UDK 621.745.5:669.14

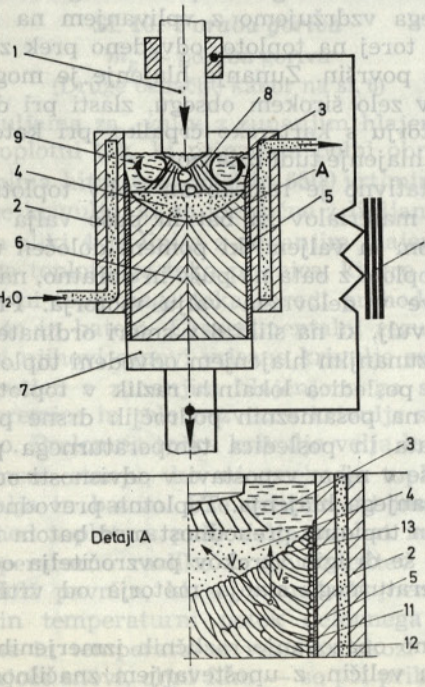
Zunanji vplivi na odtaljevanje

VIKTOR PROSENC

1. UVOD

Pretaljevanje jekla pod žlindro (EPŽ-postopek) in varjenje pod žlindro (EPŽ-varjenje) imata enake fizikalne osnove in tudi dejanski potek obeh postopkov je zelo podoben. Metalografska slika »EPŽ-bloka« in »EPŽ-zvara« je iz izrazito usmerjenih in ponavadi tudi zelo grobih kristalnih zrn. Takšna usmerjena kristalna zrnina, nastala po pretaljevanju pod žlindro, je ugodna za naslednje plastično preoblikovanje z valjanjem v vročem [1]. Nasprotno pa je groba usmerjena zrnina neugodna za EPŽ-zvare, ki imajo pogosto slabše mehanske lastnosti. Zato so posegi, s katerimi bi kristalografsko strukturo izboljšali, tako da bi postala drobnejša in manj usmerjena, za prakso zanimivi.

Vpliv primarne kristalizacije ulitih blokov se pogosto ohranja tudi še po predelavi z gnetenjem.



Sl. 1. *Shematični prikaz pretaljevanja pod žlindro, talilnega sistema in kristalizacije*

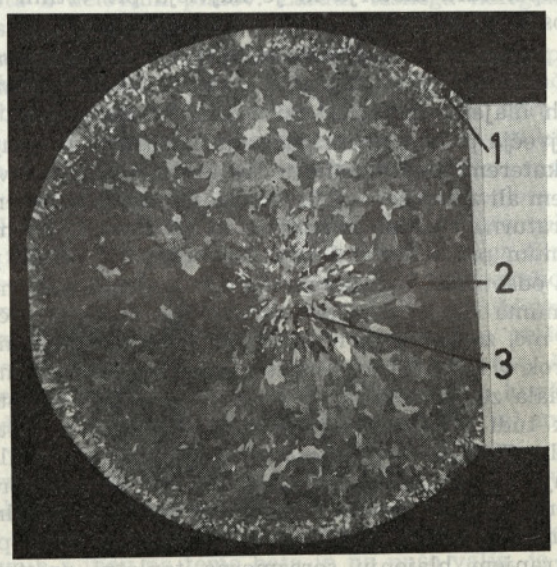
1 elektroda
2 kristalizator z gibljivim dnom (oz. vodno hlajena kokila
3 raztaljena žlindra, smer cirkulacije
4 kovinska talina
5 plašč žlindre na bloku
6 pretaljeni in že strnjeni blok
7 talna plošča (premično dno kristalizatorja)
8 aktivni stožec (cona med elektrodo in talino)
9 kapljice raztaljene kovine
10 izvor energije — transformator
11 zunanja globulitna cona
12 usmerjeni stebričasti ali dendritni kristali
13 kristalizacijska fronta (čelo)
v_s = hitrost strjevanja bloka oz. polnjenja kokile
v_k = hitrost kristalizacije

Posledice so lahko različne, npr.: nehomogena kemična sestava (gledano v mikrometalografskem merilu) in nehomogena razdelitev strukturnih komponent (feritno-perlitna trakavost), neenakomerna porazdelitev karbidov ali drugih podobnih faz. Vse to lahko odločujoče vpliva na kvaliteto raznih izdelkov.

2. KRISTALIZACIJSKE OSNOVE

Prednosti EPŽ-postopka za predelavo jekla izhajajo predvsem iz načina kristalizacije, v neposredni povezavi z učinkovanjem žlindre in pretaljevalnih parametrov, kakršni so: tok, napetost, hitrost taljenja, globina talilne kopeli (predvsem žlindre) in še drugo (slika 1).

Kristalizacija se začenja, kakor vedno pri prehajanju kovin iz raztaljenega v trdno stanje — zaradi intenzivnega odvajanja toplote skozi stene kristalizatorja in talno ploščo ter s tem povzročene podhladitve taline — najprej na dnu in stenah kokile. Nastane tanka cona razmeroma drobnih in neusmerjenih kristalov. Zaradi neprekinjenega odtaljevanja konice elektrode se stalno dovaja ne le močno pregreta sveža kovinska talina, ampak tudi veliko toplote. Vzpostavi se neko navidezno ravnotežje v talilnem sistemu med dovedeno in odvedeno toploto. V začetku se največ toplote odvaja v hladilno vodo skozi dno kristalizatorja, pozneje pa vedno več skozi stene.



Sl. 2. *Kristalizacijske cone v EPŽ-bloku*

1 zunanja globulitna cona
2 usmerjena cona stebričastih ali dendritnih kristalov
3 notranja usmerjena cona

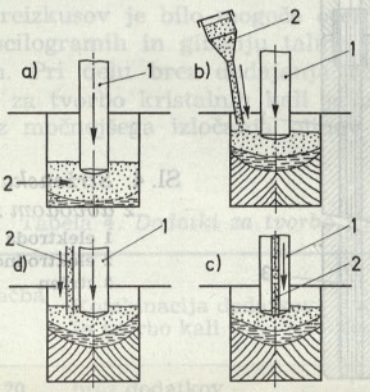
Zaradi močnega pregretja, nespremenljivega in velikega temperaturnega gradienta v talilnem sistemu ni dosežena za nastanek lastnih kristalnih kali zadostna konstitucijska podhladitev taline. Pred kristalizacijsko fronto (na meji talina-trdno) nastaja le malo kali, iz katerih bi se lahko razvila nova kristalna zrna. Zato rastejo grobi, usmerjeni stebričasti kristali ali dendriti proti sredini bloka. Tam se zraščajo z onimi iz nasprotne smeri. Nastajata samo dve kristalizacijski coni: drobno-zrnata zunanja in groba, usmerjena v notranjost EPŽ-bloka.

Pri blokih večjih dimenzij lahko zaradi počasnega odvajanja toplote pride v notranjosti do nastajanja številnejših novih kali in tedaj se pojavi nova kristalizacijska cona v osi EPŽ-bloka (slika 2).

Tehnično železo kristalizira običajno vedno dendritno [2]. Posledica dendritne kristalizacije pa je nehomogenost kristalne zrnine (v mikrometalografskem merilu). Vsi ukrepi, ki bi spremenili način primarne kristalizacije, bi vplivali na homogenost kovine v litem stanju, kar bi moralo vplivati tudi na lastnosti v predelanem stanju.

3. EKSPERIMENTALNI MODEL

Eksperimentalni model za študij vplivov reakcijskih produktov, ki nastajajo v talini in se vgrajujejo kot tvorci kali v kristalizirani blok, mora biti prirejen razmeram pri EPŽ-postopku. Dodatek vseh reakcijskih komponent v žlindro v začetku pretaljevanja ni zadosten, ker mora ostati koncentracija elementov konstantna ves pretaljevalni čas, to je več ur. Zato pride v poštev samo kontinuirno in enakomerno dodajanje komponent v talilni sistem, kar je mogoče na več načinov (slika 3).



