

Nekateri problemi izdelave avtomatnih jekel v električnih obločnih in Siemens-Martinovih pečeh

UDK: 669.14.018.23
ASM/SLA: SQA—k

J. Arh, T. Razinger, B. Koroušič, K. Hribar, F. Pukl

1. UVOD

Železarna Jesenice je največji proizvajalec avtomatnih jekel in edini proizvajalec s svincem legiranih avtomatnih jekel v Jugoslaviji. Največji del teh jekel zavzemajo polpomirjena avtomatna jekla z visokim indeksom obdelovalnosti z dodatkom svinca ali brez njega. Osnovno jeklo ima sestavo: 0,1 % C, 1,0 % Mn in 0,30 % S. Znano je, da je obdelovalnost odvisna od kemične sestave jekla in od vrste, količine, porazdelitve in oblike nekovinskih vključkov. Najbolj ugodna za dobro obdelovalnost je globulitična oblika sulfidnih in oksisulfidnih vključkov. Na mehanizem tvorbe oksisulfidnih vključkov vpliva cela vrsta parametrov, med katerimi je vsebnost kisika najpomembnejša. Regulacija vsebnosti kisika je zato najbolj pomembna faza proizvodnje avtomatnega jekla.

Pri regulaciji vsebnosti kisika v jeklu so nam lahko v veliko pomoč najnovejše metode direktnega določanja kisika v tekočem jeklu s kisikovo sondo.

Pomembna faza proizvodnje avtomatnih jekel je kontrola obdelovalnosti in kontrola oblike sulfidnih nekovinskih vključkov.

Polpomirjena avtomatna jekla, ki jih obravnava ta članek, izdelujemo v električnih obločnih kakor tudi Siemens-Martinovih pečeh.

2. IZDELAVA POLPOMIRJENIH AVTOMATNIH JEKEL V ELEKTRIČNIH OBLOČNIH PEČEH

Električne obločne peči so zelo dober talilni agregat za proizvodnjo avtomatnih jekel, saj je v njih možna izdelava najboljših avtomatnih jekel po hitrem in enostavnem tehnološkem postopku.

Shema postopka izdelave kaže slika 1.

2.1 Glavni problemi izdelave jekla

2.1.1 Regulacija vsebnosti kisika v jeklu

Osnovni problem izdelave polpomirjenih avtomatnih jekel je, kako regulirati vsebnost kisika v izdelanem jeklu v takih mejah, da bo obdeloval-

nost izdelanega jekla dobra, oziroma da bo indeks sulfidnih vključkov v izdelanem jeklu čim višji. Vsebnost kisika v izdelanem jeklu je odvisna:

1. od vsebnosti kisika po oksidaciji, oz. pred prebodom

2. od načina preddezoksidacije jekla

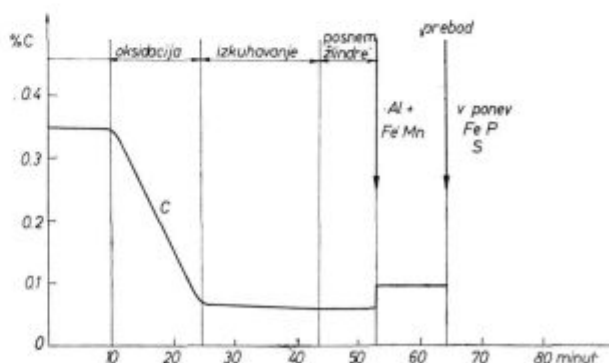
3. od reakcij jekla s kisikom iz zraka, ko jeklo teče iz peči v ponev, in pri vlivanju.

Regulacija vsebnosti kisika v izdelanem jeklu ni niti malo enostavna, če vsebnosti kisika ne moremo izmeriti in ker na reakcije jekla s kisikom iz zraka med izlitjem jekla iz peči v ponev nimamo zadostnega vpliva. Obseg te reakcije je močno odvisen od oblike curka in trajanja preboda. Pogoji oksidacije curka jekla pri vlivanju so v glavnem konstantni. Le pri jeklih, legiranih s svincem, je curek jekla izpostavljen močnejši oksidaciji, ker pač svinec dodajamo s pomočjo zraka.

