

Posebni postopki v proizvodnji kakovostnih in plemenitih jekel*

Dr. Wolfgang Holzgruber

UDK: 669.185:669.187.2
ASM/SLA: D5, D8, D9

1. UVOD

V uvodu predavanja o razvojnih smereh tehnologije v proizvodnji jekla bi rad najprej spregovoril o glavnih smernicah dosedanjega in prihodnjega razvoja porabe jekla in proizvodnih postopkov, v nadaljevanju pa bi prešel na jasno začrtane smernice v proizvodnji elektro jekla in s tem tudi v proizvodnji kvalitetnih ter plemenitih jekel.

Svetovna potrošnja jekla stagnira pri ca. 750 milijonih ton na leto, kar ustreza povprečni porabi ca. 200 kg letno na prebivalca. V industrijsko razvitih državah porabijo letno 600 do 800 kg jekla na prebivalca, pri čemer pa moramo upoštevati izvoz teh dežel v dežele v razvoju.

Načelno lahko računamo srednjeročno s povečanjem svetovne porabe jekla, predvsem zaradi naraščanja števila prebivalcev in povečane letne porabe jekla na prebivalca v danes še malo razvitih industrijskih deželah. V razvitih industrijskih deželah bo proizvodnja jekla na prebivalca prej stagnirala ali celo nazadovala, obenem pa se bo težišče proizvodnje premaknilo v smeri kvalitetnejših izdelkov.

Na sliki 1 je prikazana približna ocena dolgoročnega razvoja proizvodnje jekla.

S predpostavko, da bo število prebivalcev v naslednjih 100 letih naraslo na približno 8 milijard in da se bo poraba jekla na prebivalca do takrat

„Wandlungen in der Verfahrenstechnik bei der Herstellung von Qualitäts und Edelstählen“

1. EINLEITUNG

Als Einleitung zu meinem heutigen Vortrag über Trends in der Technologie der Stahlerstellung möchte ich zunächst einmal auf die großen Linien der bisherigen und zukünftigen Entwicklung des Stahlverbrauches und der angewendeten Erzeugungsverfahren eingehen und von dort in der weiteren Folge überleiten auf die heute sich klar abzeichnenden Trends bei der Elektrostahlerzeugung und damit auch der Erzeugung von Qualitäts- und Edelstählen.

Der Weltstahlverbrauch stagniert heute bei etwa 750 Millionen t/Jahr, was einem durchschnittlichen Pro-Kopf-Verbrauch von etwa 200 kg per Jahr entspricht. Im Vergleich dazu liegt der Pro-Kopf-Verbrauch der Industrieländer zwischen 600 und 800 kg, wobei aber der Export dieser Länder in die Entwicklungsländer berücksichtigt werden muß.

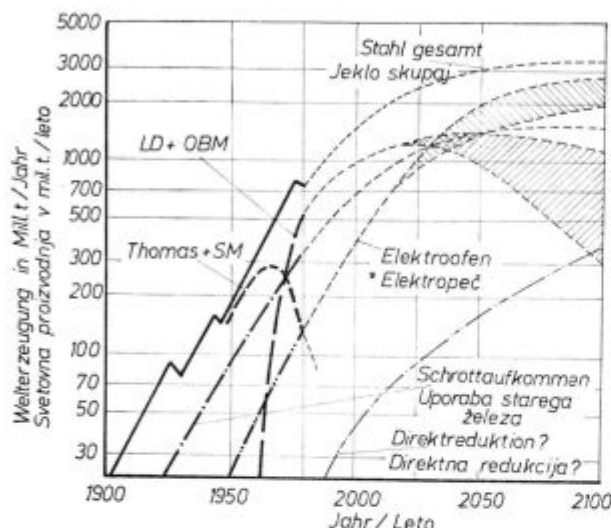
Grundsätzlich ist weltweit mittelfristig mit einem weiteren Ansteigen des Stahlverbrauchs zu rechnen, wobei als treibende Kräfte des Stahlverbrauchs primär das Bevölkerungswachstum und der steigende Pro-Kopf-Verbrauch der zur Zeit noch wenig industrialisierten Länder anzusehen ist. Dabei wird in den industrialisierten Ländern die Pro-Kopf-Erzeugung eher stagnieren oder sogar zurückgehen und der Erzeugungsschwerpunkt sich zu qualitativ höherwertigeren Produkten verlagern.

Eine grobe Abschätzung der sich abzeichnenden langfristigen Entwicklung der Stahlproduktion ergibt die in **Bild 1** gezeigten Zusammenhänge.

* Referat na jeklarskem dnevu XXIV. strokovnega posvetovanja 6. oktobra 1978 v Portorožu.

Dr. Wolfgang Holzgruber, dipl. ing. met. je soustanovitelj firme INTECO — Internationale Technische Beratung Ges. m. b. H. A-8600 Bruck/Mur, Bahnhofstr. 9, Avstrija.

ustalila pri ca. 400 kg letno, bo letna svetovna proizvodnja jekla dosegla približno 3,2 milijardi ton. Najmanj 50 % te količine jekla bomo v obdobju 10 let ponovno uporabili kot staro železo, s tem pa bo celotna količina kovinskega vložka sestavljena iz 1,6 milijarde ton starega železa in 1,6 milijarde ton pomlajenega vložka v obliki surovega železa ali direktno reduciranih peletov. Danes še ni mogoče oceniti, v kateri smeri se bodo razvijali postopki direktne redukcije in prav tako še ne vemo, če jim bo uspelo izpodriniti zelo učinkovite plavžne postopke. Prav gotovo pa se bo delež direktne redukcije občutno povečal. S tem pa bodo nekje v sredini naslednjega stoletja postopki s kisikom dosegli svoj višek in nato se bo njihov pomen zmanjševal.



V sredini prihodnjega stoletja naj bi več kot 50 % celotne proizvodnje jekla izdelali v električnih pečeh, pri čemer bodo posebno v deželah v razvoju, večji delež dobile mini jeklarne, ki bodo obratovale na osnovi starega železa in železove gobe in bodo tako prispevale k regionalizaciji svetovne proizvodnje jekla.

Ker so proizvodni procesi izpostavljeni visokim kakovostnim zahtevam in zaradi naraščajočega know-how, bodo plemenita jekla gotovo še dalj časa proizvajali predvsem v deželah, ki so znane kot klasične proizvajalke teh jekel. Zato je naloga jeklarske industrije v visoko industrijsko razvitih državah, da razvija in uporablja najmodernejšo tehnologijo, da bi bila lahko kos vse večjim zahtevam prihodnosti.

Če preidemo sedaj na proizvodnjo elektrojekla, lahko ugotovimo, da se elektroobložna peč, ki je bila prvotno univerzalna naprava za taljenje in jeklarsko tehnološko obdelavo, vedno bolj uporablja le za en sam namen, namreč za čimbolj ekonomično taljenje kovinskega vložka, pri čemer metalurška obdelava tekoče kovine stopa, predvsem v proizvodnji trgovinskih jekel, vse bolj v ozadje.

Kvalitetna in plemenita jekla še danes v glavnem proizvajamo v elektro-obložnih pečeh po kla-

Unter der Annahme, daß sich die Bevölkerungszahl in den nächsten 100 Jahren bei etwa 8 Milliarden Menschen einpendeln wird und daß der Pro-Kopf-Stahlverbrauch bis dann eine Sättigung um 400 kg im Jahr erreicht haben wird, sollte die Weltstahlerzeugung etwa 3,2 Milliarden t je Jahr erreichen. Mindestens 50 % dieser Stahlmenge werden innerhalb eines Zeitraums von 10 Jahren wieder als Schrott eingesetzt werden, womit der gesamte metallische Einsatz aus 1,6 Milliarden t Schrott und 1,6 Milliarden t jungfräulichen Eisen in Form von Roheisen oder direktreduzierten Pellets bestehen würde. Es ist heute noch nicht abzuschätzen welche Entwicklung die Direkt-Reduktionsverfahren nehmen werden und ob es ihnen gelingen wird das überaus leistungsfähige Hochofenverfahren zu verdrängen. Sicher aber wird der Anteil der Direkt-Reduktion noch erheblich ansteigen. Damit würde dann der Fall eintreten, daß etwa um die Mitte des nächsten Jahrhunderts die Sauerstoffverfahren ein Maximum

Bild 1
Langfristige Entwicklung der Stahlerzeugung in der Welt nach W. Dettmering

Slika 1
Dolgoročni razvoj svetovne proizvodnje jekla po W. Dettmeringu

Fig. 1
Future development of world production of steel by W. Dettmering

durchlaufen werden um dann in ihrer Bedeutung zurückzugehen.

Mitte des nächsten Jahrhunderts sollten dann auch mehr als 50 % der Gesamtstahlerzeugung in Elektroöfen hergestellt werden, wobei insbesondere in den Entwicklungsländern eine Reihe von Ministahlwerken auf der Basis Schrot und Eisenschwamm einen wachsenden Anteil einnehmen und so zur Regionalisierung der Weltstahlproduktion beitragen werden.

Wegen der hohen qualitativen Anforderungen an den Produktionsprozeß und des eher noch zunehmenden know hows werden Edelstähle sicher noch längere Zeit vorwiegend in den klassischen Stahl ländern erzeugt werden. Die Stahlindustrie der hochindustrialisierten Länder sieht sich daher vor die Aufgabe gestellt modernste Technologien zu entwickeln und einzusetzen um den wachsenden Anforderungen der Zukunft gerecht zu werden.

Wenn wir uns nun von diesem Hintergrund der Entwicklung der Elektrostahlerzeugung zuwenden, so ist festzustellen, daß der ursprünglich als universelles Schmelz- und Behandlungsgerät geschaffene Elektrolichtbogenofen hinsichtlich seines Einsatzes immer mehr einem einzigen Zweck zugeführt wird; dem möglichst wirtschaft-

Bild 2

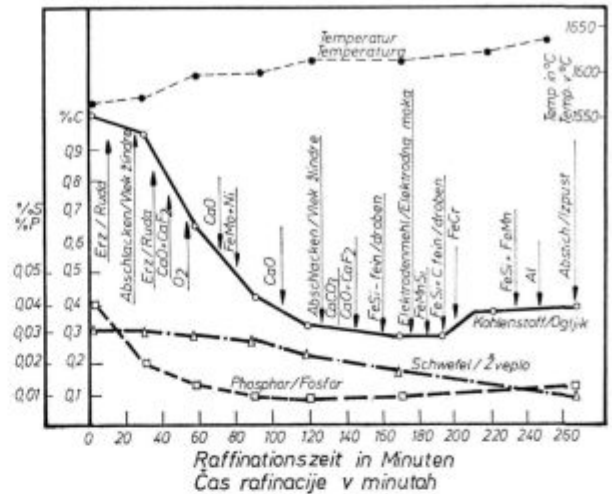
Schmelzverlauf eines legierten Vergütungsstahles nach dem Zweischlackenverfahren im basischen Lichtbogenofen (nach M. Signora, R. Cardano und L. Toni)

Slika 2

Potek šarže legiranega jekla za poboljšanje po klasičnem dvožlindrinem postopku v bazični elektroobločni peči (po M. Signora, R. Cardano in L. Toni)

Fig. 2

Melting course of heat-treatable steel using classical two-slag process in a basic arc furnace. (by M. Signora, R. Cardano and L. Toni)



sičnem dvožlindrinem postopku, pri katerem traja celotna šarža praviloma 5 do 6 ur. Na sliki 2 vidimo primer poteka celotne šarže legiranega jekla za poboljšanje. Vzrok za tako dolgo rafiniranje moramo iskati v dejstvu, da hitrosti reakcij, ki potekajo na fazni meji med kovino in žlindro v toku odfosforenja in odžveplanja, ne moremo poljubno povečati, dokler se pogoji za prehod materiala bistveno ne izboljšajo.