Sl. 3. *Shema dodajanja tvorcev kali in možnih reakcij*

a dodajanje v žlindro pred pretaljevanjem
b dodajanje v žlindro med pretaljevanjem
c dodajanje s strženskо elektrodo
d dodajanje z dodatno »hladno« elektrodo
1 osnovna kovina (M_1)
2 reakcijski dodatki za tvorbo kali (M_2 = druga kovina, N_1 in N_2 dodani nekovini)

Reakcije:

$$M_1 + M_2 + N_1 \rightarrow M_1 + [M_2 N_1] \text{ ali } [M_1 N_1]$$
$$M_1 + M_2 N_1 N_2 \rightarrow M_1 + M_2 + N_1 + N_2$$
$$\rightarrow M_1 + [M_2 N_1] \text{ ali } [M_1 N_2]$$
$$\rightarrow M_1 + [M_1 N_1 N_2] + M_2$$

Tabela 1. *Termokemični podatki za nekatere spojine*

Spojina	Prosta stand. entalp.* pri 1800 K kJ	pri 2200 K kJ	Tališče K	Vrelišče K	Razpad K
Al_2O_3	1115 ± 16	990 ± 16	2303	—	—
Ca O	889 ± 20	704 ± 20	2888	3773	—
Mg O	370 ± 12	289 ± 12	3098	3533	—
$Si O_2$	586 ± 12	—	1696	—	—
Ti_2O_3	334 ± 16	304 ± 16	2112	—	—
$Ti O_2$	132 ± 12	93 ± 12	2143	—	—
$Zr O_2$	755 ± 16	679 ± 16	2950	4548	—
Nb C	(127)	—	3753	—	—
Ta C	142 ± ?	141 ± ?	4273	—	—
Ti C	162 ± 12	157 ± 12	3290	—	—
Si C	44 ± 8	30 ± 8	—	—	3259
V C	294 ± ?	291 ± ?	—	—	—
Zr C	168 ± 12	164 ± 12	3805	—	—
B_4C	—	—	2743	—	—
Ta N	231 ± 29	183 ± 29	3363	—	—
Al N	(270) ± 66	(234) ± 66	—	—	900
Si_3N_4	145 ± 4	—16,0	—	—	215
Ti N	333 ± 16	257 ± 16	3223	—	—
Nb N	—	—	2323	—	—
V N	57 ± ?	39 ± ?	2323	—	—
Zr N	392 ± 12	310 ± 12	3225	—	—
B N**	73 ± ?	41 ± ?	—	—	—
$Ti B_2$	108 ± ?		3193	—	4250
$Zr B_2$			3323	—	4460

* Vrednosti za prosto standardno entalpijo se nanašajo na 1 mol kisika, dušika ali ogljika.
** po viru [5]

Komponente se lahko dodajajo na gladino žlindrne taline v praškastem ali granuliranem stanju. Tam se raztalijo in zaradi intenzivnega mešanja žlindrne kopeli preidejo v reaktivno cono na stični ploskvi med kovino in žlindro. Da bi reakcijske komponente prišle neposredno v aktivno cono, bi jih lahko vgradili v elektrodo kot stržen (strženske elektrode), ali pa talili dodatno cevasto elektrodo poleg glavne elektrode za pretaljevanje. Če so reakcijske komponente kovine, bi bile lahko tudi dodatno legirane v elektrodo.

V reakcijskem sistemu za nastajanje tujih kristalnih kali je osnovna kovina M_1 (jeklo) vedno v raztaljenem stanju in konstantni koncentraciji. Reakcijski dodatki so: druga kovina M_2 in vsaj še en element N_1, ki je lahko tudi plin. Namesto njega pa lahko sodeluje v reakciji tudi neka spojina (M_2N_1 ali $M_2N_1N_2$), ki v talilnem sistemu najprej razpade, nato pa pride do ustreznih reakcij (slika 3). Produkti teh reakcij bi morali biti že v raztaljeni matični kovini v trdnem stanju, ali pa bi se morali že ob minimalni podhladitvi prvi izločati iz taline.

Tem pogojem zadoščajo le termodinamično stabilne spojine z zelo visokim tališčem (tabela 1). Da bi uspešno učinkovali kot kristalne kali, morajo izločeni trdni delci preseči neko minimalno kritično velikost, vendar ne smejo prehitro rasti, da ne bi v matični kovini ostali kot nečistoče oziroma vključki. Lahko pa bi se iz kovine izločili (predvsem kot kompleksnejše spojine) in prešli v žlindro.

Tabela 2. *Kemična sestava dodatkov za tvorbo kali in osnovnih materialov*

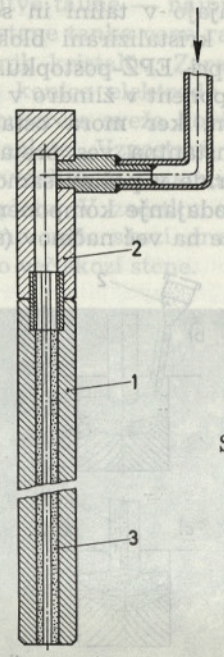
Vrsta materiala	Kemična sestava [%] C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Ti	V	Nb	Al	N_2	Razno
Dodatki za tvorbo kali:													
BATS 79	—	5	8	—	—	—	—	20	—	—	13	—	B 0,5 Zr 4, Fe 50
Mn V N	0,10...0,75	—	24...26	—	—	—	—	—	53...55	—	—	12...15	Fe 3..5
Zr N	—	0,2	—	—	—	—	—	0,3	—	—		10	Zr O_2 3...4
Zr B_2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	B 19	Zr 80,2
Ti B_2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	B 30
Ca C N_2	< 15	—	—	—	—	—	—	—	—	—		< 25	Ca ≈ 48
Osnovni materiali — elektrode:													
Armco -železo	0,01	0,01	< 0,07	< 0,012	< 0,01	—	—	—	—	—	< 0,002	< 0,007	O_2 < 0,043
Nelegirano jeklo	0,09	0,24	0,40	0,038	0,009	—	—	—	—	—	0,051	0,025	
Malo legirano jeklo	0,99	0,21	0,32	0,01	0,017	1,47	0,14	—	—	—	—	—	Cu 0,19
Močno legirano jeklo	0,05	0,56	0,67	0,029	0,011	17,55	12,30	0,02	0,02	0,15	—	0,046	O_2 0,0068

4. EKSPERIMENTALNI DEL

4.1. Uporabljeni materiali

Z upoštevanjem že omenjenih vidikov so bile za eksperimentalno delo izbrane nekatere kovine iz stolpcev IV B in V B periodnega sistema elementov, reakcijski soudeleženci pa so bili elementi bor, dušik, ogljik in kisik. Reakcijske kombinacije za nastanek tvorcev kali so bile sestavljene iz čistih kovin, iz zlitin in deloma tudi iz spojin. Nekatere od uporabljenih substanc so podane v tabeli 2.

Matična (osnovna) kovina je bilo tehnično železo, in sicer: armco-železo, nelegirano (mehko) jeklo, malo legirano konstrukcijsko jeklo in močno legirano austenitno jeklo. Sestave so navedene tudi v tabeli 2. Elektrode za pretaljevanje pod žlindro so bile večji del v obliki polnih palic, okroglega profila s premeri 11, 20 in 50 mm Pri preizkusih z armco-železom so bile uporabljene tudi strženske elektrode. Pri teh so bile reakcijske komponente vprešane v jedro elektrode, a pri nekaterih je bilo mogoče skozi jedro v aktivno cono vpihovati še plin, npr. dušik (slika 4).



