

12. SubMag – Substitution von Magnesium bei der Entschwefelung von Gusseisen

Rüdiger Deike, Aron Brümmer, Andreas Kahrl, Bartosz Smaha (Universität Duisburg-Essen, Institut für Technologien der Metallen), Marc Walz, Robert Hentsch (Fritz Winter Eisengiesserei GmbH & Co.KG), Wolfgang Baumgart (OCC GmbH), Ulf Boenkendorf (Fels-Werke GmbH)

Projektlaufzeit: 01.11.2012 bis 31.01.2016

Förderkennzeichen: 033R102

ZUSAMMENFASSUNG

Tabelle 1: Zielwertstoff

Zielwertstoff im r ³ -Projekt SubMag
Mg

Die EU hat im Rahmen einer Rohstoffstrategie kritische Rohstoffe [EC 2014] identifiziert, für deren Versorgungssicherheit spezielle Konzepte entwickelt werden müssen. Zu diesen Elementen zählt auch Magnesium (Mg), das in Eisengießereien zur Herstellung von Gusseisen mit Vermiculargraphit (GJV) und Gusseisen mit Kugelgraphit (GJS) in Form von Eisen-Silicium-Magnesium-Legierungen oder als Reinmagnesium eingesetzt wird. Magnesium ist nicht aufgrund seiner physischen Verfügbarkeit als kritischer Rohstoff einzustufen, sondern weil heute ca. 85 % des weltweit produzierten Magnesiums aus China stammen [EC 2014].

In solchen Marktstrukturen ist die Preisgestaltung durch eine hohe Volatilität gekennzeichnet, sodass in einem marktwirtschaftlichen Wirtschaftssystem der kurzfristige Aufbau neuer Produktionskapazitäten durch existierende oder neu in den Markt eintretende Wettbewerber mit nicht zu kalkulierenden wirtschaftlichen Risiken verbunden ist und daher mit hoher Wahrscheinlichkeit unterbleiben wird. Eine dauerhafte Versorgungssicherheit der deutschen Eisengussindustrie ist unter solchen Bedingungen nur gegeben, wenn es im Rahmen einer nachhaltigen Innovation gelingt, Magnesium als Entschwefelungsmittel möglichst durch alternative heimische Rohstoffe zu substituieren.

Deshalb wurde in diesem Vorhaben untersucht, wie Magnesium, das nach der Entschwefelung in einer extrem dissipativen Struktur vorliegt und daher nicht mehr wirtschaftlich recycelt werden kann, durch ein anderes Produkt in Kombination mit einer neuen Technologie bei gleicher Funktionalität substituiert werden kann.

Die Innovation des Verfahrens beruht darauf, dass kalkbasierte Mischungen untersucht wurden, die eine ähnlich schnelle Entschwefelung erlauben wie die bisher verwendeten Legierungen auf der Basis von Eisen-Silicium-Magnesium (FeSiMg) bzw. Reinmagnesium.

Ausgehend von Laborversuchen über Technikums- bis hin zu Industrierversuchen wurden kalkbasierte Entschwefelungsmischungen zur Entschwefelung von Gusseisen getestet. Diese Arbeiten erlauben eine Abschätzung der technischen und ökonomischen Potenziale für eine industrielle Umsetzung.

I. EINLEITUNG

Im Jahr 2014 wurden weltweit 85,9 Mio. t Eisen-, Stahl- und Tempereguss (EST) [WC 2015] produziert, wobei 46 % der Produktion auf China entfielen. Deutschland ist mit 4,1 Mio. t Eisen-, Stahl- und Tempereguss im Jahr 2014 (Bild 1) die größte Gusseisen produzierende Nation in Europa.

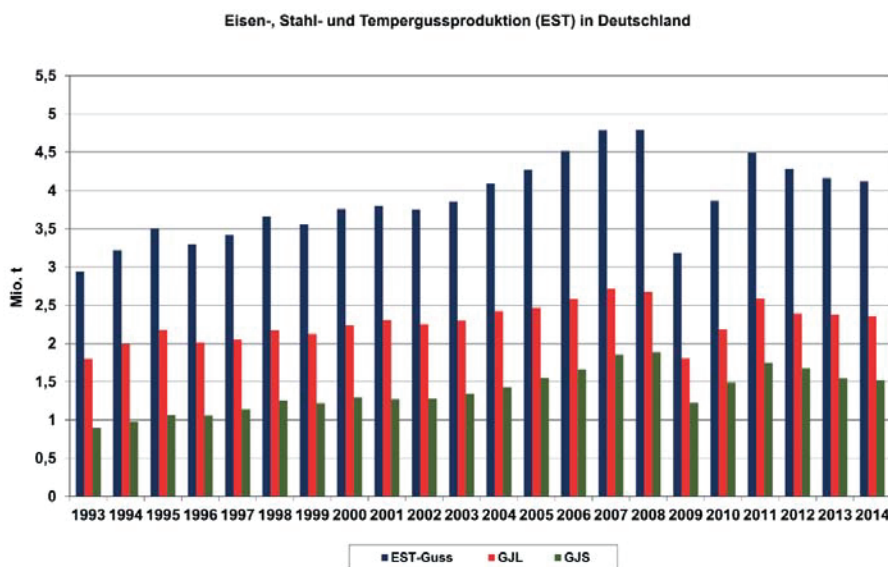


Bild 1: Entwicklung der Eisen-, Stahl- und Temperegussproduktion in Deutschland (Quelle: Deike, Uni Duisburg-Essen)

