

Lange Konverterreisen durch Slag Splashing und effiziente Nutzung der TBM-Bodenspültechnik

Experience with long BOF campaign life and TBM bottom stirring technology

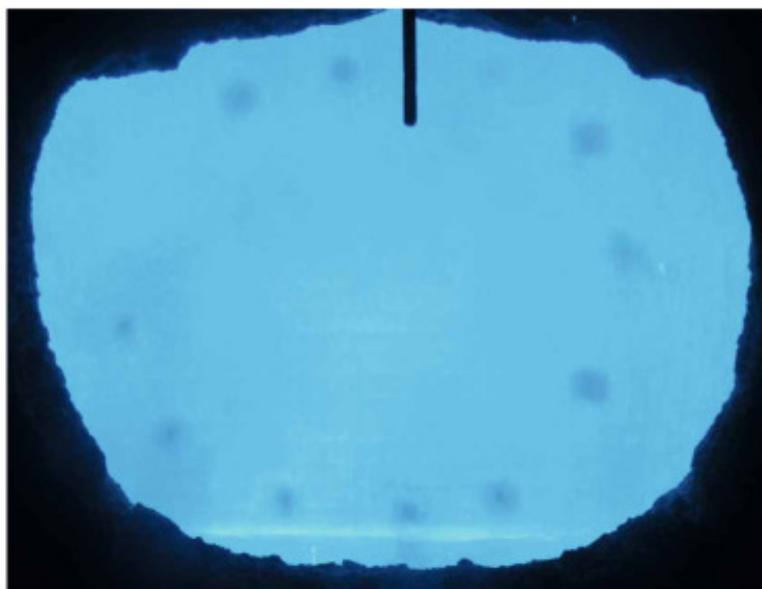
Zhao Guoguang, Rainer Hüsken und Jürgen Cappel

Die TBM-Bodenspültechnik ist eine seit Mitte der 80er-Jahre eingeführte Technologie zur Verbesserung der metallurgischen Ergebnisse beim LD-Verfahren. Die Rührwirkung der Blaslanze von oben wird dabei durch die Einleitung von Inertgas durch den Konverterboden von unten unterstützt. Durch die Einführung des „Slag Splashing“ zur Erhöhung der Lebensdauer der Konverterauskleidung Mitte der 90er-Jahre wird die Effektivität der Bodenspültechnik stark beeinträchtigt. Bei Meishan Steel in China wurde eine kombinierte Arbeitsweise entwickelt, die die Vorteile beider Technologien erfolgreich ausnutzt.

TBM bottom stirring is a technology introduced worldwide to enhance the metallurgical efficiency of the BOF process. By applying this technology inert gas injection through the bottom of the BOF vessel enhances the mixing effect of the top lance blowing jet. Slag Splashing was introduced in BOF operations to increase vessel campaign life, but generally it negatively impacts the efficiency of the bottom stirring. At Meishan Steel in China an operation practice was developed that successfully combines the advantages of both technologies.

Das Blasstahlwerk von Baoshan Iron & Steel Co. Ltd. (Meishan) wurde im Jahr 1995 in Betrieb genommen [1; 2]. Die Kapazität ist auf 3,5 Mio. t/a Stranggußbrammen ausgelegt. Der Prozess wird über die Stationen Torpedowagen, Umfüllgrube, Roheisenschwefelung (drei Stände, Coinjektion von CaC_2 und Mg), Konverterprozess (TBM, automatischer Blasprozess mit Sublanze), drei Argonspülstände in den Gleisen der Stahlnahmewagen, Sekundärmetallurgie (zwei Pfanneöfen, zwei RH-Anlagen, eine CAS-Station) und zwei zweisträngige Brammenstranggießanlagen geführt, Bild 1. Der Prozessablauf und die Logistik im Stahlwerk wurden seit der Inbetriebnahme immer weiter verbessert, sodass die Produktion aktuell mit 3,85 Mio. t/a um rd. 10 % über der Auslegung liegt. Das Erzeugungsprogramm umfasst im Wesentlichen Tiefziehstahl, Weißblech, Baustahl, höherfeste Stähle für den Automobilbau, korrosionsbeständige Stähle, Stahl für Gasflaschen und Röhrenstahl.

Alle drei Sauerstoffaufblaskonverter sind mit der TBM (Thyssen Bottom Metallurgy)-Bodenspültechnik ausgerüstet. Die Inertgase, die für das Bodenspülen benutzt werden, sind Argon oder Stickstoff. Die Konverter sind mit einer dynamischen Blasendpunktsteuerung mithilfe einer Sublanze ausgerüstet. Das niedrigste erreichbare $[\text{C}][\text{O}]$ -Produkt liegt bei 18. Das intensive Slag Splashing zur Verlängerung der Lebens-



TBM-Sauerstoffkonverter im Heißbetrieb
View inside an operating TBM BOF vessel

Foto: J. Cappel, 2010

dauer der Feuerfestauskleidung des Converters wird in der Regel für 95 % aller Chargen angewendet. Durch Einhaltung bestimmter Verfahrensvarianten bei der

Schlackenführung und der Regelung der Bodenspül-anlage gelingt es, die metallurgischen Ergebnisse über die gesamte Konverterreise zu stabilisieren. Dieses Ergebnis ist für Slag-Splashing-Konverter, die in der Regel mit starkem Aufbau des Bodens (und der Wände) durch Schlackenablagerung zu kämpfen haben, ungewöhnlich und zeigt neue Möglichkeiten zur Weiterentwicklung der Konvertertechnik auf.

Metallurgische Anforderungen

Die metallurgischen Anforderungen an den Konverterprozess sind durch den Kohlenstoff-, Bild 2a, und den Phosphorgehalt, Bild 2b, im Stahl gekennzeichnet. Bei der Produktion von LC- und ULC-Stahlsorten ist es wichtig, dass der Kohlenstoffgehalt im Stahl im Blasprozess so weit erniedrigt wird, dass entweder die Charge beim Abstich bereits in der Kohlenstoffspezifikation liegt oder in der nachfolgenden Vakuumbehandlung in der RH-Anlage mithilfe des im Stahl gelösten Sauerstoffs auf niedrigste Werte entkohlt werden kann. Entsprechend diesen Anforderungen werden die Chargen auf im Mittel 0,04 % Kohlenstoff zum Blasende EOB (End of Blow) heruntergeblasen. Dabei ist auf der anderen Seite ein sehr hoher Sauerstoffgehalt im Stahl nachteilig für das Stahlausbringen und den Verbrauch an Desoxidationsmitteln [3; 4].

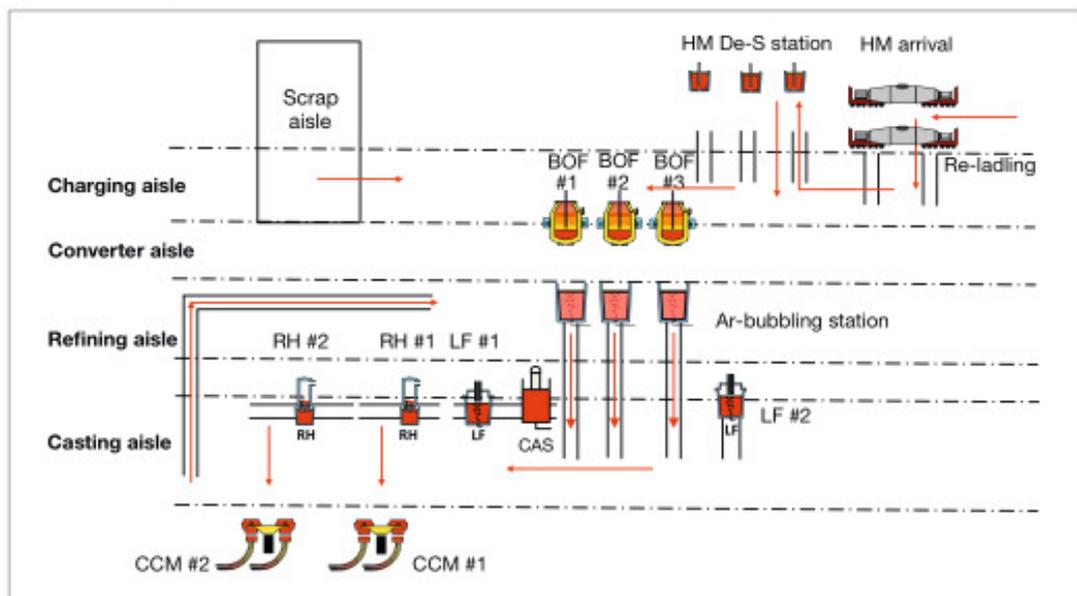
Die größte Herausforderung für den Konverterbetrieb ist jedoch der Phosphorgehalt im Roheisen, der zwischen 0,12 und 0,15 % variiert und sich im Mittelwert zu 0,137 % einstellt. Der Phosphor muss im Konverter dann deutlich unter den Wert der Spezifikation geblasen werden, wie die rote Linie in Bild 2b im Vergleich zur grünen Linie verdeutlicht. Dies kann bis auf ein Niveau von im Schnitt 0,017 % mit einem einstufigen Verfahren erreicht werden, bei noch höhe-

