

Teilprojekt B08

Titel

Untersuchung präzisionsbestimmender Faktoren zur Minimierung von Verzug im Kokillen- und Druckgussprozess

Projektleitung/-bearbeitung

Prof. Dr.-Ing. Andreas Bührig-Polaczek
Gießerei Institut — Projektleitung

Dipl.-Ing. Nino Wolff
Gießerei Institut — Projektbearbeitung

Aufgabenstellung

Für die Bestimmung der präzisionsbeeinflussenden Faktoren im Dauerformguss lagen im dritten vollen Jahr der zweiten Phase drei Hauptarbeitsrichtungen an:

- In Erweiterung der Untersuchungen zur Beeinflussung des Wärmehaushaltes im Dauerformguss war im beschriebenen Zeitraum die in Teilprojekt A10 betrachtete YSZ (Yttrium stabilisiertes Zirkonoxid) Beschichtung auf Ihre Eignung als industrietaugliche Dauerkokillenbeschichtung zu untersuchen. Daran schloss sich die Erforschung der Einsatzmöglichkeit der in A12 erarbeiteten Heizschichten zur Einbringung von Energie an der Form-Gussteil-Grenzfläche zur prozesseitig steuerbaren Beeinflussung des Wärmestromes im Gießprozess an.
- Zum Projektschwerpunkt der Untersuchungen und Beeinflussung der Heißrissbildung waren die gemachten Versuche an AISi- und AlCu-Legierungen (in-situ Messungen und metallografische Untersuchungen) aufzubereiten, mit anderen Teilprojekten auszutauschen und zu Veröffentlichen. Anschließend galt es dieses auf weitere Legierungsvarianten zu erweitern. Im Speziellen war mit der so erarbeiteten Methodik die Heißrissneigung des Legierungssystems AlCeMg zu untersuchen. Dieses zeichnet sich durch seine thermisch stabileren mechanischen Festigkeiten aus, ist jedoch noch wenig erforscht und seine Gießeigenschaften

sind in Bezug zu denen der etablierten Gusslegierungen zu setzen.

- Zur Thematik des Bauteilverzuges galt es im hier betrachteten Projektzeitraum die gewonnenen Erkenntnisse zur thermischen und geometrischen Verzugsbeeinflussung gegenüberzustellen, auszuwerten und zu publizieren. Gleichzeitig stand die praktische Implementierung der Erweiterung des, dem SFB eigenen, Versuchskokillenaufbaus für eine zeitvariable Entformung des Kokillengussbauteiles an. Daran anschließend war ein weiterer Aufgabenpunkt die experimentelle Untersuchung des Einflusses des Entformungszeitpunktes (und somit die Entformungstemperatur) auf den Bauteilverzug durch entsprechende Versuchsreihen.

Vorgehensweise

Die Versuche zur Qualifizierung der YSZ-Beschichtung als einsatzreife Dauerbeschichtung im Kokillenguss wurden als Gussversuche mit einer industrieüblichen AlSi7Mg0,3 Legierung in einer Kokille einfacher Kavität konzipiert. Neben Vor- und Nachbetrachtung der Beschichtung über die Dauer mehrerer hundert Gießzyklen wurden Stichproben der Gussteile entnommen und fortlaufende optische Kontrollen durchgeführt sowie begleitend die Temperaturen überwacht. Die Versuche zur Untersuchung der Einsatzmöglichkeit der Heizbeschichtung erfolgten dagegen bei gleicher Legierung in einem gesonderten Versuchsaufbau. So wurde ein direkter Vergleich mit den thermischen Eigenschaften der passiven YSZ-Beschichtung sowie konventioneller Kokillenschichten anhand eines erfassten eindimensionalen Temperaturentzuges möglich.

