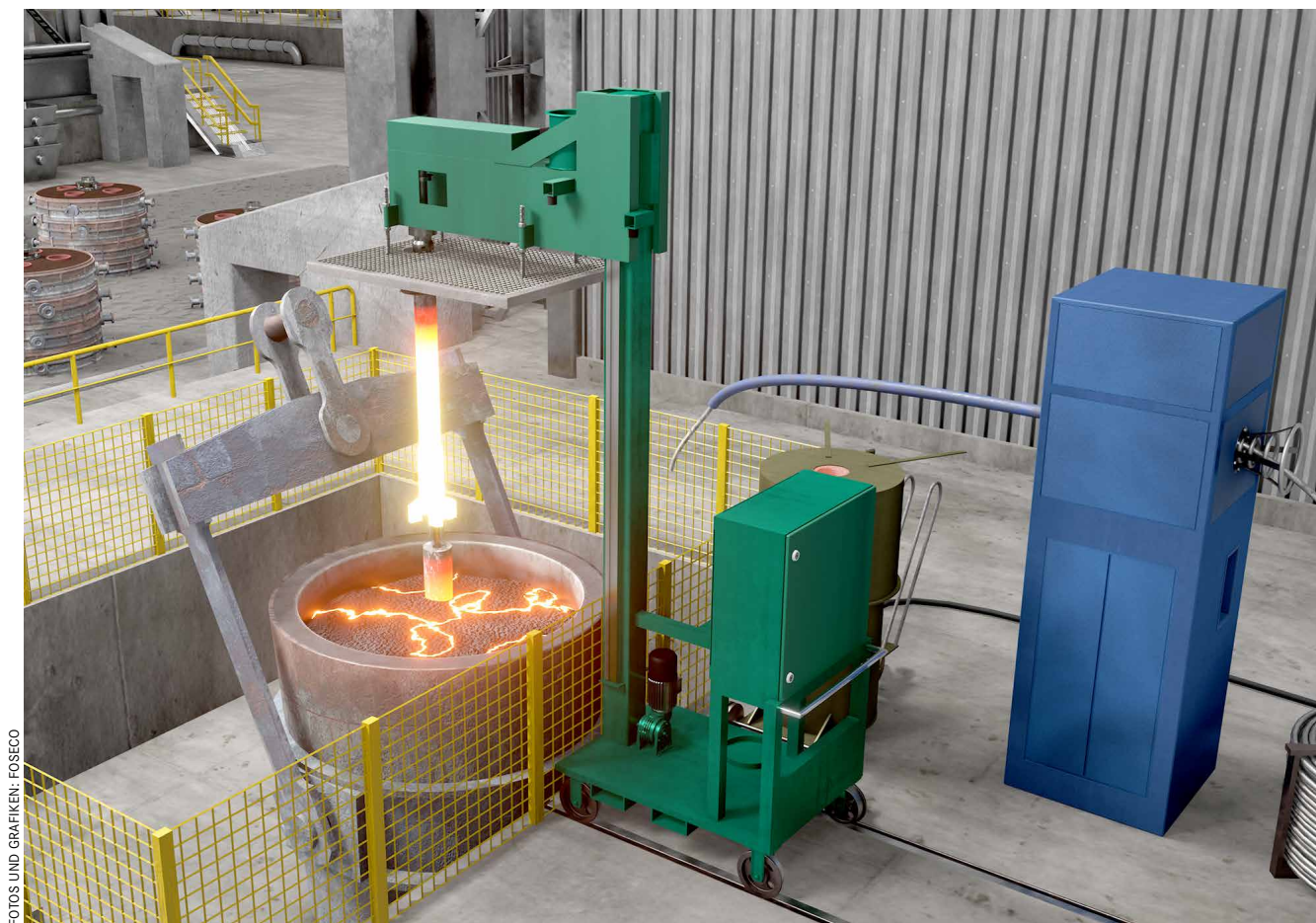




FOTOS UND GRAFIKEN: FOSECO

Verbesserung des metallurgischen Reinheitsgrades von Stahlguss durch die neu entwickelte Foseco Rotoclene-Technologie.

Nichtmetallische Einschlüsse

Vermeidung von Gussfehlern in Eisen-, Stahl- und Aluminiumguss

Nichtmetallische Einschlüsse in Gusstücken umschreiben allgemein eine Reihe von teilweise unerwünschten Gefügemerkmalen mit verschiedenen, überwiegend metallurgischen Ursachen. Dieser Beitrag bietet eine kurze Einführung über Arten und Ursachen sowie Erkennung und Vermeidung.

VON WOLFRAM STETS

Nichtmetallische Einschlüsse befinden sich in fast allen Gusstücken aller gängigen metallischen Gusswerkstoffe. Eine vollständige Vermeidung ist unter Beachtung einer wirtschaftlichen Herstellung in der Gießerei kaum möglich. Ab einer bestimmten Menge, Anordnung und / oder Größe, können sie jedoch bereits als Guss- bzw. Gefügefehler bezeichnet werden. Dies hängt davon ab, ob festgelegte Grenzen überschritten bzw. ver-

einbarte Werkstoffeigenschaften damit in Verbindung nicht mehr eingehalten werden. In jedem Fall ist es auch immer Ziel der gießtechnischen Fertigung, den Gehalt an nichtmetallischen Einschlüssen zu minimieren.

