

Herausforderungen bei der Entfernung von gelösten und dispergierten Verunreinigungen

Der Gehalt an Einschlüssen entscheidet maßgeblich über die Produktqualität einer Aluminiumlegierung. Einschlüsse beeinflussen die mechanischen Eigenschaften, die Formbarkeit und die Oberflächenqualität und müssen daher entfernt werden, um die gewünschten Produktqualitäten zu erreichen, wie Bernd Friedrich vom IME RWTH Aachen University in seinem Eingangsstatement zum Thema „Challenges in removal of dissolved and dispersed Impurities“ herausstellte.

Einschlüsse stammen aus den unterschiedlichsten Quellen der einzelnen Prozessstufen. Bei der Schmelze im Recyclingofen treten neben metallischen Verunreinigungen des entweder in Schredder- oder Ballenform verwendeten Schrotts, alle möglichen Oxide, Karbide, Nitride, Wasserstoff und Halogene auf. Doch auch bei der Elektrolyse von Primäraluminium, bei der späteren Ofenbehandlung, im Schmelzofen der Gießerei, in Knüppelgießanlagen und beim Walzbarrengießen: Auf jeder Stufe der Flüssigphase kommen neue Oxide hinzu.

Gelöste und dispergierte Verunreinigungen kommen in Aluminium in unterschiedlichen Formen und Morphologien vor und beeinflussen die Produktqualität. Sowohl die gelösten wie die dispergierten Verunreinigungen müssen möglichst entfernt werden. Für die meisten gelösten Metalle ist Verdünnung der Stand der Technik zur Reinigung.

Dispergierte nichtmetallische Einschlüsse (Non metallic Inclusions, NMIs) zeichnen sich durch eine Vielfalt und unvorhersehbare Verteilung aus. Die Hauptmechanismen der Einschlusserzeugung von NMIs sind Pigmente, Feuerfestmaterialien, Atmosphäre, Legierungselemente und Einsatzstoffe.

Einschlussmerkmale wie Größenbereich, Benetzbarkeit und Konzentration sowie Bewegung und Interaktion innerhalb von Schmelzen beeinflussen die Entfernungs- und Erkennungseffizienz. Abschließend hält Friedrich fest, dass die Schmelzereinigung vor größeren Herausforderungen steht, je mehr sekundäre Al-Quellen zur Aluminiumproduktion herangezogen werden. Um den Entfernungsprozess besser gestalten zu können, muss das Verhalten der Partikel in der Schmelze besser verstanden werden. Dazu bedarf es feinerer Nachweismethoden, um eine solide Grundlage für die Verbesserung des Entfernungsprozesses zu schaffen.

Ultraschall-Partikel-Detektor für nichtmetallische Einschlüsse

Um qualitativ hochwertige Gussteile zu produzieren, ist es notwendig, die Schmelzequalität zu bestimmen. Gängige Messtechnologien wie LiMCA, PoDFA und MetalVision etc. können zwar nicht-metallische Einschlüsse in Aluminium Schmelzen bestimmen, jedoch existiert keine schnelle, kostengünstige und genaue Messtechnik für den industriellen Einsatz. Hauptziel eines Projektes am Gießerei-Institut der RWTH Aachen University sowie dem Fraunhofer Institut IZFP in Saarbrücken war die Entwicklung eines Ultraschall Detektors für nicht-metallische Einschlüsse in Aluminiumschmelzen, worüber Friederike Feikus vom Gießerei-Institut in ihrem Vortrag „Ultrasonic Particle Detector for non metallic inclusions“ berichtete.

Die Ausgangslage: Messtechniken für Flüssigmetall-Einschlüsse. Die meisten Messtechniken sind entweder zu kostspielig und/oder nicht in der Lage, effektiv große Mengen an Schmelze mit

ausreichend hoher Auflösung zu messen. Es gibt nur wenige Methoden, mit denen ein großes Spektrum an Einschlussgrößen schnell detektiert werden kann, wie Feikus feststellte.

