

## **Magnetfelder optimieren Metallegierungen Forschen für das optimale Gefüge**

*Dr. Sven Eckert, Forschungszentrum Dresden-Rossendorf*

*Anja Schué, Leica Microsystems, Wetzlar, Deutschland*

Wie Flüssigkeiten auch ohne direkte Hitzezufuhr oder Berührung in heftige Wallungen versetzt werden, kann jeder beobachten, der ein rohes Ei in der Mikrowelle explodieren lässt. Elektromagnetische Kräfte können aber auch über 1000 °C heiße Metallschmelzen in Bewegung bringen. In der Arbeitsgruppe Magneto hydrodynamik am Forschungszentrum Dresden-Rossendorf (FZD) werden diese komplexen Wechselwirkungen zwischen elektrisch leitfähigen Flüssigkeiten und magnetischen Feldern eingesetzt, um Strömungsverhalten und Erstarrungsprozesse flüssiger Metallegierungen kontrolliert zu steuern. Ziel sind optimierte Produktionsprozesse für die Gießertechnik. Zur Analyse der metallischen Mikrogefüge setzen die Wissenschaftler ein automatisiertes System aus High-end-Mikroskop und Power Mosaic-Bildaufnahme ein, das große Probenoberflächen in hochaufgelösten Einzelbildern abrastert und ein präzises Gesamtbild für quantitative Auswertungen liefert.

Die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) hat einen Sonderforschungsbereich „Elektromagnetische Strömungsbeeinflussung in Metallurgie, Kristallzüchtung und Elektrochemie“ an der TU Dresden, dem FZD, dem Leibniz-Institut für Festkörper- und Werkstoffforschung Dresden und der TU Bergakademie Freiberg eingerichtet, der sich mit maßgeschneiderten Magnetfeldern für optimierte Technologien in der Metallherstellung befasst. Das Anwendungspotenzial ist dabei enorm. Aus metallischen Schmelzen werden fast alle industriellen Metallwerkstoffe gewonnen. Die Vorteile des elektromagnetischen Rührens bezüglich Regelbarkeit und Kontaktfreiheit werden hier auch genutzt, um den Einfluss von Strömungsstrukturen auf den Erstarrungsprozess metallischer Legierungen grundsätzlich zu untersuchen.

### **Optimal Rühren ohne Berühren**

Die Wissenschaftler am FZD führen innerhalb eines Teilprojektes in Zusammenarbeit mit der TU Dresden Erstarrungsexperimente von Blei-Zinn- und Aluminium-Silizium-Legierungen mit rotierenden Magnetfeldern (RMF) durch (Abbildung 1). Das Ziel besteht darin, Werkstoffe mit einem feinkörnigen, isotropen Gefüge mit nahezu kugelförmigen Kristallen, auch Globuliten genannt, zu erhalten. Allerdings wird die Morphologie vieler Legierungen von ausgedehnten, stengelförmigen Kristallen, den kolumnaren Dendriten, dominiert. Weil globulitisch erstarrte Materialien eindeutig bessere mechanische Kennwerte aufweisen, soll das Wachstum der Dendriten mit Hilfe magnetisch angetriebener Strömungen im Schmelzbad unterbunden werden. Anhand des bereits gut erforschten, durch RMF erzeugten Strömungsverhaltens untersuchten die Wissenschaftler am FZD die komplexen physikalischen Abläufe beim kontrollierten

Erstarrungsprozess, um am Ende eine optimale Rührstrategie für die Gießereitechnik auszuarbeiten [4-6]. Detaillierte Einblicke in die Struktur der mittels RMF induzierten Strömung während der Erstarrung geben numerische Simulationen, die ein Teilprojekt am Institut für Luft- und Raumfahrttechnik der TU Dresden durchführt. Die grundlegenden Erkenntnisse aus der Analyse der Strömungsstrukturen beim Erstarrungsprozess und der Wechselwirkung zwischen Strömung und Erstarrungsvorgang werden in einem weiteren Teilprojekt am Gießerei-Institut der TU Bergakademie Freiberg direkt verwertet und auf reale Gussteile für Aluminium und Magnesium-Legierungen übertragen.