Ugotavljamo, da ima največji vpliv na morfologijo vključkov v izdelanem jeklu vsebnost kisika v jeklu po oksidaciji, oziroma posredno vsebnost ogljika v tej fazi izdelave jekla. Stroga kontrola vsebnosti ogljika po oksidaciji je za enakomerno in stabilno kvaliteto polpomirjenih avtomatnih jekel nujno potrebna.¹

Praksa kaže, da je najbolj ugodna vsebnost ogljika od 0,05—0,07 % C. Nižja vsebnost ogljika lahko povzroči napake zaradi preoksidacije jekla. Izkoristek pri čiščenju gredic je potem slabši.

Shema izdelave avtomatnega jekla Č 3990



Slika 1

Shema postopka izdelave jekla v električni obločni peči
Fig. 1

Flowsheet for steel production in electric arc furnace

* Predavanje na posvetovanju jeklarjev držav SEV ob stoti obletnici obratovanja konverterjev v železarni VEB MAXHÜTTE Unterwellenborn v NDR 5. in 6. 4. 1979

2.2 Vsebnost kisika v jeklu pri oksidaciji pred prebodom in v ponvi

2.2.1 Kisikove sonde

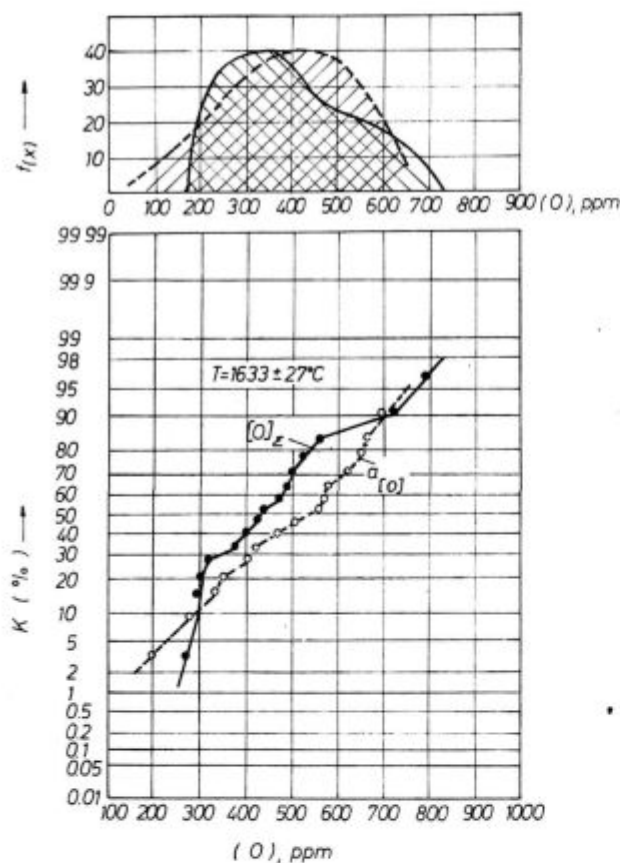
Ko smo izbirali primerno kisikovo sondo, smo se med različnimi tipi odločili za sondo tipa Fox (licenca Ferrotrom ZRN), ki uporablja kot referenčno elektrodo mešanico Cr-Cr₂O₃, predvsem zaradi tega, ker se od do sedaj znanih komercialnih sond razlikuje po tem, da merne vrednosti elektronsko obdela (EMNiT). Končni rezultat meritev so digitalne vrednosti za temperaturo (°C), elektro motorsko napetost EMN (mV) in aktivnost kisika (ppm).

2.2.2 Rezultati meritev vsebnosti kisika v jeklu

Pri polpomirjenih avtomatnih jeklih smo dovolj časa opravljali obsežne preiskave gibanja kisika v jeklu v času izdelave.²

Določali smo aktivni in celokupni kisik.

Meritve s kisikovo sondo dajo kot rezultat aktivni kisik, ki edini vpliva na morfologijo vključkov.

