

Vpliv modifikatorjev pri izdelavi jekla na velikost avstenitnega zrna

UDK: 669.18:620.18:669.046.558
ASM/SLA: D11r, AD-r

Vasilij Prešern, Vlado Macur

1. del: VPLIV ALUMINIJA IN TITANA

Opisana je analiza vpliva topnega aluminija v jeklu ter kombinacije topnega aluminija in titana na velikost avstenitnega zrna. Podan je verjetni mehanizem zaviranja rasti zrna pri uporabi različnih afinatorjev.

Ugotovljeno je optimalno območje vsebnosti topnega aluminija za doseganje drobnega zrna, s pomočjo statistične analize velikega števila industrijsko izdelanih talin pa je postavljena linearna odvisnost velikosti zrna od kombinirane vsebnosti aluminija in titana.

1. Uvod

Velikost avstenitnega zrna ima velik vpliv na obnašanje jekla pri kaljenju kakor tudi na nekatere njegove mehanske lastnosti, kot prekaljivost, žilavost, kritično temperaturno območje krhkosti itd. Pri cementacijskih jeklih je važno, da je globina prekalilne cone majhna, tako da se jeklo prekali samo na površini in ostane jedro žilavo; prekalilna cona pa bo tem manjša, čim drobnejše bo zrno. Tudi žilavost je večja, posebno pri nizkih temperaturah, če je zrno manjše.

Drobnega avstenitnega zrna ne dosežemo samo s termično obdelavo, ampak moramo že med izdelavo jekla ustvariti primerne pogoje in je torej potrebno poznati parametre, s katerimi lahko na to velikost vplivamo. Tvorba karbonitridov in nitridov naj bi vplivala na velikost zrna, vendar je praktično težko doseči optimalne pogoje za ustvarjanje teh izločkov, ki zavirajo rast zrn.

Zato smo izdelali raziskovalno nalogo¹, v kateri smo ugotavljali vplivne parametre pri proizvodnji cementacijskega jekla v električnih obročnih pečeh. Proučevali smo vpliv aluminija, titana, kompleksne zlitine CaBaSi in cer-mish metala.

V prvem delu tega članka bomo poročali o vplivu aluminija in titana. Njun vpliv smo ugotavljali s pomočjo statistične analize podatkov obstoječe tehnologije. Vpliv ostalih elementov pa bomo opisali v drugem delu članka.

2. Mehanizem zaviranja rasti zrn

2.1 Vpliv aluminija

Mnogi raziskovalci trdijo, da naraščanje zrna pregretega jekla zadržujejo težko topni nekovinski vključki, ki so drobno dispergirani v avstenitu — predvsem karbidi in nitridi. Take spojine tvorijo elementi Al, Ti, Nb, Zr, V, Se, Ce in drugi.

V jeklarski praksi je aluminij eden najpomembnejših elementov. Ima veliko afiniteto do kisika, majhno specifično težo, uspešno zavira rast avstenitnega zrna in je tudi najcenejši.

O mehanizmu vpliva aluminija na zrnatost jekla obstajajo različne teorije, vendar je največ zagovornikov našla teorija tvorbe aluminijevih nitridov. Različni raziskovalci^{2,3,4} so podrobno opisali afinicijski vpliv aluminija in mehanizem, kako precipitirati AlN zavirajo rast avstenitnih zrn.

Afinicijski vpliv AlN je odvisen od treh parametrov: od volumna količine AlN, od povprečne velikosti izločkov in od površinske energije avstenita. Zavorni učinek AlN se pri običajnih količinah aluminija in dušika z naraščanjem temperature zmanjšuje, ker raste površinska energija avstenita. To pa linearno zmanjšuje zavorno silo, po drugi strani pa se hkrati povečuje tudi povprečna velikost izločkov. Eno in drugo zmanjšuje zavorno silo za rast zrn po poznanih analitičnih odvisnostih C. Zenerja, ki so jih kasneje v mnogih primerih empirično potrdili.