Die deutsche Eisengussindustrie ist mit einem Exportanteil von ca. 50 % eine international absolut wettbewerbsfähige Industrie. Das hat unter anderem zur Folge, dass Deutschland mit einer durchschnittlichen Gussproduktion von 47 kg/Kopf (China: 27 kg/Kopf) zu den sechs größten Eisenguss produzierenden Nationen (China, Indien, USA, Japan, Russland) auf der Welt gehört [Deike 2013].

Dies ist insbesondere vor dem Hintergrund zu erwähnen, dass Eisengießereien unter dem Aspekt „Green Economy“ absolute Spitzenunternehmen sind. Denn die Eisengussindustrie gehört – allerdings wenig beachtet von der Öffentlichkeit – und abgesehen von der Edel-

metallbranche, zu den ressourceneffizientesten Industrien. So ist es in der Eisengussindustrie seit Jahrzehnten Stand der Technik, aus Schrott, Kreislaufmaterial und sehr geringen Anteilen an Roheisen, das unter Umständen selbst auch ein Recyclingprodukt [Deike 2007] sein kann, qualitativ hochwertige Gussprodukte (Motorblöcke, Bremsscheiben, Schwenklager, Radträger) herzustellen, die häufig als Sicherheitsbauteile im Automobil- und Maschinenbau Anwendung finden. Neben dem nahezu 100%igen Einsatz von Sekundärrohstoffen werden insgesamt in der Größenordnung von ca. 1 – 5 % Legierungsmittel und Magnesium zur Herstellung von Gusseisen mit GJV und GJS und Impfmittel eingesetzt.

Mit 1,5 Mio. t GJS entfallen 37 % der EST-Gesamtproduktion in Deutschland auf diese Werkstoffgruppe, in der das Gusseisen zurzeit mit Magnesium entschwefelt wird, um in Kombination mit einer Impfbehandlung (Förderung der Keimbildung) die kugelförmige Ausbildung des Graphits einstellen zu können.

Durch die so erzielte kugelartige Ausbildung des Graphits zeichnet sich der Werkstoff GJS gegenüber dem Gusseisen mit Lamellengraphit (GJL), das nicht mit Magnesium behandelt wird, durch eine generell höhere Festigkeit bei gleichzeitig höherer Dehnung aus. Im Vergleich dazu bedingt die lamellenförmige Graphitausbildung beim GJL eine bessere Dämpfung (wichtig im Motorenbau) und höhere Wärmeleitfähigkeit (wichtig bei Bremsscheiben). Bei dem modernsten Werkstoff unter den Gusseisenqualitäten, dem GJV, wird durch eine wurmartige Graphitstruktur versucht, die Vorteile des GJS und des GJL in einem Werkstoff zu vereinigen.

Die Hauptanwendung des GJV (Tabelle 1) [Deike 2014] liegt im Antriebsbereich von Nutzfahrzeugen (Zylinderköpfe bzw. Zylinderkurbelgehäuse), aber auch im zunehmenden Maß im Antriebsbereich von Personenkraftwagen (Zylinderkurbelgehäuse).

Tabelle 2: Eigenschaften unterschiedlicher Gusseisenwerkstoffe (Quelle: Deike, Uni Duisburg-Essen)

Werkstoffe	Zugfestigkeit R _m in [MPa]	Bruchdehnung A in [%]	Elastizitätsmodul E in [kN/mm ²]	Wärmeleitfähigkeit λ in [W/mK]
(GJL)	140 – 450	0,8 – 0,3	78 – 143	50,0 – 43,5
(GJV)	300 – 575	1,5 – 0,5	140 – 185	45,0 – 35,0
(GJS)	300 – 900	22 – 2,0	169 – 176	36,2 – 31,1

Im Falle des Nutzfahrzeug-Zylinderkopfes kommt aufgrund der Kombination von thermischer und mechanischer Belastung die Zwischenstellung des GJV am wirkungsvollsten zum Tragen, da in diesem Bereich sowohl gute mechanische Eigenschaften als auch eine annehmbare Wärmeleitfähigkeit gefordert werden. Im Zuge der Gewichtsreduktion in der gesamten PKW- und Nutzfahrzeugindustrie wird zukünftig mit dem verstärkten Einsatz

von GJV-Produkten zu rechnen sein, da sie ein hohes Potenzial für Wanddicken- und somit auch Gewichtsreduktionen bieten, sodass selbst Leichtbauwerkstoffe wie Aluminium oder Magnesium in diesem Bereich substituiert werden können.