Razvoj zadnjih deset do dvajset let je prinesel celo vrsto novih delnih postopkov in dodatnih postopkov za obdelavo jekla v ponovci ali v posebnih posodah, katere so uvedli v prakso, da bi tako povečali ekonomičnost postopkov in dosegli boljše rezultate glede vsebnosti nezaželenega fosforja in žvepla ter nekovinskih vključkov.

2. Jeklarska obdelava v peči

Če najprej spregovorimo o postopkih za intenziviranje posameznih faz v procesu med rafinacijo taline v elektroobločni peči, moramo seveda na prvem mestu omeniti vpihovanje plinastega kisika za **žilavenje** — **znižanje vsebnosti ogljika**. S tem dosežemo 10 krat večjo hitrost žilavenja kot pri žilavenju z rudo, s tem pa skrajšamo čas žilavenja od 1 do 2 ur na samo nekaj minut. Razen tega pa smo lahko z uporabo plinastega kisika tudi prvič žilavili jekla z visoko vsebnostjo kroma, oz. mangana do nizke vsebnosti ogljika.

Razmere za **odfosforenje** pa so pri vpihovanju plinastega kisika neugodne, ker na fazni meji med kovino in plinskimi mehurčki sicer obstaja zadovoljiva FeO aktivnost, vendar pa manjka apno, ki je potrebno za razklop fosforjevega pentoksida.

Apno se sicer nahaja v žlindri, vendar pa je vsebnost FeO v žlindri odvisna od prehoda kisika s kovine v žlindro in je zato večkrat nižja od ravnotežne koncentracije FeO, ki ustreza vsebnosti kisika v jekleni kopeli in s tem njeni vsebnosti ogljika. S tem pa so metalurški pogoji za sproščanje fosforja v žlindri tako dolgo neugodni, dokler

lichen Einschmelzen des metallischen Einsatzes, wobei die metallurgische Behandlung des flüssigen Metalls vor allem bei der Herstellung von Handelstahlgütern weitgehend in den Hintergrund tritt.

Bei der Herstellung von Qualitäts- und Edeltählen werden jedoch auch heute noch in großem Umfang Stähle im Elektrolichtbogenofen nach dem klassischen Zweischlackenverfahren hergestellt, wobei Chargenfolgezeiten um 5—6 Stunden die Regel sind, wie dies am Beispiel des Schmelzverlaufs eines legierten Vergütungsstahles in Bild 2 gezeigt ist. Die Ursache für diese langen Raffinationszeiten ist in der Tatsache zu suchen, daß die Geschwindigkeit der an der Phasengrenze Metall-Schlacke ablaufenden Reaktionen der Entphosphorung und Entschwefelung nicht in beliebiger Weise beschleunigt werden können solange nicht die Bedingungen für den Stoffübergang wesentlich verbessert werden.

Um auch bei der Herstellung dieser Stähle einerseits zu einer wirtschaftlicheren Arbeitsweise zu gelangen und andererseits auch bessere Ergebnisse hinsichtlich des Gehalts unerwünschter Stahlbegleitelemente wie Schwefel und Phosphor sowie der nichtmetallischen Einschlüsse zu gelangen wurde in den letzten 10—20 Jahren eine Reihe von Verfahrensschritten und zusätzlichen Stahlbehandlungsverfahren, welche entweder in der Pfanne oder eigenen Behandlungsgefäßen durchgeführt werden, entwickelt und in die Praxis eingeführt.

2. BEHANDLUNGSMAßNAHMEN IM OFEN

Wenn wir zunächst von Verfahrensschritten zur Intensivierung einzelner Prozeßabschnitte während der Raffination der Schmelze im Lichtbogenofen sprechen müßte eigentlich an erster Stelle das Einblasen von gasförmigem Sauerstoff zum Frischen **des Kohlenstoffs** genannt werden. Damit wurde es möglich, die Kohlenstofffrischgeschwindigkeit um mehr als das 10-fache gegenüber dem Frischen mit Erz zu erhöhen und so die Zeit für die Frischperiode von 1—2 Stunden

ustrezno zmanjšana vsebnost ogljika v jekleni kopeli proti koncu žilavenja ne omogoči višje vsebnosti FeO v žlindri.

Znano je, da je lokalno ločevanje mejnih faznih ploskev bistven vzrok za težave pri prehodu kisika v kovino, kakor tudi za odfosforenjenje, in da je s tem onemogočena univerzalna uporaba hitrega in cenenege vpihovanja kisika tudi pri višjih začet-

auf wenige Minuten abzukürzen. Außerdem konnten durch Anwendung gasförmigen Sauerstoffs erstmals auch Stähle mit hohen Gehalten an Cr bzw. Mn auf niedrige Kohlenstoffgehalte gefrischt werden.

Die Verhältnisse für die **Entphosphorung** liegen jedoch beim Einblasen von gasförmigen Sauerstoff ungünstig, da an der Phasengrenze Metall — Gasblase zwar eine ausreichend hohe FeO-Aktivität besteht, aber der für eine wirksame Abbindung des Phosphorpentoxyds notwendige Kalk an dieser Stelle fehlt.

Der Kalk liegt zwar in der Schlacke vor, doch wird deren FeO-Gehalt durch den Sauerstoffübergang vom Metall in die Schlacke bestimmt und ist

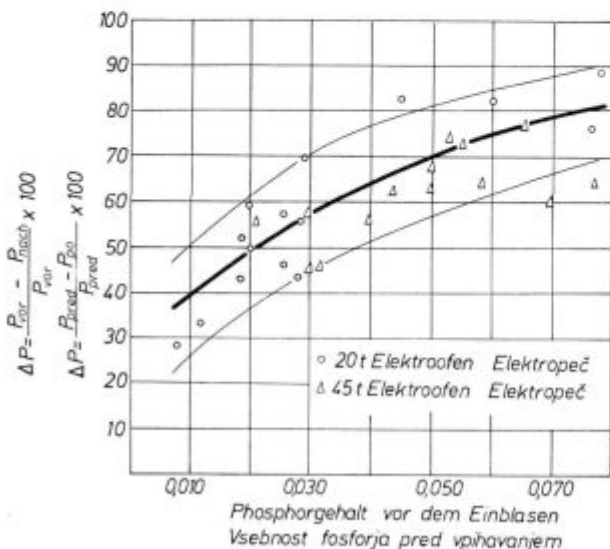


Bild 3

Entphosphorung beim gleichzeitigen Einblasen von Sauerstoff und CaO-reichen Schlackenmischungen

Slika 3

Odfosforenjenje pri istočasnem vpihavanju kisika in žlindrinih mešanic bogatih s CaO

Fig. 3

Dephosphorisation at simultaneous injection of oxygen and slag mixtures bearing CaO

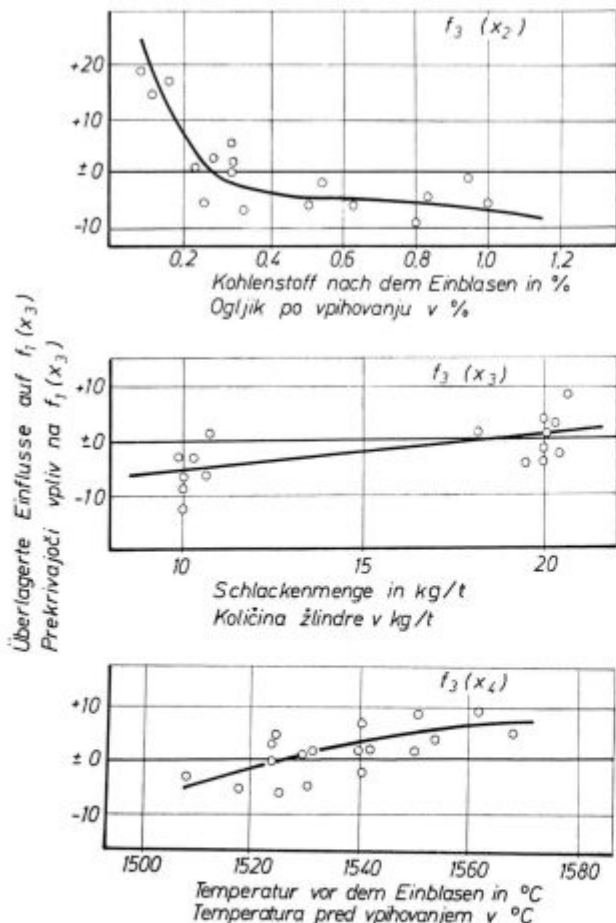


Bild 4

Überlagerte Einflüsse auf die Entphosphorung im 20 t EO, durch Einblasen von gasförmigem Sauerstoff mit Schlackenbildnern

Slika 4

Prekrivajoči vplivi na odfosforenjenje v 20 t elektro obločni peči zaradi vpihovanja plinastega kisika in žlindrotvornih snovi

Fig. 4

nace due to the injection of gaseous oxygen and slag Additive effect on dephosphorisation in a 20 ton arc forming substances

nih vsebnosti fosforja. Te neugodnosti lahko odstranimo tako, da istočasno s kisikom vpihavamo v jekleno kopel tudi apno, jedavec in FeO. S tem pa se v emulziji jekla, žlindre in plina, ki se tvori med vpihovanjem, poleg odličnih kinetičnih pogojev ustvarijo tudi tisti metalurški pogoji, ki omogočajo hitro odfosforenje pred razogljčenjem ali istočasno z njim.

Na sliki 3 vidimo primer rezultatov, ki jih dosežemo z vpihovanjem kisika in žlindrotvornih snovi. Po teh rezultatih lahko pri začetni vsebnosti fosforja od 0,015 do 0,075 % med vpihovanjem zmanjšamo vsebnost za 50 do 80 %, kar ustreza vsebnosti fosforja po vpihovanju 0,007 do 0,015 %. Dodaten vpliv ima še vsebnost ogljika v talini po vpihovanju (slika 4), saj določa vsebnost (FeO) v žlindri. Manjši vpliv imata še količina vpihane žlindre ter temperatura taline pred vpihovanjem. Načelno lahko z vpihovanjem žlindrotvornih sestavin v peč, potem ko smo odstranili žilavilno žlindro, pospešujemo tudi **odžveplanje** taline. Vpihovanje je zanimivo predvsem pri manjših talinah zaradi vodenja temperature.

Bild 5

Entschwefelungsgrad während der Feinungszeit im Lichtbogenofen beim Einblasen von Schlacke bei Beginn der Feinungszeit nach Vordesoxidation mit Al und Fe Mn Si

Slika 5

Stopnja odžveplanja med rafinacijo v elektro obločni peči pri vpihovanju žlindre na začetku rafinacije po pred-desoksidaciji z Al in Fe Mn Si

Fig. 5

Degree of desulphurisation during the refining in an electroarc furnace at the injection of slag at the beginning of the refining process after the fore-deoxidization with Al and Fe Mn Si

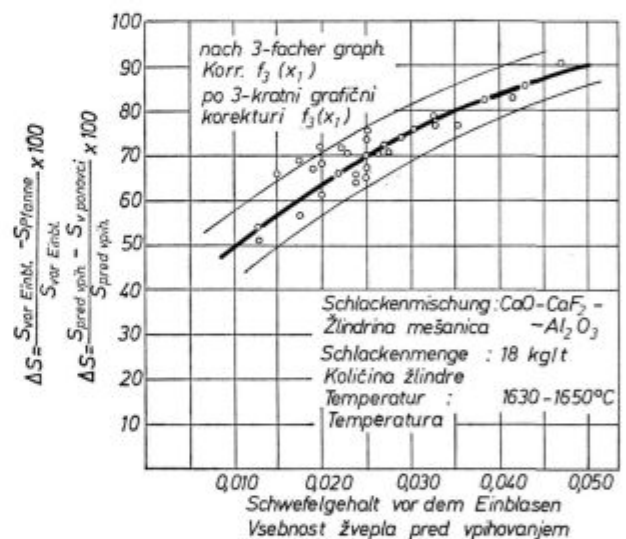
Na sliki 5 so zbrani rezultati, dobljeni z vpihovanjem žlindre v 16-tonski elektroobločni peči. Iz rezultatov lahko razberemo, da pri začetni vsebnosti žvepla med 0,015 do 0,050 % dosežemo z vpihovanjem 55 do 90 % stopnjo odžveplanja, kar ustreza končnim vsebnostim žvepla 0,005 do 0,007 odstotka.

