

Einfluss der Temperaturführung beim Gießen und bei der integrierten Wärmebehandlung auf die mechanischen Eigenschaften von Aluminium-Druckgussbauteilen

Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.) der Fakultät für Maschinenbau und Schiffstechnik der Universität Rostock

vorgelegt von Jan Biroth

geboren am 09.05.1991 in Bad Kreuznach

Sekundäre Aluminiumlegierungen wie AlSi9Cu3(Fe) spielen vor dem Hintergrund der ökonomischen und ökologischen Aspekte in weiten Bereichen der gießtechnologischen Herstellung eine wichtige Rolle. Für eine bedarfsgerechte und effiziente Umsetzung ist eine bauteil- und herstellungsspezifische Auslegung des Werkstoffs von Nöten. Grundvoraussetzung hierfür ist das Verständnis der in diesem Zusammenhang Einfluss nehmenden Verfestigungsmechanismen. In dieser Dissertation wurden die Einflussfaktoren auf die Temperatur-Zeit-Verläufe sowohl während des Urformprozesses als auch der nachfolgenden Wärmebehandlung mittels unterschiedlicher Analysemethoden beleuchtet und in Bezug auf den festigkeitssteigernden Mechanismus der Teilchenhärtung bewertet.

Erstmalig konnte ein Thermoelement in die Gießform des laminaren Druckgusses am Beispiel eines Kurbelgehäuses implementiert werden, welches die realen Temperaturverhältnisse während des Urformprozesses erfasst. Dies ermöglichte die Validierung einer Gießsimulation in Magmasoft® und die Untersuchung der Temperatur-Zeit-Verläufe an den hochbelasteten Bauteilbereichen, die im Lastenheft stark reglementiert sind.

Mittels eines Diodenlasers konnte zum ersten Mal ein Kurzzeitlösungsglügen von Zugproben mit anschließend definierter Abschreckung realisiert werden, welches eine gute Temperaturhomogenität im Probekörper aufweist. Entsprechend der unterschiedlichen Abkühlbedingungen wurde der Zusammenhang zwischen dem Grad der Übersättigung des Mischkristalls und der durch eine Wärmebehandlung umsetzbaren $R_{p0,2}$ -Dehngrenze unter minimalen Änderungen des Gusszustandes hinsichtlich des Primärgefüges hergestellt. Das weiterführende mechanische Werkstoffmodell konnte den übersättigten Mischkristallzustand in den mechanischen Werkstoffkennwert der $R_{p0,2}$ -Dehngrenze überführen. Anhand einer Kurvenanpassung durch Minimierung der quadratischen Abweichung und unter Berücksichtigung der auftretenden Messabweichungen wurde die Abkühlgeschwindigkeit ins Verhältnis zur erzielbaren $R_{p0,2}$ -Dehngrenze gesetzt und auf einen breiteren Kühlbereich erweitert. Demnach stellt sich ab einer überkritischen Abschreckgeschwindigkeit eine plateauähnliche Ausprägung ein, innerhalb welcher eine Veränderung der Abkühlgeschwindigkeit eine gleichwertige $R_{p0,2}$ -Dehngrenze liefert.

Eine besondere Herausforderung stellt die diskontinuierliche Abkühlung des Kurbelgehäuses dar. Hier konnte erstmalig durch die Berechnung einer gewichteten mittleren Abkühlgeschwindigkeit anhand der temperaturabhängigen kritischen Zeit aus dem isothermen Zeit-Temperatur-Ausscheidungsdiagramm unter Berücksichtigung der Quench-Faktor-Analyse einer Bewertung ermöglicht werden.

Detaillierte Erkenntnisse konnten bezüglich der Phasenbildung in Abhängigkeit der Abkühlrate gewonnen werden. Kalorimetrische Messungen der Excesswärmekapazität und die Modifikation der erzielbaren Härte durch Variation der Abschreckgeschwindigkeit im Abschreckdilatometer wurden durch metallographische Analysen (EDX, REM, XRD) ergänzt und mit Simulationen auf Basis thermodynamischer Prinzipien in JMatPro® verknüpft.

Die Ergebnisse dieser Arbeit liefern bezüglich der Legierung AlSi9Cu3(Fe) ein besseres Verständnis des Ausscheidungsverhaltens im Hinblick auf die Einflussnahme der Abkühlgeschwindigkeit, der Kaltauslagerung und die sich dadurch ergebenden Auswirkungen auf die Ausprägung des Härtemaximums durch eine Wärmebehandlung. Die Übertragung der werkstoffwissenschaftlichen Untersuchungen auf ein konkretes Kurbelgehäuse, hergestellt im Verfahren des laminaren Druckgusses, schafft einen direkten industriellen Anwendungsbezug, ist auf diesen jedoch nicht beschränkt. Die werkstoffwissenschaftlichen Erkenntnisse lassen sich durch eine Anpassung der Randbedingungen auf andere Bauteile oder andere Aluminiumlegierungen übertragen. Das Potenzial der neu entwickelten Methode motiviert eine Neubewertung des gesamten Prozesszyklus unter Berücksichtigung der in dieser Dissertation gewonnenen werkstoffwissenschaftlichen Erkenntnisse.