Zur Thematik der Heißrissbildung in AlCeMg Legierungen wurden Untersuchungen des AlCeMg Systems im untereutektischen Bereich (bis 10 gew. % Cer) und mit variierenden Magnesiumgehalten als Mischkristallverfestiger durchgeführt. Diese Untersuchungen beinhalteten die in-situ Messungen - mit Temperatur und Kontraktionserfassung sowie optischer Rissbeobachtung - der Heißrissbildung sowie die im Vorjahr etablierte Kooperation mit Teilprojekt A02 für makro, mikro sowie REM Aufnahmen. So wurden die Gefüge in und nahe der Rissfläche analysiert, um das Wissen zu den den

Rissen zugrunde liegenden Mechanismen zu erweitern und die Randbedingungskombinationen, die zur Heißrissentstehung führen, schärfer fassen zu können.

Zum Schwerpunkt der Untersuchung der Verzugsbeeinflussung flossen in einem iterativen Prozess die Erkenntnisse und daraus abgeleiteten Hypothesen laufend in die Entwicklung neuer Kokillenmodule zur experimentellen Verifikation ein. Im betrachteten Zeitraum ist die praktische Erweiterung der Module auf die Möglichkeit des Entformens zu verschiedenen Zeitpunkten des Abkühlvorgangs, bis hin in den teilerstarrten Bereich zu nennen, welcher im vorangegangenen Jahr konzipiert wurde. Ziel ist es den Formzwang der Dauerform in verschiedenen Stadien der Erstarrungs- oder Festkörperschrumpfung aufheben zu können. Mit dem Einsatz dieser Module wurden mehrere Versuchsreihen in der Versuchskokille durchgeführt. Dabei wurde über die Wahl des Entformungszeitpunktes die Entformungstemperatur und somit die Weite des Temperaturintervalls in denen der Formzwang der Dauerform auf das Gussteil wirkt variiert. Abbildung 1 zeigt exemplarisch des Versuchsbauteil für Verzugs- und Heißrissuntersuchungen.

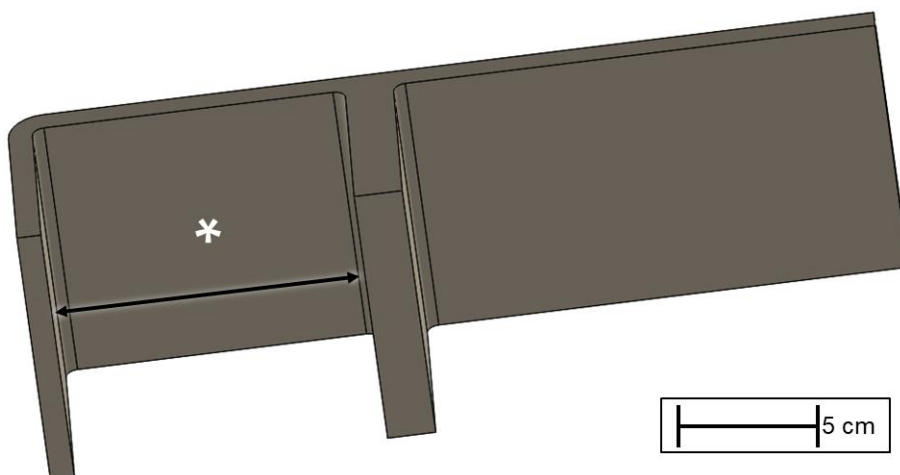


Abb. 1. Dargestellt ist das Versuchsbauteil für Verzugs- und Heißrissuntersuchungen. Der Pfeil kennzeichnet die für die Bestimmung des Verzuges herangezogene Öffnungsweite der -U-förmigen Bauteilsektion, und der Stern die Stelle der Heißrissbildung.

Ergebnisse

Die Qualifizierungsversuche an der YSZ-Beschichtung lieferten nach 450 Abgüssen keinen makroskopischen erkennbaren oder mittels induktiver Schichtdickenmessungen nachweisbaren Verschleiß (siehe Abbildung 2). Ebenfalls war auch anhand der Oberflächenqualität der Gussteile keine Degradation der Formbeschichtung festzustellen. Die ersten Untersuchungen der Heizschichten in der Versuchskokille zeigten eine mögliche Energieeinbringung von 10 W/cm^2 an der Grenzfläche und dazu passend eine Verlangsamung der Abkühlung im Gussteil.



