno 1 uro na vsakih 25 mm debeline največjega preseka. Že na temperaturi predogrevanja je

treba poskrbeti za ustrezno zaščito proti razogličanju, še bolj pomembno pa je to pri nadaljnjem ogrevanju in zadrževanju na temperaturi kaljenja. Priporočljiva je varovalna atmosfera v peči z najmanj 10 % CO ali pa varovalno pakiranje orodij.

Pri kaljenju večjih kosov se priporoča izbira kalilne temperature bližje spodnji meji navedenega intervala, ker s tem povečamo orodju žilavost.

Za manjša ali tanjša orodja priporočajo ogrevanje na kalilno temperaturo v solni kopeli na bazi 70–90 % BaCl₂ in 30–10 % NaCl.

Popušcanje

Uporabno območje popušcanja je 550–700 °C.

Popušcanje se mora izvajati takoj po kaljenju, še preden jeklo doseže sobno temperaturo. Najprimernejše je prenesti orodje na popušcanje, ko doseže po kaljenju temperaturo 50–80 °C. Ne smemo pa dati na popušcanje orodij s previsokih temperatur. Ohladiti se mora vsaj toliko, da se ga lahko dotaknemo z roko.

Pri popušcanju je vedno priporočljivo dvakratno popušcanje; to pa zadošča, če je pravilno izvedeno. Čas popušcanja na temperaturi naj bo ca. 1 uro za vsakih 25 mm debeline, vendar tudi pri najtanjših kosih nikoli manj kot 1 uro.

Jeklo Č 9750 Utop Co 2 ima močno izražen efekt sekundarne trdote pri popušcanju, ki je tem močnejši, čim višja je temperatura kaljenja, obenem pa se obstojnost trdote pomika proti višjim temperaturam. Pri kaljenju na zraku je efekt sekundarne trdote močnejše izražen kot pri kaljenju v olju, trdote pa so v splošnem nekoliko nižje.

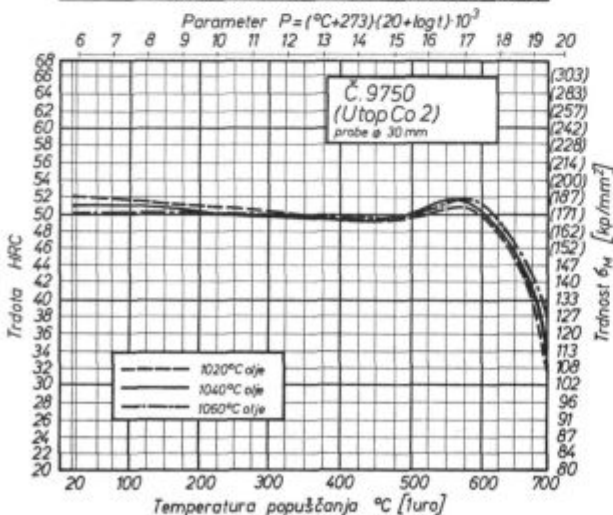
Zaradi efekta sekundarne trdote lahko izberemo razmeroma visoke temperature popušcanja, ki imajo ob enaki trdoti prednost pred nižjimi temperaturami zaradi boljše popuščne obstojnosti med uporabo.

Tudi med delom je priporočljivo orodje občasno popuščati za razbremenitev notranjih napetosti.

To izvedemo tako, da npr. po 3000-kratnem stiskanju ali kovanju orodje popuščamo ca. 30° C nižje od temperature popušcanja orodja. S tem pomembno povečamo življenjsko dobo orodju.

Vzdržnost orodja močno povečamo tudi s primerno pravo orodja za delo. Orodje pred začetkom dela tudi po več ur različno predgrevamo na temperaturah od 250–300 °C. S tem se izognemo pojavu razpok, ki močno skrajšajo vzdržnost orodja.

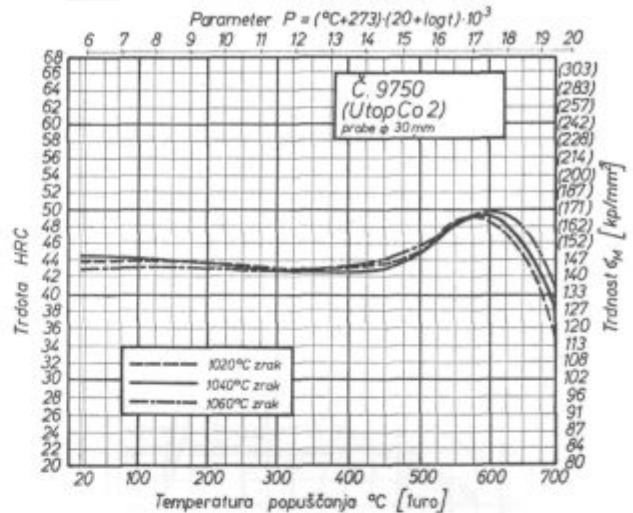
Smerna kem. sestava	C %	Si %	Mn %	Cr %	Mo %	V %	Co %
	0,32	0,30	0,30	3,00	3,00	0,50	3,00



Slika 3

Popuščni diagram za jeklo Č 9750 Utop Co 2 kaljeno v olju.

Smerna kem. sestava	C %	Si %	Mn %	Cr %	Mo %	V %	Co %
	0,32	0,30	0,30	3,00	3,00	0,50	3,00



Slika 4

Popuščni diagram za jeklo Č 9750 Utop Co 2 kaljeno na zraku.

Diagrama na slikah 3 in 4 prikazujeta odvisnost trdote od temperature kaljenja in temperature popušcanja za kaljenje v olju in na zraku.

Delovne trdote orodij

Delovna trdota orodij naj bo v mejah 40–50 HRC, kar je seveda odvisno od področja uporabe, od oblike orodja in pa od pogojev dela. Za najvišje delovne temperature je lahko trdota orodij tudi nižja.

Orodja za stiskanje lahkih kovin naj imajo od 40–45 HRC.

Utopna orodja za kovanje medenine naj imajo trdoto od 46–50 HRC.

Noži za obrezovanje v vročem pa naj imajo trdoto od 46–50 HRC.

Orodja, ki so izpostavljena dinamičnim — udarnim obremenitvam, naj imajo nižjo delovno trdoto.

Nitriranje

Jeklo Č 9750 Utop Co 2 je zelo primerno za nitriranje. S tem močno povišamo trdoto površine orodja in maksimalno povečamo odpornost proti obrabi.

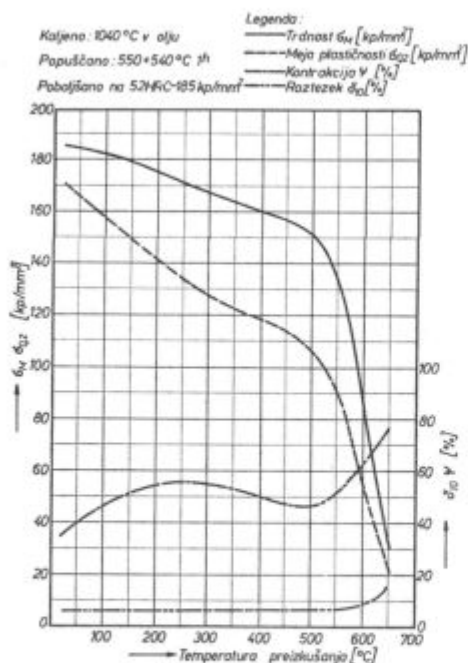
Primernejše je plinsko nitriranje, ker dobimo pri 15-urnem nitriranju na temperaturi 520° C trdo nitridno plast, debeline 0,12 mm s trdoto površine od 900–1100 HV.

Mehanske lastnosti

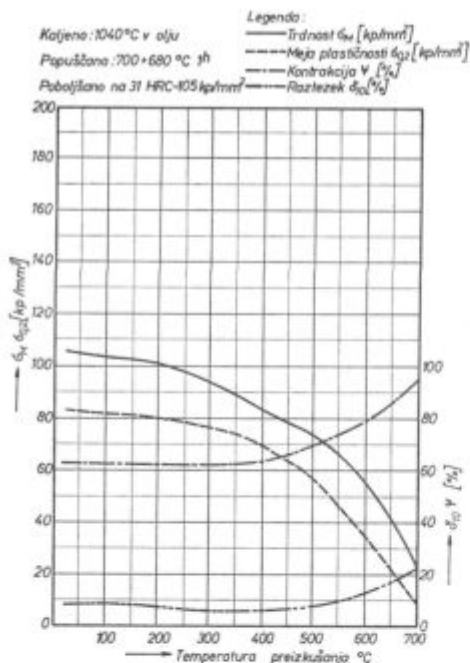
Pri kaljenju s temperature 1040° C, t. j. na sredini normalnega kalilnega intervala, in popušcanju na 550 + 540° C ali 700 + 680° C dobimo naslednje vrednosti:

	Kaljeno 1040° C olje	
	Popuščano 550 + 540° C	Popuščano 700 + 680° C
trdnost N/mm ²	1863	1030
meja plastičnosti N/mm ²	1716	794
raztezek %	8	9
kontraktacija %	32	62

Ker se to jeklo uporablja za delo v vročem stanju, podajamo mehanske lastnosti v vročem stanju pri različnih trdnostih (slika 5 in 6).



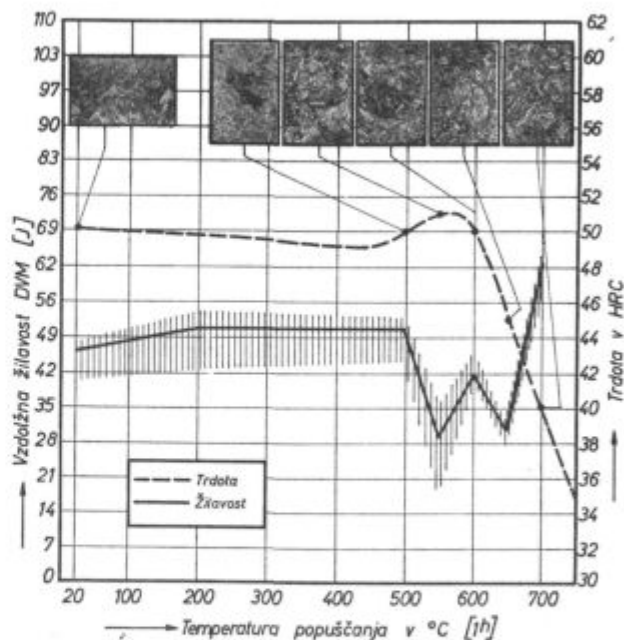
Slika 5
 Mehanske lastnosti v vročem stanju za jeklo Č 9750 Utop Co 2 — poboljšano na 185 kp/mm².



