

**Qualitative und quantitative Bestimmung von Einschlüssen  
in Aluminium mittels Einzelfunkenspektrometrie**

Forschungseinrichtung: Gießerei-Institut, RWTH Aachen

Laufzeit: 01.01.2017 bis 31.03.2019

**Zusammenfassung:**Zielsetzung:

Ziel ist die Bereitstellung der technologischen Grundlagen für den Einsatz der Einzelfunkenspektroskopie zur quantitativen Bestimmung von Einschlüssen bzw. Phasen in Al-Legierungen, sowie des benötigten Wissens über die Detektionsmöglichkeiten verschiedener Einschlusstypen und Phasen. Damit wird die Spektrometrie in Richtung einer quantitativen Gefügeanalyse erweitert.

Ergebnisse

Das IGF-Vorhaben 18914 N (Al GISS 2) ist als Folgeprojekt zu Vorhaben 17412 N (Al G.I.S.S. 1) konzipiert und hat daher die dort gestartete Arbeit fortzuführen und weiterzuentwickeln. Für Einschlüsse und Phasen wurde im Projektverlauf eine neue Analyse-methode entwickelt, die im Gegensatz zur vorher verwendeten Ausreißeranalyse auf Clusteralgorithmen, wie dem Erwartungsmaximierungsalgorithmus, beruht. Dabei sind Einschlüsse als solche Mikrostrukturkomponenten definiert, deren Bestandteile nicht in signifikantem Maß auch Teil der Materialmatrix sind, während Phasenbestandteile sowohl in der Matrix, als auch im Gefügebestandteil auftreten. Im Fall der Einschlüsse, modellhaft untersucht im Fall der Titandiboride, kann sowohl die Anzahl der Funkentreffer auf den gesuchten Einschlüssen relativ zu der Gesamtfunkenzahl als auch die Größenverteilung der Einschlüsse bestimmt werden. Dazu ist vorab eine Kalibration mit einer metallographisch bestimmten Probe notwendig. Für Phasen wie  $\alpha$ - und  $\beta$ -AlFeSi kann über eine Kalibration an einer bekannten Probe der Flächenanteil dieser

Phasen bestimmt werden. Dies ermöglicht, im Vergleich mit einer metallographischen Untersuchung, deutliche Zeiteinsparungen. Die unterschiedlichen Eisenphasen können dabei aufgrund ihrer chemischen Zusammensetzung mit den verwendeten Algorithmen voneinander unterschieden werden.  $\alpha$ - und  $\beta$ -AlFeSi haben unterschiedliche Phasenmorphologien, worauf eine Funkenenergieänderung abweichende Reaktionen zeigt. Dies weist auf die Möglichkeit hin, diesen Effekt zu nutzen, um Phasenmorphologien mittels Einzelfunkenspektrometrie zu unterscheiden, da die in diesem Projekt nachgewiesene Spannungsüberhöhung an der Phasengrenze nicht ausreicht, um diesen neu entdeckten Effekt zu erklären. Diese neue Erkenntnis konnte jedoch in Al-G.I.S.S. 2 nicht weiter untersucht werden. Die prinzipielle Anwendbarkeit der Vorgehensweise zur Phasenbestimmung auch auf Oxide konnte gezeigt werden, allerdings treten bei dieser Messung so hohe Unsicherheiten auf, dass andere Methoden zur Oxidbestimmung vermutlich vorzuziehen sind. Versuche, an der Oberfläche anhaftende oxidhaltige Verbindungen vor der Messung zu entfernen, haben sich nicht als erfolgreich erwiesen. In der Datenbank wurden nur einige (technische) projektrelevante Modelllegierungen zur automatischen Phasenidentifizierung implementiert. Dies war für die Projektarbeiten ausreichend, allerdings sind viele der für eine praktische Anwendung relevanten Legierungs-Einschluss- bzw. Phasen-Kombinationen noch nicht ausreichend integriert. Diese sind jedoch für eine breite Anwendbarkeit der Methodik, insbesondere für KMU, notwendig. Im Vergleich mit der erstellten Datenbank erfolgt die Identifikation der bestimmten Einschluss- bzw. Phasentypen automatisch. Aktuell wird für diese Auswahl



