

**Entwicklung eines praxistauglichen ultraschallbasierten Messverfahrens zur quantitativen Bestimmung von nichtmetallischen Einschlüssen in Schmelzen aus Aluminium-Formgusslegierungen**

Forschungsstellen: 1. IfG Institut für Gießereitechnik i.L., Düsseldorf  
2. Fraunhofer-Institut für zerstörungsfreie Prüfverfahren, Saarbrücken  
3. Gießerei-Institut der RWTH Aachen, Aachen

Laufzeit: 01.03.2014 bis 30.11.2016

**Zusammenfassung:**

Zielsetzung und Motivation:

Ziel des Forschungsvorhabens war die Entwicklung eines ultraschallbasierten Verfahrens zur Detektion von nichtmetallischen Einschlüssen in Aluminiumschmelzen, welches den Anforderungen an eine hinreichend schnelle und möglichst genaue Beurteilung des vorliegenden Verunreinigungsgrads in der Schmelze entspricht. Die Motivation zu diesem Projekt ist darin begründet, dass nach derzeitigem Stand der Technik kein Messverfahren zur Verfügung steht, das alle gewünschten Anforderungen – praxistauglich, schnell, zuverlässig und kostengünstig – in ausreichendem Maße erfüllt, um das Erreichen eines hohen und reproduzierbaren Qualitäts- bzw. Eigenschaftsniveaus von Gussprodukten durch eine frühzeitige Qualitätskontrolle von Schmelzen zu gewährleisten. [1-5] Könnte eine solch hohe Qualität garantiert werden, wäre es möglich das volle Potential der Aluminiumlegierungen zu nutzen. In der Folge würden höhere mechanische Eigenschaften erreicht, könnten geringere Sicherheitsfaktoren angesetzt und Leichtbaupotenziale voll ausgeschöpft werden.

Ergebnisse

Zu Beginn des Projekts wurde zunächst die optimale Prüffrequenz zur Detektion von nichtmetallischen Einschlüssen in Al-Schmelzen über Simulationen bestimmt. Um möglichst kleine Partikel und Konzentrationsunterschiede identifizieren und differenzieren zu können, ist eine möglichst hohe Frequenz notwendig. Aufgrund

von periodischen Schwankungen bei Frequenzen oberhalb 10 MHz und dadurch entstehenden Doppeldeutigkeiten, wurden 10 MHz als optimale Frequenz determiniert.

Des Weiteren wurden im Verlauf des Projekts Wechselwirkungen zwischen dem Ultraschallfeld und Partikeln berechnet. Die Simulationen und Berechnungen sind anschließend in einem Modellsystem (PMMA-Partikel in Wasser) verifiziert worden. Hierbei konnte nachgewiesen werden, dass die Wechselwirkung zwischen Ultraschallfeld und Partikelwolke über die Born-Approximation ausreichend genau beschrieben werden kann. Verschiedene Partikelgrößen und Partikelkonzentrationen und deren Auswirkungen auf das Ultraschall-Signal wurden im Modellsystem verifiziert und die Auswertemethodik optimiert.

Benchmark-Versuche mit LiMCA (Liquid Metal Cleanliness Analyser) & PoDFA (Porous Disc Filtration Analysis), bei denen eine Al99,8-Schmelze gezielt mit nichtmetallischen Einschlüssen unterschiedlicher Größe (20–100 µm) verunreinigt wurde, zeigen eine sehr gute Übereinstimmung zwischen Ultraschallergebnissen und den Referenzverfahren, siehe Bild 1 & 2.

Mit Versuchen in einer AlSi8Cu3-Schmelze konnte die Schallbarkeit von industriell eingesetzten technischen Al-Legierungen nachgewiesen werden. Auch die prinzipielle industrielle Anwendbarkeit, sowohl in Tiegel- als auch in Rinnenmessungen konnte in Betriebsversuchen gezeigt werden.