Was sind nichtmetallische Einschlüsse?

Obwohl es gängige und hinreichend bekannte Einschlussarten gibt (z. B. Schlacke, Sand und Oxide), deren Ursachen

bekannt sind, kann es in Abhängigkeit von der spezifischen gießtechnischen Herstellung schwierig sein, die konkrete Ursache von nichtmetallischen Einschlüssen aufzudecken, da häufig verschiedene voneinander abhängige und unabhängige Faktoren (Schmelze, Formstoff, Gießbedingungen) zusammenwirken [1]. Jede Diskussion über nichtmetallische Einschlüsse muss auch im Zusammenhang mit der Metallurgie geführt werden. Dieser Ansatz wird in der vorliegenden Veröffentlichung verfolgt, um die Arten und die Bildung so-

wie die Erkennung und die Vermeidung von nichtmetallischen Einschlüssen in einigen der am häufigsten gegossenen Metalle und Legierungen zu erörtern. Dabei handelt es sich um duktilen Gusseisen (Gusseisen mit Kugelgraphit), Stahl- und Aluminiumguss. Die Einschlüsse können exogener oder endogener Natur sein:

> Exogene Einschlüsse (**Bild 1**) werden durch Einträge ihrer Bestandteile von außerhalb in die Schmelze verursacht (z. B. Ofenauskleidung, Formsand oder Schlacken / Oxide im Einsatzmaterial).

> Endogene Einschlüsse (**Bild 2**) werden durch eine Reaktion des geschmolzenen Metalls oder der entsprechenden Legierungsbestandteile mit in der Schmelze gelösten Gasen (Sauerstoff, Schwefel oder Stickstoff) verursacht.

Aber auch hier ist die Realität komplexer und diese beiden Gruppen sind häufig nicht vollständig voneinander zu trennen. Zu den Grenzfällen gehören zum Beispiel Einschlüsse, die entweder durch Diffusion unerwünschter Elemente aus der Formsandwand in die Schmelze oder durch Reaktion der Schmelze mit Luftsauerstoff entstehen (zum Beispiel beim Gießvorgang). Die folgende Erörterung ist notwendigerweise ein unvollständiger Leitfaden zum Thema nichtmetallische Einschlüsse in Gusseisen mit Kugelgraphit, Stahl- und Aluminiumguss: Zu jeder Einschlussart gibt es mehr oder weniger zahlreiche Veröffentlichungen, die aber an dieser Stelle nicht alle zitiert werden sollen und können. Dieser Beitrag soll eine nützliche Einführung in einige der wichtigsten Arten und Ursachen von Einschlüssen sowie deren Erkennung und Verhinderung bieten sowie zu einer weiteren Sensibilisierung für dieses Thema führen.

Einschlüsse in Gusseisen mit Kugelgraphit

Arten und Ursachen

Gusseisenteile werden am häufigsten in verlorenen Formen aus Sand hergestellt. Diese Formen bieten eine kostengünstige und flexible Lösung für die Massenproduktion, sind jedoch auch eine häufige Quelle für Einschlussfehler. Einer Auswertung der zugänglichen Literatur zufolge machen Sandeinschlüsse zwischen 30 und 40 % des Ausschusses von Gussteilen aus [2]. Sie sind exogen und werden durch losen oder erodierten Formsand verursacht [3]. Dieser kann auch als Träger von weiteren Einschlüssen fungieren, z. B. von Schlackepartikeln, Resten bzw. Reaktionsprodukten von Mg-Behandlungs- und Impfmitteln, von Form- und Kernschichten oder auch von



Bild 1: Exogener nichtmetallischer Einschluss in Stahlguss.

Reaktionsprodukten von Bindemitteln. Die Menge solcher Verunreinigungen hängt unter anderem von der Qualität der Sandaufbereitung in der Gießerei und den Herstellungsbedingungen der Gießformen und -kerne ab. Trotz der Häufigkeit von Sandeinschlussfehlern sollte es in der Regel möglich sein, festzustellen, woher sie im System kommen, um Abhilfemaßnahmen zu entwickeln [3]. In jedem Fall ist eine sorgfältige Analytik der Sandmischungen von Gießformen und -kernen sowie der Formgrundstoffe anzuraten.