Količina nastalega AlN se lahko določi s topnostnim produktom reakcije:

$$[Al] + [N] \rightleftharpoons [AlN] \quad \dots (1)$$

in

$$\lg ([Al] \cdot [N]) = -\frac{6180}{T} + 0,725 \text{ (lit. 5)} \dots (2)$$

Ugotovili so, da obstaja neka optimalna količina topnega aluminija, ki omogoča drobno zrno in o zvonasti obliki vpliva tega aluminija na zrno so poročali že razni avtorji^{4,6,7}. Ti raziskovalci menijo, da pri majhnih vsebnostih topnega aluminija ne nastane dovolj AlN za blokiranje rasti zrn. Pri večjih vsebnostih aluminija pa pride zaradi posebnih pogojev do aglomeracije delcev AlN, kar povzroča rast nekaj velikih delcev, ki so kot inhibitorji neučinkoviti.

Mgr. Vasilij Prešern, dipl. inž., je samostojni raziskovalec na Metalurškem inštitutu v Ljubljani
Vlado Macur, dipl. inž., železarna Ravne

Po obstoječem tehnološkem predpisu izdelave cementacijskih jekel v železarni Ravne dodajamo za doseganje drobnejšega zrna od 5 po ASTM tabeli potrebno količino aluminija med preprihovanjem z argonom. Ker pa ne poznamo količine aluminija in kisika v jeklu v tem trenutku, je potrebno upoštevati izkoristek aluminija med dezoksidacijo.

Ugotovili so⁸, da je za doseganje optimalne vrednosti aluminija važna skrbna kontrola ogljika, silicija in mangana. Preddezoksidacija taline z aluminijem je namreč izvedena po oksidacijski periodi in je zato odgor aluminija odvisen od vsebnosti ogljika po izkuhanju, količine silicija in mangana med rafinacijo, količine žlindre pred dodatkom aluminija, načina dodatka aluminija in časa rafinacije. Iz prakse je poznano, da se je potrebno izogibati nizkim vsebnostim ogljika in držati silicij nad 0,20 %.

2.2 Vpliv titana

Titan se že dalj časa uporablja kot legirni element za gradbena jekla. Že majhni dodatki občutno povečajo trdnost in žilavost jekla. Utrjanje jekla nastopi zaradi drobnejšega zrna in izločevalnega utrjanja.

Vemo, da ima titan veliko afiniteto do dušika in da tvori močno stabilne titanove nitride, ki nastajajo že v talini. Sestava teh vključkov je konstantna in se spreminja lahko samo, če se bistveno spreminja razmerje C/N v talini. Titanovi nitridi so v trdnem avstenitu praktično netopni, v talini pa nastajajo zrna, ki so prevelika, da bi lahko zavirala rast avstenitnih zrn. Poročajo⁹, da je temperatura raztapljanja teh nitridov že pri najmanjših dodatkih titana nad temperaturo plastične predelave (n. pr. pri 0,0100 % N in 0,001 % Ti je ta temperatura cca 1630 K). Zato prihaja v poštev kot afinator le titanov karbid.

Ugotovili so⁴, da pri vplivu titana ne obstaja neka optimalna vsebnost, temveč da temperatura tvorbe grobih zrn narašča progresivno z večanjem vsebnosti titana. Vzrok je ta, da titan tvori poleg nitridov tudi karbide, kar je v nasprotju z aluminijem, ki je vezan le kot nitrid. V cementacijskih jeklih pa je ogljik vedno v stehiometričnem pribitku glede na vsebnost titana in se zato z večanjem deleža titana več delež topnih titanovih karbidov. Ti imajo velik topnostni produkt in nastajajo z izločanjem iz avstenita v podobnem temperaturnem intervalu kot AlN.

Pri segrevanju jekla v avstenitno območje se začno vključki raztapljati v gama trdni raztopini. To so v glavnem titanovi karbidi in kompleksni Ti (C, N) z veliko ogljika. Nekateri vključki pa ostanejo neraztopljeni tudi pri višjih temperaturah (nad 1550 K) — v glavnem je to titanov nitrid, Ti (C, N) s skromno udeležbo ogljika, karbosulfidi, kot n. pr. $Ti_4C_2S_2$, (Mn, Ti) S... Povedati pa je potrebno, da je uporaba titana kot regulatorja veli-

kosti zrna omejena zaradi poslabšanja čistosti jekla — pojavijo se grobi titanovi oksidi in karbonitridi, ki so preveliki, da bi lahko vplivali na proces rasti avstenitnega zrna.