Razen začetne vsebnosti pa na rezultat odžveplanja vplivajo še drugi dejavniki, kar je razvidno iz slike 6.

Zanimiv je predvsem vpliv sestave žlindre, kar se izraža v razmerju med bazičnostjo CaO/SiO₂ in vsebnostjo glinice. Najboljše rezultate dobimo pri razmerju med 0,25 in 0,50. Tu se ujema z rezultati, ki jih je dobil H. Grunner s sodelavci pri firmi

damit eher niedriger als die dem Sauerstoffgehalt des Stahlbades und damit dessen Kohlenstoffgehalt entsprechende Gleichgewichts-FeO-Konzentration. Damit sind aber die metallurgischen Voraussetzungen für eine Abbindung des Phosphors in der Schlacke solange ungünstig, solange nicht ein entsprechend niedriger Kohlenstoffgehalt des Stahlbades gegen Ende des Frischvorgangs höhere FeO-Gehalte in der Schlacke ermöglicht.

Daß eine örtliche Trennung der Phasengrenzflächen für den Sauerstoffübergang ins Metall einerseits sowie für die Entphosphorung andererseits die wesentliche Ursache für diese Schwierigkeiten war und damit eine universelle Anwendung des zeitsparenden und kostengünstigeren Sauerstoffblasens auch bei höheren Phosphoreinlaufwerten verhinderte, wurde erkannt. Der Nachteil kann in konsequenter Weise dadurch behoben werden, daß mit dem Sauerstoff gleichzeitig Kalk, Flußspat und FeO in das Stahlbad eingeblasen werden. Damit werden in der während des Einblasevorgangs gebildeten Stahl-Schlacke-Gasemulsion zusätzlich zu den hervorragenden kinetischen Bedingungen auch jene metallurgischen



Voraussetzungen geschaffen, die einen raschen Ablauf der Entphosphorung vor oder gleichzeitig mit der Entkohlung ermöglichen.

Als Beispiel für Ergebnisse, welche beim Einblasen von Sauerstoff und Schlackenbildner erzielt werden zeigt **Bild 3**. Danach kann bei Phosphor-Anfangsgehalten von 0,015—0,075 % während des Einblasevorgangs ein Phosphor-Abbau von 50—80 % erzielt werden, was Phosphorgehalten nach dem Einblasen von 0,007—0,015 % entspricht. Einen zusätzlichen Einfluß übt noch der Kohlenstoffgehalt der Schmelze nach dem Einblasen aus (**Bild 4**), da dadurch der (FeO)-Gehalt der Schlacke bestimmt wird. Einen geringen Einfluß hat noch die Menge der eingeblasenen Schlacke, sowie die Temperatur der Schmelze vor dem Einblasen.

Mannesmann z vpihovanjem žilindrnih mešanic v ponovco. Ta vpliv si razlagamo tako, da imajo visoko bazične CaO - CaF₂ žilindre z vsebnostjo Al₂O₃ med 10 in 25 % pri razmeroma nizki likvidus temperaturi visoko topnost za kalcijev sulfid, s čimer so dani dobri fizikalni in metalurški pogoji za odžveplanje taline.

Glede gospodarnosti je zelo zanimiv podatek, da držanje v peči od 15 do 85 minut nima nobenega vpliva na celoten postopek odžveplanja. Pri daljšem držanju v peči sicer opazimo po vpihova-

Grundsätzlich kann auch die **Entschwefelung** der Schmelze durch Einblasen von Schlackenbildnern in den Ofen im Anschluß an das Abziehen der Frischschlacke intensiviert werden, wobei das Einblasen in den Ofen vor allem bei kleinen Schmelzengrößen aus Gründen der Temperaturführung interessant sein wird.

Ergebnisse, welche beim Einblasen von Schlacken in einem 16 t Elektroofen erzielt werden, sind in **Bild 5** zusammengefaßt. Daraus ist zu ersehen, daß bei Ausgangsschwefelgehalten von 0,015—0,050 vor dem Einblasen ein Entschwefelungsgrad von 55—90 % erzielt wird, was Endschwefelgehalten zwischen 0,005 und 0,007 entspricht.

Abgesehen vom Ausgangsgehalt beeinflussen jedoch auch andere Einflußgrößen das Ergebnis der Entschwefelung wie **Bild 6** zeigt.

Interessant ist hier vor allem der Einfluß der Schlackenzusammensetzung, ausgedrückt durch das Verhältnis der Basizität CaO/SiO₂ zum Tonerdegehalt, wo bei Werten zwischen 0,25 und 0,50 die besten Ergebnisse erzielt werden. Dies steht in Übereinstimmung mit Ergebnissen welche H. Grunner und Mitarbeiter bei Mannesmann beim Einblasen von Schlackemischungen in die Pflanze erzielt haben. Dieser Einfluß ist damit zu erklären, daß hochbasische CaO-CaF₂-Schlacken mit Al₂O₃-Gehalten zwischen 10 und 25 % bei verhältnismäßig niedriger Liquidustemperatur über eine vergleichsweise hohe Löslichkeit für Kalzi-umsulfid verfügen und damit gute physikalische

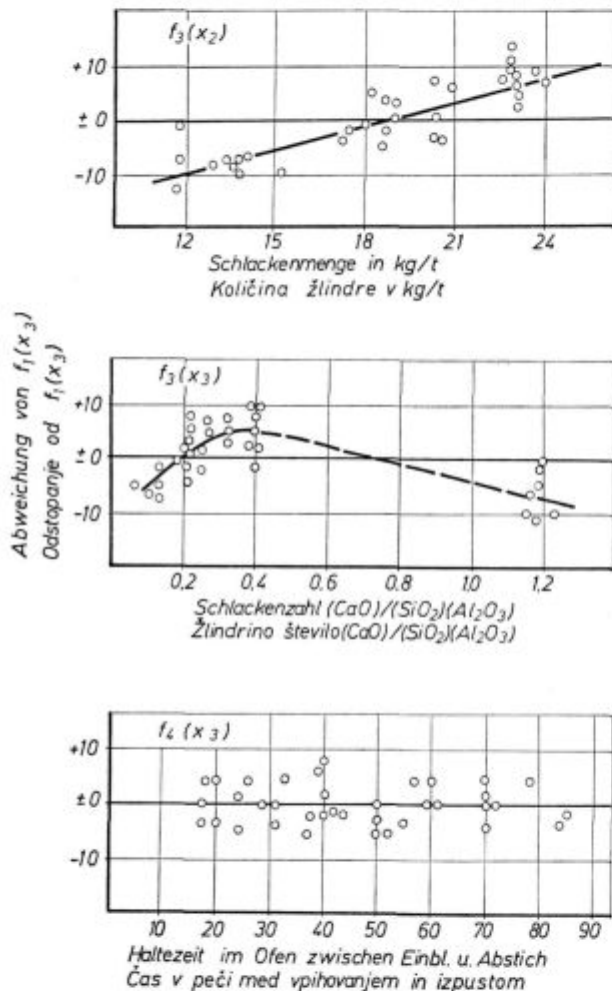


Bild 6
 Überlagerte Einflüsse auf den Entschwefelungsgrad beim Einblasen von Schlacke in den Lichtbogenofen zwischen Einblasebeginn und Pflanze

Slika 6
 Prekrivajoči vplivi na stopnjo odžveplanja pri vpihovanju žilindre v elektro oblačno peč

Fig. 6
 Additive effect on the degree of desulphurization at the blowing of slag into an arc furnace

nju nadaljnje znižanje vsebnosti žvepla, kar je značilno za rafiniranje, vendar pa se ta efekt izravna z ustrezno manjšim znižanjem vsebnosti žvepla med izpustom. Če pa je čas držanja v peči krajši in zato tudi znižanje vsebnosti žvepla manjše, lahko računamo s toliko večjim odžveplanjem med izpustom.

Vpihovanje žilindre v elektro oblačnih pečeh daje predvsem pri manjših pečeh možnost za intenziviranje odžveplanja, istočasno pa tudi možnost za povečanje storilnosti peči.

und metallurgische Voraussetzungen für eine weitgehende Entschwefelung der behandelten Schmelze mitbringen.

Von besonderem wirtschaftlichen Interesse ist jedoch die Tatsache, daß die Haltezeit im Ofen zwischen 15 und 85 Minuten keinen Einfluß auf die Gesamtentschwefelung ausübt. Wohl wird bei langen Haltezeiten im Ofen nach dem Einblasen noch ein weiterer Abbau des Schwefels, wie in der Feinungszeit üblich, beobachtet, doch wird dieser Effekt wieder durch einen entsprechend geringen Schwefelabbau während des Abstiches

3. Jeklarska obdelava izven peči

Pri teži šarž nad 30 ton je primerno, da čim več obdelovalnih postopkov izvedemo zunaj peči v zato prirejenih livnih ponvah ali v posebnih obdelovalnih posodah, kot pri postopkih AOD in CLU, da bi pocenili proizvodnjo, pa tudi dosegli, predvsem z dodatnim mešanjem in izpiranjem, ugodne kinetične pogoje za potek metalurških reakcij.

3.1 Obdelava v ponovci

Za obdelovalne postopke v ponovci, ki jih bo mo najprej obdelali, je potrebna ustrezna prilagoditev livne ponovce. Predvsem je potrebna obloga višje kakovosti na osnovi glinice, dolomita ali magnezita, da bi zadostili dodatnim obremenitvam. Potrebna je tudi zasunska zapora v dnu ponovce, ker mašilni drog ne vzdrži daljših temperaturnih obremenitev. Uporaba mašilnega droga po obdelavi, kar je običajno za prejšnje ASEA - SKF naprave, pa ni zaželena.

Načelno lahko pri obdelavi taline v ponvi izvaja naslednje postopke posamično ali v kombinacijah:

— induktivno mešanje ali preprihovanje z argonom za premešanje in homogenizacijo taline glede temperature in kemične sestave,

— vpihovanje praškastih trdnih snovi s pomočjo nosilnega plina za legiranje, dezoksidacijo in/ali odžveplanje taline,

Bild 7

Entschwefelung von 20 t Schmelzen beim Einblasen von Schlacken in die Pfanne (Zustellung: Hoch Al₂O₃)

Slika 7

Odžveplanje taline 20 t šarže z vpihovanjem žlindre v ponovco (Obloga: visok Al₂O₃)

Fig 7

Desulphurization of 20 ton melt by blowing of slag into the ladle (Lining high Al₂O₃)

wettgemacht. Ist dagegen die Haltezeit im Ofen kurz und der Schwefelabbau nach dem Einblasen entsprechend geringer, so kann mit einer umso stärkeren Entschwefelung während des Abstiches gerechnet werden.