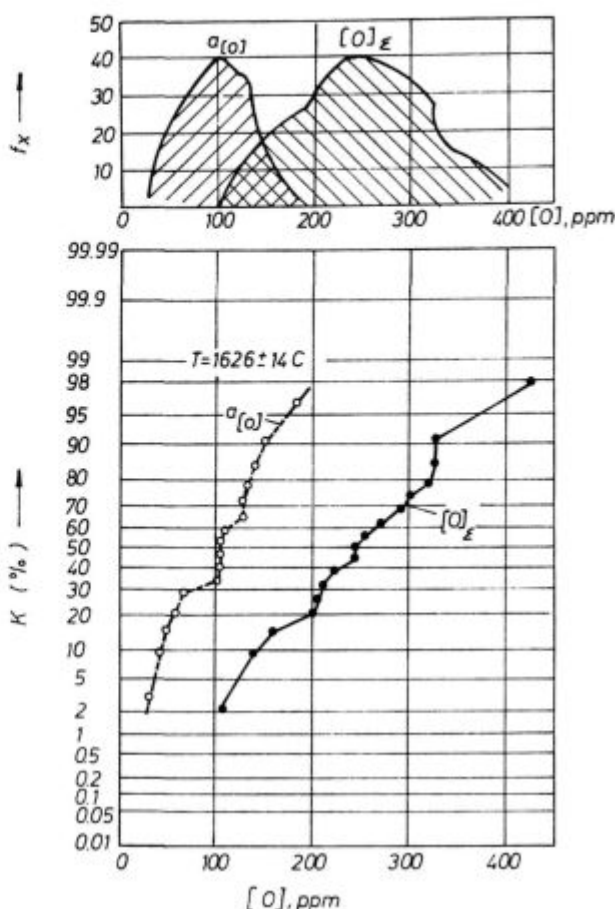


Slika 2

Porazdelitev kisika v talini po končani oksidaciji
a(O) aktivnost kisika, merjena s sondo
(O)Σ celokupni kisik

Fig. 2

Oxygen distribution in the melt after the completed refining
a(O) oxygen activity measured with the probe
(O)Σ total oxygen



Slika 3

Porazdelitev kisika v talini tik pred prebodom
a(O) aktivnost kisika, merjena s sondo
(O)Σ celokupni kisik

Fig. 3

Oxygen distribution in the melt just before tapping
a(O) oxygen activity measured with the probe
(O)Σ total oxygen

Vsebnost kisika po oksidaciji ogljika

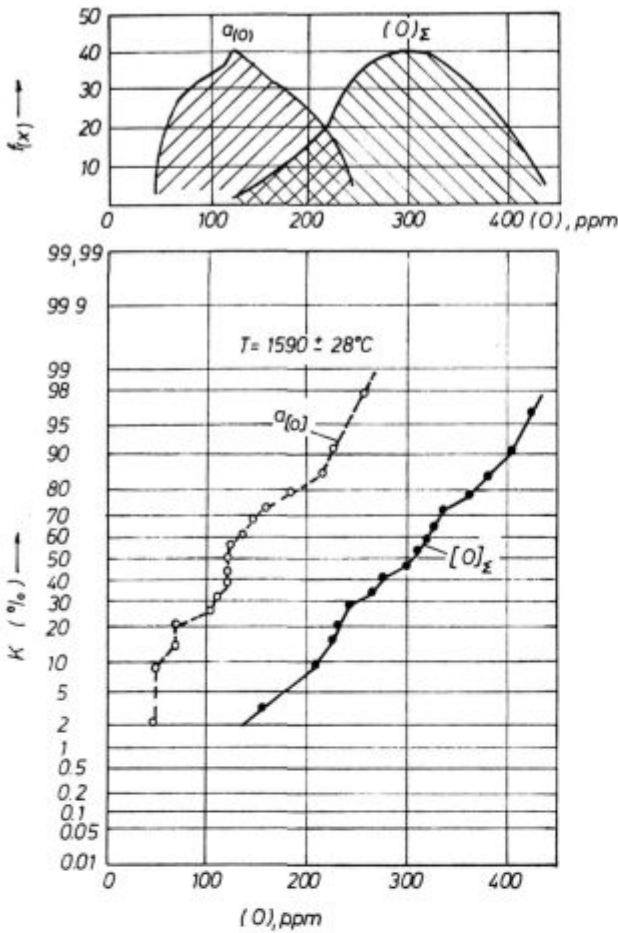
Na sliki 2 je prikazana porazdelitev kisika v talini po končani oksidaciji.

Kakor je razvidno s slike 2, po končani oksidaciji ni bistvene razlike med aktivnim in celokupnim kisikom. Vsebnost oksidnih vključkov po končanem pihanju kisika je dokaj nizka. Koeficient aktivnosti kisika se približuje vrednosti 1.