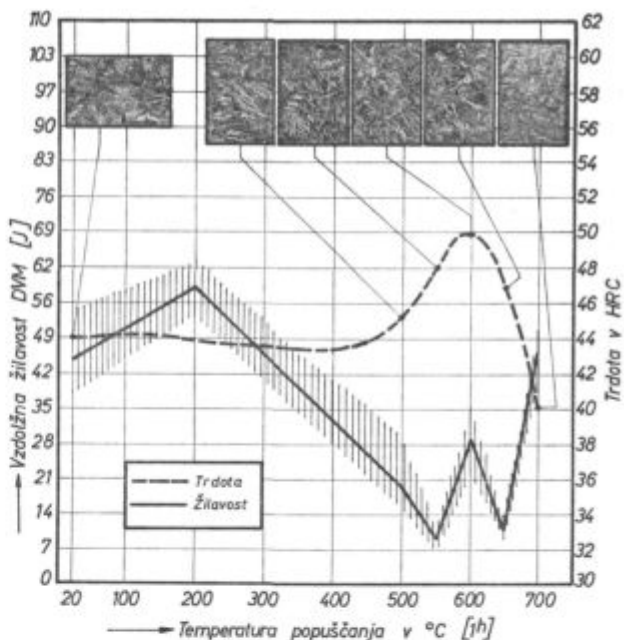
Slika 6
 Mehanske lastnosti v vročem stanju za jeklo Č 9750 Utop Co 2 — poboljšano na 105 kp/mm².

Ker je pri nekaterih orodjih odločilnega pomena žilavost, podajamo na slikah 7 in 8 nekaj rezultatov preiskav žilavosti v odvisnosti od kalilnega sredstva in temperature popuščanja. Na diagramih so prikazane tudi mikrostrukture jekla za posamezne pogoje toplotne obdelave. Značilen padec žilavosti pri naraščanju sekundarne trdote je razumljiv že zaradi sprememb trdote, razlagamo pa si ga lahko tudi z izločevalnimi efekti po mejah zrn, posebno pri kaljenju na zraku.

Pojav nihanja žilavosti v območju sekundarnih trdot še ni v celoti pojasnjen. S preiskavami, ki so še v toku, smo



Slika 7
 Vpliv temperature popuščanja na trdoto in žilavost ter izgled mikrostrukture jekla Č 9750 Utop Co 2 kaljenega v olju na 1040°C.



Slika 8
 Vpliv temperature popuščanja na trdoto in žilavost ter izgled mikrostrukture jekla Č 9750 Utop Co 2 kaljenega na zraku na 1040°C.

ugotovili, da je povezan z izločevalnimi efekti po mejah zrn. Ta pojav lahko zmanjšamo, če orodje po popuščanju ohladimo v olju ali vodi.

Vrednosti žilavosti so pri jeklu Utop Co 2 v primerjavi z drugimi jekli za delo v vročem najvišje.

Metalografija jekla Č 9750 Utop Co 2

Jeklo Č 9750 Utop Co 2, izdelano po EP2 postopku, doseže v žarjenem stanju 100 % krogični perlit s sekundarnimi karbidi (sl. 9).

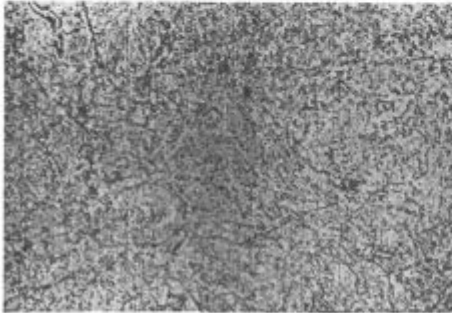
Po kaljenju so v mikrostrukturi tega jekla martenzit, zaostali avstenit in karbidi.

Kalilno območje tega jekla je 1020–1060° C na zraku ali v olju. Nad 1060° C dobimo skokovito rast zrna, ki povzroča slabšo žilavost, hkrati pa višje kalilne temperature omogočajo boljšo popuščno obstojnost in odpornost proti termičnemu utrujanju, kar je zelo važno pri orodjih z večjimi toplotnimi obremenitvami.

Na sliki 10 vidimo strukturo pri kaljenju na zraku s temperature 1040° C in popuščano na 500° C, na sliki 11 pa strukturo, kaljeno na zraku s temperature 1080° C in popuščano na 500° C.

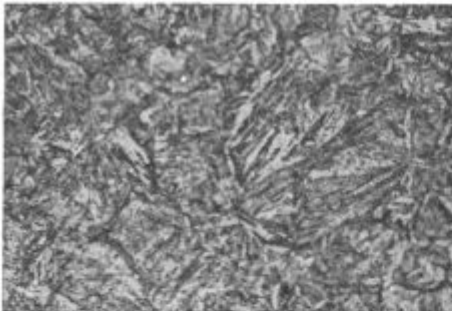
Značilno za to jeklo je, da kalilna temperatura nima velikega vpliva na trdoto, pač pa ima velik vpliv kalilno sredstvo, trdote pa so po vsem območju od 1000–1100° C skoraj enake.

Pregretje opazimo šele po velikosti zrna, ki nad kalilno temperaturo 1060° C močno naraste.



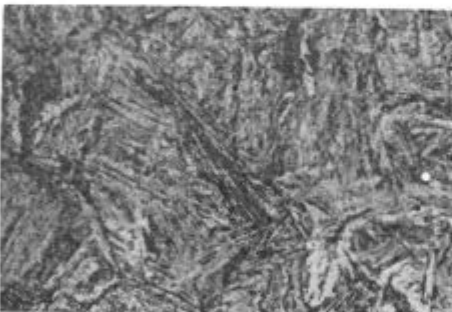
Slika 9

Mikrostruktura žarjenega jekla C 9750 Utop Co 2 (povečava 500 ×).



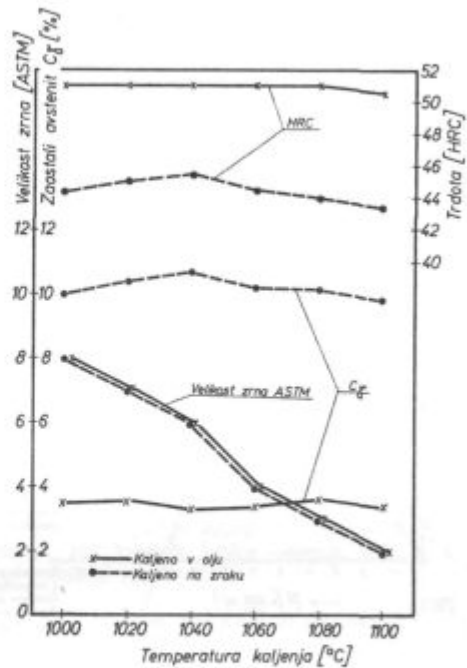
Slika 10

Mikrostruktura kaljenega in popuščenega jekla v območju normalnih temperatur (povečava 500 ×).



Slika 11

Mikrostruktura kaljenega in popuščenega jekla. Kaljeno nad zgornjim intervalom kalilne temperature (povečava 500 ×).



Slika 12

Vpliv temperature kaljenja na trdoto, zaostali avstenit in velikost zrna za jeklo C 9750 Utop Co 2.

Zaostalega avstenita je po kaljenju na zraku bistveno več kot pri kaljenju v olju. Pri kaljenju na zraku smo v območju od 1000–1100° C ugotovili zaostalega avstenita približno 10 %, po kaljenju v olju pa okrog 4 % (slika 12).

Posebne preiskave

V nadaljevanju podajamo nekaj informacij in ugotovitev posebnih preiskav za jeklo C 9750 Utop Co 2. Te preiskave so še v teku, zato so ugotovitve le orientacijske za grobo predstavbo o nekaterih zanimivih lastnostih tega jekla.

— Vsebnost zaostalega avstenita

S ploščatimi preizkušanci dimenzij 5 × 25 × 50 mm smo po različnih postopkih toplotne obdelave določali vsebnost zaostalega avstenita z rentgenskim difraktometrom. Rezultati teh meritev so prikazani na sliki 12, ki kaže že omenjeni vpliv kalilnega sredstva na vsebnost zaostalega avstenita v tem jeklu.

— Premenske točke

Ogrevanje 2,5° C/min.
Ac začetek 815° C
Ac konec 880° C

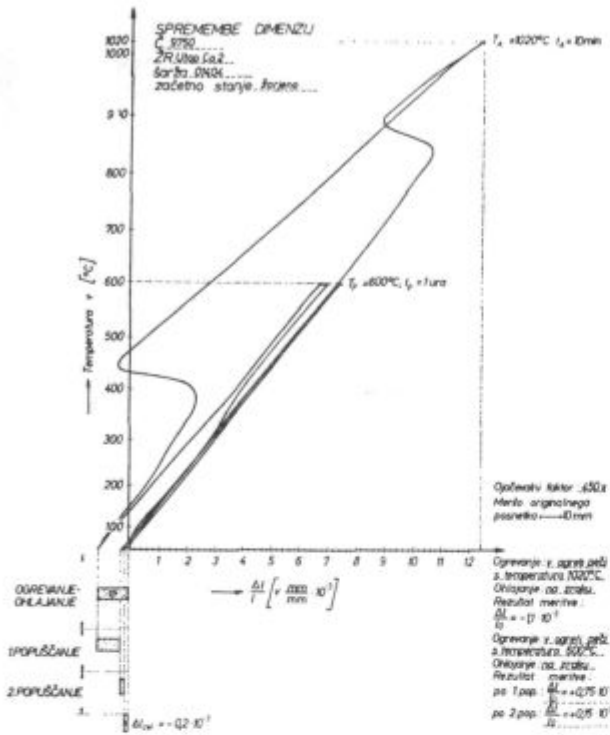
Ohlajanje 2,5° C/min.
Ar začetek 815° C
Ar konec 715° C

— Dimenzijske spremembe pri toplotni obdelavi

Po metodi³ dilatometrijskih meritev dimenzijskih sprememb zaradi strukturnih premen smo spremljali dilatacije za posamezne karakteristične cikle toplotne obdelave.

Slika 13 prikazuje spremljanje dimenzijskih sprememb pri kaljenju s temperature 1020° C na spodnji meji temperaturnega območja, čemur sledi popuščanje v dilatometru na 600° C.

Ogrevanje smo izvedli tako, da smo dilatometrijski preizkušanec v kvarčni cevki vložili v peč na temperaturo avstenitizacije 1020° C in jo po izenačenju temperature avstenitizirali 10 minut. Sledilo je ohlajanje v dilatometrijski cevki s povprečno hitrostjo $V_T = 10^{\circ} \text{C/s}$, kar ustreza kaljenju v olju. Relativna sprememba dimenzije glede na izhodno žarjeno stanje po kaljenju je znašala $-1,1 \cdot 10^{-3} \text{ mm/mm}$, pri prvem popuščanju 1 uro na 600° C smo izmerili spremembo $+0,75 \cdot 10^{-3} \text{ mm/mm}$, pri drugem popuščanju 1 uro na 600° C pa $+0,15 \cdot 10^{-3} \text{ mm/mm}$. Po celotnem ciklusu toplotne obdelave je bila sprememba dolžine preizkušanca $-0,2 \cdot 10^{-3} \text{ mm/mm}$.