Sl. 4. *Strženska elektroda z dovodom za plin*
1 elektroda
2 elektrodno držalo
3 stržen

Tabela 3. *Sestava pretaljevalnih žlinder*

Preizkus štev.	označba	Sestava [%] CaF_2	Al_2O_3	CaO	MgO	SiO_2	TiO_2	Na_2O
1	E 1 — E 15	62...67	13...15	3	—	< 5	4...5	5
2	E 20 — E 25	65	20	5		< 3	≈ 5	2
3	S 1 — S 6	36...40	14...30	9...18	—	< 6	16...23	4
4	K 13 — K 26	43...76	10...18	6...18	—	< 4	4...5,5	—
5	A 27 — A 31	50...58	26...29	0,5...5	1...6	1...2	5...10	—

Osnovna komponenta v žlindri za pretaljevanje je bil jedavec z dodatki CaO, Al_2O_3, TiO_2, MgO in še nekaterimi (tabela 3). Začetno žlindrno kopel je treba iz granuliranih prašnatih komponent pripraviti z obločnim taljenjem ali eksotermičnim taljenjem, oboje neposredno v kristalizatorju. Porabljeno žlindro (3 do 5 % od mase pretaljene kovine) pa smo nadomeščali z enakomernim avtomatičnim dodajanjem granuliranih praškov v talilno kopel. Tej žlindri so bile dodane tudi kombinacije reaktivnih komponent za nukleacijo.

4.2. Eksperimentalne naprave

Preizkusi so bili opravljeni na Inštitutu za nauk o materialih (Institut /B/für Werkstoffkunde) v Hannovru na popolnoma avtomatizirani napravi za pretaljevanje pod žlindro. Vsa gibanja je bilo mogoče ročno brezstopenjsko spreminjati (hitrost elektrode in kristalizatorja ter dodajanje komponent), regulacija pomika elektrode je bila tudi avtomatizirana. Osnovna regulacijska veličina je bila pretaljevalna napetost. Pri izbrani napetosti in konstantnih drugih pogojih, predvsem višini žlindrne kopeli, je proces potekal enakomerno in zanesljivo. Naprava je bila opremljena z gibljivim kristalizatorjem [1], s premeri 40, 60 in 80 mm.

Del preizkusov je bil izveden na Metalurškem inštitutu v Ljubljani na napravi s stacionarnim kristalizatorjem, s premerom 115 mm. Dodajanje tvorcev kali in nadomeščanje porabljene žlindre je bilo ročno. Na obeh napravah je bilo mogoče na oscilografu zapisovati pretaljevalno napetost in tok, v Hannovru pa tudi pomik elektrode.

4.3. Potek preizkusov

Potek preizkusov je bilo mogoče ocenjevati po posnetih oscilogramih in gibanju taline med pretaljevanjem. Pri delu brez dodajanja reakcijskih komponent za tvorbo kristalnih kali je bil proces miren, brez močnejšega izločanja plinov ali brizganja in z normalnim kroženjem žlindrne kopeli (glej sliko 1). Pretaljeni bloki so imeli gladko površino, brez napak. Nekaj pretaljevalnih parametrov je v tabeli 4. Dodajanje reakcijskih komponent na gladino raztaljene žlindre ni bistveno spremenilo poteka pretaljevanja, a delo s strženskimi elektrodami, predvsem pri uvajanju plina (dušika) skozi stržen elektrode v kovinsko talino, je napravilo proces zelo nemiren.

Pripomniti je treba, da nemirna talilna kopel pri EPŽ-postopku ponavadi poslabša površino in kvaliteto pretaljenih blokov. Vendar pa lahko vodi gibanje do finejše kristalne zrnine že brez reakcij, zaradi multiplikacije kristalnih kali, o čemer so pisali že razni avtorji [6].

4.4. Spremembe sestave pretaljenega materiala

Po pretaljevanju so bile opravljene kemične, metalografske, mehanske in še nekatere tehnološke preiskave materiala.

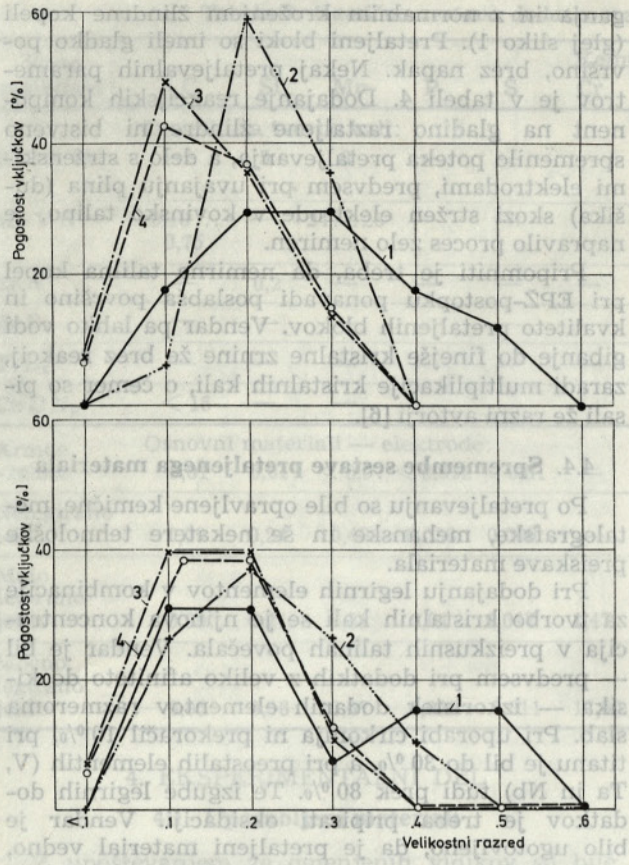
Pri dodajanju legirnih elementov v kombinacije za tvorbo kristalnih kali se je njihova koncentracija v preizkusnih talinah povečala. Vendar je bil — predvsem pri dodatkih z veliko afiniteto do kisika — izkoristek dodanih elementov razmeroma slab. Pri uporabi cirkonija ni prekoračil 10 %, pri titanu je bil do 30 %, a pri preostalih elementih (V, Ta in Nb) tudi prek 80 %. Te izgube legirnih dodatkov je treba pripisati oksidaciji. Vendar je bilo ugotovljeno, da je pretaljeni material vedno, tudi pri dodajanju tvorcev kristalnih kali, čistejši od izhodnih elektrod. To izhaja tudi iz analize velikosti vključkov (po Diergartnu [7]). Po pretaljevanju so sulfidni in oksidni vključki za en do dva razreda finejši kakor v izhodnem materialu (slika 5).

Koncentracija silicija se je v glavnem vedno povečala, opazno manj pa je bilo žvepla in fosfora. Delež dušika se je povečal samo z dodajanjem dobrih tvorcev nitritov. To se ni spremenilo tudi ob vpihovanju plina-dušika v aktivno cono taline.