2.3 Kombinacija aluminija in titana

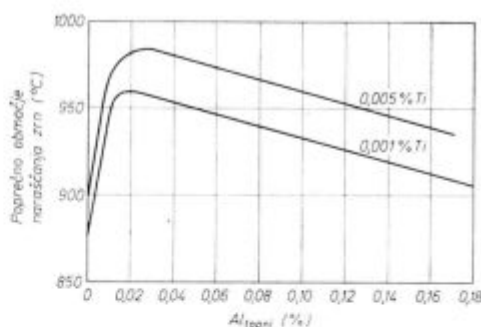
Aluminij je iz mnogih ozirov nepogrešljiv element pri izdelavi kvalitetnih jekel v električnih obločnih pečeh. Ker pa je težko vedno zadeti optimalno vsebnost kislinotopnega aluminija v jeklu, so metalurgi iskali možnost, da bi jeklu s premajhno ali preveliko vsebnostjo tega aluminija zagotovili dovolj drobno zrno. Pri tem so najbolj poznane kombinacije aluminija s titanom, z vanadijem in z niobijem.

Dokazali so¹⁰, da že majhni dodatki titana v kombinaciji z aluminijem zvišajo temperaturo rasti avstenitnega zrna (slika 1). O mehanizmu zaviranja rasti take kombinacije lahko rečemo naslednje:

— pri premajhni vsebnosti kislinotopnega aluminija, oziroma AlN nastopajo kot afinatorji titanovi karbidi (eventuelno tudi titanovi karbonitridi);

— pri jeklih z višjo vsebnostjo aluminija pa titan s tvorbo nitridov prepreči tvorbo velikih izločkov AlN, ki lahko negativno vplivajo na velikost zrna, o čemer smo že govorili.

Z analizo izdelave številnih talin pa bomo v nadaljevanju poskušali ugotoviti optimalne pogoje za doseganje finega zrna.



Slika 1
Vpliv aluminija na temperaturo naraščanja zrn pri jeklu z različnimi dodatki titana

Fig. 1
Influence of aluminium on the temperature of grain growth in steel with various additions of titanium

3. Industrijski poskusi

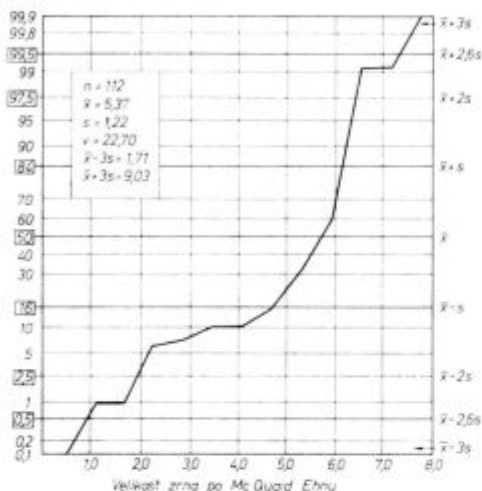
3.1 Analiza uporabe aluminija

V železarni Ravne so že pred nekaj leti opustili dolgotrajno difuzijsko dezoksidacijo z belo žlindro in se odločili za učinkovito obarjalno preddezoksidacijo z aluminijem in SiMn ter dokončno dezoksidacijo s CaSi¹¹.

Pri izdelavi industrijskih poskusov smo zasledovali velikost avstenitnega zrna, vzporedno pa

ugotavljali tudi vpliv spremembe vplivnih dejavnikov na vrsto, količino in razporeditev nekovinskih vključkov, trakavost, prekaljivost...

Pri pregledu 112 talin kvalitete Č 4320 smo ugotovili, da 22 % talin ni doseglo ocene zrnatosti 5. Povprečna velikost zrna je bila 5,37, vendar so bile posamezne vrednosti močno raztresene okoli povprečja (slika 2).