Ein zweiter häufiger nichtmetallischer Einschluss ist die Schlacke, die sowohl in Form von kleinen oder größeren Einschlüssen als auch in Form von Häuten (dem sogenannten Dross) vorkommen

kann (**Bild 3**). Der Dross (bestehend aus Magnesiumsilikaten) ist ein besonders gefährlicher Einschlussfehler in Gusseisen mit Kugelgraphit: aufgrund seiner flächigen Form kann er die lokalen mechanischen Eigenschaften von Gussteilen stark beeinträchtigen. Darüber hinaus können von eingeschlossenen Drosspartikeln bei zyklischer Bauteilbelastung Schwingbrüche ausgehen. Dross gehört hinsichtlich seiner Herkunft zu den oben erwähnten Grenzfällen, da sie überwiegend durch den Kontakt der Schmelzeoberfläche mit der Umgebungsluft verursacht werden.

Die Bildung einer (auch temperaturabhängigen) Schlackenschicht auf der Oberfläche von Gusseisenschmelzen ist eine unvermeidliche Folge der Magnesiumbe-



Bild 2: Endogene MgO-Einschlüsse in Gusseisen mit Kugelgraphit.

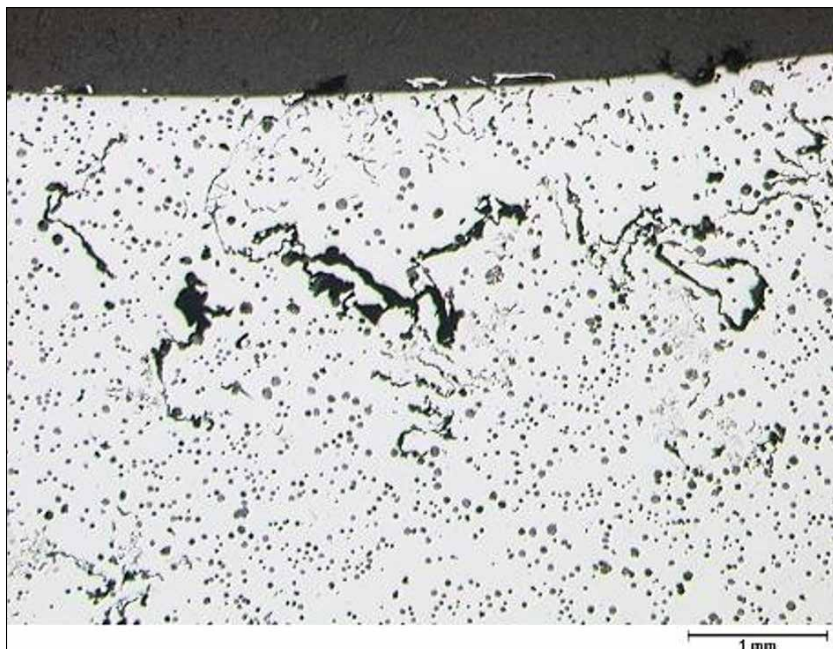


Bild 3: Drosseinschlüsse in Gusseisen mit Kugelgraphit.

handlung. Der Eintrag von Schlacke sowie die Bildung von Dross kann unter anderem durch eine angemessene Schlackenabtrennung vom Behandlungs- und Gießgefäß sowie durch ein geeignetes Gießsystem beeinflusst werden. Mehrere Faktoren können jedoch dazu führen, dass Schlackenhäute in den Guss mitgerissen werden bzw. dort entstehen und Einschlüsse im fertigen Stück verursachen:

- > unzureichende Verfahren zur Schlackenabscheidung,
- > übermäßige Schlackenbildung (z. B. durch die Verwendung von ungestrahltem Kreislaufmaterial und rostigem Stahlschrott als Einsatzmaterial [4]).
- > hoher Magnesium- und/oder Aluminiumgehalt,
- > Reoxidation der Schmelze aufgrund von Turbulenzen bei der Formfüllung.

Es muss von der Gießerei und dem Endkunden akzeptiert werden, dass Drosseinschlüsse nicht in jedem Bereich des Gussstücks vollständig verhindert werden können. Neben der Berücksichtigung der oben aufgeführten Punkte kann die Auswirkung auch dadurch vermindert werden, dass mechanisch höchst belastete Bereiche des Gussstückes nicht gleichzeitig drossgefährdete Bereiche sind (Gussstückoberseite, unterhalb von Kernen).

Neben Schlacken- und Drosseinschlüssen kann sich während der Erstarrung im Gefüge von Gusseisen mit Kugelgraphit auch Magnesiumoxid (MgO) bilden, da sich Magnesium in der Restschmelze kontinuierlich anreichert und mit gelöstem Sauerstoff reagiert (s. Bild 2). Durch diese Reaktion entstehen MgO-Partikel,

die als eindeutige endogene Einschlüsse identifiziert werden können. Größere MgO-Anteile im Gefüge können die zyklischen und dynamischen Eigenschaften des Gussteils negativ beeinflussen. Im metallografischen Schliff sind diese Einschlüsse als Poren sichtbar, da MgO sich bei der Präparation herauslöst.