Tabela 4. *Dodatki za tvorbo kali in pretaljevalni parametri (preizkusna vrsta E in A)*

Označba in štev.	Kombinacija dodatkov za tvorbo kali	ϕ elektr.	Talilni parametri: tok	Talilni parametri: napetost	Hitrost taljenja	Dovedena navidezna moč	Število kapelj
		mm	A	V	g/s	J/g	s^{-1}
E — 20	brez dodatkov	20	540	35	2,16	8570	1,0
E — 14	$ZrB_2 + Zr + CaCN_2$	20	590	35	3,7	5580	1,1
E — 15	$TiB_2 + CaCN_2$	20	510	34	4,2	4150	1,3
E — 22	$AlTiZrB + CaCN_2$	20	510	35	3,06	5830	1,3
E — 23	$MnVN + CaCN_2$	20	510	28	3,52	4050	1,4
E — 24	$Ti + CaCN_2$	20	565	28	3,1	5100	1,9
E — 25	$TaNb + CaCN_2$	20	480	29	3,36	4150	1,75
A — 27	brez dodatkov	50	1180	32...34	6,7	5230...5600	1,6
A — 29	AlTiZrB	50	1325	32...34	6,3	6725...6575	1,2
A — 30	MnVN	50	1175	34...36	8,7	4660...5020	1,55
A — 31	Ti + TiN	50	1340	31....34	9,6	6060...6310	1,35

Označba: E — elektrode iz armco-železa, A — elektrode iz austenitnega jekla



Sl. 5. *Pogostost vključkov v jeklu (sulfidni in oksidni)*

1 — osnovni material, elektroda (K)
2 — po EPŽ-taljenju brez dodatkov
3 — po EPŽ-taljenju z dodatki
4 — po EPŽ-taljenju (skupaj)

4.5. Strukturne spremembe

Narejena je bila primerjava primarne in sekundarne strukture kristalne zrnine v litem stanju, po pretaljevanju in po plastičnem preoblikovanju (kovanju v vročem) izhodnih in pretaljenih materialov, z dodajanjem in brez dodajanja tvorcev kali.

Vpliv dodajanja kristalizatorjev se izraža v tem, da izrazito dendritna primarna struktura prehaja v stebričasto, stebričasti kristali postajajo finejši in včasih preidejo v neusmerjene globulitne kristale (slika 6 a do d). Podobni učinki so opazni tudi v sekundarni liti zrnini (slika 7 a in b) in pri ugotavljanju poprečne velikosti primarnega austenitnega zrna (tabela 5). Tudi po preoblikovanju v toplem z večkratnim ogrevanjem nad temperaturo Ac_3 vpliv kristalizatorjev ni izginil (slika 7 c in d).

V tehničnih zlitinah (železnih in neželeznih kovin) pride pri dendritni kristalizaciji do dendritnega razmešanja legirnih elementov. Takšno razmešanje se lahko ohrani tudi še po plastičnem preoblikovanju v vročem, ali pa najprej izgine in se nato po nepravilni toplotni obdelavi ponovno pojavi. Takšne pojave je že obravnavalo več avtorjev, npr. kot feritno-perlitno trakavost v konstrukcijskem jeklu [8], [9], [10]. Nehomogena porazdelitev elementov v jeklu se da kvantitativno vrednotiti s koeficienti izcejanja (razmešanja): $k = c_{max}/c_{min}$ (c_{max} in c_{min} sta maksimalna in minimalna koncentracija nekega elementa) in z razdaljo med dvema koncentracijskima maksimuma l_k.

Z linijsko analizo na elektronskem mikroanalizatorju je bilo ugotovljeno naslednje:

— Koeficienti razmešanja so za Cr, Ni in Si v materialu, pretaljenem pod žlindro, vedno manjši od ravnotežnega razdelitvenega koeficienta c_0. Odstopanja so se pojavila samo pri manganu.

— Dodatki tvorcev kristalnih kali nekoliko zmanjšajo koeficient razmešanja (primerjava s tvorci kali in brez njih) in razdaljo l_k. Po mehansko-termični predelavi (kovanje) ostanejo razdalje l_k še vedno manjše, vpliv na koeficient razmešanja pa oslabi.

— Tudi pri primerjavi z izhodnim materialom je opazen ugoden vpliv pretaljevanja pod žlindro.

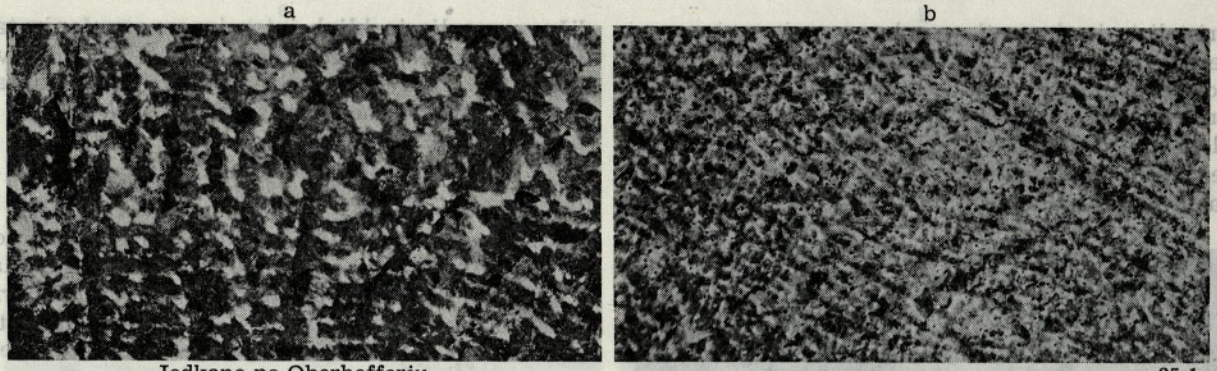
Pri linijski analizi austenitnega materiala, pretaljenega po EPŽ-postopku (preizkusi z označbo A) pravokotno na smer kristalizacije blokov, je bilo ugotovljeno, da se niti koncentracijski maksimumi, niti minimumi ne pojavljajo na kristalnih mejah, ampak v notranjosti stebričastih primarnih kristalov (slika 8 a in b). Enako velike razlike v koncentraciji pa se pojavljajo tudi pri linijski analizi v smeri strjevanja (slika 8 c). Maksimumi so vedno v svetlih progah na jedkanem metalografskem preizkušancu. Vsi elementi (Cr, Ni, Mn in Si) se izcejajo na istih mestih.

Ta pojav ustreza še znanemu teoretičnemu modelu o kristalizaciji [11]. Kristalizacija poteka, gledano v makro-metalografskem merilu, enakomerno. Vendar na fazni meji med talino in trdnim stanjem

Tabela 5. *Velikost austenitnih zrn v pretaljenem materialu*

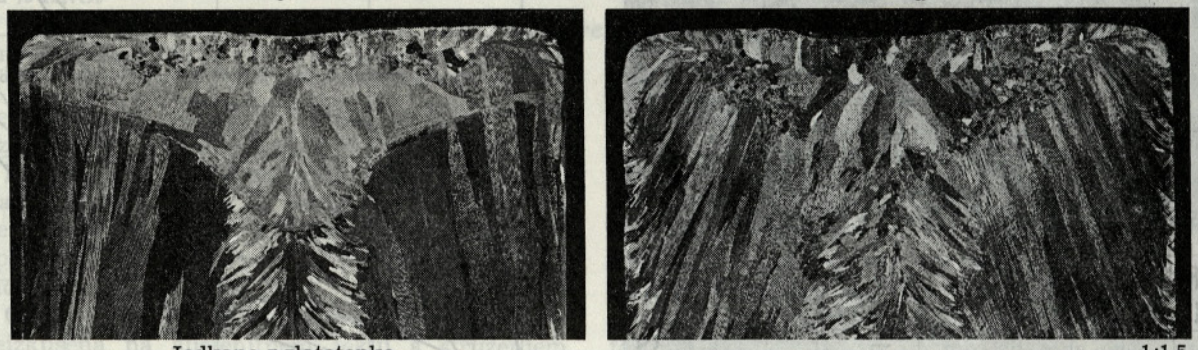
Označba in število preizkusa	Dodatki za tvorbo kali	Velikost austenitnih zrn
		mm²
S — 2	brez dodatkov	0,180
S — 3	Al Ti Zr B	0,05
S — 4	Ti + Ti N	0,08
S — 5	Mn V N	0,05
S — 6	Ta (Nb)	0,025
K — 16	brez dodatkov	0,097
K — 15	Al Ti Zr B + Ca C N_2	0,099
K — 17	Ti + Ti N + Ca C N_2	0,057
K — 20	Mn V N	0,042
K — 22	Ta (Nb) + Ca C N_2	0,0072