Vsebnost kisika pred prebodom

Na sliki 3 je prikazana porazdelitev kisika v talini tik pred prebodom iz peči, ki nazorno pokaže tvorbo oksidnih vključkov po dodatku FeMn in Al v peč.

Vsebnost kisika v talini pred prebodom je kritični parameter za kontrolo narave in količine oksisulfidov pri izdelavi avtomatnega jekla. Zato je poznavanje te veličine pomembno.

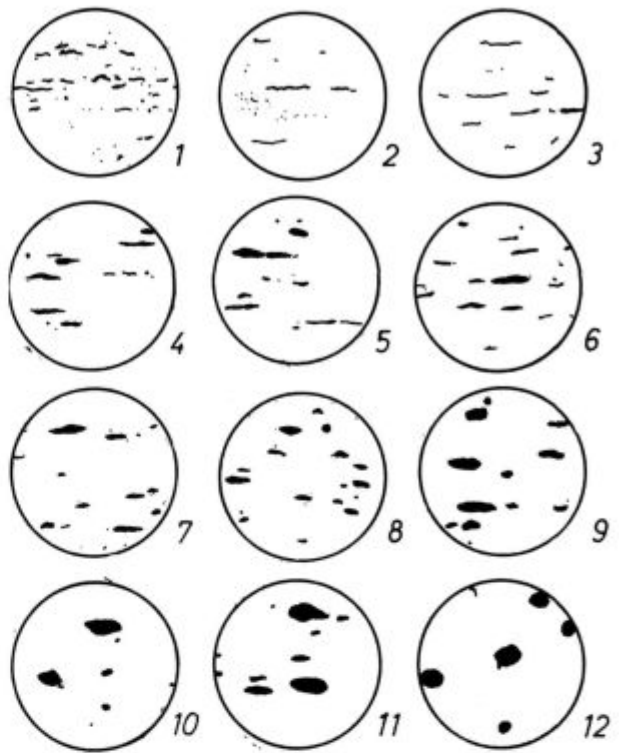


Slika 4

Porazdelitev kisika v jeklu v ponvi
 $a(O)$ aktivnost kisika, merjena s sondo
 $(O)\Sigma$ celokupni kisik

Fig. 4

Oxygen distribution in steel in the ladle
 $a(O)$ oxygen activity measured with the probe
 $(O)\Sigma$ total oxygen



Slika 6

Skala za oceno indeksa sulfidov

Fig. 6

Scale for estimating sulphide index

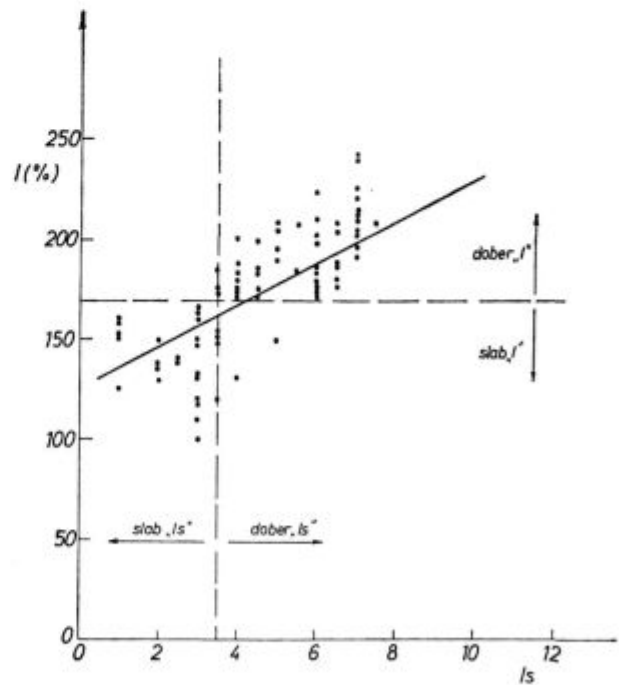
Oznaka jekla Števil. vrstice	Srečna analiza (%)	Obdelovalni indeks (%)	Primerjavo z AUS in ligne strožari				
			AUS-20-205-985	DN 1051 1961	ISO-DR	AISI-US	Alpine
Jeklo z visokim indeksom obdelovalnosti							
ATJ 100 Pb	0,05C, 0,04Mn, 0,02Pb	170	—	9 S Mn Pb 26	2 Pb	12 L 14	2 S Pb
Č 3590	0,05C, 0,04Mn, 0,02S	135	Č 3590	9 S Mn 26	2	12 13	2 S
ATJ 70	0,05C, 0,04Mn, 0,02S	140	—	9 S Mn 26	3	—	—
Jeklo za cementacijo							
ATJ 80 C	0,05C, 0,04Mn, 0,02S	110	—	—	—	12 L 17	—
Č 3190	0,05C, 0,04Mn, 0,02S	100	Č 3190	—	—	11 15	M 2
Č 1190	0,05C, 0,04Mn, 0,02S	100	Č 1190	10 S 20	4	11 17	2 E 10
Jeklo za podeljorje							
ATJ 40 G	0,05C, 0,04Mn, 0,02S	80	—	—	—	11 L 37	L 28 0
Č 1490	0,05C, 0,04Mn, 0,02S	70	Č 1490	35 S 20	7	11 38	2 V 35
Č 1590	0,05C, 0,04Mn, 0,02S	65	Č 1590	45 S 20	10	11 46	2 V 45
Merjeno jeklo							
Č 4590	0,05C, 0,04Mn, 0,02S	70	v prilozi	120 Ni 15/15	—	303	4s 22
Č 4900	0,05C, 0,04Mn, 0,02S	90	v prilozi	—	—	416	NW 152
Č 4790	0,05C, 0,04Mn, 0,02S	95	v prilozi	120 Ni 15/17	—	430F	NW 24