Ein besonderes Merkmal der Herstellung von GJV und GJS ist die Tatsache, dass durch eine Magnesiumbehandlung die Schwefelgehalte auf $< 0,02\%$ (im Vergleich zu ca. $0,1\%$ beim GJL) gesenkt werden müssen, da ansonsten nicht die gewünschten Graphitausbildungen beim GJV und GJS erreicht werden können. Weltweit werden Magnesiumbehandlungen in der Gießereiindustrie zur Herstellung von GJS derzeit fast ausschließlich mit zwei unterschiedlichen Arten von Rohstoffen durchgeführt:

1. Vorlegierungen auf Basis von Eisen-Silicium-Magnesium (3% – 7% Mg)

Da Magnesium bei Behandlungstemperaturen des flüssigen Eisens von 1.500 °C sehr reaktiv ist, wird es in Eisen-Silicium-Legierungen mit unterschiedlichen Magnesiumgehalten (nach Wünschen der Kunden) legiert, um durch den Verdünnungseffekt den Reaktionsablauf in gewissen Grenzen kontrollieren zu können. Diese FeSiMg-Legierungen werden mit zahlreichen Abwandlungen in einer Pfanne mit dem Gusseisen überschüttet oder über einen Fülldraht in die Schmelze eingespult.

2. Reinmagnesium

Für Gießereien, die von der Größenordnung her mehr als 40.000 t/a an GJS produzieren, kann sich unter Kostengesichtspunkten die Magnesiumbehandlung nach dem Georg-Fischer-Verfahren (GF) lohnen. Bei dem GF-Verfahren wird mit Reinmagnesium entschwefelt, wobei das Reinmagnesium in stückiger Form in einen Konverter gegeben wird. Diese Konverterbehandlung muss in speziell verschließbaren Kammern mit entsprechender Absaugung der Reaktionsgase erfolgen.

Magnesium, das zur Entschwefelung benutzt wird, liegt anschließend in einer ausgeprägt dissipativen Verteilung, überwiegend als Magnesiumoxid (MgO) vor, das durch Folgereaktionen des Magnesiumsulfids (MgS) mit dem Luftsauerstoff entstanden ist. Das in der Schlacke vorliegende MgO ist durch eine sehr hohe negative Standardbildungsenthalpie gekennzeichnet, sodass ein erheblicher Energieaufwand zur Reduktion des MgO notwendig wäre. Diese Tatsache in Kombination mit der dissipativen Verteilung ist der Grund dafür, dass das Magnesium unter diesen Bedingungen wirtschaftlich nicht mehr zurückgewonnen werden kann.

Bei einer derartigen Verwendung des Magnesiums kann eine Verbesserung der Rohstoffeffizienz und eine Verringerung des Versorgungsrisikos nur bedeuten, dass im Rahmen einer nachhaltigen Substitutionsstrategie versucht werden muss, Magnesium durch andere Elemente, unter Umständen in Kombination mit einer veränderten Verfahrenstechnik, zu ersetzen.

2. VORGEHENSWEISE

Durch dieses Vorhaben soll es zukünftig möglich sein, Magnesium durch die Anwendung kalkbasierter Mischungen in Kombination mit einer neuen Technologie bei gleicher Funktionalität der Entschwefelung zu substituieren.

Die Innovation des Verfahrens beruht auf der Entwicklung einer kalkbasierten Mischung zur Entschwefelung von Gusseisenschmelzen in der Gießereiindustrie. Kalkbasierte Mischungen werden auch in der Stahlindustrie eingesetzt, allerdings sind in einer Gießerei die folgenden extrem unterschiedlichen Rahmenbedingungen zu beachten:

- In einer Gießerei werden im Gegensatz zu einem Stahlwerk deutlich kleinere Pfannen (1 – 10 t / 150 – 350 t) benutzt, die dazu führen, dass die Schmelzen schneller auskühlen und somit nur begrenzte Reaktionsräume und Reaktionszeiten zur Verfügung stehen.
- In einer Gießerei wird im Gegensatz zu einem Stahlwerk die Entschwefelung kurz vor dem Abgießen der Schmelze in die Form durchgeführt, sodass keine großen Korrekturen mehr durchgeführt werden können. In diesem Zusammenhang muss gewährleistet sein, dass sich die bildende Schlacke gut von der Schmelze trennen lässt.

Dieses Vorhaben wurde in einer strategischen Partnerschaft zwischen Wissenschaft und Wirtschaft entlang der gesamten Wertschöpfungskette durchgeführt, da sowohl grundsätzliche wissenschaftliche als auch technische Fragestellungen untersucht werden mussten. Die Entschwefelung von Gusseisenschmelzen in der Gießerei zur Herstellung von GJV oder GJS ist eine Behandlung der Schmelze, die in einer definierten Zeit (< 10 min) und in einem definierten Temperaturbereich stattfinden muss. Damit eine vergleichbare Funktionalität gewährleistet ist, mussten eine hohe Reaktivität des Kalks in dem neuen Prozess realisiert und dafür folgende Aspekte berücksichtigt werden:

- Die Reaktivität des Kalks wird durch die Brennbedingungen bestimmt, Weich- und Hartbranntkalk zeichnen sich z. B. durch unterschiedliche Kristallitgrößen und Porenvolumina aus.
- Die Art und Weise der Zugabe muss gewährleisten, dass das Entschwefelungsmittel in der zur Verfügung stehenden Zeit die Schmelze entschwefelt.