Erkennung und Prävention

Dross- und Schlackeneinschlüsse treten am häufigsten in der oberen Hälfte des Gussteils und unter Kernen auf, da die leichteren Partikel auf natürliche Weise durch die Schmelze nach oben aufsteigen. Das Vorhandensein und die Dicke einer Dross-Schicht können mithilfe der Ultraschallprüfung bestimmt werden. Diese erfordert jedoch eine ebene Oberfläche des Gussteils und andere geometrische Bedingungen, um zuverlässige Signale zu bekommen. Ein Radius ist zum Beispiel viel schwieriger zu scannen. Drosseinschlüsse mit einer Verbindung zur Oberfläche (z. B. nach mechanischer Bearbeitung) können auch mit der Magnetpulver-(MT) oder der Eindringprüfung (PT) nachgewiesen werden.

Die oben beschriebenen MgO-Einschlüsse lassen sich aufgrund ihrer geringen Größe nicht zerstörungsfrei feststellen. Es muss eine metallografische Probe für eine entsprechende lichtmikroskopische Untersuchung präpariert werden. Vermeiden lassen sich auch diese Einschlüsse nicht vollständig, da sie infolge der prozessimmanenten Mg-Behandlung entstehen. Es ist die Minimierung durch einen möglichst niedrigen Mg-Gehalt und wirksames Impfen anzustreben.

Sandeinschlüsse lassen sich am besten durch eine ordnungsgemäße Herstellung und Vorbereitung der Formen vermeiden, angefangen bei der Verwendung von Sand geeigneter Qualität und ordnungsgemäß konstruierten, unbeschädigten Modellen über das korrekte Auftragen von Form- und Kernschichten, dem Ausblasen oder Absaugen der Form vor dem Gießen bis zur genauen Platzierung von Kernen und anderen Einsätzen. Der Anschnitt sollte so gestaltet sein, dass Turbulenzen und direktes Auftreffen der Schmelze auf die Oberfläche von Kernen minimiert werden [3].

Handlungsempfehlung

Da die Bildung von Schlacke und Dross ein unvermeidlicher Bestandteil des Gießens von Gusseisen mit Kugelgraphit ist, sollte es Ziel sein, ihr Vorhandensein im endgültigen Gussstück durch die folgenden bewährten Verfahren zu minimieren:

- > Schmelzen mit möglichst wenig Schwefel und Sauerstoff im Basiseisen:
 - Da der Schwefelgehalt weitgehend durch das Einsatzmaterial bestimmt wird, wird der Schwefelgehalt durch die Auswahl der Rohstoffe (z. B. Roheisen) gesteuert.
 - Der Sauerstoffgehalt wird auch durch den Zustand des Einsatzmaterials beeinflusst. Oxidierte Rohstoffe erhöhen die Sauerstoffkonzentration.
- > Magnesiumgehalt so niedrig wie möglich, d. h. unter 0,05 %.
- > Konditionierung und Entfernung von Schlacke (z.B. mit Foseco Slax Schlackebinder).
- > Verringern von Turbulenzen während der Formfüllung, um eine Reoxidation der Schmelze zu vermeiden.
- > Filtern der Schmelze während des Gießens, um Einschlüsse zu entfernen und Turbulenzen zu minimieren (z. B. mit Foseco Sedex-Filtern).
- > Gießtemperatur so hoch wie möglich einstellen (wobei klar sein muss, dass höhere Temperaturen ihre eigenen Probleme mit sich bringen, z. B. Schwindungsfehler).
- > Vorkonditionierung der Schmelze vor der Mg-Behandlung, z. B. mit einer bariumhaltigen Ferrosiliziumlegierung (z. B. mit Foseco Inoculin 390).

Stahlguss

Einschlussarten und Ursachen

Stahlguss kann auch exogene Schlackeneinschlüsse enthalten (s. Bild 1), die unter Umständen einen erheblichen Reparaturaufwand bedeuten (Schleifen, Schweißen und Wärmebehandlung). Sie entstehen durch die Reaktion von sauerstoffaffinen Elementen (z. B. Al, Ti, Ca) in der Schmel-