Mit der Entwicklung eines Ultraschall Detektors für nicht-metallische Einschlüsse in Aluminiumschmelzen sollte ein Verfahren zur Industriereife geführt werden, dass genau, zuverlässig und schnell ist und dabei noch kostengünstig. Der am Institut entwickelte Ultraschall-Partikeldetektor wurde in Benchmark-Versuchen zur Untersuchung von Knet- und Gusslegierungen herangezogen und lieferte überzeugende Ergebnisse. Der Ultraschall-Aufbau erfasst Änderungen der Partikelkonzentration mit einer guten Korrelation zu LiMCA- und PoDFA-Ergebnissen. Das System ist in der Lage, Partikel in Al-Schmelzen über einen weiten Konzentrationsbereich zu erfassen. Die Detektion von Einschlüssen mit einer Größe $>20\mu\text{m}$ ist möglich.

Zusammenfassend kann Gießereiexpertin Feikus für den Ultraschall-Detektor festhalten: Eine gute Übereinstimmung zwischen LIMCA- und Ultraschall-Zählungen konnte festgestellt werden. Ultraschall-Zählungen oberhalb des Lärmpegels an jedem Messpunkt stimmen eher mit den LIMCA-N20-Werten überein. Ultraschall-Zählungen oberhalb der 20%-Schwelle stimmen eher mit den LIMCA N40-Werten überein. Für endgültige Aussagen zur Reproduzierbarkeit müssen jedoch die Softwareeinstellungen konstant gehalten werden.

Ausblick

Der Prototyp wird in den Gießereien der Projektpartner Hydro Aluminium, Nematik, Ohm&Häner sowie Trimet getestet und auf ein industrietaugliches Gerät hin optimiert. Für den Verkaufspreis werden deutlich unter 100 000 € avisiert, so dass auch kleinere Gießereien als Kunden in Frage kommen.

Technologie der 3-dimensionalen Visualisierung von nichtmetallischen Einschlüssen in Aluminiumlegierungen

Die Röntgenmikroskopie bietet erstaunliche Möglichkeiten der zerstörungsfreien 3D-Abbildung bis in den Submikrometerbereich. Damit ist die materialschonende Röntgenprüftechnik prädestiniert auch für Gießereien und Aluminiumproduzenten, wie Markus Heneka von der Karlsruher RJL Micro Analytic in seinem Vortrag über „Technology of 3 dimensional visualization of non metallic inclusions in aluminum alloys“ ausführte.

X-Ray Micro-CT, Micro Computed Tomography oder auch Röntgenmikroskopie bezeichnet einen dreistufigen Prozess aus Datenerfassung, Rekonstruktion und Datenanalyse. Im Beispiel der Gießerei wird ein Gussteil mit Röntgenstrahlen durchleuchtet (Datenerfassung), die Daten mit der Rekonstruktionsmethode nach Feldkamp aufbereitet und anschließend das Datenmodell des abgebildeten Gussteils analysiert.

Die Datenanalyse liefert einen virtuellen Querschnitt des Gussteils, die Visualisierung erfolgt in 3D. Die damit eröffneten Möglichkeiten zur Analyse sind vielfältig:

- Ausfallanalyse von Komponenten und Bauteilen
- Analyse und Dichteverteilung
- Analyse von Poren, Einschlüssen und Partikeln
- Bewertung von Geometrie und Volumen
- Messtechnik und CAD-Vergleich
- Modelle für die numerische Simulation

Die Leistungsfähigkeit der dreidimensionalen Röntgenmikroskopie zeigt sich am Beispiel des Gussteils. Es lassen sich damit nichtmetallische Einschlüsse (NMI) unterschiedlicher Konzentration und Größe vom Mikrometer- bis in den Millimeter-Bereich nachweisen. Die Verunreinigungen können in Form von Mikropartikeln, filmischen Verunreinigungen oder Clustern detektiert werden.