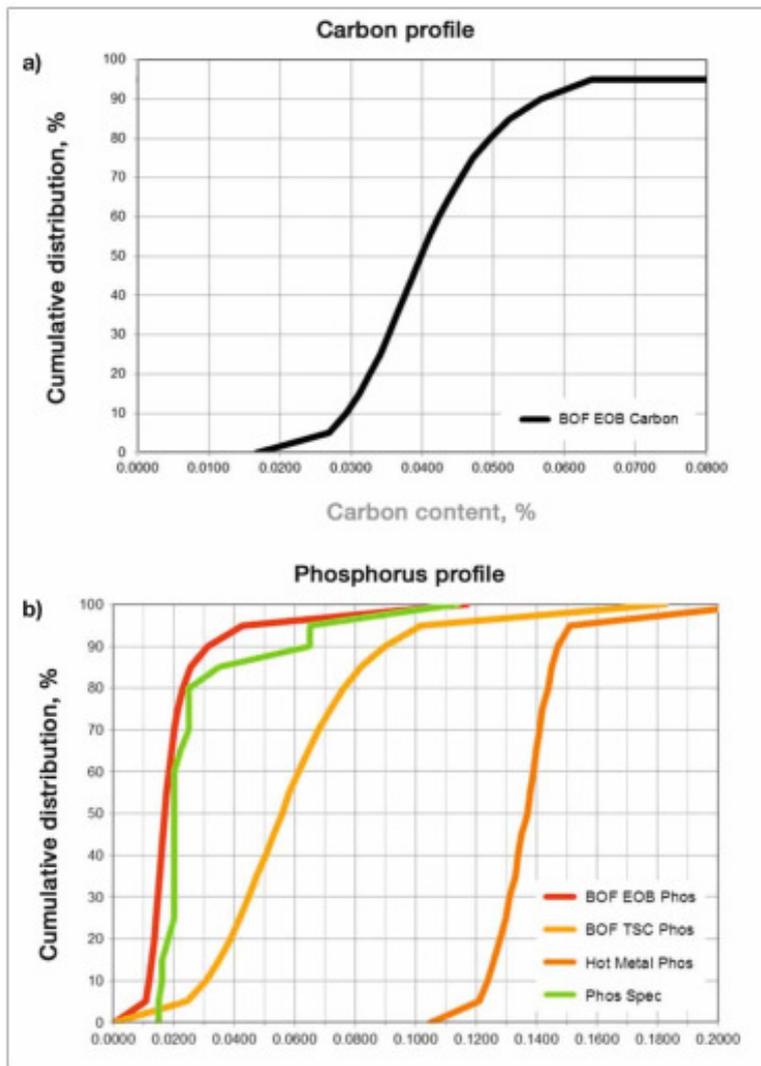
ren Anforderungen an niedrige Phosphorwerte muss ein zweistufiges Verfahren angewendet werden. Dabei wird nach etwa 5 bis 6 min Blaszeit die phosphor- und kieselsäurereiche Schlacke abgezogen und die Charge nach Aufgabe von Frischschlacke zu Ende entkohlt. Der Abstand der Ergebnisse bei Blasende mit 0,017 % im Mittel von der Spezifikation mit 0,020 % im Mittel ist notwendig, um die in der Sekundärmetallurgie unvermeidbare Rückphosphorung aufzufangen.

Verdeutlicht man sich anhand der orangenen TSC(Temperature, Sample, Carbon)-Kurve in Bild 2b, dass bei 87 % der zu verblasenden Sauerstoffmenge der Phosphorgehalt im Stahl immer noch 0,056 % beträgt (1616 °C, 0,38 % C), wird klar, dass er innerhalb der letzten zwei Blasminuten unter den Wert der Spezifikation gebracht werden muss. Um speziell in dieser Phase und in den ersten zwei Minuten nach Blasende die Metall/Schlacken-Reaktionen zu unterstützen, ist das Bodenspülen eine international anerkannte Technologie [4...6]. Falls in den Stahlwerken aus unterschiedlichsten Gründen, die hier nicht näher diskutiert werden sollen, die Abstichtemperatur vergleichsweise hoch ist, wie im vorliegenden Fall mit durchschnittlich 1676 °C, ist die Intensivierung des Metall/Schlacken-Austauschs umso bedeutender.

Blasprozess. Der Blasprozess wird mithilfe einer Fünf-Loch-Blaslanze mit einem Strahlwinkel von 15° geführt, die Blassauerstoffrate beträgt 500 m³(S.T.P.)/min. Die Lanze wurde im Verlauf der Optimierungsarbeiten zur Erhöhung der Kapazität von einem Strahlenwinkel von 17,5 auf 15° umgestellt, um der Gefahr einer Verminderung der Lebensdauer der Konverterausmauerung durch eventuellen Angriff durch Kontakt mit Sauerstoff entgegenzuwirken. Dies ist eine

1
150-t/Charge-Konverterstahlwerk der Baoshan Iron & Steel Company in Meishan [1; 2]
150-t/heat BOF shop at Baoshan Iron & Steel Company in Meishan [1; 2]





2 Kohlenstoff- und Phosphorprofil der Stahlerzeugung im betrachteten Stahlwerk
Carbon and phosphorus profile of the investigated BOF steel operations

durchaus übliche Maßnahme in Werken, die lange Konverterreisen anstreben. Das Stahlwerk strebt auch lange Haltbarkeiten für den Kopf der Blaslanze an, um die Zahl der Lanzenwechsel, die 60 min je Vorgang dauert, zu minimieren.

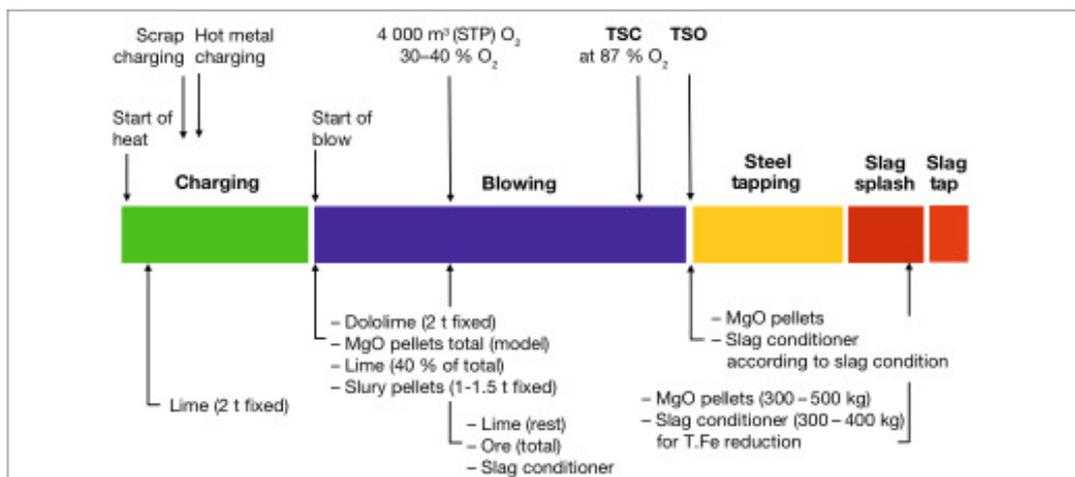
Zu Beginn einer Charge wird als erster Vorgang eine Festmenge von 2 000 kg Kalk über die Konverterbunker auf den Konverterboden chargiert, Bild 3. Diese Maßnahme dient zum Schutz des Bodens vor schweren Schrottstücken. Danach wird Schrott und Roheisen in abgewogenen Portionen chargiert. Der Sauerstoffbedarf ist an die gewogenen Einsätze angepasst und wird vor Blasbeginn und in der ersten Blashälfte mit jeder eingehenden Analysen- oder Mengenangabe automatisch nachkorrigiert.