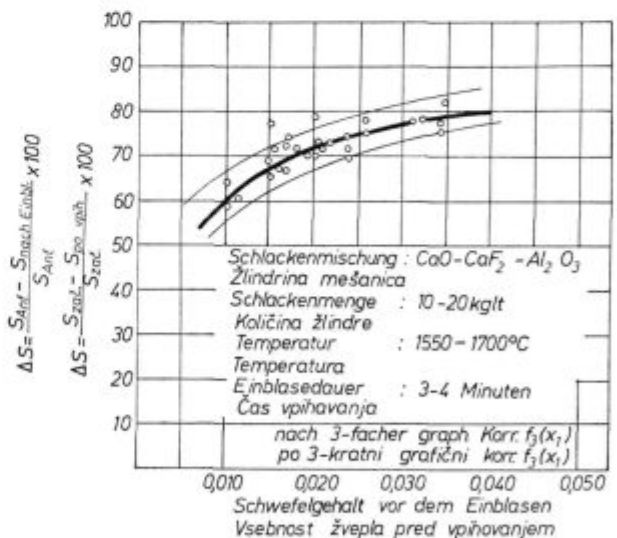
Das Einblasen von Schlacken in den Elektrolichtbogenofen stellt damit vor allem bei kleineren Ofengrößen eine sinnvolle Möglichkeit zur Intensivierung der Entschwefelung bei gleichzeitiger Möglichkeit der Steigerung der Ofenleistung dar.

3. BEHANDLUGSMAßNAHMEN AUßERHALB DES OFENS

Bei Schmelzgrößen über 30 t wird es sinnvoll, möglichst viele Behandlungsschritte außerhalb des Ofens entweder in der dafür adaptierten Gießpfanne selbst oder in eigenen Behältergefäßen, wie beim AOD- und CLU-Verfahren, durchzuführen, um einerseits möglichst kostengünstig zu arbeiten und andererseits vor allem günstige kinetische Bedingungen für den Ablauf metallurgischer Reaktionen durch eine zusätzliche Rühr- oder Spülbehandlung zu schaffen.

3.1. Pfannenbehandlung

Die Durchführung von Pfannenbehandlungsverfahren, welche zunächst besprochen werden sollen, setzt einmal eine entsprechende Anpassung der Gießpfannen voraus. Im allgemeinen wird hier eine höherwertige Zustellung auf Tonerde, Dolomit- oder Magnesitbasis gefordert werden müssen um den zusätzlichen Beanspruchungen



gerecht zu werden. Weiters ist eine Ausrüstung mit Schieberverschluss zweckmäßig, da eine Stopfenstange der längeren Temperaturbelastung nicht standhält und ein Einsetzen der Stopfenstangen nach der Behandlung, wie dies bei den früheren ASEA-SKF-Anlagen gemacht wird, nicht immer wünschenswert ist.

— izvajanje vakuumiranja za odplinjevanje (zmanjšanje vsebnosti vodika), dezoksidacijo (vakuum — ogljik — dezoksidacija), oziroma razogljčenje na najnižje vsebnosti ogljika (predvsem v proizvodnji jekel, ki so odporna proti koroziji),

— dodatno elektro obločno ogrevanje na zraku ali pod znižanim tlakom za kritje temperaturnih

izgub, ki nastopijo pri dolgotrajnejšem obdelovanju, oziroma pri dodajanju večjih količin legirnih elementov, s čimer to omogočimo.

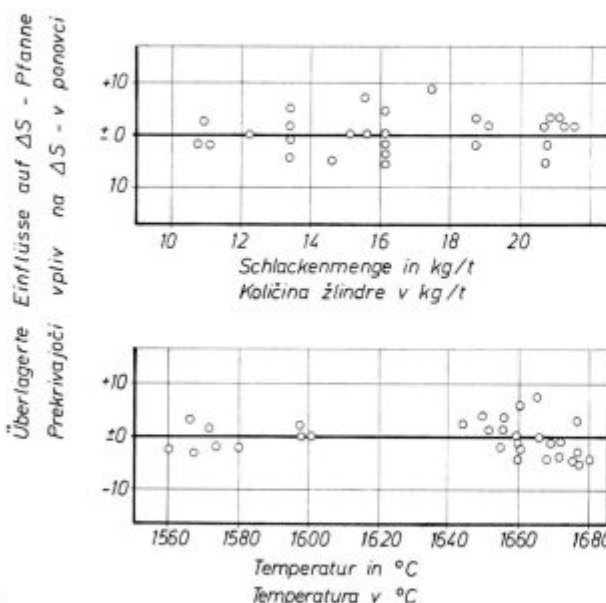
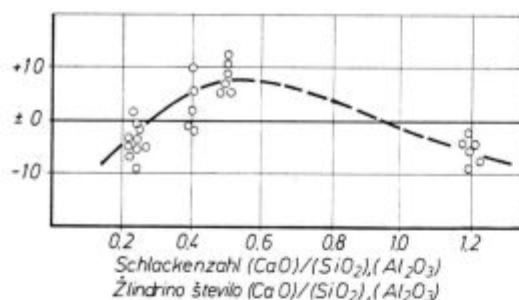
K temu bomo obravnavali nekaj primerov:

Vpihovanje žlinder in žlindrnih mešanic v ponovco

Na sliki 7 so prikazani podatki, ki smo jih dobili pri vpihovanju žlindr za odžveplanje taline 20-tonske šarže iz elektro peči v ponovci z visoko glinično šamotno oblogo. Pri vsebnosti žvepla pred vpihovanjem 0,010 do 0,035 % smo dosegli 60 do 80 % stopnjo odžveplanja. Končne vsebnosti žvepla so bile med 0,004 in 0,007 %.

Tudi pri vpihovanju v ponovco opazimo precejšen vpliv sestave žlindre na rezultat odžveplanja. Najboljše rezultate smo dobili pri razmerju $\text{CaO} : \text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$ okrog 0,4 do 0,6, kar je razvidno iz zgornjega dela na sliki 8. V primerjavi z rezultati vpihovanja v peč se zdi, da so številke pomaknjene k višjim vrednostim, kar lahko razložimo s tem, da žlindre naknadno sprejmejo glinico iz obloge in pride zato pri izvrednotenju do navideznega efekta.

V nasprotju z vpihovanjem v elektro obložno peč tu količina žlindre med 10 in 20 kg/t ne vpliva na rezultat, prav tako tudi ne temperatura po vpihovanju. Ne glede na to, ali smo taline po vpiho-



Grundsätzlich können bei einer Schmelzbehandlung in der Pflanne folgende Behandlungsmaßnahmen entweder einzeln oder in Kombination angewendet werden:

— Induktives Rühren oder Ar-Spülen zur Durchmischung und Homogenisierung der Schmelze in bezug auf Temperatur und chemische Zusammensetzung

— Einblasen pulverförmiger Feststoffe mittels eines Trägergases zum Legieren, Desoxydieren und/oder Entschwefeln der Schmelze

— Durchführung einer Vakuumbehandlung zum Zwecke der Entgasung (Wasserstoffabbau), der Desoxydation (Vakuum-Kohlenstoff-Desoxydation) bzw. der Entkohlung auf niedrigste Kohlenstoffgehalte (insbesondere bei der Erzeugung von korrosionsbeständigen Stählen)

— Zusätzliche Lichtbogenbeheizung an Luft oder unter abgesenktem Druck zur Abdeckung der bei längerer Behandlungsdauer auftretenden Temperaturverluste bzw. um den nachträglichen Zusatz größerer Mengen von Legierungselementen möglich zu machen.

Dazu sollen nun einige Beispiele besprochen werden:

Einblasen von Schlacken und Schlackenmischungen in die Pflanne

Ergebnisse, welche beim Einblasen von Schlacken zur Entschwefelung von 20 t-Elektroofen-Schmelzen in einer Pflanne mit hochtonerdehaltiger Zustellung erzielt wurden, sind in Bild 7 dargestellt. Bei Schwefelgehalten vor dem Einblasen zwischen 0,010 und 0,035 % konnte ein Entschwefelungsgrad zwischen 60 und 80 % erzielt werden. Die Endschwefelgehalte lagen damit zwischen 0,004 und 0,007 %.

Auch beim Einblasen in die Pflanne wird wieder ein deutlicher Einfluß der Schlacken-zusammensetzung auf das Ergebnis der Entschwefelung beobachtet, wobei die besten Ergebnisse bei einem Verhältnis von $\text{CaO} : \text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$ um 0,4 bis 0,6 erzielt werden, wie das obere Teilbild in Bild 8 zeigt. Gegenüber den Ergebnissen des Einblasens in den Ofen erscheinen die Zahlen zu höheren Werten verschoben, was unter Umständen damit zu erklären ist, daß die Schlacken nach-

Bild 8

Überlagerte Einflüsse auf die Entschwefelung beim Einblasen pulverförmiger Schlackenstoffe in die Pflanne

Slika 8

Prekrivajoči vplivi na odžveplanje pri vpihovanju praškastih žlindrnih snovi v ponovco

Fig. 8

Additive effect of influences on the desulphurization at the blowing of pulverized slag substances into the ladle

vanju takoj izlili (temperature med 1560 in 1600°C) ali pa smo jih pred tem še degazirali (temperature med 1650 in 1680°C), smo dobili praktično vedno primerljive rezultate.

Vpihavanje CaSi v ponovco

Na sliki 9 so prikazani rezultati vpihovanja kalcijevih legur po preddezoksidaciji z aluminijem v ponovce s kapaciteto 70 do 120 ton. Kot lahko razberemo iz rezultatov, pri vpihovanju v šamotne ponovce skoraj ne presežemo 50 % stopnje odžveplanja in pri 70-tonskih ponovcah pride do večjih razsipanij. Pri 120-tonskih ponovcah, pri katerih

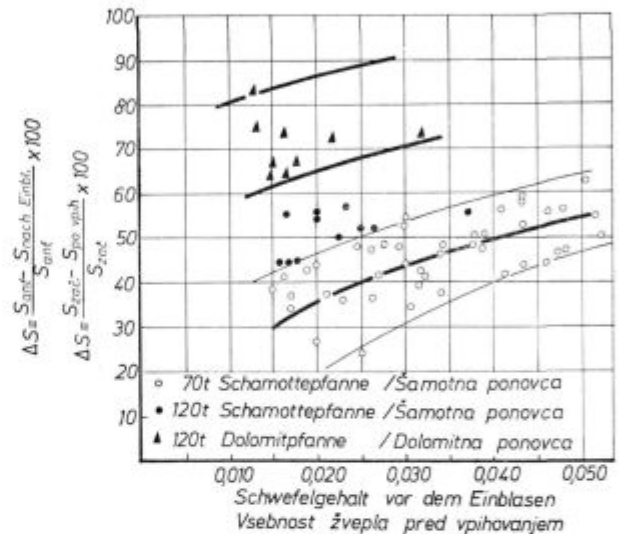
tráglich noch Tonerde aus der Zustellung aufgenommen haben und damit dieser Effekt in der Auswertung vorgetäuscht wurde.

Im Gegensatz zum Einblasen in den Lichtbogenofen hat eine Schlackenmenge zwischen 10 und 20 kg/t keinen Einfluß auf das erzielte Ergebnis. Ebenfalls ohne Einfluß bleibt hier der Einfluß der Temperatur nach dem Einblasen. Unabhängig davon ob die Schmelzen nach dem Einblasen sofort vergossen wurden (Temperaturen zwischen 1560 und 1600°C) oder ob sie nachträglich noch entgast wurden (Temperaturen zwischen 1650 und 1680°C), wurden praktisch immer vergleichbare Ergebnisse erzielt.

Bild 9
Ergebnisse beim Einblasen von CaSi (CaC₂) in Giesspfannen mit Schamotte bzw. Dolomitzustellung

Slika 9
Rezultati pri vpihovanju CaSi (CaC₂) v livno ponovco s šamotno oziroma dolomitno oblogo

Fig. 9
Results of blowing of CaSi (CaC₂) into a casting ladle with fireclay lining and dolomite lining



je možna tudi globlja potopitev in je manjši kontakt s kislino oblogo ponve, dobimo boljše rezultate kot pri 70-tonskih.