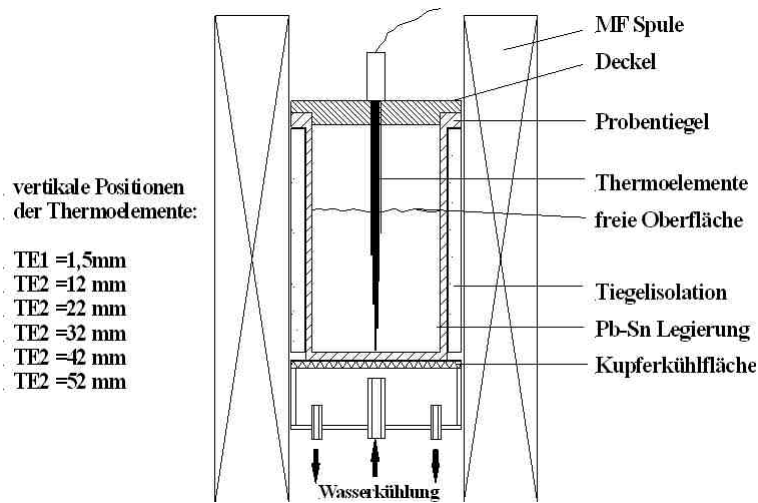


Abb 1: Schematische Darstellung des experimentellen Aufbaus

### Magnetfelder modulieren

Die Experimente zeigten, dass der Volumenanteil des globulitischen Gefüges bei gleichbleibenden Abkühlbedingungen direkt von der Art und Intensität der elektromagnetisch angetriebenen Strömung abhängt und durch eine definierte Einstellung der Magnetfeldparameter kontrolliert werden kann. Außerdem wurde nach elektromagnetischem Rühren eine deutliche Kornfeinung im Gefüge nachgewiesen (Abbildungen 2 und 3).

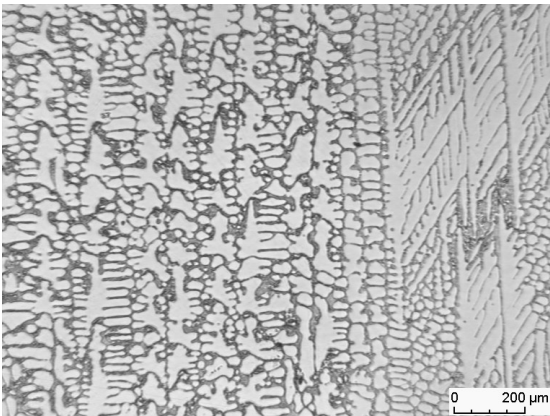


Abb 2: Lichtmikroskopische Aufnahme einer Sn-15M.%Pb-Legierung ohne Magnetfeld gerichtet erstarrt

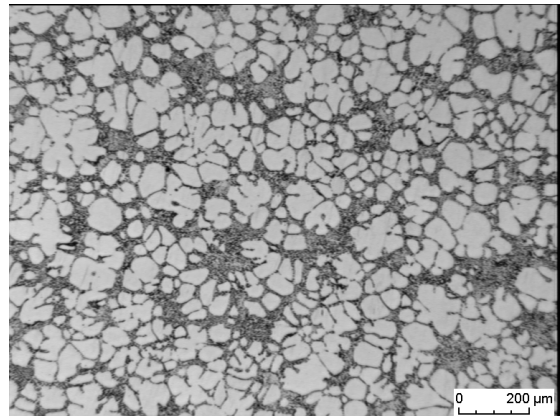


Abb 3: Lichtmikroskopische Aufnahme einer Sn-15M.%Pb-Legierung unter Einfluss einer rotierenden Magnetfeldes gerichtet erstarrt

Gleichzeitig wurden aber auch nicht erwünschte, strömungsbedingte Entmischungen beobachtet. Deshalb arbeiten die Dresdner Forscher daran, eine Strömungsstruktur zu finden, die auf der einen Seite zu einem feinkörnigen, globulitischen Gefüge führt, andererseits aber keinerlei Entmischung der Phasenbestandteile im Gefüge zulässt.

Ergebnisse aus den numerischen Simulationen zeigen, dass eine kontrollierte Modulation der Magnetfeldamplitude ein geeignetes Strömungsmuster erzeugen kann, das den Grad der Entmischung deutlich reduziert. Auf dieser Basis wurden Konzepte hinsichtlich optimierter Zeitfunktionen für die Magnetfeldparameter Amplitude und Frequenz entwickelt, die in den Erstarrungsexperimenten überprüft werden. Diese Herangehensweise lieferte bereits erste, deutliche Erfolge [1,2]. Um Zusammenhänge zwischen Strömungsfeld vor der Erstarrungsfront und den Merkmalen des Erstarrungsgefüges besser zu verstehen, wurde im FZD das Ultraschall-Doppler-Verfahren für den Einsatz in Metallschmelzen weiterentwickelt. Damit können erstmals während der Erstarrung Strömungsgeschwindigkeiten in der flüssigen Phase gemessen werden [7].