Nach Blasbeginn wird kurz gewartet, bis die Zündung des Roheisens erfolgt ist, und dann werden die Zuschlagstoffe wie Kalk, Dolomit, MgO-Pellets und Schlamm pellets aus der Nassreinigung der Abgase über das Bunkersystem in den Konverter chargiert. Ziel der Prozessführung ist es, die Hauptzuschlagstoffmengen innerhalb der ersten 30 bis 40 % der Blaszeit im Konverter zu haben.

Die Blaslanze wird nach Blasbeginn in mehreren Schritten zügig nach unten gefahren und auf einen Badabstand von 180 cm bis zur 11. Blasminute konstant eingestellt. In dieser Phase versucht man, die Lanzenbewegungen auf wenige automatisch in Abhängigkeit von Zugabemengen ausgelöste Bewegungen zu reduzieren. Der manuelle Einfluss der Bediener auf den Prozess soll so gering wie möglich gehalten werden. Zum Ende des Blasprozesses wird die Blaslanze in zwei Stufen auf 170 cm abgesenkt. Die Blaszeit ist mit 14 min insgesamt sehr niedrig, was auch ein Grund für die Leistungssteigerung ist.

Nach 87 % der verblasenen Sauerstoffmenge wird zum ersten Mal die Sublanze in den blasenden Konverter gefahren und eine TSC (Temperature, Sample, Carbon)-Sonde eingesetzt. Die zu verblasende Sauer-

3 Schematische Darstellung des Blasprozesses in einem Konverterstahlwerk
Blowing regime of a BOF shop



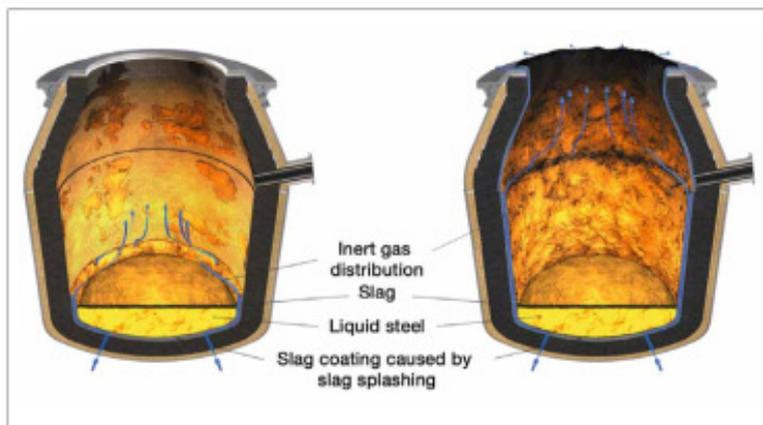
stoffmenge wird so korrigiert, dass die Zieltemperatur zum Blasende mit geringer Abweichung getroffen wird. Nach Blasende wartet man eine Nachspülzeit von rd. 2 min ab und fährt dann die Sublanze für eine zweite Messung, diesmal mit einer TSO (Temperature, Sample, Oxygen)-Sonde in den Konverter. Nach Eingang der Stahlanalyse vom Bühnenschnelllabor kann die Charge entweder abgestochen werden oder sie muss vorher nachgeblasen werden.

Nach Beendigung des Abstichs wird der Konverter zurück in die senkrechte Stellung gefahren und eine

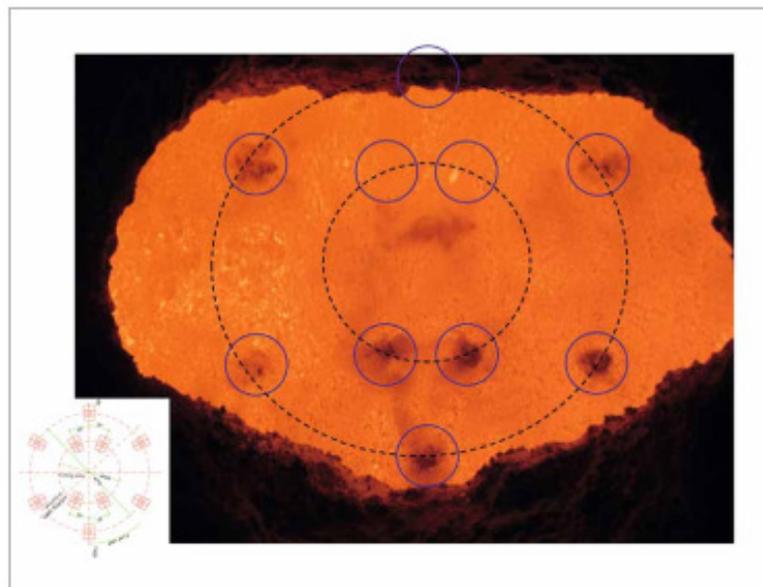
Schlackenbehandlung durch Zugabe von MgO-Pellets wird durchgeführt. Die Menge der MgO-Pellets wird dem Zustand des Converters laufend angepasst. Anschließend erfolgt in einem Zeitraum von 3 bis 4 min das Slag Splashing. Nach Beendigung des Slag Splashing wird die im Konverter verbliebene Schlacke in eine Schlackenpfanne ausgekippt. Die eingestellten Slag-Splashing-Parameter wie Lanzenstand, Blaswinkel und Blasrate wurden auf der Grundlage von Wassermodellversuchen für den Betrieb optimiert.

Wesentliche Voraussetzung für die Erreichung langer Konverterreisen ist die Kontrolle des Bodenschleißes, der in engen Grenzen von maximal 8 mm/100 Chargen gehalten werden muss. Die Ausgangsstärke des Bodenfutters ist 1000 mm. Das ist bei Anwendung des Slag Splashing normalerweise kein Problem, da ein Nebeneffekt dieser Technologie meist ein starker Aufbau des Bodens durch Schlacke ist. Bei gleichzeitiger Anwendung von Bodenspülung führt das unweigerlich zur Wirkungslosigkeit der Spüler. Es ist dabei weniger das Versagen der Spülsysteme selbst zu beobachten, sondern eine signifikante Verschlechterung der metallurgischen Kennwerte aufgrund ungünstiger Verteilung der Spülgase im Konverter.

Im Fall von Schlackenschichten über den Spülern besteht die Gefahr, dass das Gas nicht mehr mit gerichtetem Impuls in die Schmelze geblasen wird und damit eine Rührwirkung hervorruft, sondern unter der Schlackenschicht so lange kriecht, bis es an einem Riss oder Ähnlichem einen Auslass findet. Dort tritt das Gas konzentriert aus, allerdings ist die gleichmäßige Verteilung in der Charge nicht mehr gewährleistet und der metallurgische Effekt vermindert sich oder kommt sogar völlig zum Erliegen. Bild 4 verdeutlicht die Verhältnisse für Bodenbeläge alleine (linkes Teilbild) und im Fall von Slag Splashing (rechtes Teilbild) [7]. Es wird deutlich, dass man im Fall des Slag Splashing davon ausgehen muss, dass die Gase weder mit der Schmelze noch mit der Schlacke überhaupt in Berührung kommen. Diese Modellvorstellung wird durch die allgemein bekannte Verschlechterung der metallurgischen Kennwerte bei Anwendung des Slag Splashing bestätigt.



4 Verteilung der Spülgase im Konverter bei Schlackenanhaftungen am Boden (links) und an den Wänden (rechts) [7]
Distribution of stirring gases in a BOF vessel with slag-covered bottom (left) and walls (right) [7]



5 Layout der TBM-Anlage für ein 150-t-Konverterstahlwerk
TBM system layout in a 150-t BOF shop

TBM-Bodenspülanlage. Die TBM-Bodenspülanlage wurde im Jahr 2002 von der Küttner GmbH in Essen an den Konvertern installiert. Es kommen je Konverter zehn Spüler zum Einsatz, die in einem inneren und äußeren Ring angeordnet sind, Bild 5. Die Spülgasdurchflussmenge wird während des Blasprozesses konstant auf einem Niveau von 8,5 m³(S.T.P.)/min gefahren. Sie kann zwischen 80 und 100 % individuell geregelt werden, um dem Vorverschleiß der Spülemente und der umgebenden Ausmauerung der Konverter vorzubeugen. Bild 6 zeigt ein Flussdiagramm der Anlage.