Abb. 2. Zu sehen ist die Kavität der Qualifizierungsversuche der YSZ-Beschichtung vor (links) und nach (rechts) von 450 Gießzyklen.

Im Themenfeld der Heißrisse an AlCeMg Legierungen konnte gezeigt werden, dass mit zunehmendem Cergehalt (bis nahe an das Eutektikum) die Heißrisse neigung abnimmt und dass bei Legierungen mit niedrigem Cergehalt die Rissinitiation im Bereich der Erstarrung der Mischkristalle und noch oberhalb der eutektischen Erstarrung geschieht. Abbildung 3 zeigt exemplarisch die gemessene Abkühlkurve von AlCe2Mg5 sowie den Punkt der Rissbildung. Dies legt nahe, dass hier die sich bildende Dendritenstruktur im α -Aluminium aufgrund der Erstarrungsschrumpfung auseinandergezogen wird und diese Fehlstellen nicht vollständig nachgespeist werden können. Abbildung 4 zeigt hier beispielhaft optische und REM Aufnahmen der Legierung AlCe2Mg5. Die gemachten Beobachtungen liegen im Einklang mit den bisherigen Erkenntnissen, dass Cer als Legierungselement die Gießbarkeit im Hinblick auf Heißrisse positiv beeinflusst. Der Zusatz von Magnesium führte, besonders bei höheren Gehalten, zu starker Oxidbildung mit Luftsauerstoff, welches möglicherweise die Rissbildung begünstigt. Sowohl die Ergebnisse zu AlSi-, AlCu- als auch den

AlCeMg-Untersuchungen konnten im betrachteten Jahr veröffentlicht werden (s. u.).

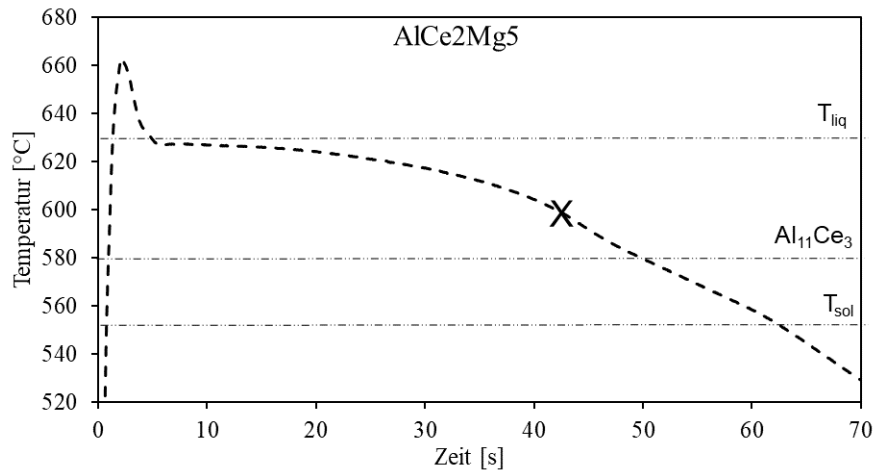


Abb. 3. Zu sehen sind die gemessene Abkühlkurve und Zeitpunkt der initialen Rissbildung (X). Die errechneten Temperaturen T_{liq} und T_{sol} sind eingezeichnet, ebenso die Starttemperatur der $Al_{11}Ce_3$ Bildung (oberhalb liegt α -Al Bildung vor).