ein k-nearest-neighbor-Algorithmus verwendet, die Verwendung anderer Methoden ist aber ebenfalls denkbar. Die untersuchten dynamischen Messungen stellen eine neue Möglichkeit dar, die untersuchte Probenfläche und damit die statistische Relevanz der erzielten Ergebnisse deutlich zu erhöhen. Durch das rasterförmige Abfahren der Probe kann zudem eine Untersuchung der gesamten zur Verfügung stehenden Probenfläche mit einer akzeptablen Lokalisierung erreicht werden. Damit bietet die neue Methode, z. B. im Vergleich zur metallographischen Untersuchung, deutliche Vorteile in der Einschluss- und Phasenbestimmung. Schließlich werden Aufnahmen der Funkenentstehung mit einer Hochgeschwindigkeitskamera durchgeführt, was einen Beitrag zum Verständnis des Prozesses liefert und somit den Spektrometerherstellern Ansatzpunkte zur weiteren Entwicklung des Prozesses bietet.

**Fazit:**

Für die Aluminium verarbeitende, mittelständisch geprägte Industrie bieten die Ergebnisse die Möglichkeit, Arbeitsschritte zusammenzulegen und zu verbessern. Eine zur vollen Marktauglichkeit gebrachte Spektrometer-Einzelfunkenanalyse kann die Gefüge- und Einschlussbestimmung produktionsintegriert sowie kostengünstiger und schneller als bisher erledigen, gleichzeitig werden die Informationen zur chemischen Zusammen-

setzung bereitgestellt. Eine deutliche Effizienzsteigerung ohne größere Neuanschaffungen ist möglich und bedeutet eine Sicherung der Standortvorteile im internationalen Wettbewerb. Zudem wird durch die Entwicklung des Verfahrens ein neuer Marktbereich für die Spektrometerhersteller erschlossen. Aktuell sind weitere Fortschritte in der Phasenzuordnung und Anzahl der in der erstellten Datenbank hinterlegten Einschlüsse und Phasen im Folgeprojekt PANAMA angestrebt, so dass eine breite Anwendbarkeit über verschiedene Gießereibetriebe gewährleistet werden kann. Die ebenfalls angestrebte genauere Definition der Anwendungsgrenzen und der Vergleich mit anderen Methoden der Einschlussanalyse ermöglichen eine Einordnung der Methode für den Anwender, um den optimierten Einsatz in den Gießereibetrieben zu fördern.

Die Spektrometerhersteller können sich durch ihre Mitarbeit im Vorhaben schnellstmöglich auf die Implementierung der Ergebnisse vorbereiten und die neue Technologie den Gießereien zügig anbieten. Weitere im Schrifttum ausgeführte Maßnahmen zur Publikation der Ergebnisse in Fachzeitschriften tragen zu einer Wahrnehmung der Ergebnisse des Vorhabens in den relevanten Industriezweigen bei und bereiten potentielle Interessenten auf das Erscheinen der Technologie vor.

**Das Forschungsziel wurde erreicht.**

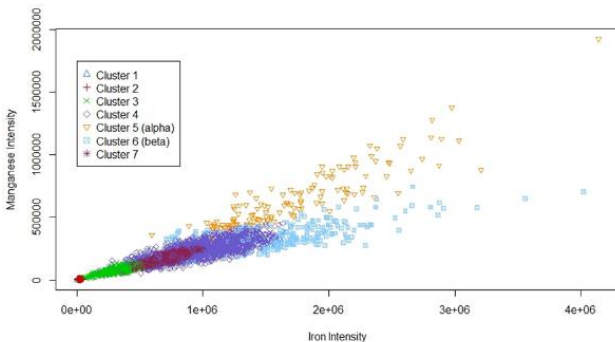


Bild 1. Messwerte einer Einzelfunkenanalyse eingeteilt in Datencluster, Cluster 5 (orange) und 6 (hellblau) repräsentieren die Eisenphasen



Bild 2. Entzündung des Plasmas nach einer Funkenentladung auf AISi8Cu3 mit  $\beta$ -AlFeSi, die Probe befindet sich am oberen Bildrand

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