Die Spülsteine werden mit jeweils zehn individuell regelbaren Gasleitungen, aus der Ventilstation kommend, versorgt. Die Ventilstation kann wahlweise auf Argon oder Stickstoff umgeschaltet werden. Jeder Konverter ist mit einem Druckbehälter für Argon und Stickstoff so abgesichert, dass eine absolut unterbrechungsfreie Gasversorgung gewährleistet ist. Auf die Absicherung der Anlage gegen Druckschwankungen im Argon- oder Stickstoffwerksnetz ist besonderer Wert zu legen, um das Zulaufen einzelner Spülelemente zu verhindern, wie sie bei anderen Lösungen im Fall der Anwendung von Einlochspülelementen immer wieder zu beobachten sind. Die Anwendung der Einlochspülelemente ist ein wesentliches Merkmal der TBM-Technologie. Die Spülgase werden mithilfe je einer Verdichterstation für Argon und Stickstoff auf die unterschiedlichen Arbeitsdrücke von 25 bar für Stickstoff und 30 bar für Argon komprimiert. Die Druckdifferenz zwischen Argon und Stickstoff ist zur Vermeidung von eventuellen Verunreinigungen des Argons durch Stickstoff unbedingt notwendig. Die Größe der Tanks ist so bemessen, dass mindestens eine komplette Charge im Fall einer Unterbrechung der Gasversorgung zu Ende geblasen werden kann. Der Vorrat beträgt 200 m³ und ist für einen Verbrauch von 10 m³(S.T.P.)/min bei gefülltem Konverter und 5 m³(S.T.P.)/min bei leerem Konverter bzw. während des Chargierens ausgelegt.

Metallurgische Ergebnisse. Die metallurgischen Ergebnisse des Konverterprozesses, speziell bei Anwendung der kombinierten Blastechnik aus Toplanze

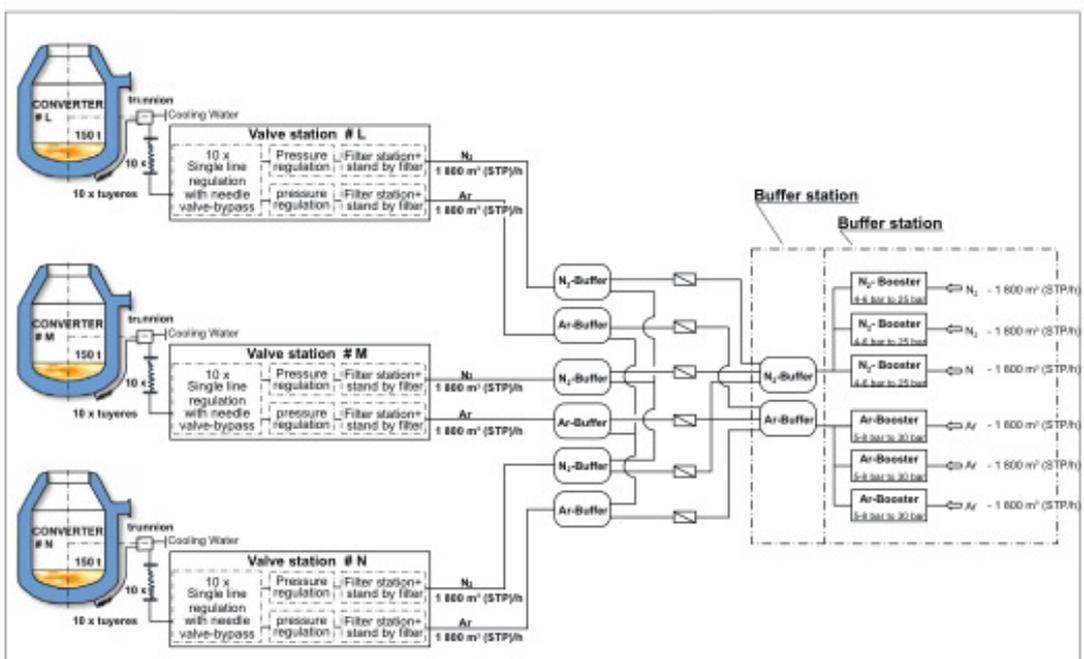
und Bodenspülung, können mithilfe typischer Kennwerte beurteilt werden. Zu diesen Kennwerten zählen [8...10]:

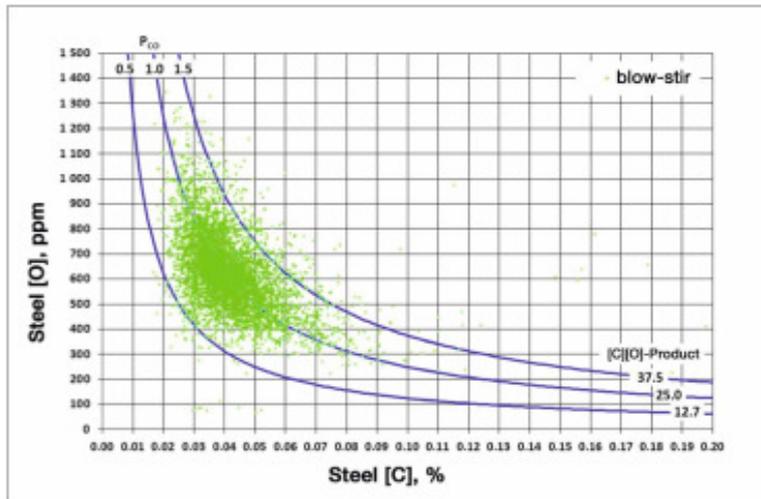
- Der Oxidationsgrad von Metall, gekennzeichnet durch das Produkt [%C][ppmO] und Schlacke, gekennzeichnet durch den Gehalt an Eisen- (%FeO) und Manganoxid (%MnO)
- Die Phosphorverteilung zwischen Stahl und Schlacke $L_P = (\%P_2O_5)/[\%P]$
- Der Kalksättigungsgrad (%CaO)_{sat} und
- Der MgO-Sättigungsgrad (%MgO)_{sat} der Konverterschlacke.

Die Ergebnisse für diese wichtigen Kennwerte werden in den folgenden Diagrammen dargestellt und diskutiert. Die Daten entsprechen Betriebsergebnissen aus einer Kampagne des Converters Nr. 3 vom April 2011 bis zum Januar 2012. Bild 7 zeigt zunächst die Ergebnisse für das [%C][ppmO]-Produkt. Beide Werte sind die Ergebnisse der TSO-Messung mit der Sublanze nach Blasende.

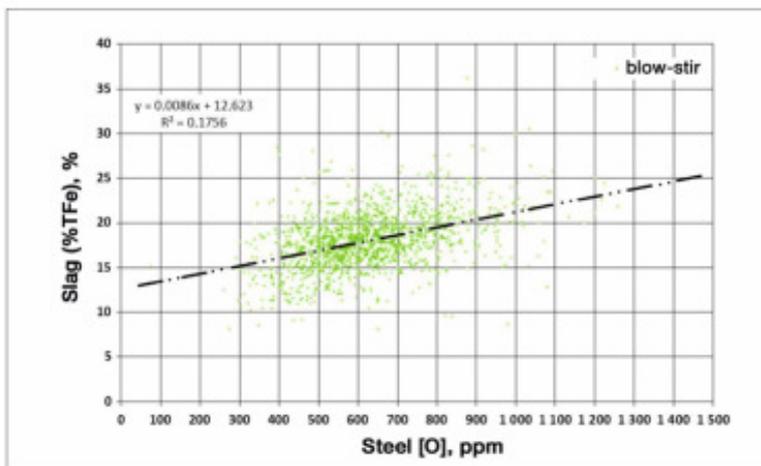
Es wird deutlich, dass die Werte bis auf wenige Ausnahmen zwischen den beiden äußeren blauen Linien liegen. Die mittlere blaue Linie repräsentiert den Wert 25,0 für das [C][O]-Produkt, das sich bei einer Temperatur von 1 600 °C und einem Druck $P_{CO} = 1,0$ bar einstellt. Entsprechend repräsentieren die anderen Linien die Drücke $P_{CO} = 0,5$ bar und $P_{CO} = 1,0$ bar. Der Mittelwert des Punkte-Clusters liegt bei einem [C][O]-Produkt von 24,5, einem für kombiniert blasende Konverter durchaus „normalen“ Ergebnis. Das bedeutet, dass sich bei einem Kohlenstoffgehalt von 0,040 % im Stahl Sauerstoffwerte zwischen 400 und

6
Ergebnisse des [C][O]-
Produkts für eine
Konverterreise
[C][O] product results in
a recent BOF furnace
campaign





7
Sauerstoffgehalt [%O] im Stahl und (%Fe)-Gehalt in der Schlacke für eine Konverterreise
Slag (%Fe) results in a recent BOF furnace campaign



8
(%Fe)- und (%MgO)-Gehalte der Konverterschlacke für eine Konverterreise
Slag (%Fe) and (%MgO) results in a recent BOF furnace campaign

800 ppm einstellen werden, wodurch ein günstiger Verbrauch an Desoxidationsmitteln gewährleistet ist.