Slika 13

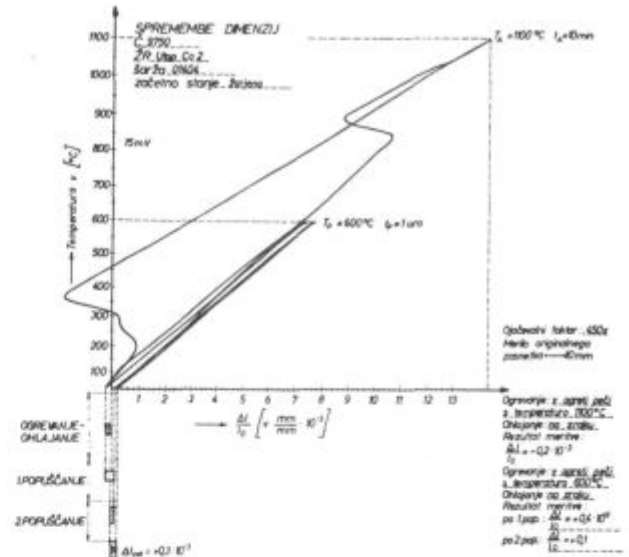
Raziskava spremembe dimenzij pri toplotni obdelavi — z avstenitizacijo 1020° C.

Slika 14 prikazuje dimenzijske spremembe pri kaljenju nad zgornjo mejo intervala avstenitizacije 1100° C in popuščanju dvakrat po 1 uro na 600° C. Po celotnem ciklusu je bila sprememba dimenzij + 0,3.10⁻³ mm/mm.

Iz preiskave je razvidno, da so dimenzijske spremembe pri toplotni obdelavi jekla C 9750 Utop Co 2 zelo majhne.

ZAKLJUČKI

Namen te publikacije je bil, da podamo informacijo o dosedanjih raziskavah novega orodnega jekla za delo v vročem C 9750 Utop Co 2. Preiskave še niso zaključene, dovoljujejo pa že presojo kakovostnih lastnosti tega jekla v zvezi s področji uporabnosti.



Slika 14

Raziskava spremembe dimenzij pri toplotni obdelavi — z avstenitizacijo 1100° C.

Podani so rezultati preiskav osnovnih lastnosti, katere pa bo treba dopolniti in povezati z informacijami o obnašanju tega jekla pri praktični uporabi.

Literatura:

1. Rodič J.: Osvajanje jekla Utop Co 2, interna raziskovalna naloga Železarne Ravne O-7405.
2. Rodič A., J. Pšeničnik, J. Gradišnik: Lastnosti orodnih jekel za delo v vročem, izdelanih po različnih postopkih, interna raziskovalna naloga Železarna Ravne, R-7306.
3. Rodič J., A. Segel: Metode določevanja dimenzijskih sprememb, interna raziskovalna naloga Železarne Ravne O-7003 in R-7221.
4. Rodič A., J. Pšeničnik: Interno poročilo o preiskavah Železarne Ravne DK-120/1974.
5. Grešovnik F., J. Pšeničnik: Določanje vsebnosti zaostalega avstenita v jeklu C 9750 Utop Co 2 z rentgenskim difraktometrom, interna raziskovalna naloga Železarne Ravne O-7405.

Akustična emisija — nova tehnika preiskave materiala brez porušitve in njena uporaba pri zasledovanju faznih transformacij v jeklu

Mirko Pikalo

1. UVOD

Zadnjih nekaj let zasledimo v strokovni literaturi s področja neporušnih preiskav vse več člankov o akustični emisiji, kar kaže na hiter razvoj te tehnike in njeno uveljavljanje v industriji. V železarni Ravne smo tehniko akustične emisije začeli uvajati v začetku leta 1975.

Akustična emisija (AE) je ena najnovejših tehnik preiskave materiala brez porušitve in dopolnjuje klasične metode na tem področju. Kot pojav je akustična emisija poznana že dolgo, na primer v seizmologiji, toda prve meritve na tehnično pomembnih materialih je naredil nemški raziskovalec J. Kaiser¹ leta 1950. Iz Evrope se je tehnika pozneje preselila v ZDA, kjer je po letu 1960 doživela hiter razvoj in vse več uporabe v industriji.

2. Pojav akustične emisije

Akustična emisija je izraz, ki ga uporabljamo za popis zvočnih valov, ki jih v obliki kratkih impulzov sevajo trdna telesa. Ponavadi je AE posledica mikrodinamičnih procesov med deformacijo snovi, ko se del nakopičene elastične energije sunkovito pretvarja v zvočno. Več primerov akustične emisije je slišnih. Domač je primer pokanja lesa pri lomu. Slišno akustično emisijo poznamo tudi v metalurški praksi, ko nastajajo napetostne razpoke na površini izdelkov ali ko z njih odpada škaja.

Večina primerov akustične emisije pa je neslišna za človeško uho, ker so impulzi energijsko zelo šibki, po frekvenčnem sestavu pa segajo že v ultrazvočno področje. Frekvenčno območje AE je v frekvenčnem pasu približno od 50 kHz do 5 MHz. Pod frekvenco 50 kHz je težko meriti, ker so v tem frekvenčnem področju motnje iz okolice prevelike, nad 5 MHz pa je dušenje zvoka v materialu že tako močno, da je meritev nemogoča.

Za detekcijo AE uporabljamo piezoelektrične senzorce, ki jih namestimo na preizkušanece. Ti senzorcji delujejo kot pretvorniki zvočnih nihanj v električna. V raziskavah na področju AE za senzorce uporabljamo piezoelektrično keramiko PZT (svinčev cirkonat titanat keramika). Ploščica iz te keramike se odlikuje predvsem po veliki občutljivosti v resonanci in veliki kapacitivnosti. Električni signal, ki ga da senzor, ojačimo, filtriramo, primerno analiziramo in registriramo.

Akustično emisijo lahko pričakujemo samo pri trdnih materialih. Najlepše rezultate dajejo polikristalini materiali in kompoziti. Iz literature navajam nekaj materialov, pri katerih so merili AE: jeklo, aluminij, berilij, titanove zlitine, fiber glas, salonit, keramika, kamen, les in razni monokristali. Največ eksperimentov AE je bilo narejenih na jeklu. V večini primerov so študirali AE, ki se pojavi pri plastični deformaciji. Med nateznim preizkusom vzorec jekla začne oddajati zvok še v trenutku, ko dosežemo mejo plastičnosti. Tehnično pomemben je pri tej vrsti eksperimentov Kaiserjev efekt². Pri ponovni obremenitvi vzorec začne oddajati zvok šele v trenutku, ko dosežemo predhodno maksimalno obremenitev. Drugače povedano, material si zapomni, do kod je bil obremenjen. Kaiserjev efekt nudi možnost določitve maksimalne obremenitve nekega strojnega dela, ki je med pogonom nedostopen za meritve.

Skoraj največ pa se v svetu ukvarjajo z AE pri nastajanju in širjenju razpok v jeklu. S klasičnimi metodami, kot so ultrazvok, stresano magnetno polje, vrtnični tokovi

in penetranti, odkrijemo razpoko potem, ko je že nastala. AE pa nam nudi možnost, da razpoko odkrijemo med nastankom, saj se sama izdaja z emitiranjem zvoka. S pomočjo triangulacije pa je mogoče določiti tudi koordinate izvora. Na tak način testirajo tlačne posode. Na posodo namestijo večje število senzorjev, potem pa jo obremenijo s hidrostatičnim pritiskom nad delovni pritisk. Če ima posoda razpoke, se med obremenitvijo povečujejo in izdajajo z zvokom. S pomočjo računalnika določijo mesto razpok. Verjetno je, da bo akustična emisija prav na tem področju požela največje uspehe.

Procesov, pri katerih lahko nastaja AE, je več in so navedeni v tabeli 1.

Tabela 1 — Procesi, pri katerih nastaja AE

- dvojnjenje
- rekristalizacija
- fazne transformacije
- plastična deformacija
- nastanek in napredovanje razpok
- vodikova krhkost (kosmičenje)
- napetostna korozija
- utrujanje materiala
- lezenje materiala
- trganje vlaken v matici pri kompozitih

V vseh primerih ni mogoče zanesljivo meriti AE. Velikokrat je emisija tako šibka, da nastali električni signal senzorja ne presega šuma ojačevalnikov ali pa so impulzi tako redki, da jih ni mogoče ločiti od ozadja, ki je zmeraj prisotno. Najboljši ojačevalci imajo 10 μ V lastnega šuma, za meritev pa zahtevamo signal, ki je dvakrat večji. V primeru redkih impulzov si pomagamo z diskriminacijo impulzov po kraju nastanka. Na intenzivnost AE vplivajo različni faktorji, ki so navedeni v tabeli 2.

Tabela 2 — Faktorji, ki vplivajo na intenzivnost AE

močna AE	šibka AE
velika trdnost	majhna trdnost
krhki materiali	duktilni materiali
anizotropnost	izotropnost
nehomogenost	homogenost
velika hitrost deformacije	majhna hitrost deformacije
nizka temperatura	visoka temperatura
grobno zrno	drobno zrno
martenzitne transformacije	difuzijske transformacije
lita struktura	

V tabeli 3 so navedene še potencialne aplikacije AE v bazičnih raziskavah in industriji.