Slika 5

Kvalitetni asortiment avtomatnih jekel železarnice Jesenice

Fig. 5

Quality assortment of free-cutting steel in Jesenice Iron-works

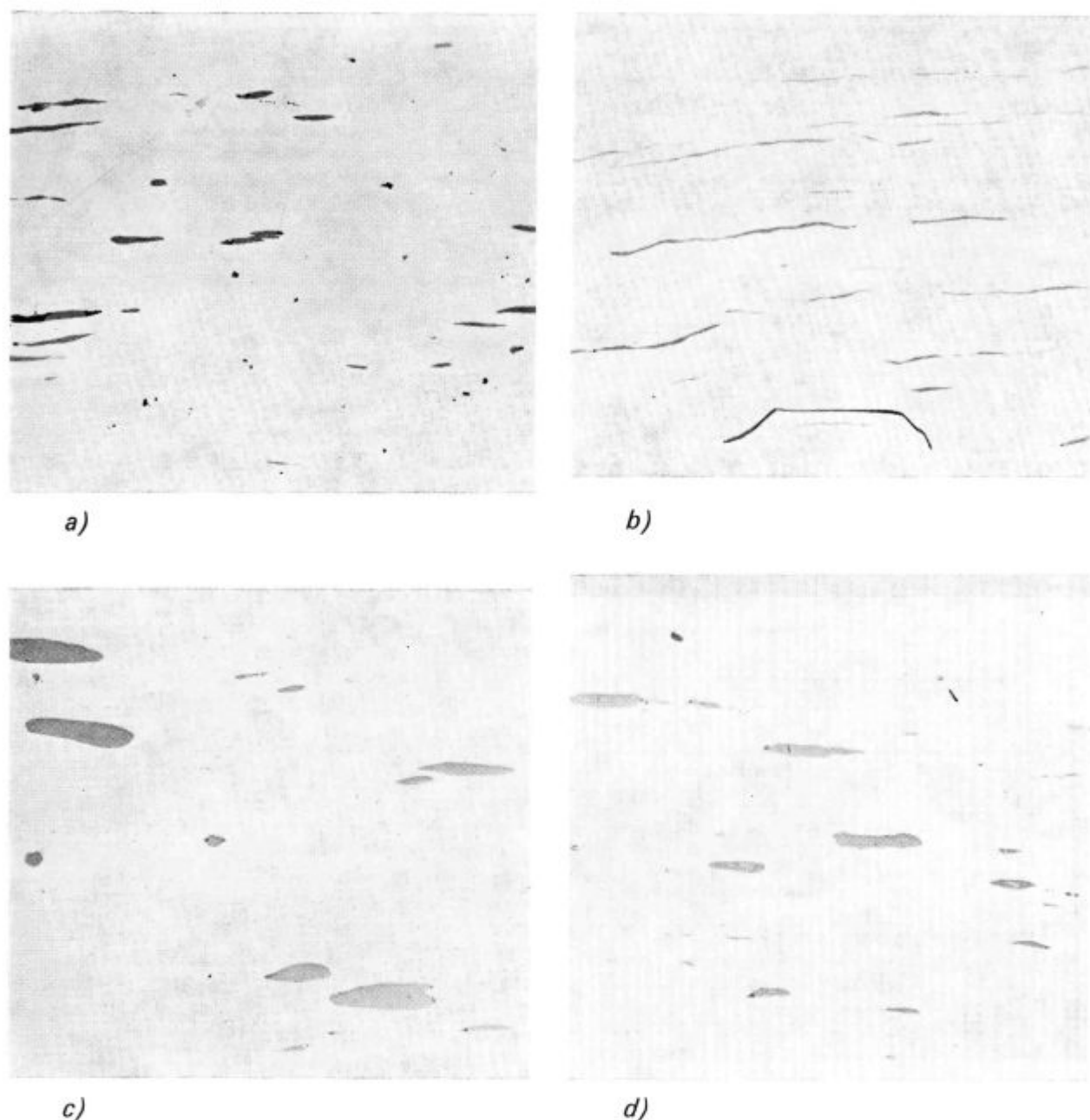


Slika 7

Odvisnost indeksa obdelovalnosti I od indeksa sulfidnih vključkov I_s

Fig. 7

Relationship between the machinability index, I, and the sulphide inclusions index, I_s .



Slika 8

Oblika sulfidnih vključkov pri različnem indeksu sulfidnih vključkov
 a,b Is = 1 do 3 a,c = kovano stanje
 c,d Is = 4 do 12 b,d = hladno vlečeno stanje

Fig. 8

Shape of sulphide inclusions with various sulphide inclusions indices
 a,b Is = 1 to 3 a,c — cold forged
 c,d Is = 4 to 12 b,d — cold drawn

Vsebnost kisika v jeklu v ponvi

Na sliki 4 je prikazana porazdelitev kisika v jeklu v ponvi. Pri preobodu jekla iz peči se talina legira z žveplom in po potrebi, če je bila vsebnost kisika pred preobodom previsoka, tudi korigira vsebnost kisika z dodatkom aluminija. Če smo uspeli obdržati ogljik po oksidaciji v predpisanih

mejah, potem to navadno ni potrebno. Iz primerjave slik 3 in 4 vidimo, da je prišlo do delnega znižanja vsebnosti aktivnega in skupnega kisika v jeklu. Pri tem so vzorci za določevanje celokupnega kisika vzeti iz curka jekla pri vlišanju. Povedati je treba, da smo žlindro pred dodatkom FeMn in Al v peč odstranili iz jekla, tako da ta med preobodom ne vpliva na preoksidacijo taline.