Za dobre rezultate odžveplanja pri vpihovanju CaSi je poleg globine vpihovanja in drobno porazdeljenih legur zelo pomembna tudi uporaba bazično obloženih ponovc pri istovrstnem pokritju taline z visoko bazično prestrežno žlindro. V tem primeru lahko pri začetni vsebnosti žvepla med 0,015 in 0,030 % dosežemo reproducibilne končne vsebnosti žvepla med 0,002 in 0,008 %, kar ustreza 70—90 % stopnji odžveplanja.

Vpihovanja žlinder in kalcijevih legur na stopnjo čistosti

Kolikor kažejo doslej izvršena izrednotenja talin, ki smo jih odžveplali z vpihovanjem žlinder, ni mogoče ugotoviti sprememb stopnje čistosti in porazdelitve nekovinskih vključkov v primerjavi z neobdelanimi talinami. Bistvene razlike pri izrednotenju talin s primerljivimi vsebnostmi žvepla tudi ni mogoče pričakovati.

Drugače pa so razmere pri vpihovanju kalcijevih legur, ker gre pri tem tudi kalcij v jeklu v raztopino ter s tem sodeluje pri nastajanju oksidnih in sulfidnih vključkov. Tipičen vključek, ki na

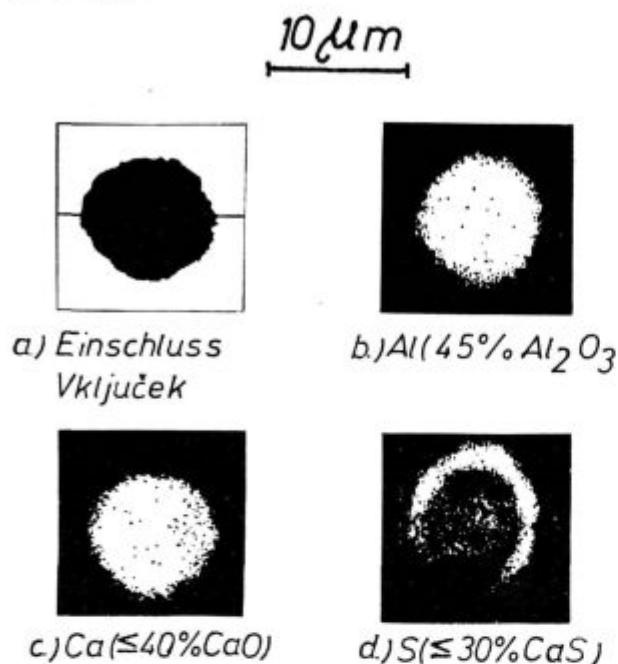
Einblasen von CaSi in die Pfanne

Ergebnisse, welche beim Einblasen von Kalziumlegierungen im Anschluß an eine Aluminiumvordesoxydation in Pfannen mit 70 und 120 t Kapazität berichtet werden, sind in Bild 9 dargestellt.

Daraus ist einmal abzulesen, daß beim Einblasen in Schamottepfannen ein Entschwefelungsgrad von 50 % kaum überschritten wird, wobei vor allem bei Pfannen mit 70 t verhältnismäßig große Streuungen auftreten. Bei 120 t-Pfannen, bei welchen auch eine größere Eintauchtiefe möglich ist und weniger Kontakt mit der sauren Pfannenzustellung besteht, werden bessere Ergebnisse als bei 70 t-Pfannen berichtet.

Um beim Einblasen von CaSi gute Entschwefelungsergebnisse zu erzielen, ist, abgesehen von der Einblasetiefe und den feinverteilten Einbringen der Legierung, die Verwendung basisch zugestellter Pfannen bei gleichzeitiger Abdeckung der Schmelze mit einer hochbasischen Auffangschlacke von wesentlicher Bedeutung. In diesem Fall können bei Anfangsschwefelgehalten zwischen 0,015 und 0,030 % reproduzierbare Endschwefelgehalte zwischen 0,002 und 0,008 % entsprechend einem Entschwefelungsgrad zwischen 70 und 90 % erreicht werden.

stane pri dezoksidaciji z aluminijem ter naknadni obdelavi s kalcijem, je prikazan na sliki 10. Pri tem gre za $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3$ — žlindrin vključek s približno 45 % Al_2O_3 in 40 % CaO , ki raztaplja do 30 % CaS .



Einfluß des Einblasens von Schlacken und Kalziumlegierungen auf den Reinheitsgrad

Soweit die bisher durchgeführten Auswertungen von Schmelzen, welche durch Einblasen von Schlacken entschwefelt wurden, zeigen, kann im Vergleich zu unbehandelten Schmelzen keine Veränderung im Reinheitsgrad und in der Verteilung der nichtmetallischen Einschlüsse nachgewiesen werden. Ein wesentlicher Unterschied ist auch kaum zu erwarten, wenn Schmelzen mit vergleichbaren Schwefelgehalten ausgewertet werden.

Anders liegen hier die Verhältnisse beim Einblasen von Kalziumlegierungen, da dabei auch Kalzium im Stahl in Lösung geht und damit bei der Bildung der Oxyd- und Sulfideinschlüsse wirksam wird. Ein typischer Einschlus, wie er

Bild 10
Nach Behandlung mit Aluminium und Kalzium gebildetes Schlackenteilchen

Slika 10
Žlindrin vključek, nastal po obdelavi z aluminijem in kalcijem

Fig. 10
Slag inclusion formed after treatment with Ca and Al

Ker se pri takšni obdelavi kalcij topi v jeklu, učinkuje še tudi pri tvorjenju nekovinskih vključkov med strjevanjem. S tem pa se spremenijo tudi vrste vključkov, ki jih ugotovimo pri analizi, kakor kaže slika 11.

Modifikacija vključkov, ki ostanejo v jeklu zaradi obdelave taline s kalcijem, vpliva pri nelegiranih in malolegiranih jeklih na žilavost jekla, kar je razvidno iz slike 12, v kateri primerjamo kontrakcijo v smeri debeline debele pločevine za neobdelane in s kalcijem obdelane taline v odvisnosti od vsebnosti žvepla.

nach einer Desoxydation mit Aluminium und einer anschließenden Kalziumbehandlung der Schmelze gebildet wird, ist in Bild 10 gezeigt. Es handelt sich hier um ein Kalkaluminat-schlackenteilchen mit etwa 45 % Al_2O_3 und 40 % CaO , in welchem bis zu 30 % CaS gelöst ist.

Da bei einer derartigen Behandlung das Kalzium im Stahl gelöst wird, ist es auch bei der Bildung der nichtmetallischen Einschlüsse bei der Erstarrung noch wirksam. Damit ändern sich aber auch die bei der Schlackenauswertung festgestellten Einschlusstypen, wie aus Bild 11 zu entnehmen ist.

Die aufgrund einer Ca-Behandlung der Schmelze bewirkte Modifikation der im Stahl verbleibenden Einschlüsse übt bei unlegierten und niedriglegierten Stählen auch einen Einfluß auf die Zähigkeitseigenschaften des Stahles aus, wie aus

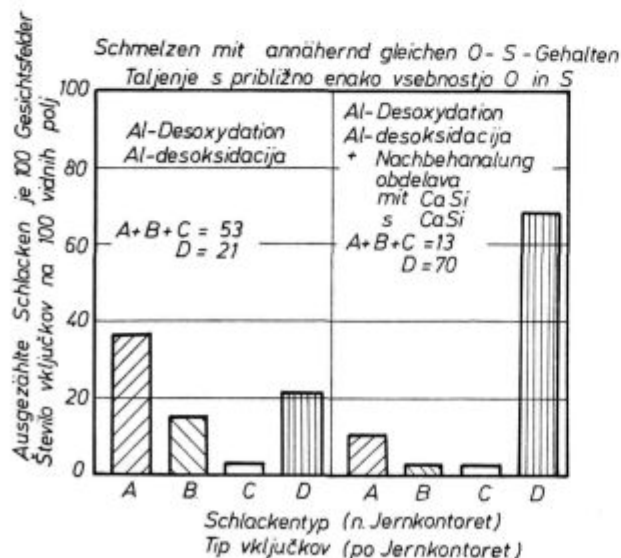


Bild 11
Durschnittswerte der Schlackenauswertung nach Jernkontoret von unbehandelten und Ca-behandelten Schmelzen

Slika 11
Poprečne vrednosti izrednotenja vključkov po Jernkontoret za neobdelane in s Ca-obdelane taline

Fig. 11
The average values of marks of inclusions after Jernkontoret for the melts treated with Ca and without treatment

Bild 12

Zusammenhang zwischen Schwefelgehalt und Einschnürung in Richtung durch die Dicke bei Grobblechen (nach Nürnberg u. Mitarbeitern)

Slika 12

Zveza med vsebnostjo žvepla in kontrakcijo v smeri debeline pločevine (po Nürnberg s sodelavci)

Fig. 12

The correlation between the sulphur content and the reduction of area in the direction of plate thickness

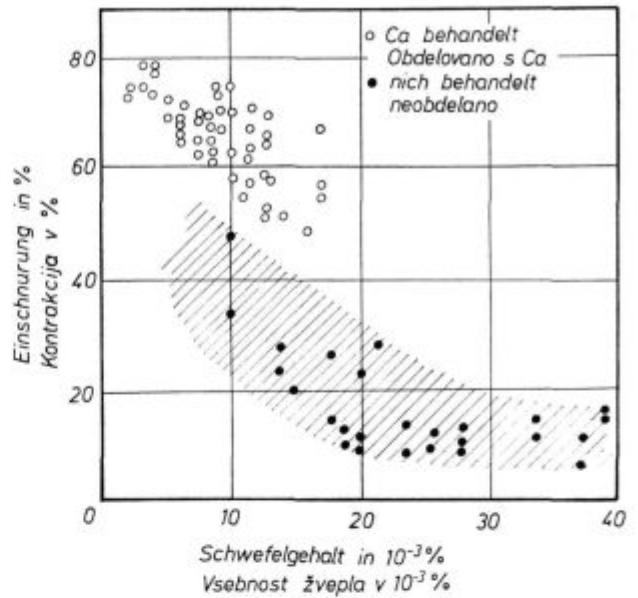


Bild 12 zu erkennen ist, in welchem die Einschnürung in Richtung durch die Dicke von Grobblechen von unbehandelten und Ca-behandelten Schmelzen in Abhängigkeit vom Schwefelgehalt gegenübergestellt ist.

Povečanje produktivnosti z obdelavo v ponovci

Na sliki 13 vidimo, kako lahko obdelava v ponovci z dodatnim ogrevanjem in s prenosom redukcijske periode v ponovco poveča storilnost elektro obločne peči. Če talimo dve uri in upoštevamo že skrajšan čas za žilavenje in rafinacijo pri klasičnem dvožlindrnem postopku, celoten čas trajanja šarže skoraj ni krajši od petih ur. Proizvodna storilnost peči znaša tako približno 10 ton na uro.

Ce pa pri največjem izkoristku vpihovanja, žilavenja in rafinacije vključno z medfaznim odžlindranjem te postopke skrajšamo na nekaj več kot eno uro, je možno skrajšati celoten čas od šarže do šarže na 3 1/2 ure. S tem pa povečamo storilnost peči na približno 15 ton/uro.