Ein weiterer Effekt des Bodenspülens, der durch entsprechende Messungen für jeden BOF-Konverter nachgewiesen werden kann, ist der mit dem Sauerstoffgehalt im Stahl einhergehende geringere (%Fe)-Gehalt der Schlacke, Bild 8. Auch wenn die Regressionsgerade aufgrund des geringen Bestimmtheitsmaßes nicht für die Beschreibung dieser Abhängigkeit herangezogen werden kann, ist der Trend eindeutig zu erkennen. Als Faustformel gilt: -100 ppm [O] im Stahl bedeuten -1,0 % (Fe) in der Schlacke. Bei einer Schlackenmenge von rd. 100 kg/t Rohstahl ist das eine Erhöhung des Ausbringens um 1 kg/t. Dies ist umso bedeutender, wenn man sich vor Augen führt, dass in

der Schlacke gelöstes (Fe) nicht zurückgewinnbar, also komplett verloren ist.

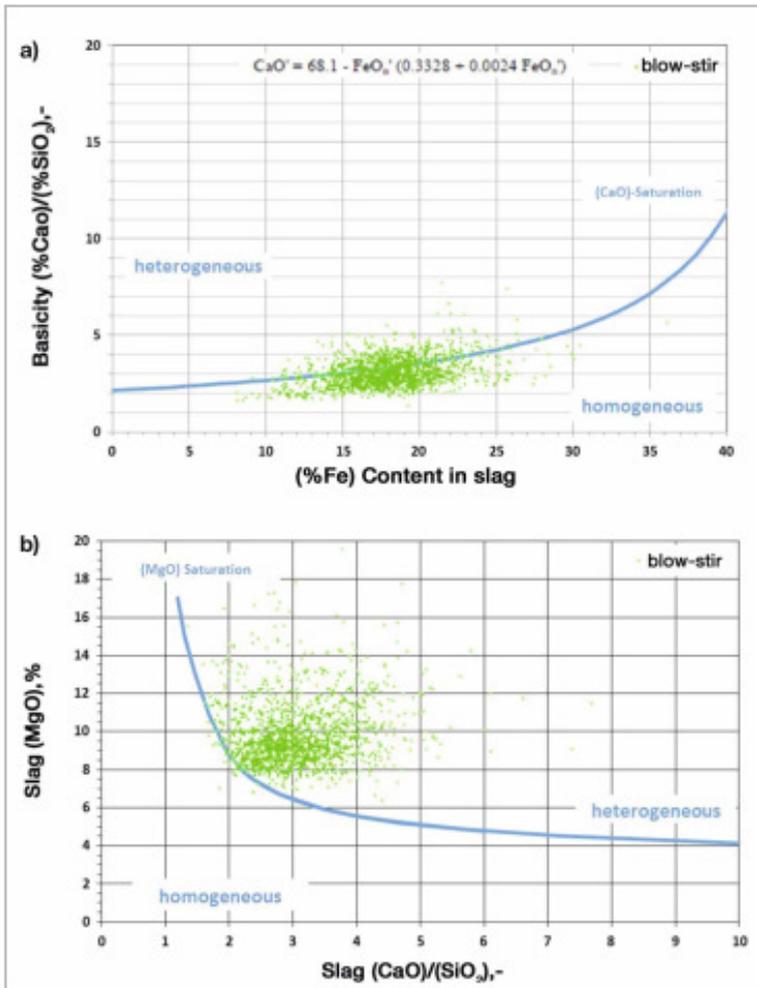
Ein geringerer (%Fe)-Gehalt der Schlacke korreliert auch direkt mit einem niedrigeren (%Mn)-Gehalt in der Schlacke. Der Mangangehalt der Schlacke korreliert mit dem Mangangehalt im Stahl über ein Verteilungsgleichgewicht. Das bedeutet nichts anderes, als dass mit geringerem (%Mn)-Gehalt in der Schlacke der [%Mn]-Gehalt im Stahl höher wird, das Mangan ausbringen sich verbessert und man Kosten für Mangantträger in der Sekundärmetallurgie einsparen kann.

Die Parameter, die man zur Beurteilung der Schlackenarbeit heranzieht, sind der Kalk- und der MgO-Sättigungsgrad. Die Einstellung der Kalksättigung in Abhängigkeit vom (%Fe)-Gehalt der Schlacke, Bild 9a, gewährleistet das Arbeiten mit homogenen flüssigen Schlacken mit ideal angepasster Basizität, d. h. geringem Kalkverbrauch und geringer Schlackenmenge. Die Einstellung der MgO-Sättigung, Bild 9b, gewährleistet eine Schlackenarbeit bei geringstmöglicher MgO-Aufnahme aus dem Feuerfestmaterial und ermöglicht damit lange Konverterreisen [1; 2; 5; 11; 12; 14].

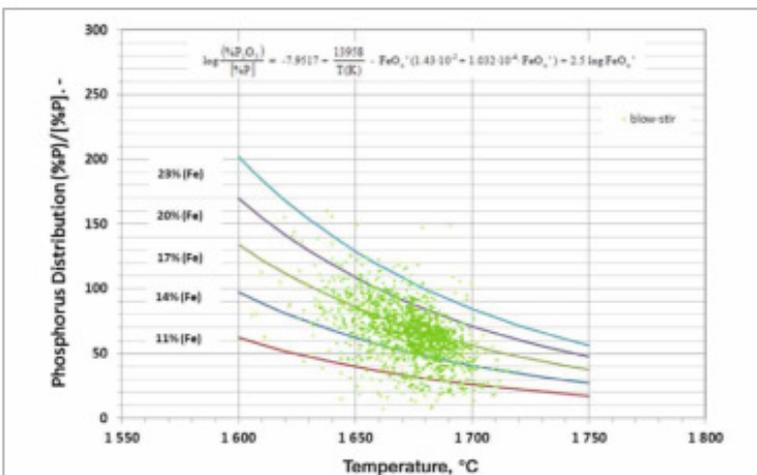
Leider wird in der Praxis des Slag Splashing genau im Hinblick auf die (%MgO)-Anreicherung sehr oft auf bis zu 12 % und mehr überdosiert. Der Grund dafür ist leicht nachvollziehbar: Durch eine MgO-Übersättigung wird die Klebeeigenschaft der Konverterschlacken erhöht und damit die Effektivität des Slag Splashing verbessert, allerdings unter Inkaufnahme eines unkontrollierten Aufbaus von Schlackenschichten, sehr hohen Schlackenmengen und schlechten metallurgischen Eigenschaften der Schlacken. Diese bilden sich besonders am Boden, aber auch im Oberkonus der Konverter aus und führen dort zu erhöhtem Pflege- und Reinigungsaufwand. Allerdings wären Chargenreisen mit bis zu 50 000 Chargen Lebensdauer der Ausmauerung ohne diese Maßnahmen überhaupt nicht möglich gewesen. Stand der Technik heute ist allerdings eine Arbeitsweise mit abgesenktem (%MgO)-Gehalt mit bis zu ca. 10 000 Chargen Haltbarkeit.