Vsebnost aktivnega kisika od 100 do 150 ppm, merjeno v ponvi, daje najboljši rezultat v pogledu obdelovalnosti. Indeks sulfidnih vključkov se giblje pri tem kisiku od 4 do 7.

3. IZDELAVA POLPOMIRJENIH AVTOMATNIH JEKEL V SM PEČEH

Polpomirjena avtomatna jekla izdelujemo tudi v SM pečeh. Proizvodnja teh jekel v SM pečeh je bila dolgo zvezana s precejšnjimi težavami, zato smo vedno dajali prednost električni obločni peči. Pokazalo se je, da je regulacija vsebnosti kisika v izdelanem jeklu, predvsem pa regulacija pravilne globulitične oblike oksisulfidnih vključkov težja kakor v električni obločni peči. Zaradi načina preddezoksidacije, ki jo v SM pečeh opravljamo s silikomanganom, nismo mogli doseči pravilne kemične sestave. Zaradi debelega sloja žilindre tudi meritve vsebnosti kisika s sondo niso bile možne. Raziskave so pokazale, da je predvsem škodljiva vsebnost majhnih količin silicija v končni sestavi. Vse fero zlitine, ki imajo v svoji sestavi silicij, za proizvodnjo teh jekel niso uporabne. Silikomangan smo nadomestili z majhno količino feroaluminija, ki ga dajemo v peč skupaj s potrebno količino feromangana. V ponvco dodajamo ferofosfor, žveplo in preostali feromangan.

4. KONTROLA KVALITETE AVTOMATNIH JEKEL

Raziskovalno delo razvijanja kvalitete in proizvodnje avtomatnih jekel je trajalo s presledki 10 let. V tem času smo razvili tak kvalitetni asortiment, ki popolnoma zadovoljuje potrebe naše predelovalne industrije.