Darüber hinaus waren aber im Rahmen einer Gesamtbetrachtung dieser neuen innovativen Technologie zur Erhöhung der Ressourceneffizienz auch die folgenden Fragestellungen zu berücksichtigen:

- Wie wirken sich die kalkhaltigen Schlacken auf die Standzeit der Feuerfestausmauerung der Pfannen aus?
- In welchen Mengen und Zusammensetzungen fallen die Entschwefelungsschlacken an und wie können sie entsorgt werden?
- Wie stark kühlen sich die Schmelzen durch die Entschwefelungsbehandlung ab?

In diesem Vorhaben hat der Kalkproduzent (Fels-Werke GmbH), vor dem Hintergrund seiner Erfahrungen aus der jahrzehntelangen Herstellung von Kalk, in einem kontinuierlichen Entwicklungsprozess optimierte Kalkmischungen für die Entschwefelung in der Gießereiindustrie hergestellt.

Diese verschiedenen Mischungen wurden durch das Institut für Technologien der Metalle der Universität Duisburg-Essen intensiv unter Labor-, Technikums- und letztendlich Betriebsbedingungen (Bild 2) untersucht.

In gemeinsamer Abstimmung mit der Fels-Werke GmbH und nach zwischenzeitlich erfolgten Optimierungen wurden Mischungen für den betrieblichen Einsatz identifiziert.

Der betriebliche Transfer des neuen Verfahrens in die Fritz Winter Eisengießerei GmbH & Co. KG wurde von der Fa. OCC GmbH federführend begleitet, da die OCC GmbH in der Gießereiindustrie über ein spezielles Know-how in der Regelungs- und Steuerungstechnik gießereitechnischer Prozesse verfügt.

Die Fritz Winter Eisengießerei GmbH & Co. KG, eine der weltgrößten Gießereien, stellte ihre Betriebsanlagen zur Verfügung und führte die betrieblichen Versuche und die damit einhergehenden Untersuchungen (chemische und metallographische Untersuchungen, Zugversuche etc.) durch.



Bild 2: Entschwefelungsversuche unter Labor- (a), Technikums- (b) und Betriebsbedingungen (c)

(Fotos: Kahrl, Brümmer, Uni Duisburg-Essen)

3. ERGEBNISSE UND DISKUSSION

Im Rahmen von Labor- und Technikumsversuchen wurde eine Vielzahl von kalkbasierten Entschwefelungsmitteln an einem selbst entwickelten Versuchsaufbau getestet, der die Erprobung von Kalkmischungen im Labormaßstab erlaubt. Besondere Aufmerksamkeit wurde hierbei einem geeigneten Verfahren zur Probennahme gewidmet, das die schnelle und reproduzierbare Analyse der Schwefelgehalte aus dem Metallbad erlaubt, ohne die Reaktionen zwischen Schmelze und Entschwefelungsmittel zu unterbrechen. Durch die Analysen der Schmelzen in 5 min Abständen konnten somit die Entschwefelungsverläufe exakt gemessen, dokumentiert und ausgewertet werden. Zusätzlich wurden die einzelnen Versuche in entsprechenden Videosequenzen dokumentiert.

Die Ergebnisse der Labor- und Technikumsversuche zeigen im Wesentlichen die folgenden Ergebnisse:

- Die Entschwefelung erfolgt nach der Aufgabe des Entschwefelungsmittels sehr schnell und kommt dann zum Stillstand [Deike 2015] bis die nächste Charge an Entschwefelungsmittel aufgegeben wird. Aus dieser Tatsache ist zu entnehmen, dass eine gleichmäßige und kontinuierliche Zuführung des Entschwefelungsmittels in optimierten Mengen sehr wichtig ist.
- Entschwefelungsmittel mit einer sehr feinen Körnung ($< 100 \mu\text{m}$) können unter Umständen einen geringeren Entschwefelungseffekt aufweisen als Entschwefelungsmittel mit einer gröberen Körnung (2 – 6 mm).
- Abstichtemperaturen oberhalb von $1.500 \text{ }^\circ\text{C}$ haben nicht unbedingt ein besseres Entschwefelungsergebnis zur Folge.
- An der Grenzfläche zwischen einem CaO-Korn und einer Gusseisenschmelze bilden sich Calciumsilikatphasen aus, die von Calciumsulfidschichten (Bild 3) umhüllt sein können.
- Mit Entschwefelungsmitteln ohne Magnesium auf Basis von CaO können Schwefelgehalte sehr schnell reduziert werden (Bild 4).