Slika 2
Kumulativna porazdelitev velikosti avstenitnega zrna cementacijskega jekla Č. 4320

Fig. 2
Cumulative distribution of austenite grain size of C. 4320 carburising steel

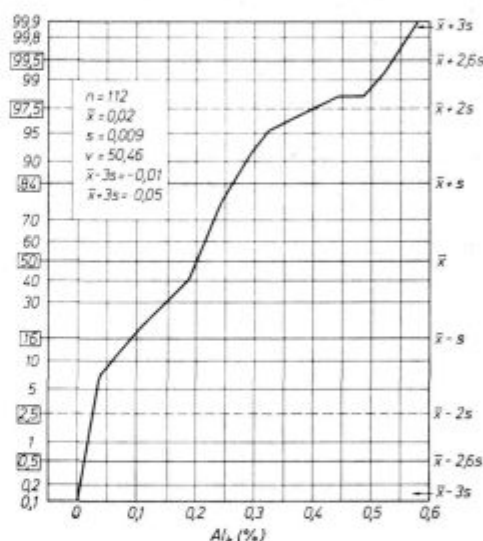
Se večje trošenje pregledanih talin ima vsebnost kislinotopnega aluminija v talinah (slika 3). Srednja vrednost 0,020 % Al_k pa ustreza maksimalno doseženemu povprečju velikosti avstenitnega zrna, kar prikazuje slika 4. O mehanizmu vpliva vsebnosti aluminija na tako obliko krivulje smo v uvodu že pisali. Ugotovljena povprečna vsebnost Al_k potrjuje, da je dodatek aluminija tehnološko pravilno predpisan. Očitno pa je tudi, da ne obvladamo tako velikega trošenja vrednosti. Diagram na sliki 4 je v praksi zelo pomemben. Povemo naj še, da se moramo prevelikih količin aluminija bolj bati kot premajhnih. Z večanjem Al_k se namreč večajo možnosti nastanka raztrganin pri plastični predelavi. Črtkana črta na sliki 4 kaže vpliv kislinotopnega aluminija na izmeček zaradi raztrganin. Poudarimo pa naj, da so naši raziskovalci¹² že poročali o načinu zmanjšanja raztrganin pri jeklih s preveliko vsebnostjo aluminija. Gre za princip zadostnega ohlajanja ingotov pred ponovnim segrevanjem za plastično predelavo, kar vpliva na velikost in gostoto neraztopljenih izločkov AlN .

Krivulja na sliki 4 predstavlja povprečne vrednosti velikosti zrn. Vertikalne črtkane črte, ki sekajo krivuljo, pomenijo razliko med povprečjem maksimalnih in minimalnih velikosti zrn. Najbolj enakomerna so zrna v optimalnem območju drobnostnosti in razlike so najmanjše

pri maksimalni doseženi velikosti zrn. Zrna so torej tem manj neenakomerna, čim drobnejša so. Rešitev problema zrnatosti pomeni zato hkrati tudi rešitev neenakomernosti zrna.

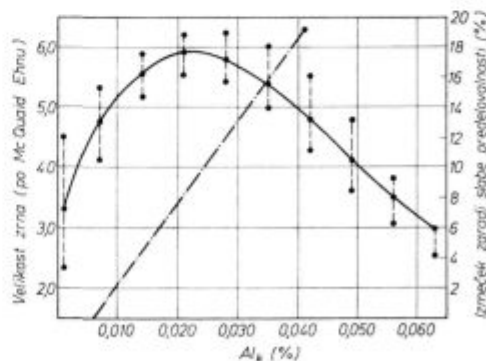
Nekateri raziskovalci¹⁰ trdijo, da prispevajo k zaviranju rasti zrn tudi sulfidni vključki. Zato smo izdelali regresijsko analizo skupnega vpliva aluminija, silicija in žvepla na velikost zrna. Dobili smo odvisnost o ugodnem vplivu žvepla na zrnatost (slika 5). Ne smemo pa pozabiti, da pozitiven vpliv žvepla na velikost zrna in obdelovalnost jekla ne more nadoknaditi slabših mehanskih lastnosti ter plastičnosti pri predelavi in zato vpliva žvepla nismo detajlneje raziskali. Vpliv silicija pa je povezan z večjim ali manjšim odgorom aluminija.

