

Raziskava mikroizcejev v jeklu UTOP Mo 2 s strjevalno mikrostrukturo

UDK: 669.153.258.8:620.184.2

ASM/SLA: TS, M9-69

M. Torkar*, F. Vodopivec*, B. Ralič*, A. Rodič**, J. Rodič**



Raziskava je osredotočena na dogajanje v jeklu med ogrevanjem pred valjanjem. Mikro homogenost jekla je bistvenega pomena za doseganje dobre vzdržljivosti orodij za delo v vročem. Pokazalo se je, da dosednji interni predpisi predvidevajo prekratke čase homogenizacijskega žarjenja, kar onemogoča doseganje zadovoljive homogenosti jekla.

A. UVOD

Že dalj časa smo pogrešali raziskavo¹, ki bi posegla na vmesno področje med jeklarstvom in predelavo, to je na področje dogajanj med strjevanjem in po strjevanju jekla.

Material za orodje za delo v vročem mora imeti visoko trdnost in visoko mejo plastičnosti pri povišani temperaturi, dobro zadržanje trdote, visoko odpornost na obrabo, dobro žilavost in majhno občutljivost na temperaturne šoke.

Vse te lastnosti so odvisne predvsem od mikrostrukture in od kemične sestave jekla. Za doseganje dobre žilavosti in trdnostnih lastnosti jekla za delo v vročem je predvsem pomembna mikro homogenost jekla.

Literatura² navaja, da je kontrakcija komercialnih orodnih jekel po končni toplotni obdelavi med 5 in 8 %, medtem ko pri mikrohomogenem jeklu z enako sestavo dosežemo kontrakcijo celo 40 % in več ter bistveno boljše vzdržljivost orodij.

Z ustreznim žarjenjem je mogoče zagotoviti dobro homogeno sestavo, celo če je jeklo močno izcejeno.

Boljše od klasično izdelanih je EPŽ pretaljeno jeklo, ki kaže visoko stopnjo mikro homogenosti in ima po ustrezni toplotni obdelavi izotropne mehanske lastnosti.

B. NAMEN DELA

Pri dendritnem strjevanju jekla, ki se pojavlja skoraj pri vseh industrijskih jeklih, se pojavijo mikroizceji, ki predstavljajo lokalne koncentracijske spremembe. Dendritne veje, ki rastejo v podhlajeno talino, se strjujejo kot relativno čista kovina; talina, ki te veje obkroža, pa se bogati z legirnimi elementi, in ko se strdi, predstavljajo področja med dendritnimi vejami mesta s povišano koncentracijo legirnih elementov.

Poleg teh lokalnih koncentracijskih sprememb zasledimo v blokih tudi razlike v koncentracijah na daljše razdalje, kar imenujemo blokovne izceje.

Z izcejami nastalo razliko v koncentracijah označimo kot stopnjo izcejanja »k«, ki je definirana s:

$$k = \frac{C_{\max}}{C_{\min}}$$

kjer je: k — stopnja izcejanja

$C_{\max}$ — koncentracija elementa med dendriti

$C_{\min}$ — koncentracija elementa v dendritu

Pri ravnotežnem strjevanju poteka strjevanje brez izcej zaradi izenačene difuzije v talini in v strjeni fazi.

V laboratorijskih pogojih in pri majhni količini taline je možno doseči tudi izredno hitro brezdifuzijsko strjevanje, pri čemer dobimo amorfne kovine.

Izceje oz. nehomogenosti se lahko izenačujejo z visokotemperaturnim žarjenjem. Razlike v koncentracijah se pri teh temperaturah hitro izenačijo zaradi razmeroma hitre difuzije elementov.

Iz literature³ so poznani empirični podatki za homogenizacijo kristalnih izcej. Če je poznana polovična razdalja med dvema dendritnima osema, oziroma razdalja med minimalno in maksimalno koncentracijo, lahko za poljubno zmanjšanje stopnje izcejanja (do $k = 1$) določimo parametre žarjenja.

V tej raziskavi smo skušali ugotoviti, kakšna stopnja izcejanja kroma, molibdena in vanadija je v jeklu UTOP Mo 2 in v kakšnih pogojih se da to izcejanje zmanjšati oz. odpraviti.