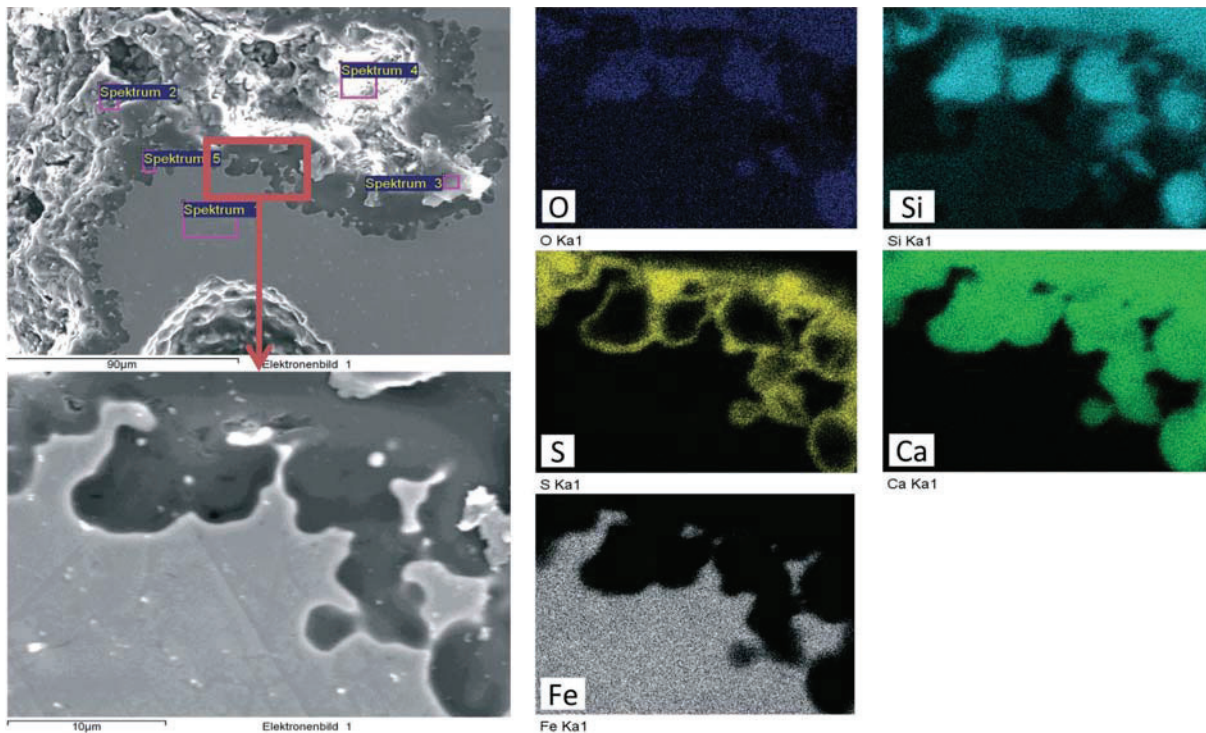


Bild 3: Elementmapping einer Reaktionsgrenzschicht zwischen CaO und einer Gusseisenschmelze
(Fotos: Brümmer, Uni Duisburg-Essen)

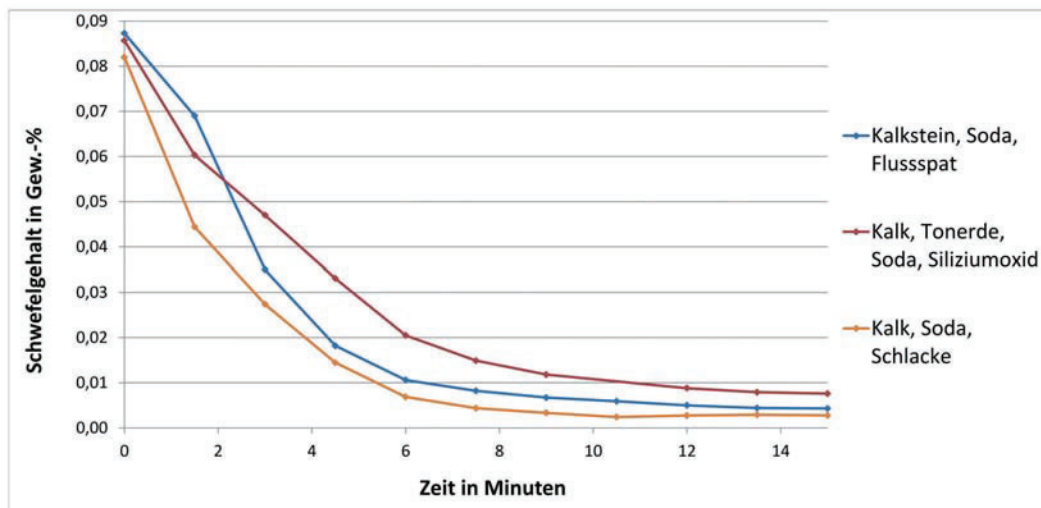


Bild 4: Schwefelabbau durch verschiedene untersuchte Entschwefelungsmittel
(Ein fehlender Wert in der dunkelroten Kurve basiert auf einer fehlerhaften Probe.)