Tabela 3 — Potencialne aplikacije AE

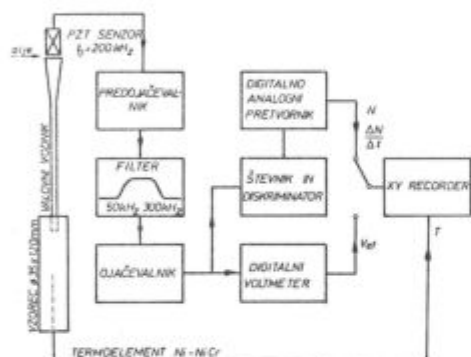
- študij plastične deformacije
- določanje maksimalnih obremenitev strojnih delov s pomočjo Kaiserjevega efekta
- študij faznih transformacij
- študij nastajanja in širjenja razpok
- študij utrujanja in lezenja materiala
- študij napetostne korozije
- študij vodikove krhkosti (kosmičenja)
- testiranje in kontrola obremenjenih struktur v strojništvu (iskanje razpok)
- neprekinjeno nadzorovanje obremenjenih strojnih delov
- kontrola varov

Mirko Pikalo je diplomiran fizik in vodja oddelka za razvoja kontrole kakovosti v železarni Ravne

3. Akustična emisija pri faznih premenah v jeklu

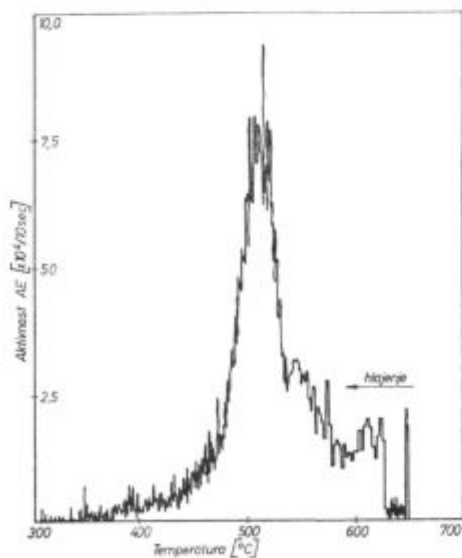
V železarni Ravne smo začeli z eksperimenti akustične emisije pri faznih premenah v orodnih jeklih. Pri preizkusih smo uporabili instrumentarij za detekcijo, analizo in registracijo AE, ki je prikazan na sl.1. Za eksperiment smo izbrali vzorce jekel C 4733, C 4751 in C 5743, ki so kaljiva na zraku. Vzorce smo segreli na temperaturo avstenitizacije in jih na tej temperaturi ogrevali različno dolgo. Da smo se ognili škaji, smo jih segrevali v zaščitni atmosferi argona. Vzorce smo nato ohlajali v zaščitni cevi s pretokom argona do temperature 600° C, potem pa do sobne temperature na zraku. Pri temperaturi 600° C smo začeli z meritvijo AE. Zaradi visoke temperature, ki uniči senzor, smo akustični sklop med vzorcem in senzorjem ustvarili z valovnim vodnikom iz avstenitnega jekla. Resonančna frekvenca senzorja je 200 kHz, kvaliteta pa 40. Občutljivost senzorja v resonanci je velika, detektiramo lahko še

zvočni val z amplitudo pritiska $p_0 = 10^{-3} \frac{N}{m^2}$, kar ustreza relativnim premikom $\frac{\Delta s}{s_0} = 10^{-14}$. Pri takem pritisku je električni signal senzorja 20 μV , šum ojačevalca pa 10 μV preračunano na njegov vhod. Ojačani signal smo vodili preko pasovnega filtra, ki je prepuščal signal, v frekvenč-



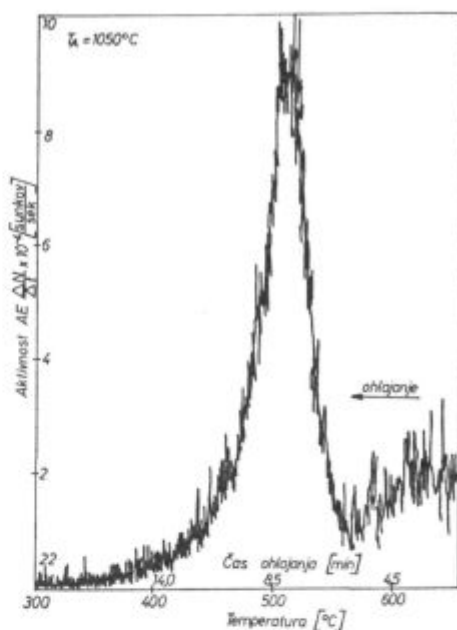
Slika 1

Shema naprave za detekcijo in analizo AE
Block diagram of instrumentation for detection and analysis of AE



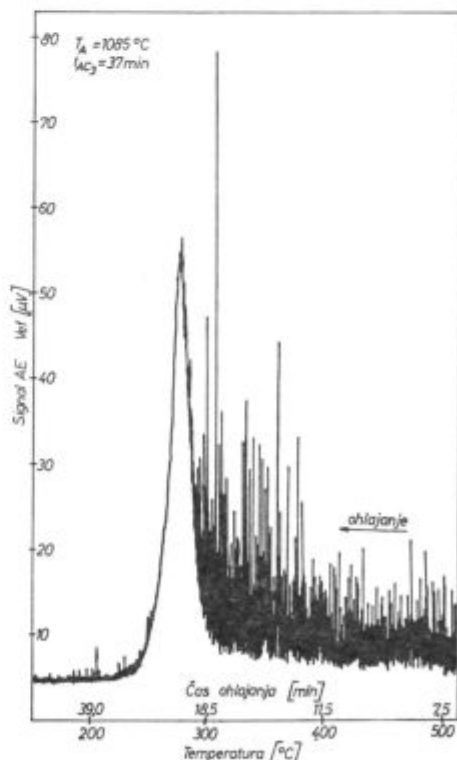
Slika 2

Temperaturna odvisnost aktivnosti AE pri bainitni premeni (vzorec št. 1)
Temperature dependence of AE activity for bainitic transformation (specimen no. 1)



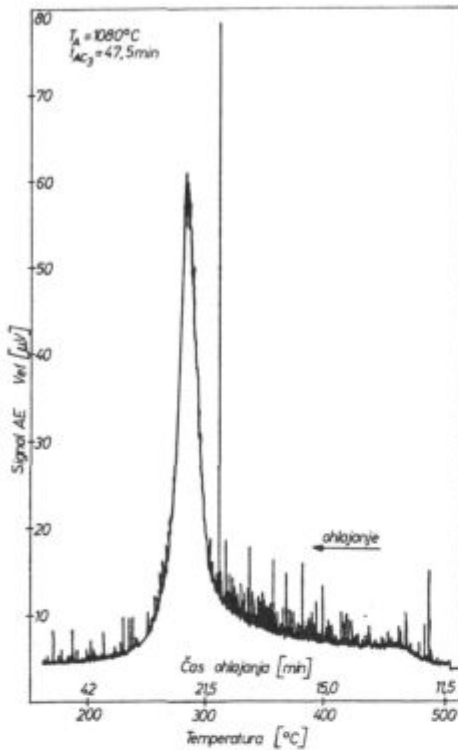
Slika 3

Temperaturna odvisnost aktivnosti AE pri bainitni premeni (vzorec št. 2)
Temperature dependence of AE activity for bainitic transformation (specimen no. 2)



Slika 4

Temperaturna odvisnost efektivne vrednosti signala AE pri martenzitni transformaciji (vzorec št. 3). Vzorec je imel zelo aktivno škajo
Temperature dependence of RMS value of the AE signal for martensitic transformation (specimen no. 3). The specimen had very active oxide film.



Slika 5

Temperaturna odvisnost efektivne vrednosti signala AE pri martenzitični transformaciji (vzorec št. 4). Tik pred premeno se pojavi močan sunek, kot napoved premene.

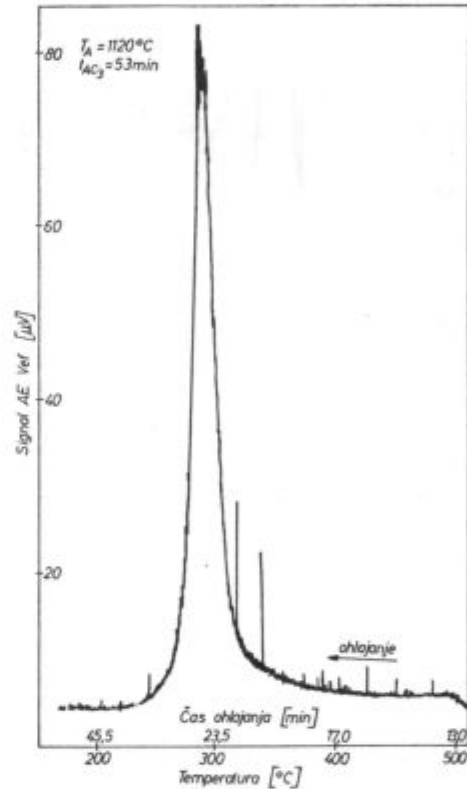
Temperature dependance of RMS value of the AE signal for martensitic transformation (specimen no. 4). Just before the transformation begins, a high amplitude burst of AE occurs.

nem pasu 100 kHz — 300 kHz. Strmina filtra je 24 dB na oktavo. Filtrirani signal smo še enkrat ojačali, tako da je skupno ojačanje signala 10^4 – 10^5 krat.

Akustična emisija pri faznih premenah je lahko diskretna ali pa zvezna. V prvem primeru vzorec oddaja posamezne zvočne izbruhe. V drugem pa vzorec stalno oddaja zvok, ker so izbruhi tako pogosti, da se časovno prekrivajo. Vrsti emisije smo priredili tudi tehniko analize signala. V primeru diskretne emisije uporabimo ring-down tehniko. Visokofrekvenčne nedemodulirane impulze vodimo na števnik preko amplitudnega diskriminatorja z nastavljenim pragom. Števnik prešteje tako samo tiste nihaje v impulzu, ki presežejo prag diskriminatorja. Prag postavimo na dvakratno vrednost šuma. S tem izločimo šum in priredimo močnejšim impulzom več sunkov kot šibkejšim. Število sunkov smo merili z digitalnim števecem, s pomočjo digitalnega analognega pretvornika pa smo jih pretvorili v ustrezno

napetost. Registriramo lahko celotno število sunkov N , tako da vse sunke sproti seštevamo, ali pa aktivnost $\frac{dN}{dt}$ tako da merimo število sunkov v enakomernih, zaporednih časovnih intervalih. Kadar so izbruhi AE tako pogosti, da je signal praktično že zvezen, je bolje meriti njegovo efektivno vrednost. V našem primeru smo merili efektivno vrednost signala s pomočjo digitalnega voltmetra, katerega analogni izhod smo vodili direktno na x-y recorder.

Pri eksperimentih smo uspeli registrirati AE pri bainitnih in martenzitičnih transformacijah podhlajenega avstena. Za ti dve transformaciji je značilna brezdifuzijska pretvorba, ki poteka sunkovito, zato smo tu akustično emisijo tudi pričakovali. Med perlitno-feritno transformacijo ni pričakovati emisije, saj je ta transformacija tipično difuzijska. Zanimivo pa je dejstvo, da dobimo pri bainitni



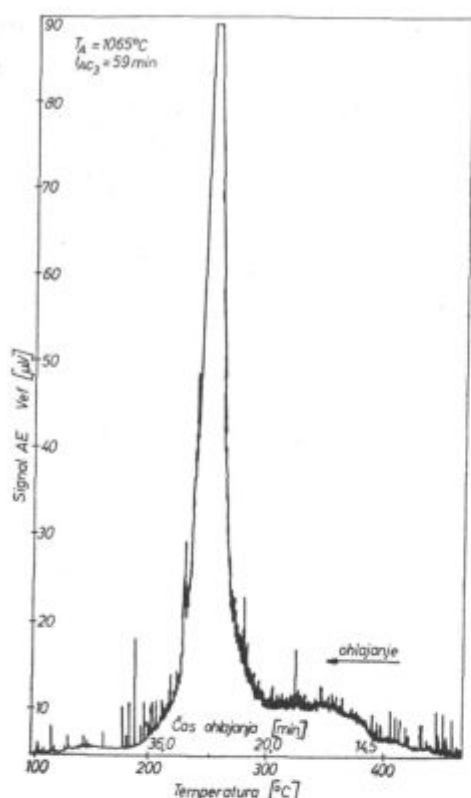
Slika 6

Temperaturna odvisnost efektivne vrednosti signala AE pri martenzitični transformaciji (vzorec št. 5). Vzorec je bil segret v zaščitni atmosferi argona.