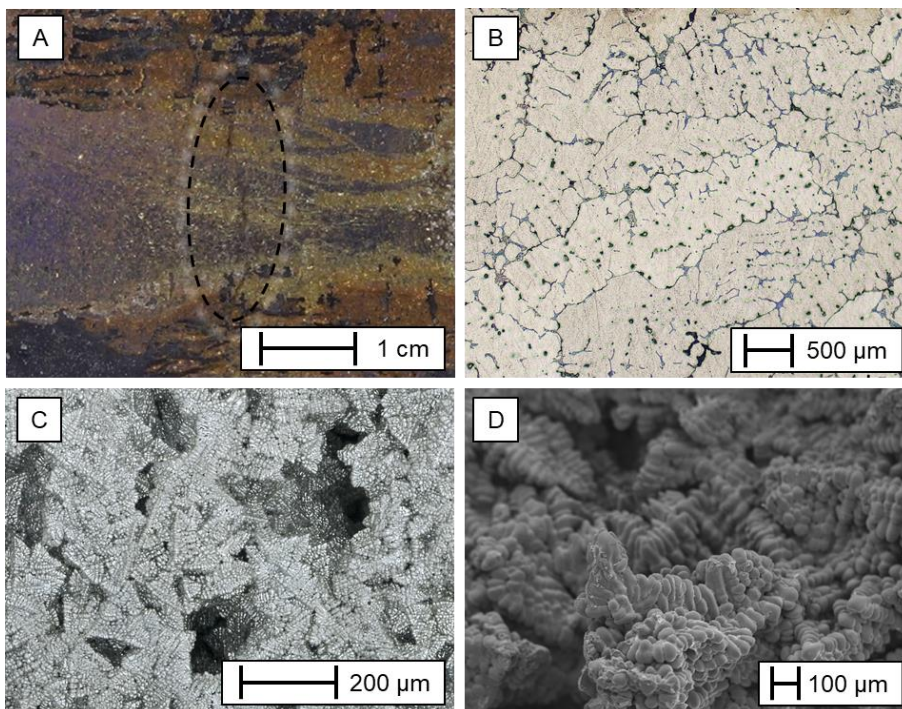
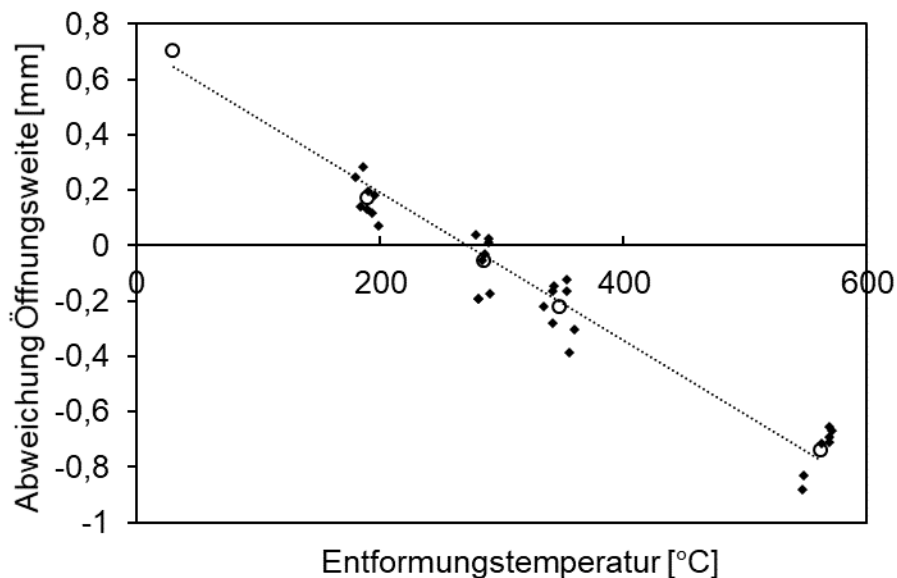


Abb. 4. Aufnahmen des Heißrisses (A) des Gefüges in Rissnähe (B) und der Rissfläche (C und D) in AlCe₂Mg₅

Zur Thematik der Verzugsminimierung wurden die im Vorjahr gesammelten Ergebnisse der Verzugsbeeinflussung durch bauteilbezogene - geometrische - und prozessbezogene -

thermische - Konzepte zusammengefasst und gemeinsam bzw. vergleichend ausgewertet und zur Publikation aufbereitet.