Mit diesen Erkenntnissen aus den Labor- und Technikumsversuchen wurde eine ausgewählte kalkbasierte Mischung in einen Fülldraht verpackt und in einem Betriebsversuch über die Drahteinspulanlage der Firma Fritz Winter Eisengießerei GmbH & Co. KG der Gusseisenschmelze zugegeben.

Aus den Gefügebildern und den Zugfestigkeiten in Bild 5 ist ersichtlich, dass in den Versuchen 1, 2 und 4 hochfester GJS mit Kalk, Soda, Flussspat mit einer Zugfestigkeit von 736 MPa hergestellt werden konnte. Aus den beiden rechten Teilbildern (Pfanne 4) ist ersichtlich, dass ohne Probleme ausgehend von einem lamellaren Ausgangsgefüge ein Gusseisen mit Kugelgraphit hergestellt werden konnte. In dem mit Pfanne 3 bezeichneten Versuch wurde ein Calcium/Eisen-Draht der Schmelze zugegeben, der aber wider Erwarten nicht den gewünschten Entschwefelungserfolg gezeigt hat.

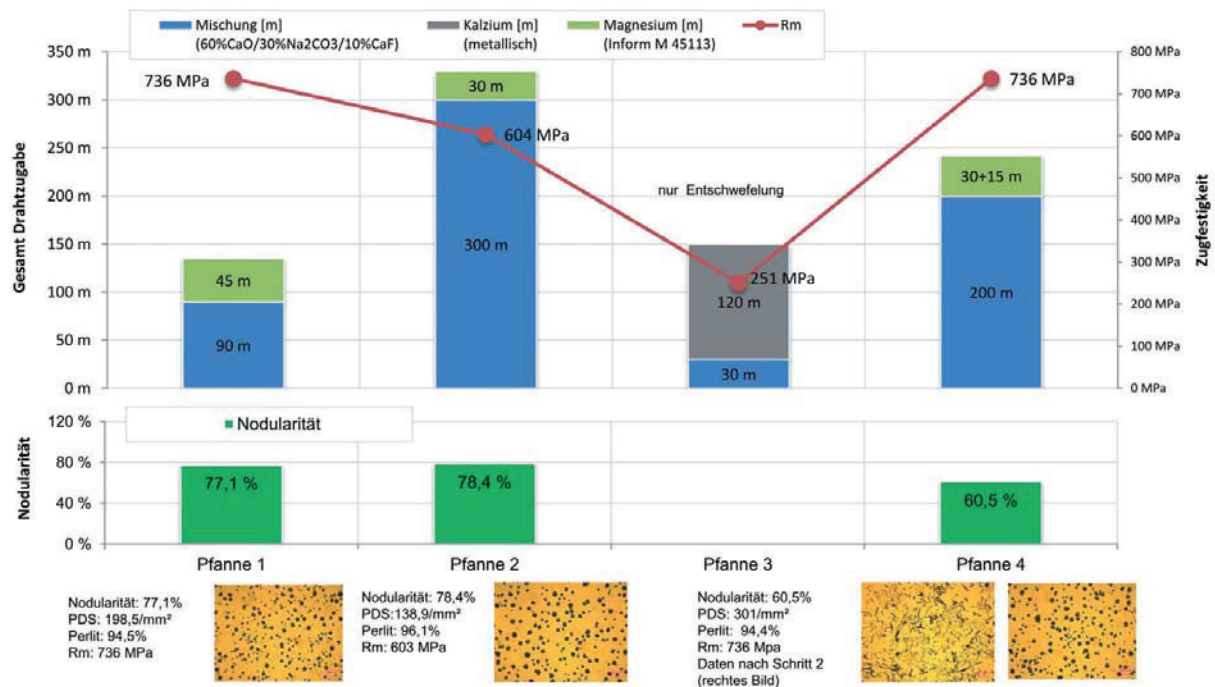


Bild 5: Gefügebilder und Zugfestigkeiten (Rm) von GJS-Proben nach unterschiedlichen Zugabemengen kalkbasierter Entschwefelungsmittel mittels eines Drahteinspulverfahrens (Quelle: Baumgart, OCC GmbH)

Die überzeugendsten Ergebnisse konnten in einem weiteren industriellen Versuch durch das Einblasen einer Entschwefelungsmischung in die flüssige Schmelze erzielt werden. Hierbei übertrafen sowohl die Ausbringung und die damit erreichten Schwefelendgehalte von unter 40 ppm als auch die überaus kurze Behandlungsdauer die Erwartungen bei Weitem.