Temperature dependance of RMS value of the AE signal for martensitic transformation (specimen no. 5). The specimen was heated in protective atmosphere.

Tabela 4

Št. vzorca (slike)	Vrsta jekla	Temp. avstena. [°C]	Čas nad premeno AC, [min]	Zaščit. atmosfera	Vrsta premene pri ohl. na zraku	Vrsta akustič. emisije
1 (2)	Č 4733/VCMo 140	—	—	brez	bainit	pos. izbruhi
2 (3)	C5743/TMCN2	1050	—	brez	bainit	pos. izbruhi
3 (4)	Č 4751/UtopMol	1085	37	brez	martenziti	zvezna
4 (5)	Č 4751/UtopMol	1080	47	dušik	martenziti	zvezna
5 (6)	Č 4751/UtopMol	1120	53	argon	martenziti	zvezna
6 (7)	Č 4751/UtopMol	1065	59	argon	martenziti	zvezna



Slika 7

Temperaturna odvisnost efektivne vrednosti signala AE pri martenzitni premeni (vzorec št. 6)

Temperature dependance of RMS value of the AE signal for martensitic transformation (specimen no. 6)

transformaciji emisijo v obliki posameznih, dobro opredeljenih in močnih impulzov, medtem ko je pri martenzitnih transformacijah signal emisije zvezen in šibak. Te ugotovitve bomo preverili v nadaljnjih preizkusih na manjših vzorcih in različnih vrstah jekla.

V tabeli 4 so urejeni rezultati naših meritev, na slikah od 2 do 7 pa je prikazana registrirana temperaturna odvisnost akustične aktivnosti, oziroma efektivne vrednosti signala. Iz slik 2 do 7 je razvidno, da je možno dokaj zanesljivo ugotoviti začetek in konec transformacije.

4. ZAKLJUČEK

Prihodnost AE kot nove tehnike preizkušanja materiala brez porušitve je predvsem na področju odkrivanja razpok, ki nastajajo in se širijo. Tehnično pomemben je tudi Kaiserjev efekt, s pomočjo katerega je mogoče ugotavljati maksimalne obremenitve materiala. Hitro se tehnika uveljavlja tudi pri kontroli varov. Naši uvodni preizkusi pa so pokazali, da je akustična emisija občutljiv indikator bainitnih in martenzitnih premen v jeklu. Tehnično pomembno pa je, da detekcija AE pri faznih premenah ne zahteva vzorca lepe oblike, kot na primer dilatometerski preizkus. Tako je mogoče tehniko AE uporabiti tudi v proizvodnih obratih, če obstajajo potrebe po ugotavljanju in zasledovanju faznih premen.

Literatura

1. J. Kaiser, Untersuchungen über das auftreten Geräuschen beim Zugversuch, Archiv für das Eisenhüttenwesen 24 (1953) 43.
2. I. Grabec, Akustična emisija, Strojniški vestnik, Letnik 21, št. 3—4, 1975.

Novi varilni praški iz proizvodnje Železarne Jesenice

Dušan Sikošek, ml.

Napredek gospodarstva in industrije v zadnjih letih je tudi v varilno tehniko vnesel nove zahteve in potrebe. Brez dodatnih materialov za varjenje si danes ne moremo predstavljati skoraj nobenega proizvodnega procesa in kakor danes povsod postavljamo v ospredje kvaliteto, ekonomičnost in enostavno uporabnost, se tudi od varilne tehnike zahteva, da stalno spremlja in razvija nove postopke in materiale, ki tem pogojem ustrezajo. Vedno večja avtomatizacija procesov se uveljavlja tudi v tehnologiji varjenja in nujno je, da se tudi dodatni materiali za varjenje razvijajo v smeri, ki jih taki procesi zahtevajo. Tudi naša železarna stalno spremlja razvoj in potrebe po dodatnih materialih in v ta namen smo razvili nov proizvod na tem področju — aglomerirane varilne praške.

Aglomerirani varilni prašek je zmes drobno zmlatih delcev, ki so s pomočjo vezivnega medija povezani v okroglo zrno velikosti 1–2 mm. Osnovne surovine predstavljajo silikati, fluoridi, karbonati in posebni dodatki, ki so nosilci fizikalnih in kemičnih lastnosti, kot npr. odstopanje žlindre, viskoznost, ionizacijska sposobnost, dezoksidacija, prigor oziroma odgor legiranih elementov itd. Vsako zrno predstavlja zaključeno celoto in njegova kemična sestava odgovarja poprečni sestavi praška. Da dosežemo take pogoje, je idealno, če so sestavni delci zrna iste velikosti, iste teže in zunanje oblike. Veliko vlogo v proizvodnji aglomeriranih varilnih praškov torej igra poleg pravilne izbire surovin tudi njihova priprava. Vezivno sredstvo poveže posamezne delce v zrna. Zrna morajo biti iste velikosti in iste oblike, ker mora prašek zagotoviti iste kemične in fizikalne lastnosti po vsej dolžini zvara, torej mora biti homogen tudi po kemični sestavi. Seveda je operacija mešanja v tem pogledu najpomembnejša. Obliko in velikost zrna določa proces aglomeracije. Zadnja pomembna operacija je sušenje. Sušenje poleg odstranitve vode pospeši kemično reakcijo med vezivnim medijem in posameznimi delci ter zagotovi zrnu določeno trdnost.

V prvi fazi razvoja aglomeriranih varilnih praškov smo se omejili na izdelavo praška z oznako OP-180. To je prašek bazične karakteristike. V kombinaciji z ustrežno žico se uporablja za varjenje nelegiranih in nizkolegiranih jekel trdnosti do 60 kp/mm² z garantiranimi mehanskimi lastnostmi do –20° C. Področje uporabe so jeklene konstrukcije, ladjedelništvo, mostovne konstrukcije in industrija kotlov in cevi. Uspešno nadomešča uvozne varilne praške bazičnega tipa kot npr. »Lincoln 780« in »Linde LW 650«.

Z aglomeriranim varilnim praškom OP-180 lahko varimo z izmeničnimi ali istosmernim tokom. Maksimalna jakost toka je 1000 A. Oblok je zelo miren in stabilen. Površina zvara je gladka. Pri varjenju z izmeničnim tokom so vari nekoliko ožji, vendar to pomanjkljivost odpravimo z zvišanjem električne napetosti. Maksimalna varilna hitrost pri navarjanju v vodoravnem položaju je 1,5 m/min. Pra-

šek vari zanesljivo brez por tudi na vlažnih in z rjo prekritih osnovnih materialih. Žlindra zelo lahko odstopa tudi z močno segrety površin. Zaradi teh lastnosti je prašek uporaben tudi za dvostransko varjenje, kar je pomembno predvsem v ladjedelništvu in pa tam, kjer se uporabljajo varilni avtomati z več glavami, tako imenovano tandem varjenje. OP-180 ima visok prigor Mn in se zaradi tega uporablja v kombinaciji z nelegiranimi varilnimi žicami (EPP 1) z nizkim odstotkom Mn (0,5%). Kljub temu se lahko uporabljajo žice z do 2% Mn, lahko tudi legirane z Ni in Mo. Z uporabo teh žic se zboljšajo mehanske lastnosti čistega vara, predvsem žilavost in trdnost.

Preizkus mehanskih lastnosti je dal naslednje rezultate:

Kemična analiza čistega vara:

Žica	C	Mn	Si
EPP 1	0,09	1,10	0,37
EPP 2	0,10	1,47	0,47

Mehanske lastnosti čistega vara:

žica	natezna trdnost kp/mm ²	meja razteznosti kp/mm ²	raztezek L o = 5 d %	žilavost DVM m + 20° C kp/cm ² – 20° C
EPP 1	55	45	30	16–19 5–10
EPP 2	65	55	24	12–17 10–14

Oznaka po DIN 8557: 9Ax 597

Zrnatost: 10 × 60 po Tyler-ju

Vzorec praška je bil tudi preizkušen v podjetju »11. Oktober«, ki izdeluje varjene cevi in profile. O uporabnosti in lastnostih aglomeriranega varilnega praška OP-180 so izdelali elaborat in navajajo sledeče zaključke:

1. Rezultati preiskav trdnosti, upogiba in radiografskih analiz kažejo na veliko homogenost zvara z veliko sposobnostjo plastične deformacije.

2. Rezultati udarne žilavosti so zadovoljivi.

3. Merjenje trdote potrjuje homogenost zvara.

4. Mikrostrukture so v normalnih mejah.

Na podlagi teh rezultatov priporočajo uporabo praška za vzdolžno varjenje cevi kvalitet R St. 37, X — 42 in X — 52 v kombinaciji z varilno žico EPP 2 in EPP 2 Mo.

OP-180 je prvi proizvod s področja aglomeriranih varilnih praškov. Nadaljnje raziskave so usmerjene na razvoj praškov na taki osnovi tudi nevtralnih in kislih ter srednje in visoko legiranih za specialne namene uporabe.

Dušan Sikošek, dipl. ing., strokovni sodelavec v raziskovalnem oddelku Železarne Jesenice

Društvene vesti

POROČILO

o Izredni skupščini ZRGMIT-SRS, ki je bila dne 16. aprila 1976 v Ljubljani

Dnevni red:

1. Otvoritev in pozdrav gostov, članov in delegatov.
2. Izvolitev delovnega predsedstva, komisije za sklepe, zapisnikarja, dveh overovateljev zapisnika in verifikacijske komisije.

3. Poročilo predsedstva.
4. Statut zveze.
5. Razno.
6. Sprejem sklepov.

Prisotni so bili delegati iz društev: Trbovlje, Velenje, Laško, Idrija, Črna-Kamnik, Jesenice, Ravne, Geološki zavod ter Montanistika.

Ad.1. Izredno skupščino je v odsotnosti predsednika otvoril podpredsednik dr. A. Paulin, dipl. inž. met., pozdravil delegate in člane.

Ad.2. Izvoljeno delovno predsedstvo skupščine: R. Ozbič, dipl. inž. rud., U. Bajželj, dipl. inž. rud., mag. inž. P. Jagodič, dipl. inž. met.;

Verifikacijska komisija: doc. dr. V. Prosenc, dipl. inž. met., Š. Zagoričnik, dipl. inž. rud. in M. Mlakar, dipl. inž. rud.;

Komisija za sklepe skupščine: J. Zaveljcina, dipl. inž. met. in R. Tarle, dipl. rud. tehnik.

Zapisnikar: V. Kersnič, dipl. inž. rud.

Overovatelja zapisnika: doc. dr. V. Prosenc, dipl. inž. met. in A. Šubelj, dipl. inž. rud.