Da pa bi popolnoma izločili ostale vplive in zasledovali samo vpliv aluminija na velikost zrna, smo izdelali dve talini, tako da smo pred litjem vsake od treh plošč potopili v talino aluminij.



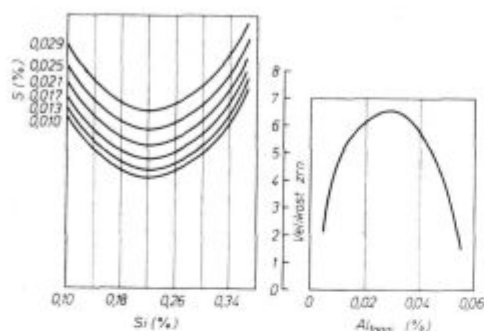
Slika 3
Kumulativna porazdelitev kislinotopnega aluminija

Fig. 3
Cumulative distribution of aluminium soluble in acid



Slika 4
Vpliv vsebnosti kislinotopnega aluminija na velikost avstenitnega zrna

Fig. 4
Influence of content of aluminium soluble in acid on the size of austenite grain



Slika 5

Vpliv vsebnosti kislinotopnega aluminija, silicija in žvepla na velikost avstenitnega zrna

Fig. 5

Influence of content of aluminium soluble in acid, of silicon, and sulphur on the size of austenite grain

Prva plošča je imela dva ingota, druga osem in tretja šest ingotov. Pred valjanjem in po njem smo merili temperaturo jekla. Ogrevanje smo zasledovali po pečeh in po celicah. Izvaljane gredice se po temperaturi niso bistveno raziskovale. Iz tabele 1 je razvidno, da ima aluminij dejansko odločilno vlogo. Ingoti prve plošče, ki so bili odliti z malo (talina 29775) ali brez aluminija (talina 29776), imajo zelo grobo zrno. Velikost zrna izvaljanih ingotov druge plošče je veliko boljša, popolnoma pa ustrezajo predpisom (finejše zrno od 5 po ASTM) ingoti iz tretje plošče.

Tabela 1: Vpliv različnih dodatkov aluminija na velikost zrna

	29775			29776		
	1. pl.	2. pl.	3. pl.	1. pl.	2. pl.	3. pl.
Dodano Al (kg)	4	6	4	0	12	4
Al _k (%)	0,009	0,012	0,026	0,002	0,014	0,032
Velikost zrna	0—4	4—6	5—6	1—5	3—6	5—6
Končna temp. valjanja	1080	1090	1100	1150	1130	1120

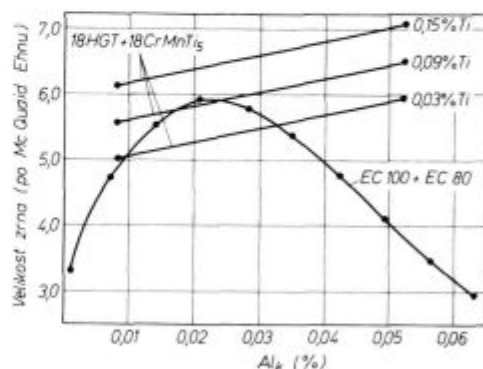
3.2 Analiza kombinirane uporabe aluminija in titana

Za ugotavljanje vplivov različnih vsebnosti titana v kombinaciji z aluminijem na velikost avstenitnega zrna smo izbrali vrsti jekla 18CrMnTi5 in 18HGT. Po kemijski analizi sta jekli podobni Č 4321 (EC-100) (tabela 2). Skupno smo pregledali 138 talin z dodatki titana in aluminija. Aluminij je bil dodan za preddezoksidacijo in med prepihovanjem taline z argonom v ponvi, titan pa smo dodajali v ponev med izpustom jekla.

Na sliki 6 smo prikazali primerjavo statistične analize velikosti zrn med jekli z aluminijem in s kombinacijo aluminija in titana.