Am Beispiel einer Schnittstelle zwischen Aluminium und Keramikfilter verdeutlichte Heneka den unterschiedlichen Informationsgehalt der unterschiedlichen Analysemethoden. Auf einem mit dem Lichtmikroskop gemachten Bild ist nicht immer klar zu unterscheiden, ob es sich um Lufteinschlüsse (Poren) oder SiC (NMI) handelt. Ein 2D-Röntgenbild unterscheidet bereits zwischen Lufteinschlüssen und SiC. Aber erst im 3D-Röntgenscan zeigt sich die räumliche Verteilung. Dabei stellt sich heraus, dass bei Betrachtung des zweidimensionalen Röntgenbildes der Aluminium-Matrix eine augenscheinlich homogene Verteilung von NMIs vorliegt, was aber nicht der Fall ist, wie das dreidimensionale Röntgenbild zeigt.

Schmelzereinigung und Schmelzesauberkeit

Zur Herstellung leistungsfähiger und mechanisch belastbarer Bauteile aus Aluminiumgusslegierungen ist es notwendig, Schmelzen mit einem geringstmöglichen Anteil an Verunreinigungen bereitzustellen. Wie sich Gehalt und die Art von nichtmetallischen Einschlüssen in Aluminium-Gusslegierungen vermeiden und quantifizieren lassen, beschrieb Wolfram Stets, International Technology Manager Metal Treatment von Foseco in seinem Vortrag „Melt cleaning and melt cleanliness analysis with Foseco technology“.

Ein Standardverfahren zur Entfernung von nichtmetallischen Einschlüssen aus Aluminium-Schmelzen ist die Rotorentgasung mit einem pumpenden Rotor. Mit der Rotorentgasung in einer Foseco FDU-Einheit erfolgt zeitgleich auch eine Reinigung der Schmelze durch die aufsteigenden Gasblasen. Ein zusätzlicher wirksamer Schritt kann die Zugabe von Schmelzereinigungsmitteln in die Schmelze sein, wobei eine Vermischung von Schmelze und Reinigungsmittel bei einfacher Zugabe in den Schmelzestrom, z.B. beim Befüllen einer Pfanne, sehr begrenzt ist.

Eine wesentlich effizientere Methode ist die Zugabe des Schmelzereinigungsmittels während der Rotorbehandlung in einen Schmelzestrudel. Durch den drehenden Rotor wird gezielt ein Strudel erzeugt, in den das Reinigungsmittel zugegeben und unter die Schmelzeoberfläche gezogen wird, wo es mit den Verunreinigungen in Wechselwirkung treten kann. Dieser Prozess ist mit der automatischen Schmelzebehandlungseinheit MTS 1500 möglich. Es handelt sich hier um einen zur Rotorentgasung zusätzlichen Prozessschritt.

Mit der Zugabe von Schmelzereinigungsmitteln (üblicherweise als Granulat) ist, mit Anwendung der entsprechenden Produkte, neben der Entfernung von Einschlüssen auch eine Kornfeinung und Veredlung der Schmelze möglich. Dies ermöglicht im Rahmen der Schmelzebehandlung eine weitere Effizienzsteigerung.

Das Ergebnis der Schmelzereinigung mit dem MTS-Prozess lässt sich mit einer EDX-basierten Messmethode, der sogenannten „Vmet“-Analyse an festen metallischen Proben überprüfen, wie Stets ausführte. Für diese Untersuchungen werden aus der Schmelze vor und nach der Schmelzereinigung Proben entnommen und in spezielle Kokillen gegossen. Die Vmet-Analyse (Vesuvius metal quality analysis) basiert auf der Mikrostrukturanalyse an polierten Proben mit einem Rasterelektronenmikroskop. Mit Hilfe von vordefinierten Auswahlregeln und

Bildverarbeitungsalgorithmen werden Größe, Morphologie und Zusammensetzung von Defekten (Poren und Oxide) erfasst. Die Gesamtzahl, der Flächenanteil und die Größenverteilung der Defekte in den zwei Probensätzen, die vor und nach der Entgasung bzw. Schmelzereinigung gesammelt wurden, werden analysiert. Die Ergebnisse verschiedener Untersuchungen zeigen deutlich, dass die Entgasung und Schmelzereinigung die Größe und die Menge der Defekte effektiv reduzieren kann. Mit Hilfe von Vmet konnte Foseco die Leistungsfähigkeit des MTS-Verfahrens bei einem großen europäischen Hersteller von Aluminiumgussrädern nachweisen, wie Stets anhand eines Beispiels berichtete.