Ce elektro obločno peč uporabljamo samo za taljenje in žilavenje, znaša čas od šarže do šarže 2 3/4 — 3 ure, kar ustreza storilnosti peči 18 ton

Produktionssteigerung durch Pfannenbehandlung

Wie durch Anwendung einer Pfannenbehandlung mit Zusatzbeheizung und Verlegung der Reduktionsperiode in die Pfanne die Leistung eines Elektrolichtbogenofens gesteigert werden kann, geht aus Bild 13 hervor, wonach unter der Annahme einer Einschmelzzeit von zwei Stunden und einer bereits verkürzten Frisch- und Feinungsperiode beim klassischen Zweischlackenverfahren Chargenfolgezeiten von 5 Stunden kaum unterschritten werden. Damit wird eine Erzeugungleistung des Ofens von etwa 10 t/h erzielt.

Bild 13

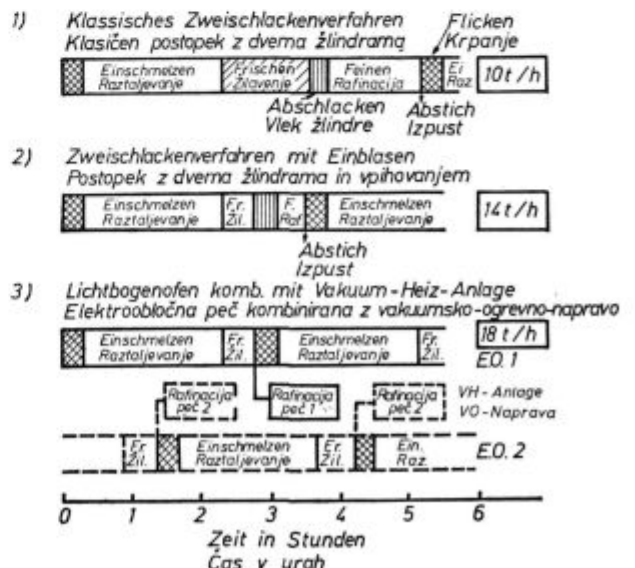
Vergleich des Zeitaufwands für die Herstellung von 50 t-Schmelzen nach dem klassischen Zweischlackenverfahren, dem Zwei-schlackenverfahren mit Einblasen und einem LBO kombiniert mit Vakuum — Heiz-Anlage

Slika 13

Primerjava potrebnega časa za 50 t-šarže po klasičnem dvožlindrnem postopku, dvožlindrnem postopku z vpihovanjem in EOP kombinirane z vakuumsko-ogrevalno napravo

Fig. 13

The time necessary for a 50 ton charge using — classical two-slag process — two-slag process and injection — an arc furnace combined with vacuum or using a heating installation



na uro. Končna obdelava taline se potem izvrši v vakuumski ogrevalni napravi, za kar je potrebnih še dodatnih 45 do 60 minut.

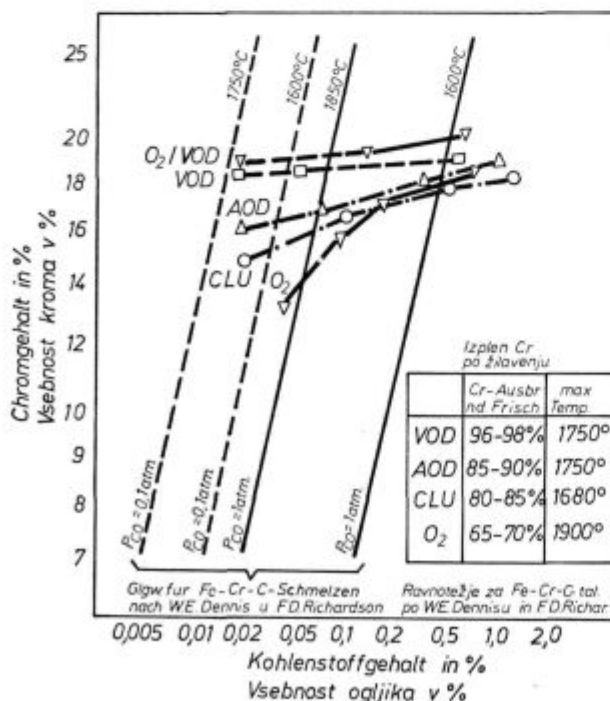
Med obdelavo taline v vakuumski ogrevalni napravi poteka legiranje, pri čemer zaradi dobrega premešavanja taline z induktivnim mešanjem, oziroma preprihovanjem z argonom, dosežemo natančne analize jekla.

3.2 Postopek z uporabo posebnih naprav za obdelavo jekla

Poleg postopkov, ki jih izvajamo neposredno v livni ponovci, so razvili konvertorske postopke, predvsem za žilavenje visoko legiranih kromovih jekel. Ti postopki omogočajo najnižje vsebnosti ogljika brez uporabe vakuuma. Sem prištevamo AOD- in CLU- postopka, pri katerih CO-parcialni tlak v odpadnem plinu predvsem proti koncu periode žilavenja zaradi dodajanja inertnega plina k plinu za žilavenje toliko znižamo, da omogočimo najnižje vsebnosti ogljika, ob precejšnjem preprečevanju odgora kroma.

Na sliki 14 smo primerjali potek kroma in ogljika pri AOD- in CLU-postopkih v primerjavi z žilavenjem s plinastim kisikom v elektro obločni peči in z vakuumskim žilavenjem s kisikom v livni ponvi. Iz primerjave je razvidno, da pride pri žilavenju s plinastim kisikom v elektro obločni peči zaradi visokih parcialnih tlakov CO pod 0,20 % C kljub visokim temperaturam do močnega odgora kroma, izkoristek kroma po žilavenju pa je med 70 in 85 %.

Postopka AOD in CLU sta glede izkoristka kroma z 80–90 % občutno boljša, kljub nižjim temperaturam, kar je posledica znižanja parcialnega tlaka CO v odpadnem plinu zaradi dodajanja inertnega plina k plinu za žilavenje.



Werden dagegen unter bestmöglicher Ausnützung der Einblaseverfahren, Frischperiode und Feinungsperiode einschließlich Zwischenabschläcken auf zusammen knapp über eine Stunde gekürzt, so erscheinen Chargenfolgezeiten von 3 1/2 Stunden möglich. Damit kann eine Ofenleistung von etwa 14 t/h erzielt werden.

Wird der Lichtbogenofen nur für Einschmelzen und Frischen eingesetzt, so sollten Chargenfolgezeiten von 2 3/4 bis 3 Stunden möglich sein, was einer Ofenleistung von 18 t/h entspricht. Die Fertigbehandlung der Schmelze erfolgt dann in der Vakuum-Heiz-Anlage wofür ein zusätzlicher Zeitaufwand von 45–60 Minuten erforderlich ist.

Während der Behandlung der Schmelze in der Vakuum-Heiz-Anlage erfolgt das Legieren, wobei aufgrund der guten Durchmischung der Schmelze durch die induktive Umrührung bzw. Argonspülung eine hohe Analysentreffsicherheit erzielt wird.

3.2. Verfahren unter Verwendung eigener Behandlungsgefäße

Neben den Verfahren, welche direkt in der Gießpfanne durchgeführt werden, wurden insbesondere für das Frischen hoch-Cr-legierter Stähle Konverterverfahren entwickelt, welche die Erzielung niedrigster Kohlenstoffgehalte ohne Anwendung von Vakuum ermöglichten. Dazu zählen das AOD- und CLU-Verfahren, bei welchen durch Zusatz von inerten Gasen zum Frischgas der CO-Partialdruck im Abgas vor allem gegen Ende der Frischperiode soweit abgesenkt wird, daß die Erzielung niedrigster Kohlenstoffgehalte bei weitgehender Vermeidung des Cr-Abbrandes möglich wird.

Als Beispiel wird in **Bild 14** der Chrom- und Kohlenstoffverlauf beim AOD- und CLU-Verfahren im Vergleich zum Frischen mit gasförmigem Sauerstoff im Elektrolichtbogenofen und dem Vakuum-Sauerstofffrischen in der Gießpfanne gegenübergestellt. Daraus erkennt man, daß beim Frischen mit gasförmigem Sauerstoff im Lichtbogenofen aufgrund des hohen CO-Partialdrucks unter

Bild 14
Abbrand von Chrom und Kohlenstoff beim Frischen hoch Chrom legierter Stähle bei verschiedenen heute üblichen Verfahrensvarianten

Slika 14
Odgor kroma in ogljika pri žilavenju visokolegiranih kromovih jekel pri različnih variantah novo uvedenih postopkov

Fig. 14
Oxidizing loss of chromium and carbon at the oxidation process in chromium high alloyed steels at various processes used today

Najboljše pogoje za popolno žilavenje visoko legiranih kromovih jekel pa daje VOD-postopek, ki ga izvajamo v ponovci, ker najprej žilavimo pod znižanim tlakom med 30 in 40 torri, proti koncu procesa pa izvedemo še rafinacijsko razogljčevanje samo z izkuvanjem s pomočjo preprihovanja z argonom pod pritiskom, ki je znižan na približno 1 torr. S tem postopkom se skoraj popolnoma izognemo odgoru kroma in izkoristek kroma znaša 96 do 98 %.

Na sliki 15 sta prikazana še poteka za ogljik in kisik pri opisanih postopkih. Pri žilavenju s čistim kisikom v elektro obločni peči ima talina zelo visoke vsebnosti kisika. Razmeroma visoke so tudi vsebnosti kisika pri AOD- in CLU-postopkih na začetku žilavenja pri atmosferskem pritisku. Proti koncu procesa pa se delež inertnega plina v žilavilnem plinu močno poveča, s tem pa se zniža parcialni tlak CO v odpadnem plinu, tako da je možno nadaljnje žilavenje ogljika brez naraščanja kisika. V primerjavi s temi tremi postopki so vsebnosti

etwa 0,20 % C trotz hoher Prozeßtemperaturen ein verstärkter Cr-Abbrand auftritt und ein Cr-Ausbringen nach dem Frischen zwischen 70 und 85 % erzielt wird.

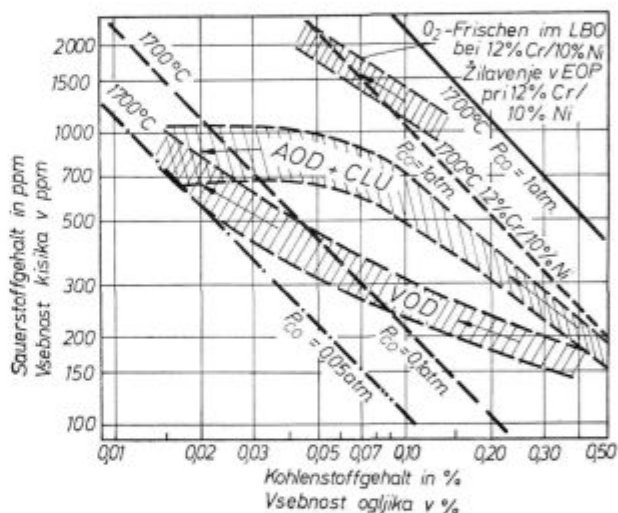
Das AOD-Verfahren und CLU-Verfahren liegen hinsichtlich des Cr-Ausbringens mit 80—90 % trotz niedrigerer Prozeßtemperaturen deutlich besser, was auf die Absenkung des CO-Partialdrucks im Abgas durch Inertgaszusatz zum Frischgas zurückzuführen ist.

Die besten Voraussetzungen für ein weitgehendes Frischen hoch-Cr-legierter Stähle sind jedoch bei dem in der Pfanne durchgeführten VOD-Verfahren gegeben, da hier zunächst das Frischen unter abgesenktem Druck zwischen 30 und 40 Torr erfolgt und die Feinentkohlung gegen Ende des Prozesses allein durch Auskochen mittels Ar-Spülen bei einem etwa auf 1 Torr abgesenktem Druck erfolgt. Damit kann der Cr-Abbrand nahezu vollständig vermieden werden und es wird ein Cr-Ausbringen von 96—98 % erzielt.