Tabela 2: Sestava jekel EC 100, 18CrMnTi5 in 18HGT

Jeklo	C %	Si %	Cr %	Mn %	Ti %	P _{max} %	S _{max} %
EC 100	0,20	0,25	1,15	1,25	—	0,035	0,035
18CrMnTi5	0,20	0,25	1,15	0,95	0,080	0,035	0,035
18HGT	0,20	0,25	1,15	0,95	0,060	0,035	0,035



Slika 6

Vpliv kombinacije vsebnosti aluminija in titana na velikost avstenitnega zrna

Fig. 6

Influence of combined content of aluminium and titanium on the size of austenite grain

Pokazalo se je, da titan izboljša velikost zrna v ožjem intervalu trosenja. Zrno je bolj drobno v spodnjih in višjih razredih velikosti zrn. Ugotovitev je pomembna zato, ker titan z aluminijem omogoča doseči drobno zrno tudi tam, kjer od pove učinek nizkih ali previsokih vsebnosti aluminija. Ponovno pa moramo poudariti, da je uporaba titana kot regulatorja velikosti avstenitnega zrna močno omejena zaradi poslabšanja čistoče jekla. Pri tem je neugodna predvsem grupiranost titanovih nekovinskih vključkov v obliki trakov.

O verjetnem mehanizmu vpliva kombinacije aluminija in titana na velikost zrna smo že govorili, vendar je linearno odvisnost velikosti zrna od vsebnosti aluminija v jeklu ob prisotnosti titana vseeno težko pojasniti. Iz slike 6 je namreč mogoče sklepati, da titan popolnoma zakrije ugotovljeni zvonasti učinek aluminija na velikost zrna. Po mnenju F. Vodopivca lahko sklepamo dvojje: ali se v področju koncentracije titana 0,03 do 0,15 % ne spreminja topnostni produkt za tvorbo titanovega karbida in s tem velikost izločkov, ki imajo zavorni učinek (to bi se dalo sklepati po analogiji z obliko odvisnosti med topnim aluminijem in velikostjo zrn), ali pa je učinek titana v prisotnosti aluminija vezan na mehanizem afinacije, kakršen v dosednji literaturi ni zabeležen. Ker ni bila narejena analiza razdelitve dušika med aluminijem in titanom, je o mehanizmu konkretnega afinacijskega vpliva kombinacije aluminija in titana dejansko težko govoriti. Poudarimo pa naj, da so dobljeni rezultati pomembni, ker so

rezultat dejanskega stanja analize velikega števila talin (138) in da smo podobne linearne vplive te kombinacije ugotovili tudi pri študiju vpliva CaBaS in Cer-mish metala, o čemer bomo poročali v drugem delu članka.

4. Zaključki

Analiza podatkov industrijske izdelave 112 talin cementacijskega jekla je pokazala jasno zveznato odvisnost velikosti primarnega zrna od končne vsebnosti topnega aluminija v jeklu. Predpisano drobno zrnatost povprečne velikosti 5 po ASTM tabeli dosežemo v mejah 0,015 do 0,030 % topnega aluminija. Pod to vsebnostjo in nad njo bo zrno grobo. Hkrati se je pokazalo, da dobimo v optimalnem območju drobnostzrnatosti tudi najbolj enakomerne velikosti zrn, oziroma najmanjše razlike med maksimalno in minimalno oceno velikosti zrna.

Ker pa je tehnološko težko izdelati jeklo z optimalno vsebnostjo topnega aluminija, često nastopajo primeri, da je zrno grobo. Zato smo analizirali še vpliv kombinacije aluminija in titana.

Ugotovili smo, da obstaja linearna odvisnost velikosti zrna od vsebnosti topnega aluminija in titana. Taka kombinacija omogoča doseči drobno zrno tam, kjer odpove učinek premajhnih ali prevelikih vsebnosti aluminija. Nismo pa uspeli dati točnega odgovora o mehanizmu zaviranja rasti v takem primeru, čeprav je verjetno, da je tvorba titanovih karbonitridov z veliko ogljika pomagala doseči drobno zrno zunaj optimalnega območja vsebnosti topnega aluminija v jeklu.

Uporaba titana kot regulatorja velikosti avstenitnega zrna pa je omejena zaradi tvorbe grobih titanovih oksidov in nitridov, ki nastajajo pri kristalizaciji jekla in močno poslabšajo čistost jekla.