Als geeignete Wellenleitermaterialien konnten hinsichtlich ultraschall- und schmelzetechnischer Eigenschaften Eignung, Titan und Siliziumnitrid identifiziert werden. Titan ist insbesondere aus ultraschalltechnischer Sicht gut zur Detektion von Partikeln geeignet, da der Impedanzunterschied zwischen Titan und Aluminium gering ist, sodass ein großer Teil des Schalls in die Schmelze eingeleitet werden kann und nicht an der Grenzfläche zwischen Wellenleiter und Schmelze reflektiert wird. Somit steht mehr Energie zur Detektion von nichtmetallischen Einschlüssen zur Verfügung, d.h. auch sehr kleine, vereinzelte Partikel können detektiert werden. Durch den höheren Impedanzunterschied zwischen Siliziumnitrid und Aluminium wird etwas weniger Ultraschall in die Schmelze eingeleitet, die Energie reicht jedoch aus, um auch geringe Partikelgrößen nachzuweisen. Vorteil der Siliziumnitrid-Wellenleiter gegenüber Titan ist das inerte Verhalten in Aluminiumschmelzen, wodurch die Siliziumnitrid-Wellenleiter kaum bis gar nicht von der Aluminium-Schmelze angegriffen werden.

**Fazit:**

Das entwickelte Messgerät ist in der Lage unterschiedliche Verunreinigungsgrade in sehr guter Übereinstimmung mit LiMCA und PoDFA zu differenzieren. Neben den in den Benchmark-Versuchen eingebrachten nichtmetallischen Einschlüssen (> 20 µm), konnten Versuche unter Zugabe von Kornfeinungsmittel, auch eine Reaktion auf sehr kleine Partikel (< 20 µm) nachweisen. Dies spricht für eine prinzipiell hohe Sensitivität des Ultraschall-Ensembles.

**Das Forschungsziel wurde erreicht.**

Einige Aspekte hinsichtlich der Kalibrierung des Systems, die während der Projektlaufzeit nicht mehr beantwortet werden konnten, werden nun in einem industriell geförderten Folgeprojekt untersucht.

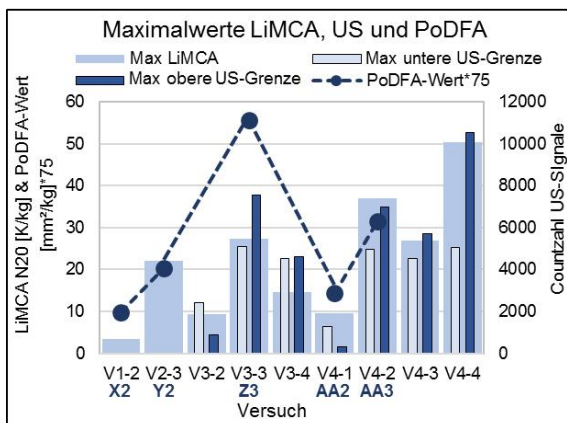


Bild 1: Vergleich der max. Werte zu Beginn einer jeden Messung während der Benchmarkversuche.

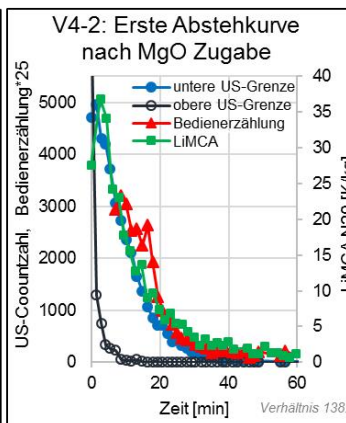


Bild 2: Vergleich der Abstehekurven von LiMCA, Ultraschall und Bedienerzählung

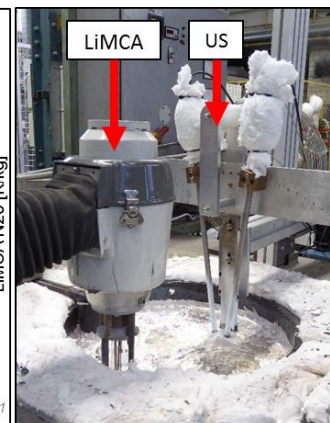


Bild 3: Versuchsanlage

Der vollständige Schlussbericht liegt vor und kann schriftlich angefordert werden bei der

Forschungsvereinigung Gießereitechnik e.V.  
Hansaallee 203 - 40549 Düsseldorf

Fax: 0211 / 6871 40 245 - Email: fvg@bdguss.de