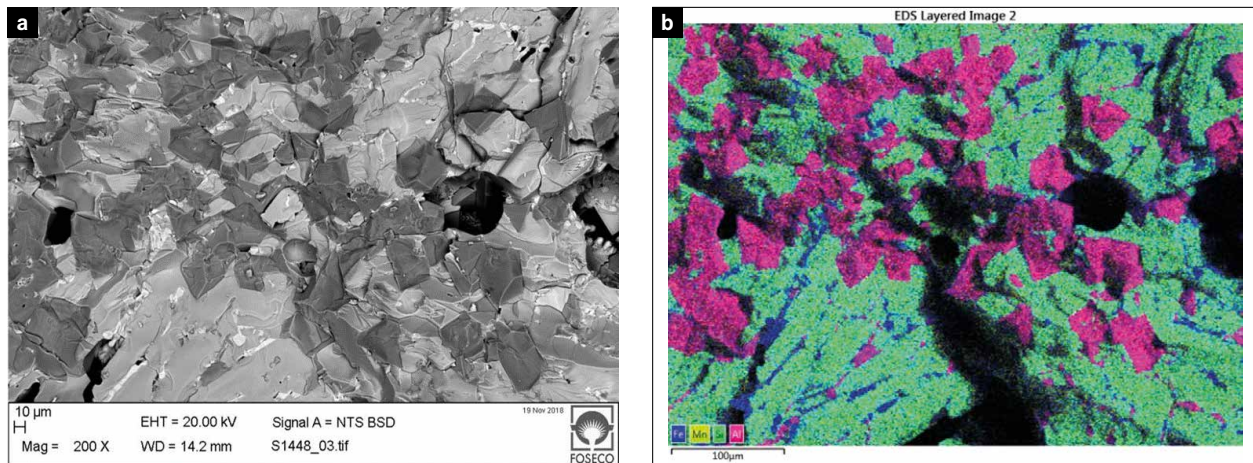


Bild 4: a) REM- und b) EDX-Analyse an einem exogenen Einschluss in Stahlguss, bestehend aus Schlacke und Bestandteilen des Feuerfestmaterials.

ze mit Luftsauerstoff während des Schmelzens und der Formfüllung. Auch Partikel aus feuerfestem Material (Ofen- und Pfannenauskleidung, keramische Hohlware) oder Produkte der Reaktion zwischen feuerfesten Materialien bzw. Formstoffbestandteilen und der metallurgisch bedingten Schlacke sind möglich. **Bild 4** zeigt das Ergebnis einer Energie-dispersiven Röntgenspektroskopie-Analyse (EDX) eines großen Einschlusses in einem Stahlgussstück, der durch die Verwendung einer ungeeigneten feuerfesten Auskleidung (Auswaschung des Ofenfutters) entstanden ist. Er besteht aus einer Mischung aus Schlacke und Bestandteilen des feuerfesten Materials des Schmelzofens. Schlackenhäute wie sie vom Gusseisen mit Kugelgraphit (Dross) und Aluminium bekannt sind, treten bei Stahlguss hingegen selten auf.

Wie bei GJS, werden auch beim Gießen von Stahl häufig Sandformen verwendet. Aufgrund der höheren Schmelzetemperaturen ($> 1550\text{ °C}$) werden hier aber besondere Anforderungen an die Hitze- und Reaktionsbeständigkeit des Sandes sowie der verwendeten Schlichte gestellt. Chromerz- oder Zirkonsand gehören dabei zu den wenigen geeigneten Materialien. Quarzsand sollte bei Stahlguss nur bei geringerer thermischer Belastung bzw. nur zum Hinterfüllen verwendet werden. Fehler durch Sandeinschlüsse stellen vor diesem Hintergrund für Stahlgießereien eine ähnliche Herausforderung dar wie für Eisengießereien. Grundsätzlich gelten hier die Aussagen zu sandbedingten Fehlern, wie im Abschnitt zu Gusseisen mit Kugelgraphit zu lesen ist.

Im Vergleich zu den exogenen Einschlüssen finden die endogenen nichtmetallischen Einschlüsse beim Stahlguss

häufig weniger Beachtung. Der Grund sind die durch die Entfernung und Reparatur der exogenen Einschlüsse verursachten offensichtlichen, hohen Kosten, die in Verbindung mit den endogenen Einschlüssen selten anfallen. Endogene Einschlüsse in Stahlgussteilen bestehen hauptsächlich aus Verbindungen von Sauerstoff, Schwefel und Stickstoff:

- > Aluminiumoxid ist ein Reaktionsprodukt der Stahldesoxidation und scheidet sich bereits in einem frühen Stadium aus der Schmelze aus. Je nach Desoxidationsmittel, können die Einschlüsse auch aus anderen, manchmal komplexen Verbindungen bestehen (CaO , MnO , TiO_2 usw.).

- > Mangansulfid wird aus der Schmelze ausgefällt, wenn Schwefel und Mangan in der metallischen Charge vorhanden

sind. Schwefel kann auch über schwefelhaltige Bindemittel aus den Formstoffen in die Schmelze eingebracht werden.

- > Nitride sind mikroskopisch und submikroskopisch im Mikrogefüge vorhanden. Stickstoff kann im metallischen Einsatz enthalten sein, im Schmelzprozess selbst aufgenommen bzw. durch den Formsand eingetragen werden.

- > Wenn der Stickstoff- und Aluminiumgehalt zu hoch ist und die Abkühlungszeiten zu lang sind, scheidet sich Aluminiumnitrid an den Primärkorn Grenzen aus und kann zu „Muschelbruch“ führen.