V drugem delu tega članka bomo poročali še o vplivu dodatne dezoksidacije s CaBaSi in vplivu Cer-mish metala. Na osnovi opisanih preiskav in dobljenih rezultatov pa lahko zaključimo, da

bomo dosegli najboljše primarno zrno v primeru uporabe samo aluminija, pri vsebnosti topnega aluminija 0,015 do 0,030 %. Pri kombinaciji aluminija in titana pa bomo dobili drobnejše zrno od 5 z vsebnostjo topnega aluminija nad 0,010 % in vsebnostjo titana 0,100 do 0,150 %.

Literatura

1. Macur V., V. Prešern, A. Rodič, V. Strahovnik, F. Kandare: »Vpliv parametrov pri izdelavi jekla na velikost austenitnega zrna«, Poročilo Metalurškega inštituta v Ljubljani, št. 481, Ljubljana, april 1971
2. Dahl W., H. Henstenberg: »Untersuchungen über die Ursachen für das Auftreten von Warmbruch an niedrig Legierten allgemeinen Baustählen«, Archiv für das Eisenhüttenwesen (Düsseldorf) 12 (1964), 1123—1131
3. Vodopivec F., L. Kosec, A. Kveder: »O morfologiji in topologiji nitridnih izločkov in o njihovem zaviralnem vplivu na rast austenitnih zrn v jeklih«, Rudarsko-metalurški zbornik (Ljubljana) 1 (1969), 13—24
4. Gladman T., F. B. Pickering: »Grain-coarsening of austenite«, Journal of the Iron and Steel Institute (London) 6 (1967), 653—664
5. Yamanaka K., Y. Ohmazi: »Effect of Boron on Transformation of Low Carbon Low-alloy steels«, Transactions of the Iron and Steel Institute of Japan (Tokyo) 17 (1977), 92—101
6. Halley J. W.: Transactions of the American Institute of Metallurgy (1946), 224
7. Chatterjee A. B., B. R. Nijhawan: Metallurgical Treatment 24 (1957), 3—6, 54—60
8. Prešern A., M. Dobovišek, V. Rac: »Legiranje Al k cementacijskemu jeklu za doseg optimalnih koncentracij, ki jih zahteva drobno zrno jekla«, Poročilo Metalurškega inštituta v Ljubljani, št. 112, september 1972
9. Arh J., F. Vodopivec: »Zveza med preoblikovalnostjo nizkoogljčnih jekel in vsebnostjo aluminija in dušika, 1. del«, Zelezarski zbornik 4 (1970), 259—264
10. Biggs B. L.: »Austenite grain-size control of medium-carbon and carburising steels«, Journal of the Iron and Steel Institute (London) 8 (1959), 361—377
11. Dobovišek M., A. Rodič, V. Macur: »Izboljšanje velikosti austenitnega zrna in čistoče jekla za cementacijo«, Zelezarski zbornik 4 (1970), 225—245
12. Vodopivec F., J. Arh, A. Osojnik: »Zveza med preoblikovalnostjo nizkoogljčnih jekel in vsebnostjo aluminija in dušika, 2. del«, Zelezarski zbornik 4 (1970), 265—270

ZUSAMMENFASSUNG

Die Auswertung der Ergebnisse von 112 Schmelzen eines Einsatzstahles zeigte eine glockenartige Abhängigkeit der Primärkorngrösse vom säurelöslichen Aluminium in der Endanalyse (Bild 4). Das vorgeschriebene Feinkorn der Grösse 5 nach ASTM Richtreihe wird bei einem säurelöslichen Aluminiumgehalt in den Grenzen von 0,015 bis 0,030 % erreicht. Unter und ober diesem Aluminiumgehalt wird das Gefüge grobkörnig. Es hat sich auch gezeigt, dass im günstigsten Feinkornbereich auch ein gleichmässiges Korn bzw. die kleinsten Unterschiede zwischen der grössten und der kleinsten Korngrössenwertzahl erreicht werden.

Auch der Einfluss der Kombination von Aluminium und Titan ist analysiert worden. Wir haben eine lineare Abhängigkeit der Korngrösse vom säurelöslichen Aluminium- und Titangehalt festgestellt (Bild 6). Solche Kombination ermöglicht ein feines Korn dort zu erreichen, wo der Einfluss der zukleinen oder zugrossen Aluminiumgehalte versagt. Es ist uns nicht gelungen eine exakte Erklärung

über den Mechanismus der Kornwachstumsverzögerung in solchem Falle zu geben.