a b



Jedkano po Oberhofferju 25:1

c d

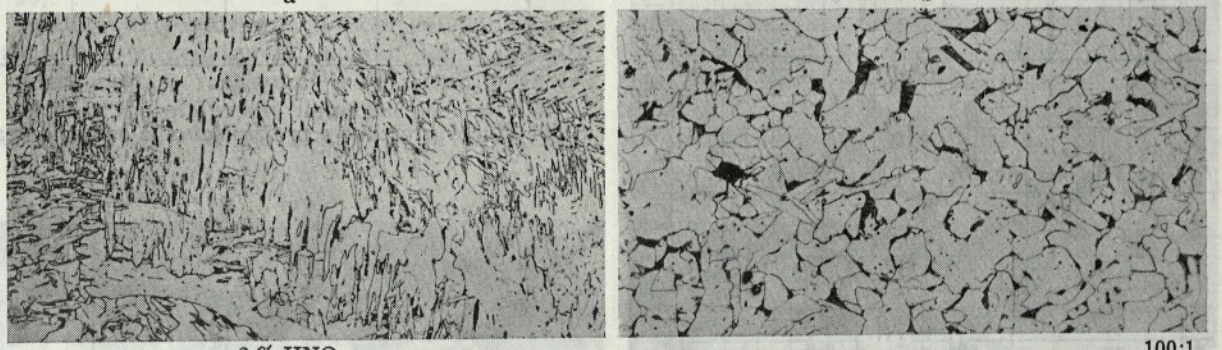


Jedkano z zlatotopko 1:1,5

Sl. 6. *Makro-metalografska slika zrnine po pretaljevanju, lito stanje*

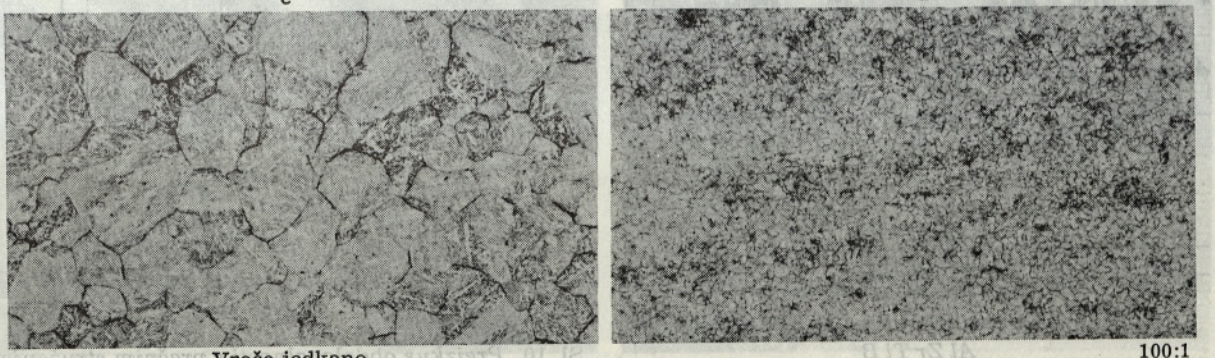
a talina K-16 brez dodatkov
b talina K-15 z Al Ti Zr B dodatki
c talina A-27 brez dodatkov
d talina A-30 z Mn V N tvorcem kali

a b



2 % HNO_3 100:1

c d

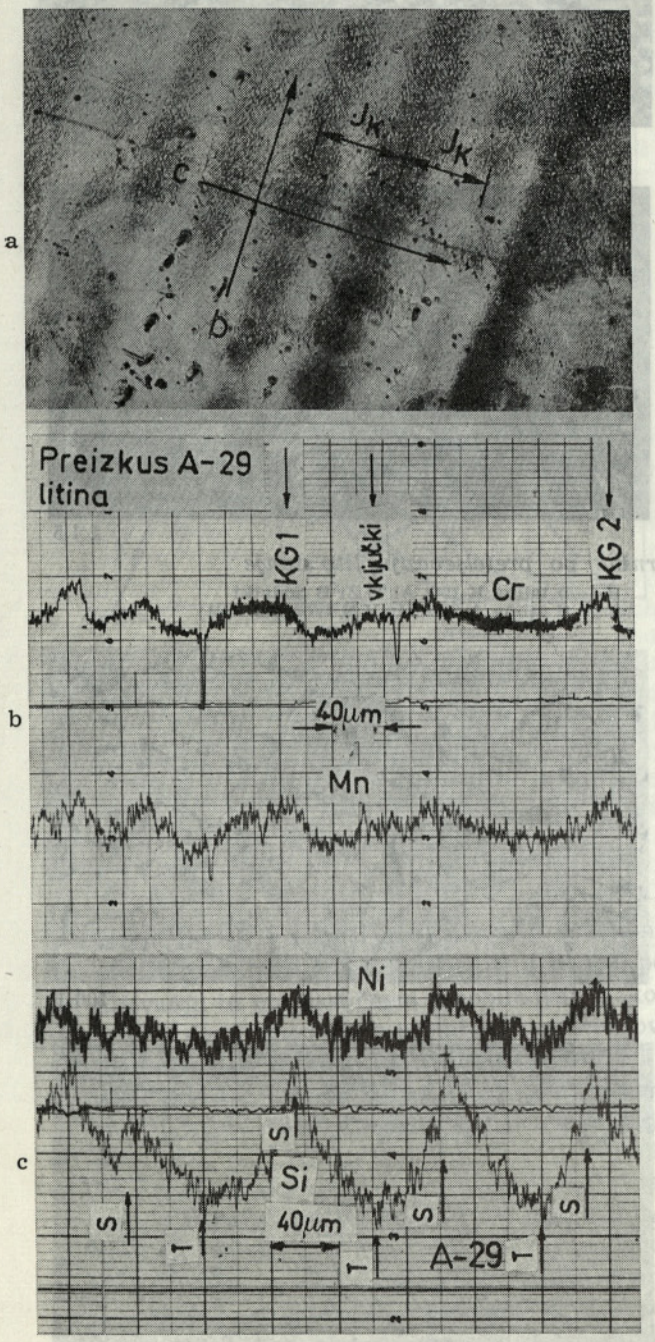


Vroče jedkano 100:1

Sl. 7. *Mikro-metalografska slika zrnine po pretaljevanju*

a talina E-20 brez dodatkov, lito stanje
b talina E-22 z Al Ti Zr B tvorci kali, lito stanje
c talina K-16 brez dodatkov, kovano stanje
d talina K-20 z Mn V N tvorci kali, kovano stanje
(c in d austeniteno 3 ure pri 900 °C)

kristalizirajo elementi neenakomerno in mejna cona se obogati z legirnimi elementi. To hkrati pomeni določeno stopnjo konstitucijske podhladitve. Ko ta preseže neko kritično vrednost, pa začne z legirnimi elementi obogatena mejna cona kristalizirati hitreje. S tem se koncentracija elementov zopet zmanjša in z njo tudi hitrost kristalizacije. To se periodično ponavlja in kljub intenzivnemu mešanju taline ni mogoče preprečiti nehomogene porazdelitve elementov. Tudi uporaba kristalizatorjev ne odpravi tega, ampak samo zmanjša vrednosti k in l_k.