Wenn man die Betriebsergebnisse aus Meishan in die Diagramme in Bild 9 einträgt, so wird deutlich, dass die Zusammensetzung der Konverterschlacke gezielt dem jeweiligen Zustand des Konverters angepasst wird. Das gilt für den Fall höherer (%Fe)-Gehalte bezüglich der Schlackenbasizität zur Unterstützung der Entphosphorung ebenso wie für die Variation der Konverterpflege über den (%MgO)-Gehalt.

Die Überprüfung der Entphosphorungsleistung im betrachteten Stahlwerk erfolgt mithilfe einer empirisch ermittelten Formel für das Verteilungsgleichgewicht $L_{(P)}^{(Fe)}$ [13; 14], Bild 10. Im Mittelwert stellt sich ein Ergebnis von $L_{(P)}^{(Fe)} = 70$ bei einer mittleren Abstichttemperatur von 1676 °C und einem mittleren (%Fe)-Gehalt der Schlacke von 17,9 % ein.



9 Entphosphorungsleistung in einer aktuellen Konverterreise
 De-phosphorization results a recent BOF furnace campaign



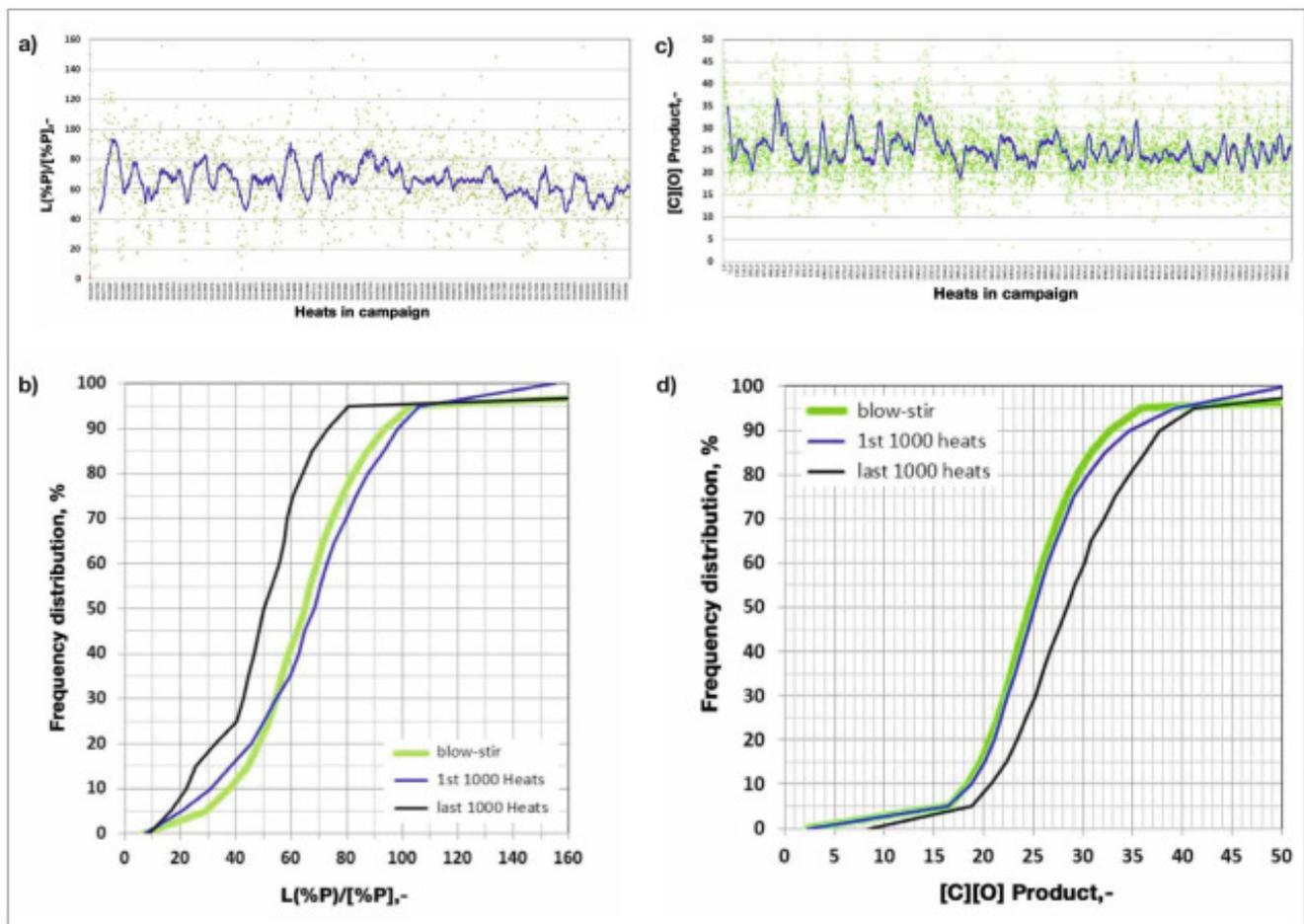
10 Entwicklung der metallurgischen Ergebnisse im Verlauf einer Konverterreise
 Metallurgical performance results in a recent BOF furnace campaign

Dass diese Ergebnisse relativ stabil über die gesamte Konverterreise gefahren werden können, zeigt Bild 11, in dem das [C][O]-Produkt und das Verteilungsgleichgewicht $L_{(P)}^{(O)}$ in Form eines Control-Charts dargestellt ist. Die blauen Linien im Diagramm entsprechen dem gleitenden Mittelwert über 50 Chargen. Die Ergebnisse sind über einen Zeitraum von 6 500 Chargen aus einer der letzten Konverterreisen dargestellt. Die Summenhäufigkeitsverteilungen in den jeweils unteren Teilbildern sind für die ersten 1 000 Chargen (blaue Linie), alle 6 500 Chargen (grüne Linie) und die letzten 1 000 Chargen der vorherigen Kampagne dargestellt.

Bild 11 verdeutlicht, dass die metallurgischen Ergebnisse offensichtlich gezielt beeinflusst werden und man dabei versucht, die Werte zwischen oberer und unterer Grenze einzustellen. Das gelingt im Verlauf der ersten 6 500 Chargen zufriedenstellend, zum Ende einer Konverterreise ist jedoch ein deutlicher Abfall der Ergebnisse zu sehen, wie die schwarzen Linien der Chargen 9 000 bis 10 000 in den Summenhäufigkeitsdarstellungen zeigen. Bezüglich der Streuung der Ergebnisse bleibt festzustellen, dass es offensichtlich noch Verbesserungspotenzial für die Regelung der Parameter gibt. Eine Automatisierung der Verfolgung und Beeinflussung der Kennwerte lässt eine deutliche Verminderung der Streuung erwarten. Mithilfe einer derartigen Regelung kann man auch das sinnvolle Ende einer Konverterreise vorausbestimmen.

Pflege von Konverter und TBM-System. Die ungewöhnlich starke Streuung der metallurgischen Ergebnisse leitet zur Diskussion der angewendeten Konverterpflege über. Wie bereits zuvor erwähnt, ist die Erreichung langer Konverterhaltbarkeiten nur durch die Anwendung des Slag Splashing möglich. Diese Technologie kann man heute zum Stand der Technik zählen. Sie wird in sehr vielen Werken weltweit angewendet. Aber in nur wenigen Stahlwerken der Welt wird gleichzeitig Slag Splashing und Bodenspülen mit akzeptablen metallurgischen Ergebnissen praktiziert. Was sind also die Voraussetzungen, das erfolgreich zu tun?

Die Antwort ist, wie sehr oft, nicht nur eine einzige Maßnahme, sondern ein ganzes Maßnahmenbündel, mit dem man vor allem den Konverterboden so kontrolliert, dass auf der einen Seite der Verschleiß der feuerfesten Steine in einem engen Rahmen gehalten wird und auf der anderen Seite trotzdem noch akzeptable metallurgische Ergebnisse erzielt werden. Im betrachteten Stahlwerk geschieht dies im Wesentlichen durch die Beeinflussung der individuellen Durchflussmenge je Spülstein und die Beeinflussung der Schlackenkonsistenz.