Die Einschlüsse sind in der Regel klein ($< 0,1\text{ mm}$), können sich jedoch zu größeren Ansammlungen zusammenschließen (**Bild 5**). Ihre Menge bestimmt

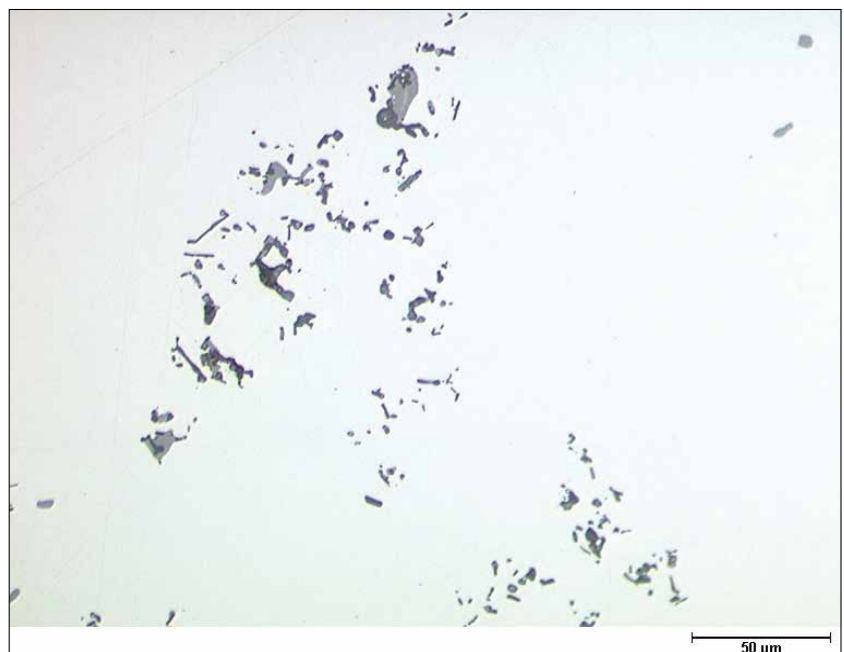


Bild 5: Nichtmetallische Einschlüsse in Stahlguss können zu größeren Clustern aggregieren.



Bild 6: Oxidhaut in einem Aluminiumgussstück.

den metallurgischen Reinheitsgrad des Stahls. Mit zunehmendem Anteil an nichtmetallischen Einschlüssen sinkt die statische und dynamische Zähigkeit von Stahlguss, insbesondere bei wärmebehandelten Stählen mit hoher Festigkeit (niedrig legierte Vergütungsstähle). Darüber hinaus können nichtmetallische Einschlüsse in Gussstücken aus rost- und säurebeständigen Stählen deren Korrosionsbeständigkeit reduzieren (Lochkorrosion).

Nichtmetallische Einschlüsse in der Randzone von Stahlgussstücken entstehen, wenn aus dem Formstoff Schwefel oder Stickstoff in die Gussstückoberfläche eindiffundieren und es zur Entstehung von Sulfiden oder Nitriden kommt. Dieser Mechanismus kann ablaufen, wenn ungeeignete Bindemittel mit zu hohem S- bzw. N- Gehalt eingesetzt werden. Solange die betroffene Gussoberfläche mechanisch abgearbeitet wird, ist dies ohne Belang. Ansonsten kann es beim späteren Einsatz des Gussstückes vor allem beim Anlegen von oberflächennahen Biegespannungen in der Gussrandzone zu einer Risseinleitung kommen.

Detektion und Prävention

Aufgrund ihrer Größe lassen sich exogene nichtmetallische Einschlüsse in den meisten Fällen (u. a. bestimmt durch das Verhältnis von Partikel- zu Gussstückgröße) durch zerstörungsfreie Prüfungen gut nachweisen (Ultraschall- bzw. Röntgenprüfung) und dann entsprechend ausbessern. Endogene Einschlüsse in Stahl lassen sich im Allgemeinen nicht mit zerstörungsfreien Methoden identifizieren und quantifizieren. Die Bewertung erfordert

die Entnahme einer metallografischen Probe, entweder zur Analyse vor Ort durch Vergleich mit einer Referenzprobe bzw. mit Bildern, oder durch EDX-Analyse in einem Werkstofflabor. Solche quantitative EDX-Analysen werden zum Beispiel durch Vesusius Labore in den Niederlanden oder den USA für Foseco Kunden durchgeführt. Diese spezielle Art der Analyse wird als Vmet-Analyse bezeichnet [5].

Auch bei Stahlguss ist eine vollständige Vermeidung von Fremdeinschlüssen nicht möglich. Das Ziel besteht darin, diese Einschlüsse zu minimieren. Dies kann mit den folgenden bewährten Maßnahmen bzw. Verfahren erreicht werden:

- > Verwendung von möglichst sauberen Einsatzstoffen (rost- und sandfrei).
- > Korrekte Temperaturkontrolle und Abdecken des Tiegels während des Schmelzens, um die Stickstoff- und Sauerstoffaufnahme zu verringern.
- > Entschwefelung und Entfernung von Einschlüssen (z. B. mit der Foseco Rotoclone-Technologie).
- > Sekundärmetallurgie mit einem Konverter.
- > Zugabe eines auf den spezifischen Sauerstoffgehalt der Schmelze abgestimmten Desoxidationsmittels.
- > Verwendung von schwefel- und stickstoffarmen Bindemitteln für die Herstellung der Sandformen.
- > Konditionierung und Entfernung von Schlacke (z.B. mit Foseco Slax-Schlackenbinder).
- > Filtern der Schmelze während der Formfüllung (z. B. mit Foseco Stalex-Filtern).
- > Minimierung des Kontakts zwischen

der Schmelze und der Luft, um eine Reoxidation zu vermeiden (z. B. durch den Einsatz der Foseco Shroud-Technologie).