Odločilno vlogo pri razvoju avtomatnih jekel je imela konstrukcija lastne naprave za ocenjevanje obdelovalnosti. Naprava dela na principu konstantnega podajnega pritiska. Vzporedno z obdelovalnostjo smo določali tudi celokupni kisik v jeklu. Kmalu smo ugotovili, da med celokupnim kisikom in obdelovalnostjo ni zanesljive medsebojne zveze.

Z razvojem metod direktnega določevanja aktivnega kisika so bile dane široke možnosti za intenzivno raziskovalno delo, predvsem na področju polpomirjenih avstenitnih jekel.

Danes kontroliramo pri avtomantih jeklih obdelovalnost, ki jo izražamo z indeksom obdelovalnosti, in obliko oksisulfidnih vključkov, ki jo izražamo z indeksom sulfidnih vključkov.

4.1 Ocenjevanje obdelovalnosti z metodo struženja s konstantnim pritiskom

Ta metoda ocenjevanja obdelovalnosti je primerjalna. Dobljene rezultate primerjamo s podatki standardnega vzorca s sestavo 0,2 % C, 1,3 % Mn, 0,20 % S in jih izrazimo v % kot indeks obdelovalnosti (I).

Vzorci dobimo s kovanjem iz gredic 135 mm kv. ali 120 mm kv. in imajo premer \varnothing 40 mm. Spodnja meja obdelovalnosti, določena na kovanih vzorcih, je 170 %, na vlečenem avtomatnem jeklu pa se mora gibati od 135 % navzgor.

4.2 Klasifikacija oksisulfidnih vključkov s pomočjo indeksa sulfidov

Indeks sulfidov (Is) določamo s primerjalno metodo po posebej za avtomatna jekla izdelani skali, ki jo kaže slika 6.

Vključki so razvrščeni v dvanajst razredov od 1 do 12. Ker je bila skala izdelana namensko za oceno indeksa sulfidov, ne upošteva gostote vključkov, pač pa samo njihovo obliko. Tako so s številko 12 ocenjeni sulfidi globularne oblike, z 1 pa sulfidi razpotegnjene oblike.

4.3 Medsebojna odvisnost indeksa obdelovalnosti I in indeksa sulfidov Is

Med indeksom obdelovalnosti in indeksom sulfidov obstoji očitna medsebojna zveza. To se lepo vidi s slike 7. Koeficient korelacije je 0,67.

Na osnovi celotnega zasledovanja rezultatov smo prišli do podatka, da jeklo z vključki, ocenjenimi z indeksom sulfidov 1 do 3 (glej sliko 7), ne doseže predpisane spodnje meje obdelovalnosti 170 % na kovanih vzorcih. Pri nadaljnji hladni predelavi se ti vključki še dalje razpotegneno in minimalno sodelujejo pri obdelovalnosti jekla (glej sliko 8 b).

Nasprotno pa vključki, ocenjeni z indeksom sulfidov od 4 do 12, ohranijo ovalno obliko tudi po hladni predelavi, kar je pogoj za dobro obdelovalnost (sliki 8 c in d).

Zanesljiva odvisnost med indeksom obdelovalnosti in indeksom sulfidnih vključkov, določenim z metalografsko analizo, nam daje možnost, da ugotavljamo obdelovalnost polpomirjenih avtomatnih jekel z visokim indeksom obdelovalnosti samo z metalografsko metodo.

Literatura

1. Nippon steel Technical Report overseas N°3 June 1973
2. Koroušič, Arh, Zakrajšek: Poročilo metalurškega inštituta v Ljubljani, Nal. 566/1978
3. E. Di Gianfrancesco, P. Filippi: La Metallurgia Italiana, 1976/9, str. 434

ZUSAMMENFASSUNG

Im Hüttenwerk Jesenice werden die halbberuhigten Automatenstähle mit hohem Zerspanbarkeitsindex mit oder ohne Bleizusatz in grossen Mengen erzeugt.