Die industriellen Versuche (Bild 5) haben gezeigt, dass nach der Entschwefelung mit der Kalk-Soda-Flussspat-Mischung noch kleine Mengen an Magnesium (keimbildende Wirkung) nachgespült werden mussten, um das gewünschte Gefüge einstellen zu können. Diese kleine Menge ist möglicherweise bei allen kalkbasierten Mischungen notwendig, was allerdings noch weiter zu untersuchen ist, da das Magnesium bei der Bildung von Keimen [Deike et al. 2014a, Hag 2015] für die Graphitkristallisation vermutlich eine wichtige Rolle spielt.

4. AUSBLICK

Die Ergebnisse des Vorhabens SubMag zeigen, dass Magnesium als Entschwefelungsmittel durch ein neuartiges Entschwefelungsverfahren auf Basis von Kalkmischungen prinzipiell substituiert werden kann. Dies ist zudem mit geringeren Kosten und darüber hinaus auch unter der Verwendung von derzeit zu deponierenden Schlacken aus der Stahlindustrie und Abfallstoffen aus der chemischen Industrie möglich.

Durch die Vernetzung des r³-Vorhabens SubMag mit dem r³-Vorhaben CaF₂ konnte festgestellt werden, dass der in den kalkbasierten Mischungen enthaltene Flussspat (CaF₂) über Schlacken aus dem Elektroschlackeumschmelzverfahren, die derzeit deponiert werden müssen, oder über Rückstände aus der chemischen Industrie ersetzt werden kann. Flussspat gehört nach der Definition der EU [EC 2014] ebenfalls zu den strategischen Rohstoffen, für die ein Versorgungsrisiko identifiziert wurde. Durch die Verwendung der Schlacken aus dem Elektroschlackeumschmelzverfahren können somit die natürlichen Flussspatressourcen geschont und gleichzeitig die zu deponierenden Schlackenmengen verringert werden.

Moderne Gießereien, insbesondere auf den Großserienguss spezialisierte Gießereien für die Automobilindustrie, sind in die Lieferketten der Kunden eingebunden, sodass Verfahrensänderungen nur dann – auch bei noch so großen technisch-ökonomischen Potenzialen – möglich sind, wenn der gesicherte Produktionsablauf in keiner Weise gefährdet ist.

Vor diesem Hintergrund wäre ein weiteres Forschungsprojekt zu empfehlen, das sich dem Einblasen von kalkbasierten Mischungen widmet, sodass am Ende eine großtechnische Umsetzung im Produktionsablauf einer modernen Großseriengießerei realisiert werden kann.

Da die Entschwefelung mit kalkbasierten Mischungen mit der Entstehung nicht unerheblicher Abgasmengen verbunden ist, müssen entsprechende Absaugeinrichtungen konstruiert werden, die vom Prinzip her aber schon mit größeren Abgasmengen in der Stahlindustrie existieren. Des Weiteren sind die Einblasparameter entsprechend der eingesetzten Anlagentechnik zu optimieren. In diesem Zusammenhang ist es ebenfalls wichtig, den Prozess so zu optimieren, dass die Abkühlung der Schmelze durch das Einblasen der Mischungen in einem zu tolerierenden Bereich erfolgt.

Durch die Verwendung der kalkbasierten Mischungen entstehen größere Schlackenmengen als bei der Verwendung von Eisen-Silicium-Magnesium(FeSiMg)-Legierungen, die nach der Behandlung von der Oberfläche der Schmelze entfernt werden müssen. Die Schlackenkonsistenz wird zum einen durch die Zusammensetzungen der Mischungen und zum anderen durch die eingeblasene Menge an Entschwefelungsmittel bestimmt. Die Schlacken müssen so konditioniert werden, dass sie sich gut und vollständig entfernen lassen.

Da je nach verwendeter Schlacke die Schlacken Calciumfluorid (CaF_2) in entsprechenden Bindungen mit anderen Schlackenkomponenten enthalten können, müssen die Schlacken in Hinblick auf die Schlackeentsorgung sehr detailliert untersucht werden.

In der Eisengussindustrie sind Pfannen aufgrund häufiger Temperaturwechsel mit sauren Feuerfestmassen auf der Basis von SiO_2 ausgekleidet. Im Kontakt mit kalkhaltigen Schlacken geht die Standzeit durch entsprechende Reaktion zwischen CaO und SiO_2 drastisch zurück. Um diese Reaktionen zu vermeiden, müssen die Pfannen für eine Entschwefelung mit kalkbasierten Mischungen mit anderen Feuerfestmassen ausgekleidet werden. Hier sollten entsprechende Feuerfestsysteme untersucht und identifiziert werden, die einerseits eine adäquate Standzeit garantieren, aber auch für die häufigen Temperaturwechsel der Pfannen geeignet sind.

Mit dem hier entwickelten, neuartigen Verfahren zur Substitution von Magnesium bei der Entschwefelung von Gusseisen würde bei einer Implementierung in einen kontinuierlichen Produktionsprozess einer Großseriengießerei eine innovative und effiziente Technologie zur Ressourcennutzung existieren, da kritische Rohstoffe nicht mehr in dissipativen Strukturen verwendet werden. Die bei der Realisierung zu erwartenden Kosteneinsparpotenziale und die damit ebenfalls verbundene Versorgungssicherheit würden darüber hinaus der deutschen Gießereiindustrie Wettbewerbsvorteile verschaffen und ihr helfen, eine Spitzenposition im internationalen Wettbewerb zu verteidigen.