C. REZULTATI

Vzorci za raziskavo so bili vzeti iz industrijskih ingotov, ulitih iz jekla UTOP Mo 2, izdelanega v 25 t EOP. Šarža ima naslednjo sestavo:

	C	Si	Mn	P	S
%	0,40	1,12	0,46	0,009	0,007
Cr	Ni	V	Mo	Cu	Sn
5,05	0,18	0,99	1,25	0,19	0,015

Od ingota je bila takoj po strjenju odrezana plošča A1, ki je bila nato ohlajena na zraku, in plošča A2, ki je bila v skladu z dosedanjim tehnološkim predpisom žarjena v globinski peči in zadržana 2,5 ure na temperaturi 1200 °C.

Oznaka vzorcev je prikazana v tabeli 1.

Tabela 1: Oznaka vzorcev

A1	— po strjenju odrezana plošča, ohlajena na zraku
A11S	— sredina plošče A1
A111/3	— odrezano na 1/3 od površine navznoter
A11P	— površina plošče A1

* — SŽ Metalurški inštitut, Ljubljana

** — SŽ Železarna Ravne

- A 2 — plošča po odrezu, žarjena skladno s teh. predpisom
 A 21S — sredina plošče A 2 po žarjenju

S plošče A 1, ki je bila po odrezu ohlajena na zraku, smo vzeli vzorce iz sredine, s površine in na 1/3 od površine proti sredini ingota. S plošče A 2, ki je bila segrevana kot ingot pred valjanjem, smo vzeli vzorec iz sredine in na elektronskem mikroanalizatorju izmerili intenziteto izcejanja kroma, molibdena in vanadija.

Rezultat meritve izcejanja so prikazani v tabeli 2 in 3.

Tabela 2: Izcejanje kroma, molibdena in vanadija v strjenem in ohlajenem jeklu A 1 ter po žarjenju 2,5 ure na 1200°C jekla A 2

Vzorec	Cr (%)		Mo (%)		V (%)	
	osnova	izceja	osnova	izceja	osnova	izceja
A11S	5,80	8,98	0,84	2,42	1,10	1,30
A11 1/3	5,70	7,95	0,91	2,12	1,30	1,61
A11P	6,09	7,99	0,96	2,17	1,21	1,50
A21S	6,10	8,77	0,96	2,23	1,28	1,65

Tabela 3: Stopnja izcejanja »k« kroma, molibdena in vanadija vzorcev iz tabele 2

Vzorec	Stopnja izcejanja $k = \frac{C_{max}}{C_{min}}$		
	k_{Cr}	k_{Mo}	k_V
A11S	1,54	2,88	1,18
A11 1/3	1,39	2,32	1,23
A11P	1,31	2,26	1,23
A21S	1,43	2,32	1,28

Meritve kažejo močno izcejanje kroma, molibdena in vanadija v vzorcih s strjevalno strukturo in tudi v žarjenih vzorcih. Za določitev zmanjševanja intenzitete izcejanja z dolgotrajnim visokotemperaturnim žarjenjem smo vzorce, odrezane iz sredine plošče A 1, žarili 1, 2, 4, 8, 16, 32 in 64 ur na temperaturah 1300, 1250 in 1200°C. Izmerjene intenzitete izcej kroma, molibdena in vanadija po žarjenju so prikazane v tabeli 4.

Poleg vpliva časa in temperature žarjenja na zmanjšanje intenzitete izcej se opazi tudi znaten vpliv obeh na mikrostrukturo. Pri žarjenju na 1300°C po 4 urah izgine dendritna struktura in avstenitna zrna pričnejo rasti.

Pri žarjenju na 1250°C zaradi počasnejše difuzije dendritna struktura izgine šele po 8 urah žarjenja, ko nastanejo globularna zrna, ki se pri daljšanju časa žarjenja povečujejo.

Tabela 4: Vpliv temperature in časa žarjenja na zmanjšanje izcej kroma, molibdena in vanadija

Temperatura °C	Čas žarjenja h	Stopnja izcejanja Cr, Mo, V		
		k_{Cr}	k_{Mo}	k_V
1300	1	1,28	1,73	1,45
	2	1,20	1,63	1,37
	4	1,11	1,25	1,14
	8	1,01	1,00	1,03
	16	1,02	1,05	1,01
	32	1,00	1,04	1,01
1250	1	1,33	2,13	1,47
	2	1,27	1,88	1,37
	4	1,21	1,70	1,22
	8	1,21	1,65	1,12
	16	1,01	1,02	1,04
	32	1,00	1,00	1,02
1200	1	1,31	2,09	1,51
	2	1,35	2,16	1,38
	4	1,24	1,72	1,28
	8	1,10	1,29	1,15
	16	1,06	1,09	1,04
	32	1,04	1,09	1,03
	64	1,03	1,08	—

D. ZAKLJUČKI

Jeklo UTOP Mo 2 je nagnjeno k pojavu močnih izcej kroma, molibdena in vanadija.