Aluminiumlegierungen

Arten und Ursachen

Die am häufigsten vorzufindenden nichtmetallischen Einschlüsse in Gussstücken aus Aluminiumlegierungen sind oxidische Verbindungen, darunter Aluminium- und Magnesiumoxid sowie Spinell (Dialuminium-Magnesiumtetroxid). Diese können in Form von Filmen, Bruchstücken, Partikeln oder Clustern vorliegen. Oxidfilme und -partikel können während des Chargierens und Schmelzens, der Schmelzebehandlung und der Handhabung der Schmelze eingebracht oder erzeugt werden (Bild 6). Letzteres schließt auch das auf der Pfanne oder den Rotoren angesammelte Aluminiumoxid ein, das in die Schmelze gelangen kann, wenn es zwischen den Anwendungen nicht angemessen entfernt wird. Oxidische Einschlüsse können entweder endogen oder exogen sein, manchmal handelt es sich auch um Grenzfälle.

Darüber hinaus kann der Oxidgehalt sowohl abhängig von der spezifischen Aluminiumlegierung als auch von dem verwendeten Aluminiumvormaterial stark variieren, selbst wenn ähnliche Chargier- und Schmelzverfahren angewendet werden. Demzufolge können dieselben Legierungen aus verschiedenen Schmelzen auch unterschiedliche Oxidgehalte enthalten. So weist jede Aluminiumlegierung nach dem Einschmelzen eine Vielzahl fein verteilter kleiner Partikel auf, die im Volumen schweben, sowie eine Schicht von Krätze auf der Schmelzeoberfläche. Andere übliche endogene Einschlüsse sind Boride, Karbide, Nitride und intermetallische Verbindungen [6]. Intermetallische Verbindungen (z. B. auf der Grundlage des Eisengehalts der Schmelze) sind keine eigenständigen nichtmetallischen Einschlüsse, aber dennoch unerwünscht, da sie die Zähigkeit des Materials negativ beeinflussen. Sie können bei der Verwendung von Sekundäraluminium auftreten, wenn es einen höheren Eisengehalt aufweist.

Die Quellen für exogene Einschlüsse reichen von der Zersetzung des Feuerfestmaterials (z. B. in den Ofenwänden, Transferpfannen, Gießbrinnen, Steigrohren und Fülltrichtern) oder der Kokille bis hin zu Verunreinigungen in den Chargiermaterialien. Schließlich können auch Salzurückstände und Schlämme zu den exogenen Einschlüssen gezählt werden. Es ist bekannt, dass Einschlüsse in Al-Schmelzen die mechanischen Eigenschaften drastisch verringern können (Bild 7). Au-

Berdem können sie den Schmelzfluss in der Form und das Speisungsverhalten während der Erstarrung negativ beeinflussen. Exogene Einschlüsse können des Weiteren die Bearbeitbarkeit der entsprechenden Gussstücke verschlechtern.

Erkennung und Prävention

Es gibt mehrere Möglichkeiten, Einschlüsse in Aluminiumlegierungsschmelzen mithilfe von Ultraschall- und Filtrationsmethoden zu erkennen. Zu nennen wären hier zum Beispiel die Verfahren MetalVision, PreFil und PoDFA, die allerdings in der täglichen Arbeit in der Gießerei kaum Anwendung finden.

Eine quantitative Analyse auf Grundlage einer mikrostrukturellen Untersuchung von (erstarrten) polierten Aluminiumschnitten ist ebenfalls möglich. Bei dieser Methode, die bereits im Abschnitt zu Stahlguss erwähnt wird, wird ein Rasterelektronenmikroskop mit einem automatischen Tisch und einem EDX-Detektor verwendet, um Defekte zu scannen und Größe, Morphologie, Verteilung und Zusammensetzung mit einer speziellen Software zu messen [5]. Vesuvius bietet diese Methode ihren Kunden an, um die Effizienz ihrer Metallreinigungstechnologie zu bewerten.

Da geschmolzene Aluminiumlegierungen besonders anfällig für Oxidation sind, ist es beim Gießen von geschmolzenem Aluminium wichtig, geeignete Maßnahmen und Verfahren einzuführen, um eine möglichst saubere Schmelze zu erhalten. Dies nimmt an Bedeutung zu, da die Verbraucher von Aluminiumgussteilen immer höhere Qualitätsanforderungen stellen. Zu den in Betracht zu ziehenden Maßnahmen gehören:

- > Sicherstellung einer sauberen Schmelze mit sauberem Ausgangsmaterial und regelmäßiger Reinigung der Ausrüstung.
- > Schmelzereinigung mit Salzen / Entgasungsbehandlung (z. B. Foseco FDU-Entgasungseinheit und Coveral-Reinigungsmittel).
- > Verfahren zur Verringerung der Turbulenzen beim Schmelzetransfer und beim Gießen.
- > Vermeidung von Schmelzeturbulenzen bei der Formfüllung.
- > Schmelzefiltration (z. B. Foseco Sivex-Filter).