Die Versuche zur Beeinflussung des Bauteilverzuges über den Entformungszeitpunkt – und damit die Größe des Temperaturintervalls, in dem der mechanische Formzwang auf das Gussteil wirkt – lieferten ein klares Bild. Abbildung 5 zeigt einen nahezu linearen Zusammenhang zwischen Entformungstemperatur und gemessener Öffnungsweite (siehe hierzu Abbildung 1). Dies deutet darauf hin, dass der bleibende Bauteilverzug primär eine direkte Abhängigkeit der behinderten Erstarrungsschrumpfung – hervorgerufen durch unterschiedliche Wärmeausdehnung von Gussteil und Form – besitzt.



- ♦ Messwerte ○ Mittelwerte Tendenz (Mittelwerte)

Abb. 5. Das Diagramm zeigt die entstandenen Öffnungsweiten des Versuchsbauteils bei verschiedenen Entformungstemperaturen.

Zusammenfassung und Ausblick

Die Untersuchungen der YSZ-Beschichtung haben gezeigt, dass diese auch über eine große Anzahl Gießzyklen keine Haltbarkeitsprobleme aufweisen. Hier ist der nächste Schritt eine Erprobung in der Serienfertigung der Industrie. Die gezeigte erfolgreiche Beeinflussung der Aluminiumerstarrung, durch die in TP A12 erarbeiteten Heizleiterbeschichtungen eröffnet den Einsatz als weiteres Mittel zur örtlich wie auch zeitlich gezielten

Steuerung des lokalen Wärmehaushaltes in einem Dauerformgussprozess. So kann dieser Weg für die weiteren Projektschritte mit in das Spektrum der Steuerungskonzepte zur Verzugs- und Heißrissminimierung aufgenommen werden.

Die gemachten Untersuchungen zur Heißrissentstehung lassen es zu, die Randbedingungen, die eine Rissbildung hervorrufen genauer zu beschreiben als bisher und eröffnen so weitergehende Möglichkeiten die Rissbildung prädiktiv oder prozessimmanent zu minimieren respektive ganz zu verhindern.

Die gewonnenen Erkenntnisse zum Bauteilverzug und seiner Abhängigkeit von thermischen und geometrischen Eingangsgrößen (siehe hierzu Bericht des letzten Jahres) sowie der Einfluss des Formzwanges lassen auf dem Weg zur Verzugsminimierung als nächsten Schritt die Kombination von bauteilseitigen – geometrischen – sowie prozesseitigen - thermischen -Kompensationskonzepten als sinnvoll erscheinen. In weiterer Folge wird die Heißrissminimierung hierin integriert und in anschließenden Schritten diese Kompensationsmethodik auf komplexe reale Kokillengussbauteile sowie den komplexen Druckgussprozess übertragen.

Veröffentlichungen

WOLFF, N., R. SHARMA, U. VROOMEN, A. BÜHRIG-POLACZEK, und U. REISGEN. Development of an In-Situ Observation Procedure for Hot Tear Formation in Aluminum Alloys in Gravity Die Casting. In: Reisgen U., Drummer D., Marschall H. (eds) Enhanced Material, Parts Optimization and Process Intensification. EMPORIA 2020. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. 2021, https://doi.org/10.1007/978-3-030-70332-5_16

WOLFF, N., R. SHARMA, U. VROOMEN, A. BÜHRIG-POLACZEK, und U. REISGEN. Betrachtung des Heißrissverhaltens von AlCeMg-Legierungen im Schwerkraft-Kokillenguss. In: Tagungsband 4. Niedersächsisches Symposium Material-technik Tagungsband, 2021, <https://doi.org/10.21268/20210519-19>



ZHOU, B., H. BEHNKEN, J. EIKEN, M. APEL, G. LASCHET and N. WOLFF. Micro-macro Coupled Solidification Simulations of a Sr-Modified Al-Si-Mg Alloy in Permanent Mould Casting. In: Reisgen U., Drummer D., Marschall H. (eds) Enhanced Material, Parts Optimization and Process Intensification. EMPORIA 2020. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. 2021, https://doi.org/10.1007/978-3-030-70332-5_18