Raziskava je pokazala, da dosedanja tehnološki predpis zadrževanja po strjenju 2,5 ure na 1200°C ne zagotavlja zadovoljive izenačitve izcej, ker je čas homogenizacije prekratek.

Optimalni čas za popolno odpravo izcej je pri žarjenju na 1250°C okrog 12 ur, na 1300°C pa okrog 6 ur. Pri tem žarjenju se stopnja izcejanja vseh treh elementov približa vrednosti $k=1$. Čim bolj se stopnja izcejanja približuje vrednosti $k=1$, tem bolj homogeno je jeklo.

Neugoden pojav, ki spremlja visokotemperaturno žarjenje, je rast kristalnih zrn.

Potrebno je izbrati optimum med še dopustno stopnjo izcejanja, naraščanjem kristalnih zrn ter stroški pri daljšem žarjenju.

E. Literatura

1. M. Torkar, F. Vodopivec, B. Ralič, A. Rodič, J. Rodič: Poročilo Metalurškega inštituta, št. 83-029, Ljubljana 1983
2. J. H. Stuhl, A. M. Schindler: New Materials Study of 5 % Chromium Type Steels for Use in Die Casting Dies, 8 SDCE Congress, Detroit 17-20 March 1975, paper No. G-75-053
3. H. J. Eckstein: Wärmebehandlung vom Stahl, VEB Deutscher Verlag Leipzig, 1971

ZUSAMMENFASSUNG

Für den Stahl UTOP Mo2 mit der Erstarrungsstruktur sind starke Seigerungen von Chrom, Molybden und Vanadin kennzeichnend.

Die Untersuchungen zeigten, dass die jetzige Vorschrift für die Haltedauer von 2,5 Stunden auf 1200°C nach der Erstarrung für eine genügende Ausgleichung der Seigerungen nicht ausreichend ist, da die Diffusionszeit zu kurz ist.

Optimale Zeit für die vollkommene Abschaffung von Seigerungen beträgt beim Glühen auf 1250°C etwa 12 Stunden

und beim Glühen auf 1300°C etwa 6 Stunden. Bei dieser Glühbehandlung nähert sich der Seigerungsgrad aller drei Elemente dem Wert $k = 1$. Je näher der Seigerungsgrad dem Wert $k = 1$ liegt desto homogener wird der Stahl.

Eine ungünstige Nebenerscheinung des Glühens bei hohen Temperaturen ist allerdings die Grobkornbildung.

Ein Optimum zwischen dem noch zulässigen Seigerungsgrad, dem Kornwachstum und den Kosten bei längeren Glühzeiten ist zu finden.

SUMMARY

Typically for the UTOP Mo2 steel with solidification structure are the strong segregations of chromium, molybdenum, and vanadium. The investigation showed that the technological instructions to keep steel after solidification 2 1/2 hours at 1200°C do not assure the satisfactory equalization of segregations since the time of homogenization is too short.

Optimal time for complete elimination of segregations is 12 hours at 1250°C or about 6 hours at 1300°C. At such anneal-

ing the degree of segregations of all the three elements approaches to the value $k = 1$. The closer is the degree of segregations to the value $k = 1$, the more homogeneous is the steel.

Unfavourable phenomenon accompanying the high temperature annealing is the growth of crystal grains.

Thus the optimum must be chosen between the still acceptable degree of segregations, the growth of crystal grains, and the costs of prolonged annealing.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для стали марки UTOP Mo2 с структурой упрочнения характерны сильные сегрегации хрома, молибдена и ванадия.

Исследования показали, что прежнее технологическое предписание задерживания после отверждения в течении 2,5 часов при темп-ре 1200°C не обеспечивает удовлетворительные уравнивания сегрегаций, так как время гомогенизации слишком короткое. Оптимальное время полного удаления сегрегаций выполняется при отжиге этой стали

при темп-ре 1250°C в течении около 12 часов, а при отжиге при 1300°C около 6 часов. При этом отжиге степень отстранения сегрегаций всех трёх элементов приближается значению $k = 1$, чем сталь более гомогенна. Отрицательное явление, которое сопровождает высокотемпературный отжиг это рост кристаллических зёрен.

Необходимо выбрать оптимум между допустимой степени сегрегации, роста кристаллических зёрен и расходами при дальнейшем отжиге.