11

MgO-Träger-Zugabe und [C][O]-Produkt im Verlauf einer Converterreise
Slag composition variation and [C][O] product in a recent BOF campaign

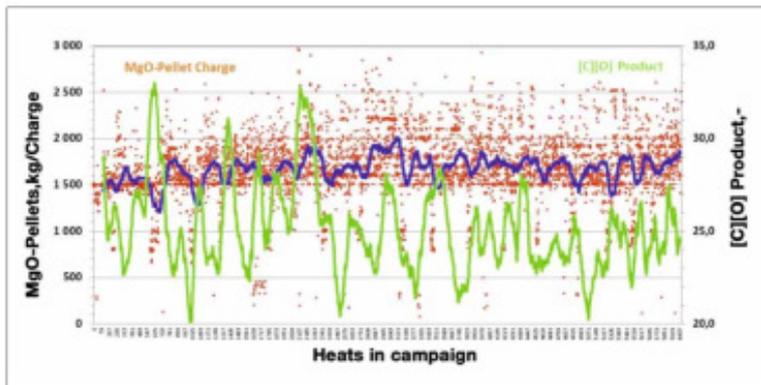
Für den Fall, dass ein Spülstein freien Zugang zur Schmelze hat, wird die Durchflussmenge auf $0,80 \text{ m}^3(\text{S.T.P.})/\text{min}$ herabgesetzt. Ist ein Spülstein vollständig mit Schlacke bedeckt und hat er keinen freien Zugang zur Schmelze mehr, wird die Durchflussmenge auf $1,2 \text{ m}^3(\text{S.T.P.})/\text{min}$ hochgesetzt, so lange, bis der Spülstein wieder frei ist. Die Art und Weise, wie mit der Durchflussmenge im Detail zu verfahren ist, ist in Arbeitsanweisungen für die Bedienungsmannschaft der Converter festgelegt, die Überwachung der Einhaltung ist Aufgabe des jeweiligen Schichtführers.

Darüber hinaus wird die Schlackenzusammensetzung in Abhängigkeit vom [C][O]-Produkt, dessen Entwicklung im Leitstand deutlich sichtbar angezeigt wird, verändert. Im Wesentlichen betrifft das den (%MgO)-Gehalt und die Basizität (%CaO)/(%SiO₂), wie das bereits in Bild 9 andeutungsweise zu sehen ist.

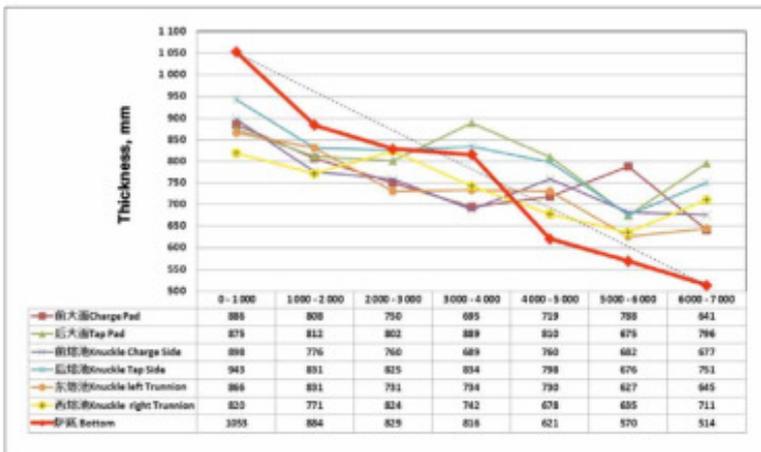
In Bild 12 sind das [C][O]-Produkt (grüne Linie) und die Zugabemenge an MgO-Pellets zur Schlacke

(blaue Linie) gemeinsam aufgetragen. Man erkennt, dass die MgO-Pelletzugabe umgekehrt proportional zum [C][O]-Produkt gefahren wird. Ist das [C][O]-Produkt niedrig, wird die MgO-Anreicherung der Schlacke erhöht; ist das [C][O]-Produkt hoch, wird die MgO-Anreicherung erniedrigt. Auch diese Vorgehensweise ist in Form von Arbeitsvorschriften für die Bediener so hinterlegt, dass Werte zwischen 20 bis 30 (max. 35) eingehalten werden sollen. Reicht die Beeinflussung des MgO-Gehaltes alleine nicht aus, wird die Basizität der Schlacke hin zu flüssigeren Schlacken verändert und umgekehrt. Wie man in Bild 12 sehen kann, ist es tatsächlich möglich, die metallurgischen Ergebnisse durch entsprechend frühes Gegensteuern in den gewünschten Grenzen zu kontrollieren.

Es bleibt festzustellen, dass mit dieser Arbeitsweise nicht der volle Effekt einer gut eingestellten Bodenspülung erreicht wird, aber im Vergleich zum Blasbetrieb mit Lanze alleine ein deutlich messbarer Effekt erreicht wird.



12
Verschleißprofil der feuerfesten Auskleidung im Verlauf einer Converterreise
Wear profile development in a recent BOF campaign



13
Ergebnisse für das [C][O]-Produkt bei „top blow only“- und „blow-stir“-Arbeitsweise im Converter
Oxidation degree of steel and slag in "top blow" and "blow-stir" operations

Im Bild 13 ist der Converterverschleiß gemittelt über jeweils 1000 Chargen in verschiedenen Bereichen der Auskleidung aufgetragen. Diese Messungen werden mithilfe einer Laserdistanzmessung zur Ermittlung der Restdicke der feuerfesten Auskleidung aufgenommen. Pro Tag und Converter wird ein Komplettskan durchgeführt. Dies entspricht einem Abstand von ca. 25 Chargen. Man sieht deutlich, dass die Verschleißgeschwindigkeit im Unterkonus, im Abstichbereich, im Chargierbereich und an den kritischen Zapfenbereichen durch das Slag Splashing in geringen Grenzen kontrolliert wird. Man sieht weiterhin an der roten Kurve, dass der Bodenverschleiß nahezu konstant auf einem Wert von 8,83 mm/100 Chargen gehalten wird. Bei einer Ausgangsdicke von 1000 mm im neu zugestellten Converter ermöglicht das eine erreichbare Haltbarkeit von mehr als 9500 Chargen in der laufenden Reise.

Bild 13 verdeutlicht auch, dass der Aufbau des Bodens in einer Größenordnung von 50 mm gehalten wird, wie an der Zunahme der Ausgangsdicke im Mittel der ersten 1000 Chargen abgelesen werden kann. Außerdem sieht man anhand der Verschiebung der Kurvenneigung, dass verschleißmindernde Maßnahmen und Gegenmaßnahmen zum Tragen kommen. Es bleibt noch zu erwähnen, dass die Werte für den Boden an den Spülerpositionen 4:00 Uhr um 8:00 Uhr aufgenommen wurden, also an einer Stelle, an der ein voreilender Verschleiß zu erwarten ist. Auch die Verschleißprofile demonstrieren den Erfolg der Arbeitsweise.

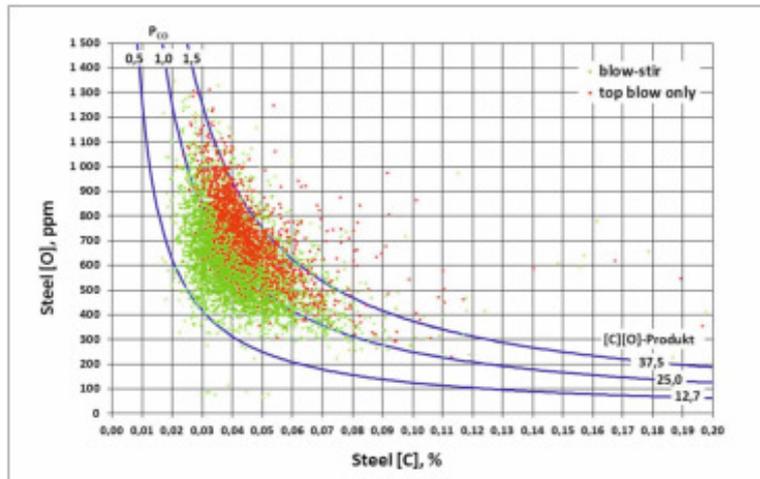
Vergleich der „blow-stir“- und „top blow only“-Arbeitsweise. Um die Verbesserung der metallurgischen Ergebnisse zu unterstreichen, wurden in das bereits diskutierte Bild 7 die Ergebnisse aus einem anderen Werk eingetragen, das nur mit der Topplanze und Slag Splashing arbeitet, Bild 14. Der Unterschied in den metallurgischen Ergebnissen ist sehr deutlich. Während nahezu alle Ergebnisse des „top blow only“-Werkes zwischen den beiden oberen beiden blauen Linien liegen, befinden eine große Anzahl der „blow-stir“-Werte im Bereich zwischen den unteren beiden Linien, der typisch für die Ergebnisse bei kombinierter Blasen ist.