### Mikrogefüge quantitativ analysieren

Schon makroskopische Prüfungen erstarrter Metallzylinder zeigen eindeutige Unterschiede mit oder ohne Beeinflussung durch RMF, bzw. wie durch zeitliche oder räumliche Änderung des Magnetfeldes die kolumnare in eine globulitische Morphologie übergeht (Abbildung 4).

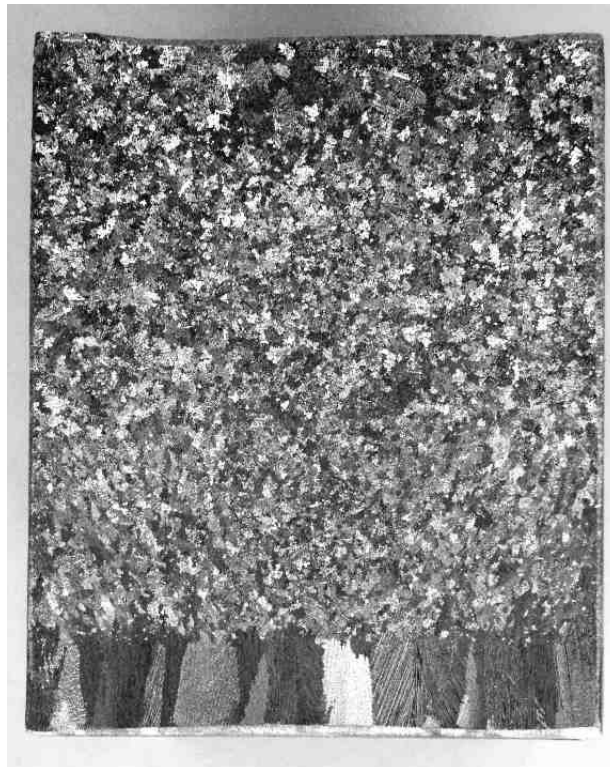


Abb 4: Photographische Aufnahme einer gerichtet erstarrten Al-7M.%Si-Legierung: Erstarrung im unteren Bereich ohne Magnetfeld führt zu kolumnarem Wachstum. Das Zuschalten eines zeitlich modulierten Magnetfeldes führt zu einem globulitischen Kornwachstum im oberen Bereich des Probenkörpers.

Die mikroskopische Analyse von Quer- und Längsschliffen der 5 cm dicken und 6 cm hohen Probenzylinder ermöglicht die quantitative Messung der Korngrößen, Phasenverteilung und insbesondere des Volumenanteils der globulitischen Struktur (Abbildung 5).

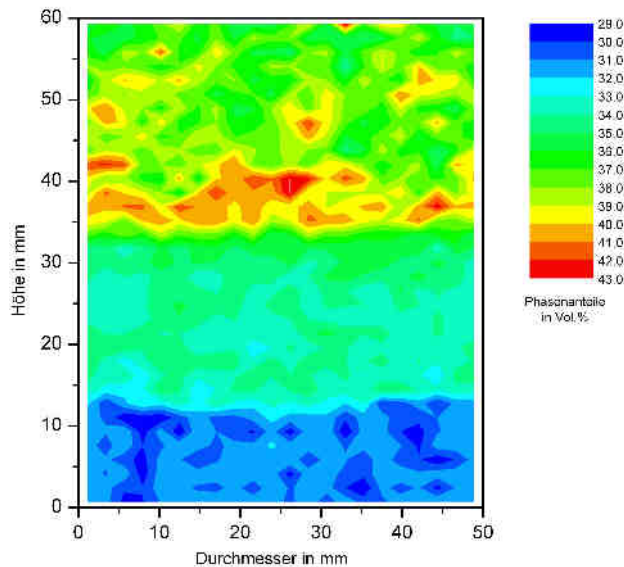


Abb 5: Volumenanteil der eutektischen Phase im Längsschliff eines Al-7M.%Si-Probekörper. Ein zeitlich moduliertes Magnetfeld wurde während der Erstarrung zugeschaltet.

Um die große Probenoberfläche in ihrer Gesamtheit in hoher Auflösung zu erfassen, setzen die Wissenschaftler in Rossendorf die hochentwickelte Bildaufnahmesoftware Leica LAS Power Mosaic kombiniert mit einem automatisierten Forschungsmikroskop Leica DM6000 M ein. Die Metallschliffe werden automatisch mit rund 400 Bildern pro Minute abgerastert und ein Gesamtbild mit voller Kameraauflösung erstellt (Abbildung 6).