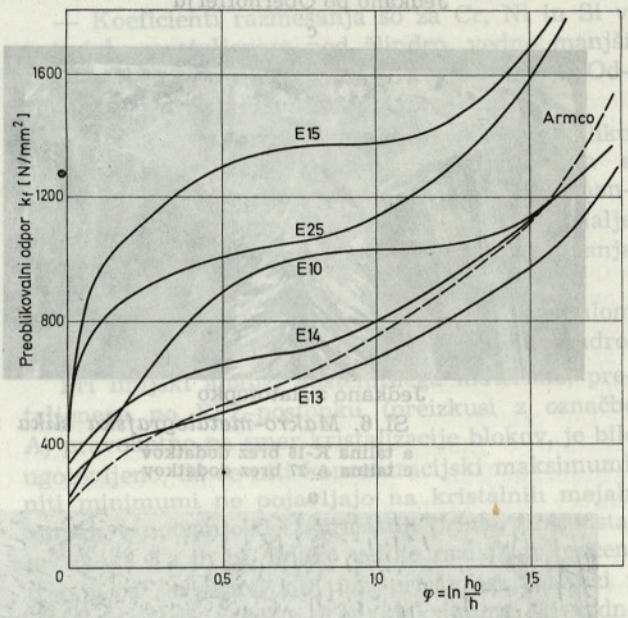


Sl. 8. *Linijska analiza, talina A-29 z dodatki Al Zr Ti B*

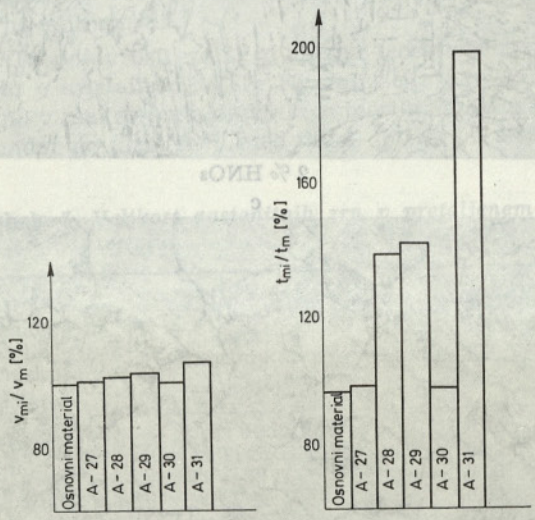
a makro-metalografska slika
b linijska anliza (Cr in Mn) prečno na smer kristalizacije (KG 1 in KG 2 = kristalni meji)
c linijska analiza (Ni in Si) v smeri kristalizacije
l_k = oddaljenost dveh con izcejanja)

4.6. Tehnološke spremembe pretaljenega materiala

Spremembe kristalne strukture in kemične sestave vplivajo tudi na druge lastnosti materiala, pretaljenega po EPŽ postopku z dodajanjem kristalizatorjev. Trdota, trdnost, meja plastičnosti, razteznost in žilavost se z uporabo kristalizatorjev



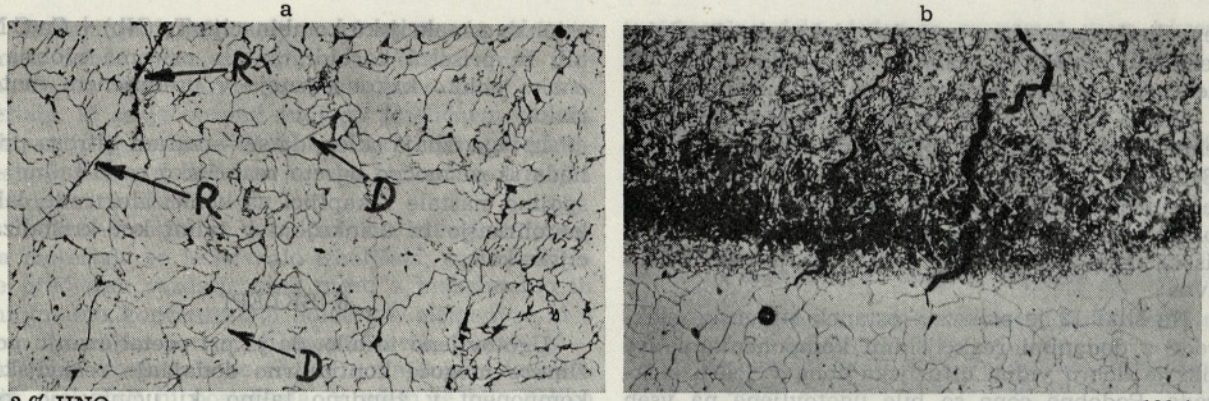
Sl. 9. *Tlačni preizkus s preizkušanci iz armco-železa*



Sl. 10. *Preizkus obdelovalnosti s prečnim struženjem*

t_{mi} — srednja rezalna hitrost določene taline i
v_m — srednja rezalna hitrost vseh talin
t_{mi} — srednji rezalni čas določene taline i
v_m — srednji rezalni čas vseh talin

a b



2 % HNO_3 100:1

Sl. 11. *Razpoke v pretaljenem materialu*

a EPŽ-blok, talina E-24 Ti + Ca C N_2 (tvorca kali) (R = transkristalne razpoke, D = drsne črte v kristalnih zrnih)

b razpoke v zvaru (interkristalne)

sicer izboljšajo, vendar ta učinek ni izrazit in je še zelo odvisen od samega osnovnega materiala.

Preoblikovalnost se po pretaljevanju ni poslabšala. Pri armco-železu in nelegiranem jeklu se je sicer z uporabo tvorcev kali povečal preoblikovalni odpor, a ni prišlo do nobenih napak (razpok) pri hladnem stiskanju (slika 9).

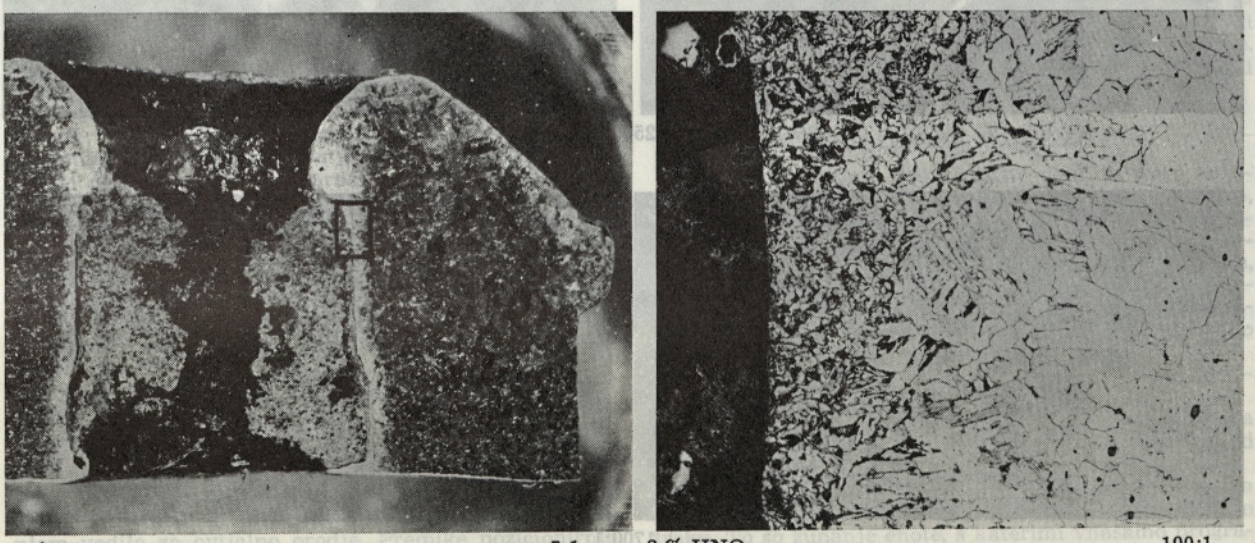
Obdelovalnost z odvzemanjem materiala je bila preizkušena na austenitnem jeklu s struženjem. Kvaliteta površine se z uporabo tvorcev kali ni izboljšala. Izboljšala se je obstojnost orodja, kar je bilo ugotovljeno z metodo prečnega struženja (slika 10).