Ähnliche Zusammenhänge können auch bezüglich der Entphosphorungsleistung angegeben werden, Bild 15. Das grüne Cluster der „blow-stir“-Ergebnisse ist bei gleicher Temperatur deutlich zu höheren Werten verschoben und lässt sich durch die in Bild 15 angegebene Berechnungsformel annähernd ermitteln. Das rote Cluster erreicht bei niedriger Temperatur ein ähnliches Niveau wie das grüne Cluster. Da aber die (%Fe)-Werte der roten Chargen tatsächlich bei 20 % und höher liegen, wird deutlich, dass das metallurgische Ergebnis in diesem Fall zu deutlich niedrigeren Werten oder deutlich geringerer Entphosphorungsleistung verschoben ist.

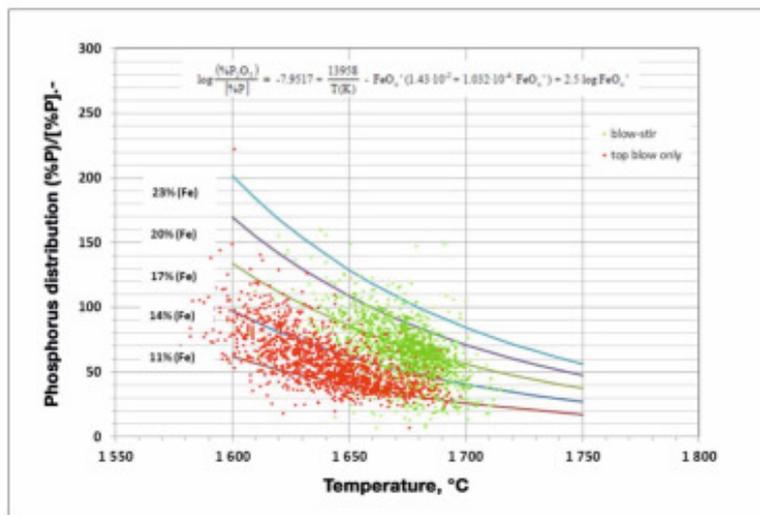
Fazit

Bodenspülen im Sauerstoffaufblaskonverter ist eine weltweit eingeführte Technologie zur Verbesserung der metallurgischen Ergebnisse im Prozess, wie z. B. niedriger Oxidationsgrad der Schlacke in Verbindung mit niedrigen Fe-Verlusten, niedrigem Verbrauch an Desoxidations- und Legierungsmitteln. Ein weiterer, wichtiger Effekt des Bodenspülens ist die Verbesserung der Entphosphorungsleistung durch die Intensivierung der Metall/Schlacke-Reaktion durch Umrühren.

Slag Splashing ist eine weltweit eingeführte Technologie zur Erreichung langer Converterreisen und hoher Feuerfestverfügbarkeit. Die Kombination von beiden Techniken wurde in der Vergangenheit



14 Vergleich der Entphosphorungsleistung bei unterschiedlicher Arbeitsweise
De-phosphorization efficiency in "top-blow" and "blow-stir" operations



15 Blick in den Meishan-Konverter Nr. 3 bei 6000 Chargen Lebensdauer
View into the Meishan furnace No. 3 at 6000 heats

oft versucht, scheiterte aber bisher immer wieder daran, dass bereits nach kurzem Betrieb mit Slag Splashing der Bodenaufbau durch Schlacke nicht mehr beherrscht werden konnte und die Wirksamkeit der Spülelemente durch die Schlackenüberdeckung stark eingeschränkt war.

In diesem Beitrag wurde eine betriebliche Praxis beschrieben, die beide Technologien erfolgreich anwendet und ein erstes, auf individueller Beurteilung basierendes System zur Regelung eines Gesamtoptimums entwickelt hat. Dieses System basiert im Wesentlichen auf einer gezielten Beeinflussung der Schlackenviskosität durch Variation von (%MgO)-Gehalt und Basizität (%CaO)/(%SiO₂). Mithilfe dieser Verfahrensweise ist es möglich, Konverterreisen von bis zu 10 000 Chargen mit effektiver Bodenspülung zu erreichen. Bild 5 zeigt einen Blick in den Meishan-Konverter No. 3 bei 6000 Chargen Lebensdauer.

Ein weiterer Erfolgsfaktor bei der Anwendung dieser Technologie ist der Einsatz spezieller Einlochspülelemente, die über eine ausgereifte Kombination von Verdichtern und Vorrattanks so abgesichert sind, dass eine absolut unterbrechungsfreie Versorgung der Spülelemente gesichert ist. Mithilfe dieser starken Spüler kann ein Bodenaufbau, wie er zur Verminderung der Verschleißgeschwindigkeit zwingend erforderlich ist, ohne Einschränkung der Wirksamkeit verkräftet werden. Ein weiterer Schlüsselfaktor für den Erfolg ist der Einsatz einer Einzelmengenregelung, mit deren Hilfe die einzelnen Spülelemente je nach Bedarf gezielt höher oder niedriger beaufschlagt werden können.

Auch im neuen 250-t-Stahlwerk von Meishan, das gerade in diesen Monaten in Betrieb geht, greift man wieder auf die bewährte Küttner-TBM-Technik zum Bodenspülen zurück.

Zhao Guoguang, Steelmaking Plant, Shanghai Meishan Iron & Steel Co., Jiangsu, China; Dipl.-Ing. Rainer Hüsken, Küttner GmbH & Co. KG, Essen, Germany; Dr.-Ing. Jürgen Cappel, Cappel Stahl Consulting, Essen, Germany.

juergen.cappel@cappel-consult.com

Literatur

- [1] Zhao, G.; Zuo, K.; Guo, Z.: Application and maintenance of TBM combined blowing technology in Meishan converter, Proc. 5th EOSC 2006, Aachen, 26. – 28. Juni 2006, S. 130/35.
- [2] Cappel, J.; Hüsken, R.; Fechner, R.: Iron Steel Tech. (2011) Nr. 11, S. 46/57.
- [3] Winterfeld, F.: LD-Prozess und kombinierte Blasverfahren, VDEh-Kontaktstudium 52/1992, Metallurgie des Eisens, Teil 2: Stahlerzeugung.
- [4] Krieger, W.: BMH 148 (2003) Nr. 7, S. 247/53.
- [5] Cappel, J.; Wünnenberg, K.: Iron Steel Tech. (2008) Nr. 11, S. 66/73; stahl u. eisen 128 (2008) Nr. 9, S. 55/66.
- [6] Stahlinstitut VDEh, Düsseldorf: „Plantfacts“ Datenbank, 2008.
- [7] Kollmann, T.; Jandl, C.; Schenk, J.; Mizelli, H.; Höfer, W.; Viertauer, A.; Hiebler, M.: Comparison of basic oxygen furnace gas purging options, RHI Bulletin (2012) Nr. 1, S. 8/15.
- [8] Chuckwulebe, B.; Klimushkin, A. V.; Kuznetsov, G. V.: Iron Steel Tech. (2006) Nr. 11, S. 45/53.
- [9] Jalkanen, J.; Kostomo, T.: Manual of Consim-5 oxygen converter simulation, University of Technology, Helsinki, Finland, 2005, S. 64.
- [10] AISI Steel Foundation [Hrsg.]: The Making, Shaping and Treating of Steel, 11. Aufl., Pittsburgh, USA, 1998.
- [11] Bruckhaus, R.; Lachmund, H.: Iron Steel Tech. (2007) Nr. 11, S. 44/50.
- [12] Donayo, R.; Data, A.; Gomez, A.; Balante, W.; Perez, J.: Decrease of fume emissions in the converter by new process for high silicon and phosphorus hot metal, 17th IAS Steelmaking Conference 2009, Campana, Buenos Aires, Argentinien.
- [13] Senk, D. et al.: Metallurgie-Umdruck, Publications of the IEHK, RWTH Aachen, 1994/1995.
- [14] Chigwedu, C.; Kempgen, J.; Pluschke, W.: stahl u. eisen 126 (2006) Nr. 12, S. 25/31.