Es ist bekannt, dass die gute Zerspanbarkeit von Automatenstählen durch die globulitische Form oxysulfidischer Einschlüsse bedingt ist. Der Sauerstoff im Stahl ist einer der wichtigsten Einflussparameter die die Form der sulfidischen Einschlüsse beeinflussen. Die Regulierung des Sauerstoffgehaltes im fertigen Stahl ist demnach die wichtigste Aufgabe der Stahlherstellung. Hier kann die Sauerstoffaktivitätsmessung sehr behilflich sein. Mit Hilfe der Sauerstoffaktivitätsmessung ist festgestellt worden, dass die beste Zerspanbarkeit bei einem Sauerstoffgehalt von 100 bis 150 ppm im Stahl vor dem Abstich erzielt wird.

Es hat sich gezeigt, dass der Lichtbogenofen ein guter

Schmelzagregat für die Erzeugung von besten Automatenstählen ist.

Die Einführung der Erzeugung von Automatenstählen in Siemens-Martin Öfen war schwerer als in Lichtbogenöfen. Vor allem die Einstellung des richtigen Sauerstoffgehaltes im Stahl hat uns anfangs viel Mühe gekostet. Das Problem war gelöst nach dem wir SiMn durch andere Desoxydationsmittel ersetzt haben.

Bei der Qualitätsüberwachung der Automatenstähle ist eine ständige Kontrolle der Bearbeitbarkeit nötig. Die Untersuchungen über die Beziehungen zwischen dem Sulfideinschlussexponenten und dem Zerspanbarkeitsindex ergaben eine sehr übereinstimmende Korrelation. Die Qualitätskontrolle der halbberuhigten Automatenstähle umfasst zur Zeit nur die Kontrolle des Sulfideinschlussexponenten.

SUMMARY

Jesenice Ironworks produce great quantities of semi-killed free-cutting steel having good machinability. They are with or without lead.

As it is known, good machinability requires spheroidal shape of oxysulphide inclusions. The oxygen content in steel is the most important parameter which influences the shape of the non-metallic sulphide inclusions. The control of the oxygen content in the manufactured steel is thus the most important task in the production process. Measurements of the active oxygen are very helpful. These measurements in single production stages showed that the best results are obtained if steel before tapping contains 100 to 150 ppm of active oxygen.

Production results indicate that electric arc furnace is a very good melting set-up for the production of the

best free-cutting steel. Advantageous is a higher oxygen content than obtained in the electric furnace steel.

Production of free-cutting steel in the open-hearth furnace is a more difficult task than production in electric arc furnaces. The control of the correct oxygen content and thus of the spheroidal shape of sulphide inclusions in steel is much more difficult. The problem was solved by replacing the conventional SiMn predeoxidizing agent with ferroaluminium.

Production of free-cutting steel demands a constant control of machinability. Investigations on the mutual relationship between the machinability index and the sulphide inclusions index confirmed a high degree of correlation which is 67%. Thus the machinability can be estimated only by the shape or by the index of sulphide inclusions.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Металлургический завод Железарна Есенице является крупным производителем полупрокатных автоматных сталей с высоким индексом способности к обработке без или с добавкой свинца в больших количествах. Известно, что условие для хорошей обрабатываемости стали представляет глобулярная форма окисьюльфидных включений.

Самый важный фактор, который оказывает влияние на образование формы неметаллических сульфидных включений представляет содержание кислорода. Поэтому, самое большое значение при изготовлении полупрокатных автоматных сталей представляет регулирование содержания кислорода в расплаве. С измерением содержания активного кислорода в отдельных фазах производства установлено, что самые хорошие результаты получены при содержании кислорода в пределах от 0,01 до 0,015% в расплавленной стали до выпуска.

Хорошие результаты, полученные при переработки стали доказывают, что электродуговая печь представляет собой очень

хороший плавильный агрегат для производства автоматных сталей самого лучшего качества. При этом положительное влияние оказывает более высокое содержание кислорода в расплаве этой стали при сравнении с электросталью.

Усвоение производства автоматной стали в мартеновских печах было более затруднительно вследствие затруднений при регулировании содержания кислорода и получения глобулярной структуры сульфидных включений в стали. Вопрос был решен тем, что сплав SiMn, служащий за предварительное раскисление расплава стали заменили с FeAl.

При производстве автоматных сталей необходим постоянный контроль над обрабатываемостью полуфабриката. Исследования взаимоотношения между показателем обрабатываемости и показателем сульфидных включений подтвердили высокую степень корреляции, которая составляет 67%. На основании этого оценку способности стали на обработку можно надежно определить на основании формы, соотв. показателя сульфидных включений.