Ad.3. Na osnovi sklepov zadnjega občnega zбора je poročilo predsedstva dalo pregled aktivnosti zveze v preteklem letu. Sklepi XVII. občnega zбора ZRGMIT SRS so bili:

1. Statut zveze.
2. Izboljšati stike s strokovnimi društvi, pri katerih je delo popolnoma zamrlo.
3. Urediti plačevanje zaostale članarine.
4. Sklicati ustanovno skupščino ljubljanskega društva.
5. Možnost ustanovitve društva na mariborskem področju.
6. Članska kartoteka.
7. Priznanja za strokovno delo.
8. Razširiti aktivnost zveze.
9. Posredovati pri TOZD, da bi več sodelovala pri društvenem delu.
10. Sodelovanje pri reševanju kadrovskih in vzgojnih problemov.
11. Prirejanje predavanj, seminarjev, strokovnih ekskurzij ipd.
12. Ustanavljanje strokovnih komitejev.
13. Pospeševati stike med društvi in zvezami, doma in v tujini.
14. Obveščanje javnosti o delu.
15. Poživljati družabno življenje članov.

Cepprav je bilo veliko sklepov sprejetih na prejšnjem občnem zboru, je zveza pri številnih sklepih dosegla že določene rezultate.

— Izdelan je dokončen statut zveze, s katerim soglašata RK SZDL. Zveza je pomagala nekaterim društvom pri izdelavi njihovih statutow.

— Oživilo se je delo društva v Mežici.

— Sklican je bil 8. aprila 1976 ustanovni zbor ljubljanskega društva in začela se je akcija za registracijo. Udeležba 11 članov.

— Dokončno je izdelan predlog, da bi bilo strokovno delo članov priznано z Zoisovo plaketo. Utemeljitev:

Razdrobljene gorenjske fužine v 18. stoletju sta začela združevati pod enotnim vodstvom dva nova doseljena fužinarja, Michelangelo Zois in Valentin Ruard. Zois se je najprej ukvarjal s trgovino z železom, nato je šele prešel v fužinarstvo. Postal je ustanovitelj veje Zoisov na slovenskih tleh. Njegov najstarejši sin je bil Žiga, ki se je rodil leta 1747. Študiral je humanistične vede v Reggio (Italija). Z 18 leti je prevzel očetovo podjetje. V prostem času se je dalje izobraževal v naravoslovju, matematiki in filozofiji. Posebno so ga zanimala mineralogija, kemija, rudarstvo in plavžarstvo. Na svojih poslovnih in študijskih potovanjih po Evropi je obiskal slovite železarnice in se posvetoval z znanimi naravoslovci, kemiki in mineralogi. Odkril je mineral, ki ima po njem ime zoisit. Bil je član številnih znanstvenih društev v Evropi. Na svojem domu je uredil bogato zbirko mineralij. Obenem je nesebično podpiral vsako ustvarjalno znanstveno delo in pomagal mladim talentom, da se uveljavijo. Z vneto se je posvetil tudi slovenskemu prerodu kot znanstveni usmerjevalec in mecen. Postal je vodja najagilnejšega prarodnega krožka, pomagal je ustvarjati program regeneracije slovenskega literarnega jezika in pritegniti prosvetne panoge v slovensko književno obravnavanje. Ceprav je bil šolan v Italiji, se je istovetil s Slovenci in hotel zanje delovati.

Iz kratkega opisa delovanja Zige Zoisia sledi, da je odlično pripomogel k napredovanju geologije, rudarstva in metalurgije na Slovenskem, zato lahko utemeljeno nagraduje zveza strokovno prizadevnost članov z Zoisovo plaketo.

— Zveza je priredila 1 mednarodno strokovno ekskurzijo (na rudarsko razstavo v Doneck — SZ, septembra 1975), v teku pa je organizacija obiska svetovne rudarske razstave v Düsseldorfu, maja 1976. V planu je tudi izmenjalna strokovna ekskurzija z DIT Bor — Srbija.

— Organizirala je XXI. strokovno metalurško posvetovanje (16. april 1976).

— Sodeluje na vseh KO SITJ-RGM in s tem vzdržuje stike s ostalimi republiškim zvezami. Stiki s tujimi društvi so zaenkrat nespremenjeni — slone le na izmenjavi revij z avstrijskim društvom. Na zadnjem KO SITJ-RGM je bilo rečeno, naj bodo nosilci stikov s tujimi društvi ustrezni strokovni komiteji. Na istem sestanku je bila predlagana tesnejša zveza med društvi in strokovnimi komiteji.

— Stalno obvešča društva o strokovnih in drugih manifestacijah doma in v tujini.

— Prirejani zapisniki skupščine ter sej predsedstva se objavljajo v Železarskem zborniku in Rudarsko-metalurškem zborniku, kratka obvestila pa tudi v nekaterih internih glasilih podjetij. Uredniškim odborom teh revij in glasil se zveza za njihovo razumevanje zahvaljuje. Obenem je v št. 5—6/1974 Nove Proizvodnje izšel članek o zvezi in njenem delu.

— Zveza je 16. aprila 1976 zvečer organizirala tovariško srečanje diplomantov rudarstva od leta 1945 do 1955 in metalurgije od 1941 do 1955.

V času od XVII. rednega občnega zбора marca 1975 se je predsedstvo zveze sestalo dvakrat, izvršni odbor pa štirikrat. Delegati ali predstavniki zveze so se udeležili skupščine SITJ v Beogradu, dveh sej KO SITJ-RGM ter občnih zborov društev v Kidričevem, na Jesenicah in v Idriji.

Podpredsednik zveze dr. Paulin je delegat v delegaciji ZITS pri RK SZDL ter član predsedstva in izvršnega odbora ZITS.

Finančno stanje:

1. 7. 1975 manjko 7.749	17. 2. 1976 + 8.426
15. 10. 1975 manjko 2.722	25. 3. 1976 + 4.113
12. 12. 1975 manjko 170	10. 4. 1976 + 1.896

Ukrepi za izboljšanje stanja:

1. Zveza ne more več subvencionirati članov pri naročnini revije RGM. Ker se je z letom 1976 revija podražila za 50 %, pride številka revija sedaj 6 din (v to je vračunan 50 % popust, ki ga naša zveza dobiva, ko skupaj naroča 75 izvodov te revije).

2. Poslali smo v začetku leta plan dela zveze delovnim organizacijam, da bi z njimi sklenili dogovor o delnem financiranju dela zveze.

3. Organizacija strokovnih manifestacij (ekskurzije, predavanja). Skupščina je sprejela poročilo predsedstva.

Ad.4. Na statut zveze, o katerem je razpravljala XVII. občni zbor je dala RK SZDL pripombo, da ni v skladu s 4. in 6. členom zakona društvih. Bistvena napaka je bila, da zveza združuje društva in ne člane. V tem smislu je bil statut tudi popravljen. Obenem je bilo nekoliko preurejeno poglavje o ciljih, nalogah in programu zveze na osnovi pogovora članov predsedstva zveze s predstavnikmi KO RK SZDL. Člena 6 in 7 sta sedaj:

6. člen

1. Dejavnost zveze je zasnovana na ustavnih načelih, idejno političnih izhodiščih samoupravnega socializma ter programski usmeritvi SZDL Slovenije. Zveza sooča v SZDL svoje interese z interesi drugih družbenih dejavnikov, ter se sporazumeva ter dogovarja za družbene akcije, eodsluje pri spejemanju političnih smernic, stališč in sklepov. Na lastno pobudo, ali pobudo vodstev SZDL se dogovarja o vseh aktualnih vprašanjih, še posebej o lastnih programskih zasnovah, kadrovske politiki, mednarodnemu sodelovanju, politiki financiranja, založniški dejavnosti strokovnega tiska in drugem.

2. Združuje in organizira društva rudarske, geološke in metalurške stroke za napredek panoge rudarstva, geologije in metalurgije, proučevanja in osvajanja sodobnih tehničnih pridobitev in prenašanje le-teh v operativno in podobno.

3. Nenehno krepi svoja društva in pospešuje njih delo z uporabo vseh sodobnih oblik dela. Izmenjuje izkušnje s sodelovanjem med društvi.

4. Izraža mnenja in daje nasvete pri reševanju tehničnih in gospodarskih zadev v zvezi z rudarsko, geološko in metalurško stroko.

5. Sodeluje pri izdelavi perspektivnih in letnih planov oziroma analiz s področja rudarstva, geologije in metalurgije.

6. Sodeluje z ustreznimi institucijami za izobraževanje pri usmerjanju vzgoje in strokovnega dviga kadrov.

7. Razvija smisel za večjo produktivnost in dobro kvaliteto proizvodnje.

8. Zveza v okviru svoje dejavnosti skrbi za uresničevanje socialistične družbene samozaščite z delovanjem vseh organiziranih socialističnih sil za zavarovanje naše socialistične samoupravne družbe pred vsemi vrstami in oblikami dejavnosti, ki spodbujajo, ovirajo in ogrožajo njen razvoj. Pri tem se zavzema za podružabljanje in uresničevanje zasnove ljudske obrambe, ter družbene samozaščite s posebnim poudarkom na krepitvi in razvoju varnostne kulture pri svojih članih.

7. člen

Te cilje in naloge uresničuje zveza neposredno ali prek svojih društev:

1. S pretresom važnih vprašanj in problematike na skupščinah zveze, na širših članskih sestankih — plenumih ter s prenašanjem sklepov prek delegatov ustreznim samoupravnim interesnim skupnostim ter socialistični zvezi delovnega ljudstva.

2. Z republiškim in zveznim posvetovanji kongresi, simpoziji ipd. rudarjev, geologov in metalurgov v območju zveze in v povezavi s SIT-om RGM stroke Jugoslavije in po drugi strokovni kakor splošni povezavi.

3. S predavanji, razpravami in predvajanjem filmov rudarsko-geološke in metalurške stroke, o družbeni samozaščiti ter s področja splošne tehnične in ekonomske prirode.

4. Z osnovanjem ožjih strokovnih sekcij na področju rudarstva, geologije in metalurgije kot oblik dela.

5. S sodelovanjem pri strokovnih, znanstvenih in poljudnih publikacijah, z usmerjanjem publicistike na aktualna vprašanja rudarske, geološke in metalurške stroke in s sodelovanjem pri izdajanju strokovnih knjig ter učbenikov.

6. S prirejanjem razstav ali sodelovanjem na razstavah, prirejanjem študijskih ogledov in potovanj doma in v tujino.

7. Z zbiranjem in urejevanjem gradiva za rudarsko, geološko in metalurško terminologijo, kakor tudi s skrbjo, da se vsi starinski sledovi in znamenitosti rudarstva, geologije in metalurgije v naši domovini zavarujejo in ohranijo.