Bild 15
Der Verlauf von Kohlenstoff und Sauerstoff von Cr-Ni-Stählen beim AOD-CLU- und VOD-Verfahren

Slika 15
Potek ogljika in kisika za Cr-Ni jekla pri AOD-, CLU- in VOD-postopku

Fig. 15
The trend of carbon and oxygen for the Cr-Ni steels at the AOD, CLU and VOD processes



kisika pri VOD-postopku, ki ga vedno izvajamo z močno znižanim parcialnim tlakom CO, med celotnim žilavenjem nizke, končne vsebnosti pa so enake ali pa le nekaj nižje kot pri AOD- in CLU-postopkih.

4. ZAKLJUČKI IN POVZETEK

Potem, ko sem podal dolgoročno prognozo razvoja proizvodnje jekla na splošno in še posebej za proizvodnjo elektro jekla, sem poskušal s pomočjo nekaterih izbranih primerov podati pregled tistih postopkov, ki jih danes vse bolj uporabljamo, da bi pospešili proizvodni proces in dosegli kvalitetnejše rezultate z izrabo kinetičnih spoznanj, kljub močno skrajšanemu času obdelave.

Pri proizvodnji jekel v elektro obločnih pečeh smo desetletja, vse do danes nadaljevali prakso, prevzeto od postopkov žilavenja v pečeh in še posebej od SM-postopka. Žilavenje ogljika je po-

Im folgenden Bild 15 wird noch der Verlauf von Kohlenstoff und Sauerstoff bei den besprochenen Verfahren gezeigt. Man sieht daraus, daß beim Frischen mit reinem Sauerstoff im Lichtbogenofen sehr hohe Sauerstoffgehalte in der Schmelze auftreten. Verhältnismäßig hoch liegen auch die Sauerstoffgehalte bei den bei Atmosphärendruck durchgeführten AOD- und CLU-Verfahren am Anfang der Frischphase. Gegen Ende des Prozesses wird dagegen der Anteil von Inertgasen im Frischgas stark erhöht und damit der CO-Partialdruck im Abgas abgesenkt, sodaß ein weiteres Frischen des Kohlenstoffs ohne weiteren Anstieg des Sauerstoffs möglich wird. Im Vergleich dazu treten beim VOD-Verfahren, bei welchem immer mit stark erniedrigtem CO Partialdruck gefahren wird, während des gesamten Frischverlaufs niedrige Sauerstoffgehalte auf, wobei aber die Endgehalte gleich oder nur knapp niedriger als beim AOD- und CLU-Verfahren liegen.

tekalo z dodajanjem rude v žlindro pri istočasnem nenehnem ogrevanju. Takšen postopek je bil potreben pri SM-procesu, saj je bilo le na ta način omogočeno učinkovito ogrevanje s plamenom, povečevanje temperature kopeli ter potrebne temperature izpusta. Istočasno pa je obstajal pri tem delovnem postopku in potrebni piltvi kopeli dober kontakt med kovino in žlindro, tako da so bili pri daljšem času omogočeni tudi dobri rezultati pri reakcijah med kovino in žlindro.

Ta delovni postopek smo najprej prenesli tudi v periodo rafinacije v elektro obločni peči, kjer je bila vsa skrivnost v dolgotrajnem ležanju pod skrbno pripravljeno rafinacijsko žlindro, s čimer smo najprej dosegli počasno nižanje vsebnosti kisika z difuzijsko dezoksidacijo, za tem pa še znižanje vsebnosti žvepla. Namesto da bi z dobrim mešanjem jekla in žlindre ustvarili dobre kinetične pogoje za potek reakcij, smo to prepuščali času in le v izjemnih primerih pomešali jeklo z žlindro.

Prva znaka za opustitev tega delovnega postopka, ki že sam po sebi ni najprimernejši za elektro obločno peč, sta bila žilavenje s plinastim kisikom za skrajšanje periode žilavenja ter že pred tem posamezna uporaba Perrinovega postopka. Perrinov postopek je močno pomešanje jekla s staljeno žlindro med izpustom v ponovci. S tem postopkom intenziviramo odžveplanje. Omeniti moram še prakso hkratnega izpusta rafinacijske žlindre.

V letih med 1960 in 1970 je postalo očitno, da se je začel uvajati nov proces, saj smo preizkusili celo vrsto postopkov za intenziviranje dezoksidacije ter reakcij med jeklom in žlindro. V to časovno obdobje spadajo poleg že uvedenega postopka obdelave v vakuumu še razvoj prvih aparatov za vpihanje praškastih snovi v talino jekla, s kate-

4. **Schlussfolgerungen und Zusammenfassung:**

Ich habe versucht im Anschluß an eine längerfristige Prognose der sich abzeichnenden Entwicklung der Stahlerzeugung im allgemeinen und der Elektrostahlerzeugung im besonderen an Hand einiger ausgewählter Beispiele einen Überblick zu geben über jene Verfahren und Verfahrensschritte, welche heute mehr und mehr angewendet werden um den Prozeßablauf zu beschleunigen und um trotz stark verkürzter Behandlungszeiten durch Ausnützung kinetischer Überlegungen auch in qualitativer Hinsicht bessere Ergebnisse zu erzielen.

Bei der Herstellung von Stählen im Elektrolichtbogenofen wurde Jahrzehnte hindurch die von den Herdfrischverfahren und hier vor allem dem SM-Verfahren übernommene Praxis fortgeführt und wird auch heute vielfach noch angewendet. Danach erfolgte das Frischen des Kohlenstoffs durch Erzzugabe zur Schlacke bei gleichzeitiger ständiger Beheizung. Diese Verfahrensweise war beim SM-Prozeß notwendig, da nur auf diese Art eine wirkungsvolle Beheizung durch die Flammengase und eine Steigerung der Badtemperatur sowie die Erzielung der geforderten Abstichttemperaturen möglich war. Gleichzeitig war bei dieser Arbeitsweise und der dabei nötigen flachen Badtiefe ein guter Kontakt zwischen Metall und Schlacke gegeben, sodaß bei der langen Zeit auch gute Ergebnisse bei den Metall-Schlackenreaktionen erzielt wurden.

Diese Arbeitsweise wurde zunächst auch auf die Feinungsperiode im Elektrolichtbogenofen übertragen, wo ein langes Liegen unter einer sorgfältig bereiteten Feinungsschlacke das Geheimnis war um durch Diffusionsdesoxydation zunächst einen langsamen Sauerstoffabbau und im Anschluß daran einen Abbau des Schwefels zu erzielen. Anstatt günstige kinetische Bedingungen für den Reaktionsablauf durch eine innige Durchmischung oder Durchrührung von Stahl und Schlacke zu schaffen zog man es vor die Zeit für sich arbeiten zu lassen und Stahl und Schlacke nur fallweise durchzurühren.

Erste Anzeichen zur Abkehr von dieser an sich für den Elektrolichtbogenofen nicht unbedingt zweckmäßigsten Arbeitsweise waren einerseits die Einführung des Frischens mit gasförmigem Sauerstoff zur Verkürzung der Frischperiode und andererseits eigentlich schon vorher die vereinzelt Anwendung des Perrinverfahrens, einer innigen Durchmischung des Stahles mit einer vor-

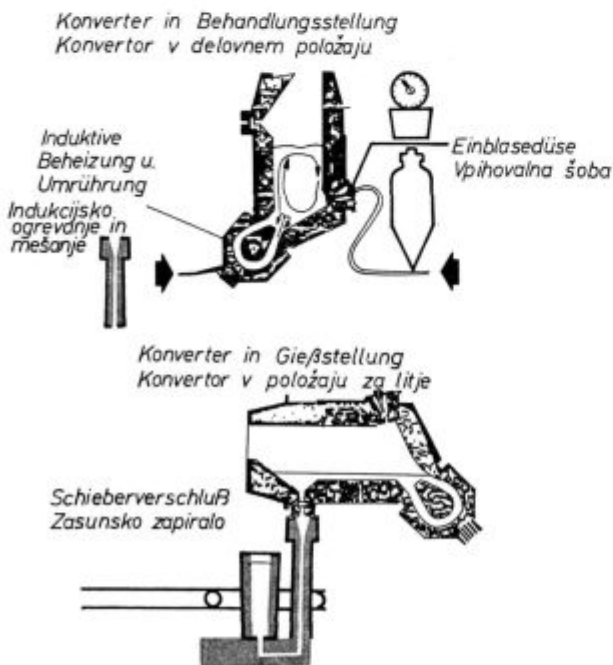


Bild 16
Das UDDACON-Verfahren zur Behandlung und Beheizung von Metallschmelzen

Slika 16
UDACON-postopek za obdelavo in ogrevanje kovinskih talin

Fig. 16
The UDDACON — the process for the treatment and heating of metal melts

rimi najprej nismo dosegli dobrih rezultatov. Sem prištevamo tudi prve naprave ASEA — SKF in naprave Finkl za obdelavo talin v ponvah pri istočasnem ogrevanju in induktivnem mešanju, oziroma preprihovanju z argonom, potem ko je bilo ugotovljeno, da z mešanjem in preprihovanjem v elektro obločnih pečeh ne moremo pričakovati ugodnih rezultatov glede pospeševanja reakcij med jeklom in žlindro ter da dolgotrajno preprihovanje z argonom v ponvah zaradi temperaturnih izgub ni mogoče.

V to obdobje prištevamo še razvoj funkcionalnih zapor z zasunom in kakovostnih obzidav za ponve, s čimer so bili tudi po tej strani omogočeni pogoji za prenos metalurške obdelave v ponove.

Istočasno smo se intenzivno ukvarjali tudi z izboljšanjem postopka za proizvodnjo malo ogljikovih visoko legiranih kromovih jekel. Ta razvoj smo zaključili najprej z uvedbo postopka žilavenja v vakuumu, po 1970. letu smo uvedli postopek AOD, končno pa še postopek CLU.

Danes smo torej v situaciji, ko se elektro obločna peč vse bolj uporablja kot agregat za hitro in gospodarno taljenje kovinskega vložka, vse manj pa kot agregat za metalurško obdelavo. Ta tendenca se kaže tudi v uporabi vse močnejših transformatorjev in v razvoju vodno hlajenih sten in stropov, ki mu bo najverjetneje sledil razvoj vodno hlajenih ognjišč, itd. Skoraj vse metalurške obdelovalne postopke lahko danes izvajamo v za to prirejenih ponvah ali v posebnih posodah za metalurško obdelavo jekla. Predvsem velja to za žilavenje in izgotavljanje visoko legiranih kromovih jekel, odpornih proti koroziji, kakor tudi za legiranje, dezoksidacijo, degazacijo in odžveplanje nelegiranih in legiranih jekel.

Razogljichenje in odfosforenje nelegiranih in malolegiranih jekel danes praktično še povsod izvajajo v elektro obločnih pečeh, ker je zamenjava žlindre v ponvi težka in zapletena.

Žlindro lahko sicer razmeroma enostavno zamenjamo pri konvertorskih postopkih (AOD in CLU) za žilavenje kromovih jekel, vendar pri teh postopkih ni možnosti za dodatno ogrevanje, ki bi bilo potrebno pri obdelavi malo legiranih jekel.

Nadaljnji razvoj metalurških postopkov je možen v smeri adaptacije livnih ponov, ki bi omogočale izpust ali odsesavanje žlindre pri postopkih obdelave v ponvi. Druga možnost je, da konvertorske postopke opremimo s pripravami za ogrevanje, razplinjenje in vpihovanje praškastih snovi.