Vendar pa je dodajanje tvorcev kali lahko povezano tudi z negativnimi učinki. Eden takšnih je občutljivost za razpoke v vročem stanju. Te so se pojavile v pretaljenem bloku pri dodajanju kristalizacijske kombinacije s titanom (Ti + $CaCN_2$) E-24, približno 10 mm pod površino (slika 11 a). Razpoke so transkristalne. Tudi pri primerjalnih preizkusih pri varjenju z oplaščenimi elektrodami, ki so bile pripravljene z enako kombinacijo za tvorbo kali, je prišlo do zelo izrazitih interkristalnih razpok (slika 11 b). Poleg razpok pa kažejo na velike notranje napetosti med ohlajanjem EPŽ-blokov tudi drsne črte (deloma dvojčične lamele) v feritnih kristalih, ki jih imamo lahko za prve znake plastične deformacije v mikro-metalografskem merilu (slika 11 a).

5. PROCESI NA KONICI STRŽENSKE ELEKTRODE

Pri preizkusih z armco-železom so bile uporabljene, prav za ta namen izdelane strženske elektrode. Reakcijske komponente za tvorbo kali so bile, pomešane z manjšo količino komponent tvor-

a b



5 % HNO_3 5:1 2 % HNO_3 100:1

Sl. 12. *Metalografska slika ostanka strženske elektrode*

Talina E-25, dodatek Ta (Nb) + Ca C N_2 (tvorca kali)

a makro-slika

b mikro-slika, difuzijska cona v jedru elektrode

cev žlindre, vprešane v jedro elektrode. Produkti kemičnih reakcij so nastajali neposredno na konici elektrode oziroma v aktivni coni talilnega sistema.

Vsaka elektroda se na konici hitro ogreje do temperature žlindrne kopeli, ki znaša lahko do 2300 K. Pri tej temperaturi lahko potekajo reakcije zelo hitro, vendar bodo nastale spojine zaradi visokega pregretja pretežno zopet razpadle. Pri tako visoki temperaturi pa je tudi difuzija zelo intenzivna.

Na sliki 12 je prikazan ostanek strženske elektrode z dodanimi reakcijskimi komponentami. Na sliki je dobro vidna difuzijska cona v jedru elektrode. Podobne cone so bile ugotovljene na vseh ostankih elektrod z dodanimi komponentami za tvorbo kali v strženu, a izostale so pri elektrodah brez dodatkov. Debelina teh con je bila do 200 μm, dolžina pa do 20 mm od konice elektrode. Pri hitrosti odtaljevanja elektrod 1,4 do 2,0 mm/s znaša torej difuzijski čas 15 do 10 sekund.

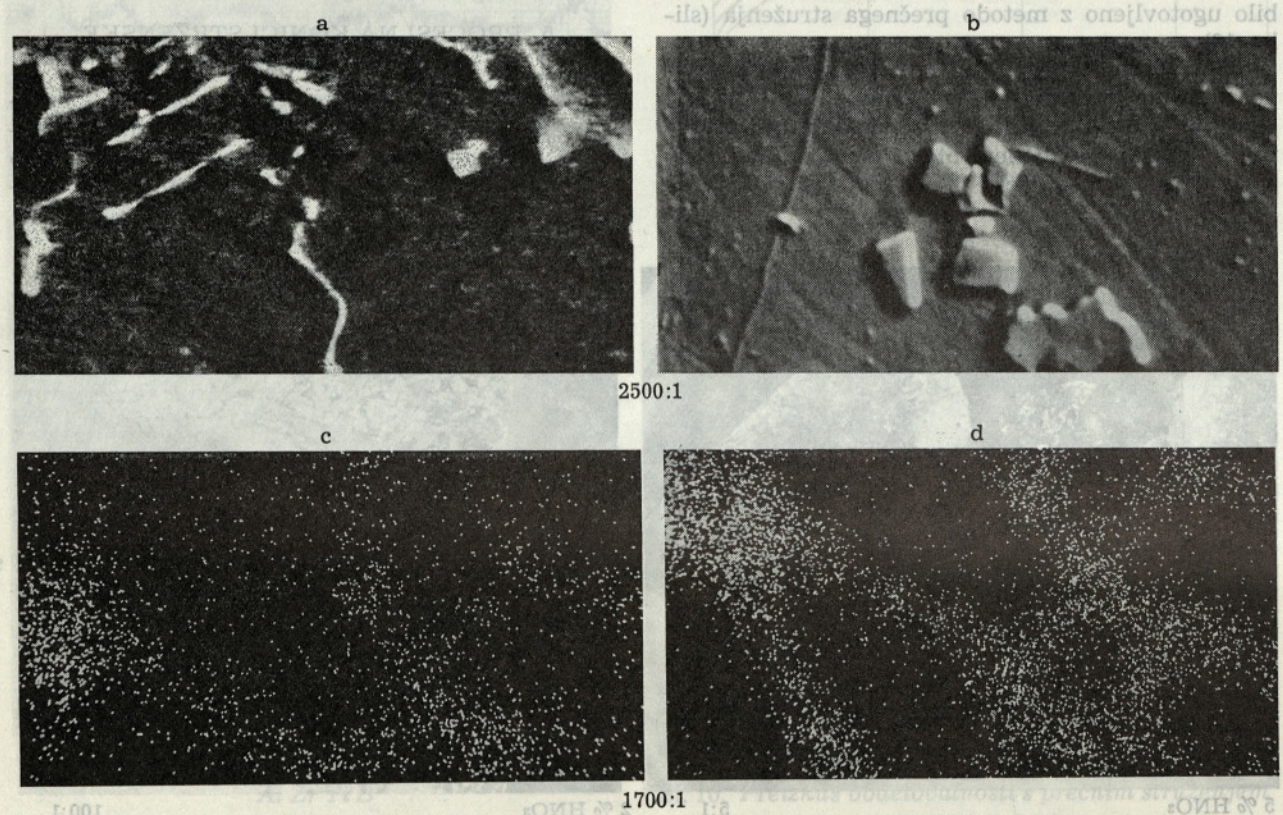
Preiskava difuzijskih con z raster-elektronskim mikroskopom je pokazala, da potekajo reakcije med dodanimi elementi in osnovno kovino že v jedru na konici elektrode. V difuzijski coni so bili ugotovljeni pri kombinacijah z ZrB_2 oziroma TiB_2 + + $CaCN_2$ tudi že vključki, ki so bili ugotovljeni kot karbidi ali karbonitridi in ne samo boridi (slika 13). Nadalje so v difuzijski coni elektrodnega ostanka z reakcijsko kombinacijo Ta (Nb) + $CaCN_2$ bili že prisotni karbidi tantala oziroma niobija z enako obliko kakor pozneje v pretaljenem materialu.

Iz tega izhaja sklep, da se — zaradi hitrega prehoda skozi močno ogreto reakcijsko cono taline — spojine, nastale v kapljici na konici elektrode, lahko ohranijo in učinkujejo v talini kot kristalizacijske kali.

6. SKLEPI

Ugotovljeno je bilo, da je pri pretaljevanju pod žlindro mogoče kontinuirno dodajanje reakcijskih komponent v žlindrno talino, ki učinkujejo kot tvorci kali pri strjevanju pretaljenega bloka. Dodajanje teh snovi neposredno v aktivno cono talilnega sistema je še posebno učinkovito. Avtomatizacija procesa je tudi tehnično lahko izvedljiva.

Izkoristek dodanih kovinskih elementov je deloma zelo slab. Za izboljšanje bi bili potrebni dodatni zaščitni ukrepi, s katerimi bi se preprečil dostop kisika v pretaljevalni sistem, oziroma bi se zmanjšal učinek kisika v talini žlindre. Uvajanje dušika v plinastem stanju v talino je ostalo brez učinka na povečanje količine dušika v pretaljenem jeklu. Uspeh je bil mnogo boljši pri dodajanju spojin, v katerih je bil vezan dušik, ki se je sproščal po disociaciji neposredno v aktivni coni.