Schlussfolgerung

Sauberes Gießen und damit die Verringerung des Anteils nichtmetallischer Einschlüsse bringt eine Reihe von Vorteilen für die Gießerei und ihre Kunden:

- > höhere Werkstoffausbringung sowie

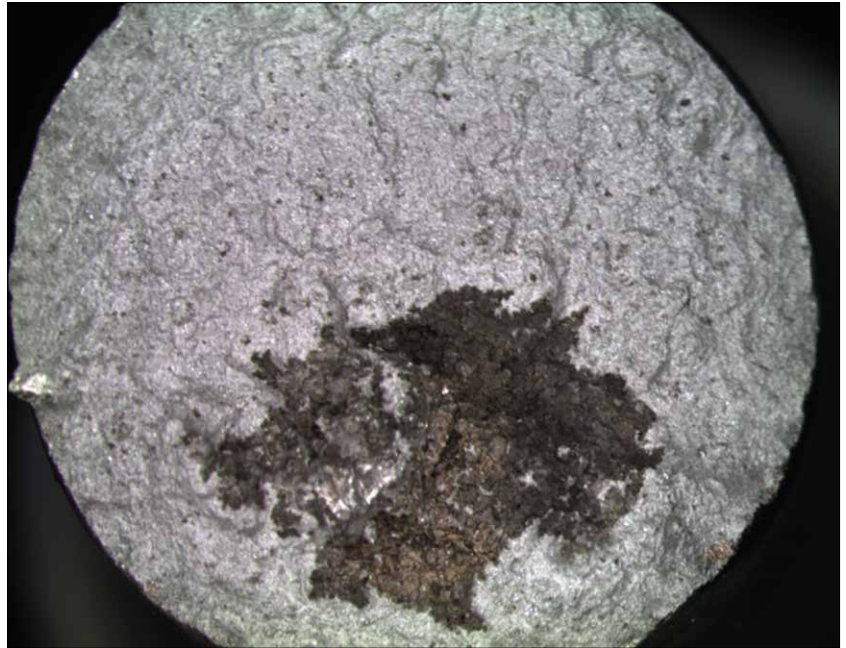


Bild 7: Große Oxidhaut auf der Bruchfläche einer im Zugversuch vorzeitig versagten Aluminiumgussprobe.

kürzere Durchlaufzeiten durch geringere Nacharbeit und dadurch geringere Kosten,

- > bessere Oberflächenqualität und mechanische Bearbeitbarkeit der Gussstücke,

- > bessere mechanischen Eigenschaften der finalen Bauteile im Vergleich zu Produkten mit einem höheren Gehalt an nichtmetallischen Einschlüssen,

- > bessere CO₂-Bilanz bzw. geringere Umweltbelastung durch höhere Energie- und Materialeffizienz,

- > dadurch insgesamt bessere Wettbewerbsfähigkeit.

Um diese Vorteile nutzen zu können, müssen die Gießereien jedoch Maßnahmen zur Minimierung nichtmetallischer Einschlüsse ergreifen. Wie diese kurze Behandlung des Themas zeigt, stellt dies eine vielschichtige Herausforderung dar, die nicht nur einen genauen Einblick in den gesamten Gießereiprozess - von der ersten Beschickung des Ofens bis zur Erstarrung in der Form - sondern auch in die besonderen Bedingungen der jeweiligen Gussanwendung erfordert.

www.vesuvius.com

Dr. Wolfram Stets, International Technology Manager Metal Treatment, Foseco Nederland B.V., Borken. wolfram.stets@vesuvius.com

Literatur:

[1] Gallo, R. "I Have Inclusions! Get Me the Cheapest and Best Flux for Cleaning My Melt!" - Is This the Best Driven, Cost-Saving Approach by a Foundry? 121st Metalcas-

ting Congress, Milwaukee, Wisconsin, 2017, Paper 17-106.

[2] *International Journal of Mechanical Engineering and Technology* (2015), vol 6(9), pp. 30-42.

[3] *Foundry Practice*, no. 212 (1986), S. 11-15.

[4] Labrecque, C. et al., *Effect of Charge Materials on Slag Formation in Ductile Iron Melts*, *Proceedings of the Keith Mills Symposium on Ductile Cast Iron* (2003).

[5] *Foundry Practice*, no. 265 (2018), pp. 31-36.

[6] Gallo, R.: *Molten Aluminum Cleanliness-25 Years in Review*, 121st Metalcasting Congress, Milwaukee, Wisconsin 2017. Paper 17-105.

1/8 Seite

54 x 74

Bobe