Morda predstavlja že prezkusni konvertor UD-DACON pri Uddeholmu (slika 16) obdelovalno posodo prihodnosti. V tem konvertorju talino z induktorjem istočasno mešajo in ogrevajo, žlindrotvorne sestavine, legirna in dezoksidacijska sredstva pa je možno vpihovati z inertnimi ali oksidirnimi nosilnimi plini. Litje se izvaja direktno iz konvertorja z zasunsko zaporo.

geschmolzenen Schlacke während des Abstiches in der Pfanne, zur Intensivierung der Entschwefelung. An dieser Stelle muß auch die Praxis des Mitlaufenlassens der Feinungsschlacke während des Abstiches genannt werden.

Daß allenthalben ein Umdenkprozeß eingesetzt hatte, wird in den Jahren zwischen 1960 und 1970 deutlich, wo eine Reihe von Verfahrensschritten mit dem Ziel der Intensivierung von Desoxydation sowie Stahl-Schlacke-Reaktionen erprobt wurden. In diesen Zeitraum fielen im Anschluß an die bereits erfolgte Einführung der Vakuumverhandlungsverfahren die Entwicklung von ersten Geräten zum Einblasen pulverförmiger Feststoffe in Stahlschmelzen, ohne daß damit sofort durchschlagende Erfolge erzielt worden wären. Dazu zählen aber auch die ersten ASEA-SKF- und Finkl-Anlagen zur Behandlung von Schmelzen in der Pfanne bei gleichzeitiger Beheizung und induktivem Umrühren bzw. Ar-Spülen, nachdem man erkannt hatte, daß einerseits Rührspulen bei Elektrolichtbogenöfen keine Vorteile hinsichtlich einer Beschleunigung von Metall-Schlacke-Reaktionen erwarten ließen und daß andererseits ein Argonspülen in der Pfanne über einen längeren Zeitraum hinweg wegen des Temperaturverlustes nicht möglich war.

In diesen Zeitraum fällt auch die Entwicklung von funktionsfähigen Schieberverschlüssen und hochwertigen Pfannenzustellungen, sodaß damit auch von dieser Seite her die Voraussetzungen für die Verlegung von metallurgischen Behandlungen in die Pfanne möglich wurde.

Gleichzeitig wurde auch intensiv an der Verbesserung der Verfahren zur Herstellung niedriggekohlter hoch-Cr-legierter Stähle gearbeitet und diese Entwicklung zunächst mit Einführung der Vakuumfrischverfahren und nach 1970 des AOD- und schließlich des CLU-Verfahrens abgeschlossen.

Wir befinden uns also heute in einer Situation, in welcher der Elektrolichtbogenofen immer mehr als Aggregat zum raschen und wirtschaftlichen Einschmelzen des metallischen Einsatzes benötigt wird und immer weniger als metallurgisches Behandlungsaggregat herangezogen wird. Diese Tendenz zeigt sich auch im Einsatz immer stärkerer Transformatoren, der Entwicklung von wassergekühlten Wänden und Decken, der voraussichtlich die Entwicklung wassergekühlter Herde folgen wird u. s. w.

Nahezu alle metallurgischen Behandlungsschritte können heute entweder in der dafür adaptierten Pfanne oder in eigenen Behandlungsgefäßen durchgeführt werden. Dies gilt heute vor allem für das Frischen und Fertigmachen hoch-Cr-legierter korrosionsbeständiger Stähle sowie das Legieren, Desoxydieren, Entgasen und Entschwefeln von unlegierten und legierten Stählen.

Die Entkohlung und Entphosphorung unlegierter und niedriglegierter Stähle wird heute praktisch noch überall im Elektrolichtbogenofen durchgeführt, da ein Schlackenwechsel bei den

Literatur:

1. DETTMERING, W.: Stahl u. Eisen 95 (1975), S. 1222—1228
2. SIGNORA, M., R. CARDANO und L. TONI: Offizielle Protokolle der ersten italienischen Großschmiedetagung, Terni, 26.—29. September 1961, S. 515/28
3. HOLZGRUBER, W.: Berg- und Hüttenmännische Monatshefte 120 (1975), S. 407—415
4. HOLZGRUBER, W.: Berg- und Hüttenmännische Monatshefte 123 (1978), S. 278—285
5. GRUNER, H., F. BARDENHEUER, H. W. ROMMERSWINKEL und H. SCHULTE: Stahl und Eisen 96 (1976), S. 960—964
6. NÜRNBERG, K., E. SPETZLER und W. KLAPDAR: »The Use of Alkaline Earths for the Metallurgy in the Ladle«, paper presented at 5 ème Journée Internationale de Siderurgie in Paris am 18. Oktober 1976.
7. PLÖCKINGER, E. W. HOLZGRUBER und G. KUHNELT: Radex Rundschau 1969, S. 508—517
8. NORBERG, L. G. und P. A. LUNDSTRÖM: »UDDACON — The Key to new metallurgical routes« in SCANINJECT 14: 1 —12, veröffentlicht durch Jernkontoret

Pfannenbehandlungsverfahren nur schwer und umständlich durchzuführen ist.

Ein Schlackenwechsel kann zwar verhältnismäßig einfach bei den für das Frischen Cr-legierter Stähle entwickelten Konverterverfahren (AOD- und CLU) durchgeführt werden, doch verfügen diese Verfahren wieder nicht über zusätzliche Beheizungsmöglichkeiten, welche bei der Behandlung niedriglegierter Stähle erforderlich wären.

Eine Weiterentwicklung der metallurgischen Verfahrensschritte erscheint daher in der Richtung möglich, daß entweder die bei Pfannenbehandlungsverfahren eingesetzten Gießpfannen so adaptiert werden, daß ein Abziehen oder Absaugen der Schlacke möglich wird oder, daß die Konverterverfahren zusätzlich mit Vorrichtungen zur Beheizung, zum Entgasen und zum Einblasen pulverförmiger Feststoffe ausgerüstet werden.

Möglicherweise stellt der bei Uddeholm als Versuchsanlage gebaute UDDACON-Konverter (Bild 16) bereits ein derartiges Behandlungsgefäß der Zukunft dar. Die Schmelze wird darin durch einen Induktor gleichzeitig umgerührt und aufgeheizt, wobei Schlackenbildner sowie Legierungs- und Desoxydationsmittel mittels inerte oder oxydierender Trägergase in die Schmelze eingeblasen werden können. Das Gießen erfolgt ebenfalls direkt aus dem Konverter über einen Schieberverschluss.

Mit diesem Ausblick will ich meine Ausführungen schließen und danke für Ihre Aufmerksamkeit.

SUMMARY

Beside the long-term prognosis of the development of steel manufacturing also the review of those procedures is given which are nowadays more applied because of the intensification of the manufacturing and improvement and assuring the quality of steel.

Standard technological processes in electric arc furnaces were long lasting since they were based essentially on the experiences in the open-hearth furnaces.

After a long contact of the steel melt with the carefully prepared refining slag at first the carbon content commenced to be slowly reduced due to the diffusional deoxidation, then the sulphur content was being reduced. Instead of achieving good kinetic conditions for reactions by a good stirring of slag and steel melt, the process was left to the diffusion and only in exceptional cases the steel was stirred with slag.

The first modernisation of the process which itself was not the most suitable for the electric arc furnace was achieved by the introduction of the gaseous oxygen into refining in order to shorten the refining period, and before it also the Perrin process. Characteristic of the last process is intensive mixing of steel and molten slag in ladle during tapping which highly increases the intensity of desulphurisation. At this occasion, also the practice of simultaneous tapping of the refining slag must be mentioned.

In 1960 to 1970 the steel-making development and research was directed to the processes for intensification of deoxidation and reactions occurring between steel and slag. Beside the already introduced treatments in vacuums, the first set-ups were developed for injecting powders into the steel melt.

When found that stirring and blowing in electric arc furnaces does not give satisfactory increase of the reaction rates between the steel and the slag, and that long lasting blowing with argon in laddles is not possible due to temperature drop, the first ASEA — SKF, and Finkl equipment appeared to treat the melt in laddles at the simultaneous heating and inductive stirring or blowing with argon.

Conditions to transfer metallurgical treatment into laddles were given by developing suitable closing devices with dampers and with development of the quality linings for laddles.

Development for improving the manufacturing process for low carbon high alloyed chromium steel was closed at first by the introduction of the refining in vacuum. In 1970 AOD and finally also CLU process were introduced.

Today the electric arc furnace is more and more used as a furnace for fast and economic melting. Therefore stronger transformers and special cooling systems for the furnace are used. The metallurgical treatment is transferred to specially adjusted laddles.

Decarburisation and dephosphorisation are still much occurring in the furnaces since changing slag in the ladle is difficult and complicated.

Slag can be simply changed in a converter processes (AOD and CLU) but there is no possibility for additional heating needed in treating low alloyed steel.

New ideas bring various combinations and adjustments of set-ups. Especially the pilot plant UDDACON converter in Uddeholm is an interesting novelty in this development.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наряду с долгорочным прогнозом о развитии производства стали, приведен обзор тех способов, которые в настоящее время имеют большое значение на ускорение процесса производства и на улучшение качества стали.

Классические технологические способы в электрической дуговой печи были самым продолжительными, так как в сущности основаны на опытах производства стали в СМ-печах.

При длительной задержки расплава стали под тщательной подготовленным шлаком для рафинирования мы сперва с диффузионным раскислением постепенно снижали содержание углерода, а затем снижение серы. Вместо того, чтобы с хорошим перемешиванием стали и шлака создать благоприятные кинетические условия для течения реакций, мы это предоставили времени, и только в редких примерах смешивали сталь с шлаком.

Первая модернизация способа производства стали, хотя не особенно подходящая для электрической дуговой печи, представляла, с целью сокращения процесса, фришование с газообразным кислородом. До этого был применен способ по Перрину, состоявший в интенсивном перемешивании стали с расплавленным шлаком во время выпуска расплава в ковше, что значительно увеличивает интенсивность на удаление серы. Также надо упомянуть способ одновременного выпуска шлака для рафинирования с расплавом стали.

В годах 1960—1970 исследования в области выплавки стали были направлены к развитию интенсификации раскисления и реакций между металлом и шлаком. Наряду с введением способов обработки расплава в вакууме, появились первые приборы для вдувания порошкового материала в расплав стали.

После того, как установлено, что с перемешиванием и с продуванием в электрической дуговой печи нельзя, что касается

ускорения реакции между металлом и шлаком, ожидать удовлетворительные результаты, а продолжительное продувание расплава с аргонем в ковше, вследствие снижения темп-ры, оказалось не применимо, появились первые устройства ASEA — SKF и устройство финка для обработки расплава в ковшах при одновременном прогреве и индукционном перемешиванию, соотв. продуванием с аргонем.

Условия для переноса металлургической обработки расплава в ковше был подан на основании улучшения функциональных створных устройств и качества футеровки для ковшей. Развитие для улучшения способа для производства малоуглеродистых высоколегированных хромистых сталей было сначала выполнено с введением фришования в вакууме. После 1970 г. введен способ AOD и, наконец, еще способ CLU.

В настоящее время электрическая дуговая печь нашла свое применение для быстрого и экономического плавления. Поэтому в употребление введены трансформаторы все большей мощности, а для охлаждения печей специальные холодильные системы. Металлургическая обработка расплава перешла в специально подготовленные ковши. Обезуглероживание и дефосфоризация все еще опирается на выполнение этого процесса в печах, так как замена шлака в ковше затруднительна и сложна.

При конверторных процессах (AOD и CLU) замена шлака несложна, но нет возможности добавочного нагрева, которое бы было необходимо при обработке малолегированных сталей.

Новые идеи повлекут за собой разные комбинации и приспособленные агрегатов. Специальный для развития процесса в этом направлении представляет, как интересная новость, опытный конвертор UDDACON при Uddeholm-у.