Liste der Ansprechpartner aller Vorhabenspartner

Rüdiger Deike Universität Duisburg-Essen (UDE), Friedrich-Ebert-Straße 12, 47119 Duisburg, ruediger.deike@uni-due.de, Tel.: +49 203 379-3455

Aron Brümmer Universität Duisburg-Essen (UDE), Friedrich-Ebert-Straße 12, 47119 Duisburg, aron.brümmer@uni-due.de, Tel.: +49 203 379-4256

Andreas Kahrl Universität Duisburg-Essen (UDE), Friedrich-Ebert-Straße 12, 47119 Duisburg, andreas.kahrl@uni-due.de, Tel.: +49 203 379-3451

Bartosz Smaha Universität Duisburg-Essen (UDE), Friedrich-Ebert-Straße 12, 47119 Duisburg, bartosz.smaha@uni-due.de, Tel.: +49 203 379-3648

Marc Walz Fritz Winter Eisengießerei GmbH & Co. KG, Albert-Schweitzer Straße 15, 35260 Stadtallendorf, Marc.Walz@fritzwinter.de, Tel.: +49 6428 78-840

Robert Hentsch Fritz Winter Eisengießerei GmbH & Co.KG, Albert-Schweitzer Straße 15, 35260 Stadtallendorf, Robert.Hentsch@fritzwinter.de, Tel.: +49 6428 78-6282

Wolfgang Baumgart Heraeus Electro-Nite GmbH & Co. KG, vormals OCC GmbH, Eickener Straße 111, 41063 Mönchengladbach, Wolfgang.Baumgart@occ-web.com, Tel.: +49 2161 948869-0

Ulf Boenkendorf Fels-Werke GmbH, Kalkwerk Kaltes Tal, Kaltes Tal 1a, 38875 Elbingerode, Ulf_Boenkendorf@fels.de, Tel.: +49 39454 58-249

Veröffentlichungen des Verbundvorhabens

[Deike et al. 2013] Deike, R.; Brümmer, A.: r³-Kick-off-Konferenz, r³-SubMag – „Entwicklung eines alternativen Entschwefelungsverfahrens in der Gießereiindustrie“. Vortrag, r³-Kick-off, Freiberg 17./18.04.2013

[Deike et al. 2014] Deike, R.; Brümmer, A.; Smaha, B.; Kahrl, A.: r³-Verbundprojekt „SubMag“. Vortrag, URBAN MINING Kongress & r³-Statusseminar, „Strategische Metalle. Innovative Ressourcentechnologien, Essen 11./12.06.2014

[Deike et al. 2014a] Deike, R.; Smaha, B.; Maqbool, S.: What is magnesium really doing in ductile iron production, Vortrag. 54th International Foundry Conference, Portorož, 19.09.2014

[Deike et al. 2014b] Deike, R.; Smaha, B.; Maqbool, S.; Reschke, C.: Was macht das Mg bei der Magnesium-Behandlung? Vortrag, Barbarafeier Universität Duisburg-Essen, Duisburg, 28.11.2014

[Deike et al. 2015] Deike, R.; Brümmer, A.; Smaha, B.; Kahrl, A.: Vortrag, r³-Abschlusskonferenz, „Die Zukunftsstadt als Rohstoffquelle – Urban Mining“, Bonn 15./16.09.2015

Quellen

[EC 2014] Report on Critical Raw Materials for the EU. Report of the Ad hoc Working Group on defining critical raw materials. Online verfügbar unter <http://ec.europa.eu/DocsRoom/documents/10010/attachments/1/translations/en/renditions/native>, zuletzt geprüft am 21.09.2015

[WC 2015] 49th Census of World Casting Production. Modern Casting, p. 26, December 2015

[Deike 2013] Deike, R.: Global raw material markets developments affecting iron foundries. Casting Plant & Technology, 3, pp. 36 – 41, 2013

[Deike 2014] Deike, R.: Eisenbasis Gusswerkstoffe. In: Bühlig-Polaczek, A.; Michaeli, W.; Spur, G. (Hrsg.): Handbuch Urformen, Edition Handbuch der Fertigungstechnik, HANSER Verlag, München 2014

[Deike 2007] Deike, R.; Dings, J.: Die Produktion von hochwertigem Gießereiroheisen aus eisenhaltigen oxidischen Reststoffen. Giesserei 94, Nr. 6, S. 198 – 205, 2007

[Hag 2015] Hagemann, U.; Smaha, B.; Maqbool, S.; Deike, R.: Nodular graphite in ductile iron, a scanning auger microscopy study. Postersession, 16th European Conference on Applications of Surface and interface Analysis, Grenada (Spain), 28.09.–01.10.2015