8. S sodelovanjem v ZITS in SIT — Jugoslavije, z zvezno in republiškim zvezami in organizacijami rudarske, geološke in metalurške stroke, kakor drugimi strokami in njihovimi društvi doma in v inozemstvu, skladno s sprejeto mednarodno politiko, z zamenjavo delegacij in posameznih strokovnjakov, z organizacijo medsebojnih strokovnih ekskurzij ter z drugimi oblikami sodelovanja.

9. Z objavami in poročili delovanja zveze v strokovnem in splošnem časopisju.

Popravljen statut je zveza ponovno poslala na SZDL in z dopisom z dne 3. marca 1976 SZDL smatra, da je statut družbeno sprejemljiv. Menijo le, da bi člena 9 in 10, ki govorita o formiranju in delovanju društev izpadla iz statuta zveze, ker ta člena spadata v statute društev.

Naknadno pa bi predlagali SZDL po naši skupščini dopolnilo 14. člena, ki govori o podeljevanju nazivov častnih in zaslužnih članov:

Dodati po 3. odstavku:

»Priznanja za uspešno strokovno prizadevnost članov nagraduje Zveza s podelitvijo Zoisove plakete«.

S tem se dopolni tudi 4. odstavek:

»Skupščina voli častne in zaslužne člane ter podeljuje Zoisove plakete na predlog društev in Predsedstva Zveze. Način volitve častnih in zaslužnih članov ter podelitev Zoisovih plaket je določen s posebnim pravilnikom Zveze. Voljeni in nagrajeni so lahko tudi tuji državljani«.

Predsedstvo je na zadnji seji sklenilo, da predlaga skupščini, naj pooblasti Predsedstvo, da izdela in potrdi pravilnik o podeljevanju plaket.

Skupščina je soglasno sprejela spremembe Statuta.

ad 5. Skupščina je soglasno sprejela, da se poveča članarina Zvezi od 1.— na 2.— din mesečno za člana.

Utemeljitev: Članarina Zvezi je ostala nespremenjena že dolgo let, stroški pa stalno rastejo.

Skupščina je sprejela predlog IO, da se skupščina SITJ —RGM stroke, ki bo predvidoma novembra v Budvi (skupaj z zveznim posvetovanjem o produktivnosti dela) udeleži naslednje število delegatov iz posameznih društev:

- 4 — Trbovlje
- 3 — Jesenice
- 2 — Ljubljana
- 2 — Velenje
- 2 — Idrija
- 1 — Mežica
- 1 — Senovo
- 1 — INA Lendava
- 1 — IMPOL
- 1 — Ravne
- 1 — Štore

Imena naj društva sporoče naknadno, predvidoma do 1. 10. 1976.

ad 6. — Strokovno prizadevnost članov bo Zveza nagrajevala s podelitvijo Zoisove plakete. Podelitev potrdi Skupščina na predlog društev in Predsedstva. Pravilnik za podeljevanje plaket izdelala Predsedstvo Zveze.

— Sprejeta je dokončna oblika Statuta Zveze, s katerim se strinja RK SZDL.

— Da bi se z delom Zveze in društev seznanila tudi širša javnost razen strokovne, bi bilo na organizacijske in strokovne manifestacije Zveze in društev treba vabiti tudi novinarje javnih glasil.

— Poveča se članarina Zvezi na 2.— din mesečno za člana.

— Izvoljeno je bilo število delegatov, ki bodo zastopali ZRGMIT SRS na skupščini SITJ-RGM stroke.

XXI. Metalurško strokovno posvetovanje

INOVACIJE - izboljšani tehnološki postopki

je bilo 16. aprila 1976 v Ljubljani. Organizirala sta ga Zveza rudarskih, geoloških in metalurških inženirjev in tehnikov SRS ter TOZD Montanistika. Udeležilo se ga je le 19 udeležencev, med katerimi ni bilo predstavnikov barvne metalurgije. Ob tej priložnosti je treba povedati, da v številnih društvih ni delovalo obveščanje članov o posvetovanju, zato je bila udeležba manjša kot bi na izbrano tematiko pričakovali.

Na posvetovanju je bilo 6 predavanj:

1. Pregled inovacijske dejavnosti v slovenskih železarnah v zadnjih letih.

2. Statistični pregled razvoja inovacijske dejavnosti v železarni Ravne.

3. Izdelava kvalitetnega jekla iz metaliziranih peletov iz odpadnih piritnih ogorkov.

4. Uporaba TNP in zemeljskega plina ob upoštevanju osamosvojitve od uvoza gorilnikov.

5. Priprava Steckel valjanega stroja za avtomatizirano valjanje toplih širokih trakov.

6. Razvoj dodatnih materialov na osnovi zakonitosti poteka fizikalno-kemičnih procesov med varjenjem.

Posebno zanimivi sta bili prvi predavanji, ki sta dali pregled, kaj je bilo narejenega na področju inovacij, kakšen prispevek je to pomenilo gospodarstvu in kakšna je struktura inovatorjev po izobrazbi ter strokah. Ugotovljeno je bilo, da se je z uporabo predlaganih inovacij povečala proizvodnost brez vpeljave novih agregatov, npr. prihranek v Železarni Ravne je bil v 5 letih okoli 15.000.000 N din. Ugotavlja pa se, da število inovacij upada. Treba je rešiti ažurnost reševanja prijav ter izbirati in nagrajevati tudi ideje. Prvo predavanje bo objavljeno v Železarskem zborniku, drugo pa v reviji Teorija in praksa.

Ostala predavanja so prikazala uporabo raziskovanj in znanstvenih pristopov pri izboljšavi tehnoloških postopkov na nekaterih konkretnih primerih. Zadnje predavanje bo objavljeno v Rudarsko-metalurškem zborniku.



ŽELEZARNA JESENICE

Dodajni material za talilno varjenje

NELEGIRANE CELULOZNE, RUTILSKE IN KISLE ELEKTRODE:
CITOFINE, CELKORD 1, CELKORD 2, CELKORD 3, JADRAN, OVERKORD, FINKORD, EMONA, CITORAPID.

NELEGIRANE RUTILSKE IN KISLE ELEKTRODE:
SAVA, SAVA 200, SAVA GV, FEROKORD 160 R, FEROKORD 180 R, FEROKORD 210 R, FEROKORD GV 135 R, DRAVA, KOZARA

NELEGIRANE BAZIČNE ELEKTRODE:
GALEB 50, ISTRAN, EVB 50, TIFON 8, FEROKORD 150 B, FEROKORD 180 Zr.

MALO LEGIRANE BAZIČNE ELEKTRODE:
EVB 60, EVB Ni.

MALO LEGIRANE BAZIČNE IN RUTILSKE ELEKTRODE:
EVB CuNi, GALEB 70, EVB 2,5 Ni, EVB 2,5 NiMo, E TiMo, EVB Mo, EVB CrMo, EVB 2 CrMo.

MOČNO LEGIRANE ELEKTRODE ODPORNE PROTI KOROZIJI IN OGNJU:
INOX 13/6 Fe, INOX 17 Fe, INOX 17/M Fe, INOX 18/8 SA, INOX 18/8/2 SA, INOX 25/4, INOX 25/20.

MOČNO LEGIRANE AVSTENITNE ELEKTRODE ZA POSEBNE NAMENE:
INOX 18/8/3 AFe, INOX 18/8/6, INOX 18/8/6 A, INOX 20/9 A.

ELEKTRODE ZA NAVARJANJE:
UTOP 38, UTOP 55, TOOLCORD, E DUR 250, E DUR 300, E DUR 400, E DUR 500, E DUR 600, CITOMANGAN, CITODUR V 1000, CrWC 600.

ELEKTRODE ZA VARJENJE SIVE LITINE, BRONA IN ALUMINIJA:
SUPERFONTE Mo, SUPERFONTE Ni, SUPERFONTE NiFe, CITOBRON CITOBRON Al, ALKORD 99,5, ALKORD ALUMAN, ALKORD 12 Si.

ŽICE ZA VARJENJE V ZAŠČITNEM PLINU CO₂:
VAC 60, VAC 65, VAC 60 Ni, VAC 60 CuNi.

POLNJENE ŽICE ZA VARJENJE V ZAŠČITNEM PLINU CO₂:
FLUXOFIL 11, FLUXOFIL 30, FLUXOFIL 40, FLUXOFIL 41, FLUXOFIL 58, FLUXOFIL 62.

ŽICE ZA AVTOMATSKO VARJENJE POD PRA KOM:
EP 10, EP 20, EP 40, EP 45, EP 50.

AGLOMERIRANI PRAŠKI ZA AVTOMATSKO VARJENJE POD PRAŠKOM:
OP 100, OP 180, OP 40 TT, OP 70 Cr, OP 450 A, OP 600 A.

ŽICE ZA PLAMENSKO VARJENJE:
VP 37, VP 42, VP 52, VP 60.

Odgovorni urednik: Jože Arh, dipl. inž. — Člani Jože Rodič, dipl. inž., Viktor Logar, dipl. inž., Aleksander Kveder, dipl. inž., Edo Žagar, tehnični urednik.

Oproščeno plačila prometnega davka na podlagi mnenja Izvršnega sveta SRS
— sekretariat za informacije št. 421-1/72 od 23. 1. 1974

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

VSEBINA

UDK: 621.785.3.003.63
ASM/SLA: N5, I23c, M27c

A. Rodič
Rekristalizacijski diagrami
Zelezarski zbornik 10 (1976) 2 s 53—64

Članek obravnava rezultate raziskav medsebojnih odnosov utrjevanja pri hladni deformaciji in pogojev rekristalizacije.

Osnovni cilj raziskovalnega programa je bila osvojitve optimalne metodike preiskav za ugotavljanje stopenj utrditve in poteka rekristalizacij za tipične vrste jekel, tako da bi v nadaljnjem programu obširnega razvojnega projekta potrebne raziskave izvršili čimbolj učinkovito in ekonomično.

Podani so rezultati raziskav za dve vrsti visokolegiranih jekel feritnega tipa, za dve visokolegirani avstenitni jekli, za nerjavo in nižje legirano orodno jeklo.

Avtorski izvleček

UDK: 669.14.018.456.2:621.78
ASM/SLA: TS, I

F. Uranc
Kvalitetnejša, toplotna obdelava izdelkov iz utopnih jekel
Zelezarski zbornik 10 (1976) 2 s 77—81

Statistično je prikazan vpliv raznih dejavnikov toplotne obdelave in velikosti ter oblik izdelkov iz utopnih jekel na trdoto teh izdelkov. Ugotovljen je samo vpliv popuščne temperature in še ta ni popolnoma določen. Nedoločnosti so lahko krivi subjektivni kot tudi objektivni dejavniki toplotne obdelave.