Sl. 13. *Vključki v difuzijskih conah in pretaljenem materialu*

a ostanek elektrode, talina E-25, Ta (Nb) — karbidi v difuzijski coni
b talina E-14, Zr-karbonitridi (brez bora)
c ostanek elektrode E-14, Zr na kristalnih mejah, Zr-L sevanje
d (kakor c) bor na kristalnih mejah, B-K sevanje

Dodajanje kombinacij snovi za tvorbo kali je imelo dobro zaznaven vpliv na izoblikovanje primarne in sekundarne strukture pretaljenega materiala, ki se je ohranil tudi po plastičnem preoblikovanju v vročem. Struktura pretaljenega materiala je bila z dodatki za tvorbo kali mnogo finejša kakor brez njih.

Mikrohomogenost kemične sestave pretaljenega materiala se je le malo izboljšala, zmanjšale so se predvsem razdalje med mesti z maksimalno in minimalno koncentracijo določenih elementov in s tem difuzijske poti pri homogenizaciji. Čistoča pretaljenega materiala se tudi z dodajanjem reaktivnih dodatkov ni poslabšala. V njem je bilo veliko število zelo enakomerno porazdeljenih drobnih vključkov.

Pretaljevanje z dodajanjem reakcijskih komponent za ustvarjanje tujih kristalnih kali izboljšuje tudi mehanske in še nekatere druge tehnološke lastnosti. Vendar je to močno odvisno od sestave matične kovine.

Vsi učinki, ugotovljeni pri EPŽ — pretaljevanju jekla, se lahko uspešno prenesejo tudi na varjenje pod žlindro, ugotavljamo pa lahko tudi analogije z obločnim varjenjem z oplaščenimi in strženskimi elektrodami.

OPOMBA. Del preizkusov je bil opravljen v Ljubljani na Metalurškem inštitutu in v laboratorijih Fakultete za strojništvo. Material za preiskave (austenitno jeklo) je dala na uporabo Železarna Jesenice in v njenem raziskovalnem oddelku je bilo opravljenih tudi nekaj meritev. Finančna sredstva za izvedbo dela je delno prispevala Fakulteta za strojništvo iz sklada za raziskovalno delo. Avtor se za pomoč vsem iskreno zahvaljuje.

LITERATURA

[1] Prosenc, V.: Nekaj novosti pri pridobivanju jekla Strojn. vestnik 17 (1971) 3, str. 81—84.

[2] Rose. A., H. de Boer in H. P. Hougardy: Die dendritische Mischkristalseigerung in Eisenwerkstoffen. Arch. Eisenhüttenw. 39 (1968) 12, str. 953—957.

[3] Barin, I. in O. Knacke: Thermochemical Properties of Inorganic Substances. Springer-Verlag, Berlin, 1973.

[4] Rosenquist, T.: Thermochemical Date for Metallurgists Tapir forlag Oslo, 1970.

[5] Pearson, J. in U. J. C. Ende: The Thermodinamics of Metal Nitrides and of Nitrogen in Iron and Steel. Journ. Iron Steel Inst. 175 (1953) 9, str. 52—58.

[6] Löhberg, K.: Korngrösse beim Erstarren. Zeitschr. Metallkd. 59 (1968) 4, str. 314—320.

[7] Diergarten, H.: Gefügerichtreihen im Dienste der Werkstoffprüfung in der Stahlverarbeitenden Industrie. (4. Auflage) VDI-Verl., Düsseldorf, 1960.

[8] Peter, W. in H. Finkler: Untersuchungen über die Diffusionsausgleich von Kristallseigerungen. Arch. Eisenhüttenw. 38 (1967) 10, str. 775—783.

[9] Erdmann-Jesnitzer, F. in P. Kraljič: Festigkeitsverhalten bei Perlit-Ferrit-Zeiligkeit von Schweissgut niedriglegierter Baustähle. Fachbuchreihe Schweisstechnik 53/II (1968), str. 60—81.

[10] Rose, H., H. de Boer in P. Hougardy: Einfluss einiger Elemente auf die Kristallisation von Eisen bei der Erstarrung. Arch. Eisenhüttenw. 39 (1968) 10, str. 793—797.

[11] Kraljič, P.: Mikrosondebefund zur Entstehung von Gefügeanomalien im Schweissgut vom Stahl. Disertacija, Hannover, 1967.

Avtorjev naslov: doc. dr. ing. Viktor Prosenc,
Fakulteta za strojništvo
Univerze v Ljubljani

UDK 621.778.4:621.395.34

Sistem za avtomatiziranje postopka ožičenja pri telefonskih centralah

AVTORSKI KOLEKTIV

1. UVOD

Pred kratkim smo že poročali o zamisli DDC sistema za avtomatiziranje postopka ožičenja montažnih modulov telefonskih central [1]. Tovarna Iskra-Elektromehanika Kranj izdeluje telefonske centrale. Pri dosedanji tehnologiji se je pokazala vrsta pomanjkljivosti pri tehnologiji ročnega ožičenja telefonskih central. Pri takem delu se pojavljajo zaradi različnih vzrokov napake pri vezavah. Delavka namreč lahko napačno odbere koordinate iz tabele ali se zmoti pri izbiri kontaktov itd. Vsemu temu se izognemo, če proces ožičevanja avtomatiziramo.

Pričujočo tehnološko rešitev spajanja žic na konstrukciji smo izdelali po načinu ovijanja (wire-wrap). To tehnologijo smo izbrali zato, ker skrajša potrebni delovni čas in poveča zanesljivost dela. Sam postopek je dandanes v svetu znan in preizkušen. Po njem delajo predvsem v ZDA, medtem ko nekatera starejša evropska podjetja, kakor sta Siemens in Erickson, še vežejo svoje konstrukcije z lotanjem. Po preučevanju mogočih konstrukcij smo se odločili, da izdelamo napravo za avtomatično pozicioniranje orodja za priključevanje žic na module telefonskih naprav s koordinatnim nameščanjem vodila za ovijalno orodje. Premike pozicionirnih naprav izvajajo koračni motorji, ki jih krmilimo prek krmilnega sistema z majhnim digitalnim računalnikom.

Hkrati smo pripravili računalniške programe za procesni računalnik, ki vodi koračne motorje prek vmesnika. Na magnetnem traku imamo podatke, ki so posebej pripravljeni po vezalni tabeli. Računalnik vodi poleg koračnih motorjev še različne potrebne signale. S pričujočim sestavkom bomo skušali opisati izvedeni sistem naprav za ožičenje.

2. SISTEM ZA OŽIČENJE

Sistem sestavljata dva osnovna dela, in sicer strojna oprema s krmilno napravo in računalnikom (sl. 1 a, 1 b, 1 c) ter potrebni programi za delo. Prvi del sestavljajo procesni računalnik PDP-8/E, magnetni enoti, teleprinter, hitri čitalnik traku, hitri luknjalnik traku, notranji del vmesnika, ki je prigrajen računalniku, zunanji del vmesnika (ki je prigrajen pozicionirni napravi) in naprava za ožičenje. Drugi del pa sestavljajo programi in postopki za:

— pripravo vezalnih tabel in poteka ožičenja z optimizacijo,

— operacijski programi za izvajanje pozicioniranja ter njegovega zasledovanja pri hkratni povezavi med delovno napravo in človekom, ki jo upravlja.

Na shemi naprave (sl. 2) je na vhodu procesnega računalnika teleprinter s čitalnikom in luknjalnikom traku. To so zunanje enote, s katerimi vnašamo programe in podatke v procesni računalnik ter jih obenem preverjamo oziroma luknjamo na trak. Oblika informacije, ki jo prejema procesni računalnik je namreč luknjan papirni trak. Predelane informacije shranjuje