Abb 6: Fotografische Aufnahme des Längsschliffes einer Sn-38M.%Pb-Legierung. Ein zeitlich moduliertes Magnetfeld wurde während der Erstarrung zugeschaltet.

Das System ermöglicht eine Mosaikgenerierung aus Einzelbildern mit hoher Geschwindigkeit, höchster Genauigkeit und Fokussierung in handhabbaren Datenformaten. Spezielle Vorteile des Systems von Leica Microsystems: die optimierte Verrechnung der Bildüberlappung von 70 Bildpunkten zwischen den Einzelbildern sowie die Auto-Kalibrierfunktion direkt an der Probe zum Ausgleich feinsten Ungenauigkeiten von Tischbewegung und Optik. Einzelbildgröße und Ausgleich der Kamerarotation werden automatisch vom System eingestellt. Je nach Oberflächentopografie der Probe können die Fokuspositionen über eine beliebige Anzahl von Referenzpunkten interpoliert werden. Die präzise Ansteuerung des Mikroskoptisches ist entscheidend für die gesamte Probenrasterung und die Geschwindigkeit der Bildaufnahme. Eine schnelle Digitalkamera, die über den Tisch getriggert wird, nimmt die Bilder auf, sobald die errechnete Position erreicht ist, ohne dass der Tisch anhalten muss. Ein spezielles Board für die xyz-Steuerung ermöglicht auf Wunsch auch eine 3D-Rekonstruktion über verschiedene Fokusebenen. Allerdings müssen dabei mehrere Bilder pro Bildfeld aufgenommen werden, was eine längere Aufnahmezeit zur Folge hat.

„Die automatisierte LAS Power Mosaic-Software von Leica Microsystems erspart uns im Vergleich zu früher, als wir die Einzelbilder noch von Hand zusammengesetzt haben, viel Zeit und Arbeit. Jetzt können wir schnell und effizient quantitative Analysen über den gesamten Probenquerschnitt durchführen“, betont Dr. Sven Eckert vom FZD. „Darüber hinaus müssen wir im FZD alle experimentellen Daten dokumentieren und archivieren. Hier bietet die Software ebenfalls große Erleichterung gegenüber der alten Arbeitsweise. Mit Hilfe lichtmikroskopischer Verfahren können wir nahezu alle wesentlichen Analysen des metallischen Mikrogefüges durchführen. Weitere Quantifizierungen der Ergebnisse mittels Elektronenmikroskop erfolgen nur bei speziellen Befunden.“

## Literatur

- [1] B. Willers, S. Eckert, P. Nikritjuk, D. Rübiger, J. Dong, K. Eckert, G. Gerbeth: Efficient melt stirring using pulse sequences of a rotating magnetic field: II – Application during solidification of Al-Si alloys, Metall. Mater. Trans. 39B, 2008, 304-316
- [2] S. Eckert, P.A. Nikrityuk, D. Rübiger, K. Eckert, G. Gerbeth: Efficient melt stirring using pulse sequences of a rotating magnetic field: I - Flow field in a liquid metal column, Metall. Mater. Trans. 39B, 2008, 374-386
- [3] S. Eckert, G. Gerbeth, D. Rübiger, B. Willers, C. Zhang: Experimental modelling using low melting point metallic melts: Relevance for metallurgical engineering, Steel Res. Int. 78, 2007, 419-425
- [4] S. Eckert, B. Willers, U. Michel: Directional solidification of Pb-Sn alloys affected by a rotating magnetic field, Int. Foundry Res. 58, 2006, 38-46

- [5] B. Willers, S. Eckert, P.A. Nikrityuk, K. Eckert, U. Michel, G. Zouhar: Application of a rotating magnetic field during directional solidification of Pb-Sn alloys: Consequences on the CET, Mater. Sci. Eng. A 413-414, 2005, 211-216
- [6] B. Willers, S. Eckert, U. Michel, I. Haase, G. Zouhar: The columnar-to-equiaxed transition in Pb-Sn alloys affected by electromagnetically driven convection, Mater. Sci. Eng. A 402, 2005, 55-65
- [7] S. Eckert, B. Willers, G. Gerbeth: Measurements of the Bulk Velocity during solidification of Metallic Alloys, Metall. Mater. Trans. 36A, 2005, 267-270