Insgesamt nutzt Foseco die Analyse nach dem Vmet-Verfahren, um die Effizienz seiner Schmelzbehandlungsprozesse und Produkte permanent zu steigern und weiterzuentwickeln. Somit trägt die Vmet-Analyse zur Verbesserung der Schmelzequalität bei den Kunden von Foseco bei und erleichtert die Produktion von hochwertigen und immer leistungsfähigeren Gussteilen.

Ergebnisse der Aluminiumfilterentwicklung und deren Umsetzungspotenzial

Christos G. Aneziris vom Institut für Keramik, Feuerfeststoffe und Verbundwerkstoffe der Technischen Universität Bergakademie Freiberg stellte die Ergebnisse des Sonderforschungsbereich SFB 920: Multifunktionale Filter für die Metallschmelzefiltration. Ein Beitrag zu Zero Defect Materials im Bereich der Aluminiumschmelzefiltration vor.

Die Reaktivität der Aluminiumschmelze führt im Schmelz- und Gießprozess zur Bildung exogener und endogener Einschlüsse. Diese verschlechtern die mechanischen und gießtechnologischen Eigenschaften von Gussteilen und führen in der Bearbeitung zu Mehrarbeit und Ausschuss. Insbesondere die dynamischen Festigkeiten werden massiv beeinträchtigt. In den meisten Fällen sind diese Einschlüsse metallurgisch nicht bzw. nur sehr schwer aus der Schmelze zu entfernen. Durch Entgasungs- oder Abstehbehandlung kann der Einschlussgehalt im Schmelzprozess reduziert werden. Darüber hinaus bieten Metallschmelzefilter die Möglichkeit die Schmelze während des Abgusses, also direkt vor der Formfüllung nachhaltig zu reinigen.

Seit den 60er Jahren werden dafür sogenannte Schaumkeramikfilter in Aluminiumgießereien eingesetzt. Sie wirken nach dem Prinzip der Tiefenfiltration, d.h. Verunreinigungen kleiner als die Porendurchmesser gelangen in den Filterquerschnitt und lagern sich an der Filterwand ab. Durch ihre Struktur bewirken sie darüber hinaus eine Beruhigung der Strömung im Anschnittsystem und verhindern dadurch Einschlussneubildung und Formstofferrosion. Die Filtrationseffizienz ist dabei von einer Vielzahl von Parametern abhängig. Da ein Teil dieser Parameter, wie zum Beispiel der Einfluss der Filterzusammensetzung und der Benetzung, bisher kaum untersucht wurden, hat sich der Sonderforschungsbereich 920 dieser Aufgabe angenommen. Versuche mit unterschiedlichem Oberflächenchemismus der Filter zeigten unterschiedliches Filtrationsverhalten, wobei die Aluminiumoxid (Al_2O_3) und die Spinell (MgAl_2O_4) Filter eine hohe Filtrationseffizienz bei Einschlüssen $> 80 \mu\text{m}$ aufwiesen. Die getesteten Mullit ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) Filter erreichten im Bereich von Einschlüssen $< 80 \mu\text{m}$ vielversprechende Filtrationseffizienzen. Die gemessenen Filtrationseffizienzen von Einschlüssen $< 80 \mu\text{m}$ korrelierten gut mit den ermittelten Benetzungswinkeln, wobei die Filtrationseffizienz umso höher war, desto größer der Benetzungswinkel war. Weitere Langzeit-Filtrationsversuche bei Hydro in Bonn zeigten, dass die Oberflächenrauheit der Filter einen signifikanten Einfluss auf das Filtrationsverhalten hat. Vielversprechende Ergebnisse zeigten

Session II - Melt Treatment Melt
Cleanliness



auch Abgussversuche der Filter mit einer Oberfläche von kohlenstoffgebundenem Aluminiumoxid.