Avtorski izvleček

UDK: 669.15 — 194.58
ASM/SLA: N8, M23b, S12, TSh, 2—60

J. Rodič, A. Segel
Vpliv kemijske sestave na premenske točke ledeburitnih orodnih jekel
Zelezarski zbornik 10 (1976) 2 s 65—75

Poseben raziskovalno razvojni projekt orodnih jekel ledeburitnega tipa obsega tudi obširen program dilatometrijskih preiskav. Del teh, ki se nanašajo na ugotavljanje vplivov kemijske sestave na temperature premenskih točk in na specifične dilatacije v premenskem območju je obravnavan v tem članku za 11 variant jekel omenjenega tipa z naslednjim območjem posameznih elementov: C = 0,85 — 2,18 %, Cr = 4,29 — 12,7 %, W = 0 — 6,4 %, M = 0,01 — 5,15 %, V = 0,01 — 1,97 %.

Za ugotavljanje vplivov so bile izvršene statistične analize regresije in v članku so rezultati najpomembnejših podani z nomogrami in enačbami $y = f(x_1, x_2)$.

Avtorski izvleček

UDK: 669.14.018.233
ASM/SLA: CNg, G5

K. Kuzman
Vpliv preoblikovanja materiala na snovanje procesov hladnega masivnega preoblikovanja jekel
Zelezarski zbornik, 10 (1976) 2 s 83—92

Rentabilnost hladnega masivnega preoblikovanja je odvisna od pravilne zasnove postopka, pri čemer je pravilna izbira vrste jekla odločilnega pomena. Uporabnik in proizvajalec jekla morata skupaj sestaviti prevzemne pogoje za jekla, ki morajo biti prirejeni zahtevam tehnologije preoblikovanja določenega artikla.

Kljub temu, da še niso popolnoma razčiščena vsa vprašanja v zvezi s kriteriji, ki naj služijo za ocenjevanje sposobnosti jekla za masivno preoblikovanje v hladnem.

Avtorski izvleček

INHALT

UDK: 621.785.3.003.63
ASM/SLA: N5, I23c, M27c

A. Rodič

Die Rekristallisationsdiagramme

Zelezarski zbornik 10 (1976) 2 S 53—64

Im Artikel werden die Ergebnisse der Untersuchungen der gegenseitigen Beziehungen der Verfestigung bei der Kaltverformung und der Rekristallisationsbedingungen behandelt.

Das Grundziel des Forschungsprogrammes war die Einnahme der besten Untersuchungsmethodik für die Feststellung des Verfestigungsgrades und des Rekristallisationsverlaufes für die typischen Stahlsorten so, dass diese im weiteren Programm eines umfangreichen Entwicklungsprojektes nötigen Untersuchungen wirkungsvoller und ekonomischer durchgeführt wurden.

Die Ergebnisse der Untersuchungen für zwei Sorten hochlegierter ferritischer Stähle, für zwei hochlegierten austenitischen Stähle für das nichtrostende und niedriglegierte Werkzeugstahl sind angegeben.

Auszug des Authors

UDK: 669.14.018.456.2:621.78
ASM/SLA: TS, I

F. Uranc

Eine qualitätsmässig bessere Wärmebehandlung der Erzeugnisse aus Gesenkstahl

Zelezarski zbornik 10 (1976) 2 S 77—81

Es wird der Einfluss verschiedener Einflussfaktoren der Wärmebehandlung der Größe und der Form der Erzeugnisse aus Gesenkstahl auf die Härte dieser Erzeugnisse statistisch bewertet. Es ist nur der Einfluss der Anlasstemperatur festgestellt worden und nicht einmal dieser ist vollkommen bestimmt. Diese Unbestimmtheit kann von den subjektiven wie von den objektiven Einflüssen abhängig sein.

Auszug des Authors

UDK: 669.15 — 194.58
ASM/SLA: N8, M23b, S12, TSh, 2—60

J. Rodič, A. Segel

Einfluss der chemischen Zusammensetzung auf die Umwandlungspunkte der ledeburitischen Werkzeugstähle

Zelezarski zbornik 10 (1976) 2 S 65—75

Ein Forschungs- und Entwicklungsprojekt für die ledeburitischen Werkzeugstähle umfasst auch ein umfangreiches Programm der dilatometrischen Untersuchungen. Ein Teil dieser Untersuchungen, welche sich mit der Feststellung der Einflüsse der chemischen Zusammensetzung auf die Umwandlungstemperaturpunkte und auf die spezifische Dehnung im Umwandlungsbereich befassen, wird in diesem Artikel für elf Varianten der Stähle des erwähnten Types mit folgendem Analysenbereich der einzelnen Elemente behandelt:

C = 0,85 — 2,18 %, Cr = 4,29 — 12,7 %, W = 0 — 6,4 %, Mo = 0,01 — 5,15 %, V = 0,01 — 1,97 %.

Die Feststellung der Einflüsse ist mittels der statistischen Regressionsanalyse durchgeführt worden. Im Artikel sind die Ergebnisse der wichtigsten Einflüsse in Nomogrammen und Gleichungen $y = f(x_1, x_2)$ gegeben.

Auszug des Authors

UDK: 669.14.018.233
ASM/SLA: CNg, G5

K. Kuzman

Einfluss der Verformung des Materials auf die Prozesse der Kaltmassivumformung

Zelezarski zbornik, 10 (1976) 2 S 83—92

Einige Grundkriterien für die Bewertung der Stähle für die Kaltmassivumformung sind gegeben.

Es hat sich gezeigt, dass die Abnahmebedingungen für dieselbe Stahlsorte verschieden sein können und dass diese den verschiedenen Umformungsbedingungen angepasst werden müssen.

Die Grundbedingung bei der Einnahme der Kaltmassivumformungstechnologie ist eine enge Zusammenarbeit zwischen dem Stahlerzeuger und Stahlverbraucher.

Auszug des Authors

CONTENTS

UDK: 621.785.3.003.63
ASM/SLA: N5, I23c, M27c

A. Rodič
Recrystallization Diagrams
Zelezarski zbornik 10 (1976) 2 P 53—64

Mutual relations between the hardening in cold working and the recrystallization conditions are treated in the paper on the base of experimental investigations.

Basic aim of the project was to find the optimal investigation method for determining degrees of hardening and the recrystallization course for typical steels to that in further extensive research and development the necessary investigations could be made most effectively and economically.

Investigation results for two high-alloyed ferritic steels, two high-alloyed austenitic steels, for a stainless, and a low alloyed tool steel are presented.

Author's Abstract

UDK: 669.14.018.456.2:621.78
ASM/SLA: TS, I

F. Uranc
Better Heat Treatment of Die Steel Products
Zelezarski zbornik 10 (1976) 2 P 77—81

Influence of various parameters of heat treatment, of the size and the shape of die steel products on their hardness is presented statistically. Only influence of the tempering temperature was observed but even its influence is not completely clear. Undeterminable relationships can be caused by subjective and objective conditions in the heat treatment.

Author's Abstract

UDK: 669.15 — 194.58
ASM/SLA: N8, M23b, S12, TSh, 2—60

J. Rodič, A. Segel
Influence of Chemical Composition on Transformation Points of Ledeburite Tool Steel
Zelezarski zbornik 10 (1976) 2 P 65—75

Special research and development of ledeburite tool steel includes also an extensive program of dilatometric investigations. Those referring to the determination of influence of chemical composition on the transformation temperatures and on the specific dilatations in the transformation region are presented in this paper. Eleven ledeburite steel were investigated having the following compositions:

0.85 to 2.18 % C, 4.29 to 12.7 % Cr, 0 to 6.4 % W, 0.01 to 5.15 % Mo, and 0.01 to 1.97 % V.

In determining the influence, statistical analyses of regression were made. Results of the most important ones are presented in the paper by nomograms and equations $y = f(x_i, x_i^2)$.

Author's Abstract

UDK: 669.14.018.233
ASM-SLA: CNg, G5

K. Kuzman
Influence of materials workability on designing massive cold working processes
Zelezarski zbornik 10 (1976) 2 P 83—92

Some basic criteria to estimate the massive cold workability of steel are given.

It was shown that surveying conditions for the same steel type can be different and that they must be adjusted to different working conditions.

The basic condition to master the technology of massive cold working is close cooperation between the manufacturer and the user of steel.

Author's Abstract

СОДЕРЖАНИЕ

UDK: 621.785.3.003.63
ASM/SLA: N5, I23c, M27c

A. Rodič

Рекристаллизационные диаграммы.
Zelezarski zbornik 10 (1976) 2 с 53—64

В статье рассмотрены результаты исследований взаимоотношения упрочнения при холодной деформации и условий рекристаллизации.

Основная цель программы исследований — усвоить оптимальную методику исследований для определения степени упрочнения и течения процесса рекристаллизации типичных сортов стали, чтобы в последующей программе обширного проекта развития необходимые исследования могли быть выполнены по возможности эффективнее и чем более экономически.

Поданы результаты исследования двух марок высоколегированной стали ферритного типа, двух марок высоколегированной стали аустенитного типа и по одной нержавеющей и низколегированной инструментальной сталей.

Авторский экстракт

UDK: 669.14.018.456.2:621.78
ASM/SLA: TS, I

F. Urauc

Более качественная термическая обработка изделий из штамповочных сталей.

Zelezarski zbornik 10 (1976) 2 с 77—81

Статистическим методом показано влияние разных факторов термической обработки, также влияния величины и формы изделий из штамповочных сталей на твердость этих изделий. Установлено, хотя еще не вполне определена, влияние температуры отпуска. Неопределенности можно причесть субъективные а также и объективные обстоятельства термической обработки.

Авторский экстракт

UDK: 669.15 — 194.58
ASM/SLA: N8, M23b, S12, TSh, 2—60

J. Rodič, A. Segel

Влияние химического состава на точки преобразования ледобуритных инструментальных сталей.

Zelezarski zbornik 10 (1976) 2 с 65—75

Отдельный проект развития исследования инструментальных сталей ледобуритного типа включает также обширную программу dilatометрических исследований. В этой работе рассмотрены исследования, которые относятся на определение влияния химического состава на температуры точек преобразования и на удельные dilatации учета интервал времени. Работа включает II вариант ледобуритных сталей, причем их химический состав находится в следующих пределах:

$C = 0,85 - 2,18 \%$, $Cr = 4,29 - 12,7 \%$, $W = 0 - 6,4 \%$, $Mo = 0,01 - 5,15 \%$, $V = 0,01 - 1,97 \%$.

Для определения влияний выполнены статистические анализы регрессии а важнейшие результаты поданы с номограммами и уравнением $y = f(x_1, x_2)$

Авторский экстракт

UDK: 669.14.018.233
ASM/SLA: CNg, G5

K. Kuzman

Влияние деформации материала к размышлению о процессах холодного массивного деформирования.

Zelezarski zbornik, 10 (1976) 2 с 83—92

Приведено несколько основных критерий для оценки способности сталей к массивной деформации в холодном состоянии. Оказалось, что условия приёма для одного и того же сорта стали могут быть различны и должны быть приготовлены в согласовании с различными условиями деформации.

Основное условие для усвоения технологии массивной деформации в холодном состоянии представляет тесное сотрудничество между производителем и потребителем стали.

Авторский экстракт