Die Anwendung von Titan für die Regelung der Austenitkorngrösse ist wegen der Bildung von groben Titanoxiden und Titanitriden, welche beim Erstarren von Stahl entstehen und die Reinheit des Stahles stark verschlechtern, begrenzt.

Im weiteren wird noch über den Einfluss einer zusätzlichen Desoxydation mit CaBaSi und mit Cer-Mischmetall berichtet. Auf Grund der beschriebenen Untersuchungen und der erhaltenen Ergebnisse kann geschlossen werden, dass die günstigste primärkorngrösse nur im Falle der Anwendung von Aluminium bei einem Gehalt von säurelöslichen Aluminium von 0,015 bis 0,030 % erreicht wird. Bei der kombinierten Anwendung von Aluminium und Titan wird ein feineres Korn als 5 nach der ASTM Richtreihe bei einem säurelöslichen Aluminiumgehalt über 0,010 %, und Titangehalt von 0,10 bis 0,15 % erreicht.

SUMMARY

The analysis of making 112 melts of carburising steel showed that the relationship between the size of primary grains and the final content of soluble aluminium in steel can be described by a bell-like curve (Fig. 4). The prescribed fine grains of the average size of 5 according to ASTM can be achieved with 0.015 to 0.030 % soluble aluminium. Simultaneously it was found that in the optimal region for obtaining fine-grained structure also the best uniformity of grains is achieved, i.e. there are the smallest differences between the maximal and minimal class of grains.

Also the influence of combination of aluminium and titanium was analyzed and a linear relationship between the grain size and the content of soluble aluminium and titanium was found (Fig. 6). Such a combination enables to obtain fine grains also then when the effect of too small or too big amounts of aluminium does not help.

But the exact mechanism of hindrance of the grain growth was not determined in this case.

The use of titanium to regulate the size of austenite grains is limited due to the formation of coarse titanium oxides and nitrides during the solidification of steel and thus the purity of steel is reduced.

Later also influence of additional deoxidation by Ca Ba Si and the influence of adding cerium mischmetal will be discussed. But the described investigations and the obtained results lead to the conclusion that the best primary grain will be obtained by the use of aluminium itself when its content is 0.015 to 0.030 %.

With combination of aluminium and titanium finer grain than 5 according to ASTM was obtained when steel contained over 0.010 % soluble aluminium and 0.100 to 0.150 % titanium.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование изготовления 112-ти плавов стали для цементации показала вогнутую зависимость величины примарного зерна конечного содержания плавкого алюминия в стали (рис. 4). Предписанную мелкозернистость средней величины 5 по ASTM можно получить, если содержание плавкого алюминия находится в пределах между 0,015 и 0,030 %. Свыше и ниже этого содержания алюминия образуется крупнозернистая структура. Параллельно с этим оказалось, что в оптимальной области мелкозернистости величина зерен более всего равномерна, т. е. разница между максимальной и минимальной величиной зерна — минимальная. Рассмотрено также влияние комбинации алюминия и титана и установлено, что существует линейная зависимость между величиной зерна и содержанием плавкого алюминия и титана (рис. 6). Такая комбинация дает возможность получить мелкие зерна также в случаях, когда небольшие и наоборот

значительные содержания алюминия не оказывают требуемые результаты. Но разрешить вопрос причины торможения увеличения зерен пока не удалось. Применение титана как регулятора величины аустенитных зерен ограничено вследствие образования крупных оксидов и нитридов, которые образуются при кристаллизации стали и существенно ухудшают ее чистоту.

В продолжении этой работы будет рассмотрено еще о влиянии добавочного раскисления с Ca Ba Si и о влиянии Ce-мисметалла. На основании описанных исследований и о полученных результатов можно заключить, что самое лучшее примарное зерно при применении только алюминия можно получить при содержании 0,015—0,030 % плавкого Al. При комбинации Al и Ti зерно величины 5-ти по ASTM можно получить при содержании плавкого Al свыше 0,010 % и содержании Ti между 0,100—0,150 %.

П. Бергер/Целье