

Teilprojekt B8

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 wurden im zweiten vollen Jahr der zweiten Phase folgende Forschungsschwerpunkte verfolgt:

- Zum Projektschwerpunkt der Untersuchungen und Beeinflussung der Heißrissbildung waren die gemachten in-situ Versuche an AlSi- und AlCu-Legierungen, um Metallografische Untersuchungen zu erweitern. Ebenfalls waren die Versuche an weiteren Legierungssystemen fortzuführen.
- Zur Thematik des Bauteilverzuges standen weitere Versuchsreihen in dem SFB eigenen Versuchskokillenaufbau an, sowie deren isolierte und kombinierte Auswertung zur Untersuchung der Beeinflussbarkeit des Bauteilverzuges über den Wärmehaushalt. Darin eingeschlossen wurden Versuche zur geometrischen Verzugskompensation um die Beeinflussbarkeit des Verzuges, über den Wärmehaushalt, einordnen zu können.
- Daran anschließend war ein weiterer Aufgabenpunkt, welcher die Entwicklung eines Konzeptes zur Erweiterung des Versuchskokillenaufbaus beinhaltete. Hierbei sollte die Möglichkeit des zeitlich variablen Entformens, bis in den teilerstarrten Bereich hinein, geschaffen werden.

Vorgehensweise

Im Rahmen der Versuche zur Erforschung der Heißrissentstehung wurden die im Vorjahr entstandenen Gussteile in einer Kooperation mit Teilprojekt A02 makro- sowie mikroskopisch und mittels REM untersucht. Es wurden die Gefüge in und nahe der Rissfläche analysiert, um das Wissen der zugrunde liegenden Mechanismen bei der Rissausprägung zu erweitern. Im Zuge weiterer Versuchsreihen wurde die erarbeitete in-situ Versuchsmethodik auf Legierungen des Systems AlCeMg angewendet, welches aufgrund seiner sehr guten Hochtemperaturfestigkeiten als zukunftsorientiert gilt, aber noch wenig erforscht ist.

Zur Verzugsthematik wurden weitere Versuchsreihen in der Versuchskokille durchgeführt. Dabei wurde neben der Beeinflussung des Wärmehaushaltes auch der Einfluss der Bauteilgeometrie einbezogen, wie z. B. die Verringerung der Bauteilwandstärke, zur Erzeugung größerer thermischer Gradienten. Bei den Versuchsreihen wurden neben den Ergebnissen des Bauteilverzuges das Gussgefüge sowie die in-situ gemessenen Temperaturen erfasst und die so gewonnenen Daten in Zusammenhang gebracht.

Die Erkenntnisse der Versuche zum Bauteilverzug fließen in einem iterativen Prozess laufend in die Entwicklung neuer Kokillenmodule ein. Im betrachteten Zeitraum besonders hervorzuheben ist der Umbau der Module auf die Möglichkeit des Entformens zu verschiedenen Zeitpunkten des Abkühlvorgangs, bis hin in den teilerstarrten Bereich. Ziel ist es den Formzwang der Dauerform in verschiedenen Stadien der Erstarrungs- oder Festkörperschrumpfung aufheben zu können.

Ergebnisse

In Erweiterung der Ergebnisse der in-situ Beobachtung der Heißrissentstehung lieferten die metallografischen Untersuchungen der Heißrissproben weitere Erkenntnisse zur Rissentstehung. So zeigt Abb. 1 eine REM-Aufnahme der Oberfläche von Dendriten in der Rissfläche eines Heißrisses in der Legierung Al 99,8. In der interdendritischen Oberfläche sind Falten zu erkennen, die durch die Erstarrungsschrumpfung der auf den der Dendriten befindlichen und zuletzt erstarrten Restschmelze erklärt werden können. Dies legt Seigerungen von Sekundärelementen in der Restschmelze nahe, und dass die Heißrissbildung in diesem Film aus Restschmelz initiiert wurde. Dies führt zu dem Schluss, dass die Sekundärelemente eine zentrale Rolle für die Rissentstehung einnehmen.

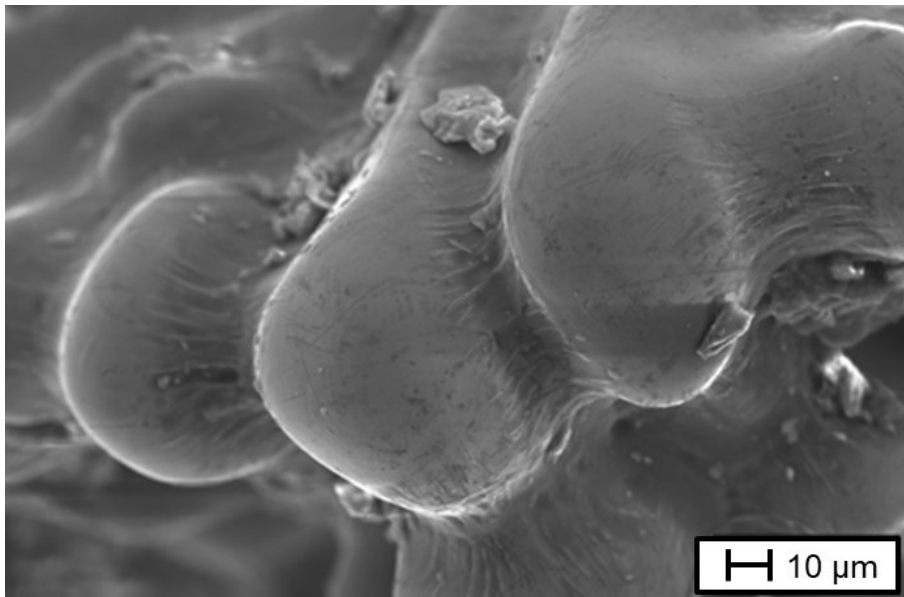


Abb. 1: REM-Aufnahme der Dendritenstruktur in der Rissfläche eines Heißrisses in Al99,8.

Die Auswertung der Versuchsreihen zum Bauteilverzug lieferten die Ergebnisse, dass es durch die Steuerung des Wärmehaushaltes zur Gewährleistung einer möglichst homogenen Erstarrung im betrachteten Bauteilbereich – erreicht durch eine Kooperation mit Teilprojekt B01 in den Vorjahren – möglich ist die Schwankung des Verzuges der Bauteile innerhalb einer Serie zu reduzieren. Hierfür wird das Maß der „relativen Streuung“ eingeführt, die Standardabweichung innerhalb der betrachteten Bauteilreihe normiert mit deren

mittlerem Verzug. In Abb. 2 sind rechts die Ergebnisse der Versuchsbauteile mit Standardgeometrie und links für die Bauteile mit verringerter Wandstärke – und somit stärkeren thermischen Gradienten – dargestellt. Es ist zu sehen, dass der Einsatz des optimierten Kühlkonzeptes zwar zu einem größeren Verzug aber zu einer kleineren Abweichung und daher zu einer viel geringeren relativen Streuung führt.

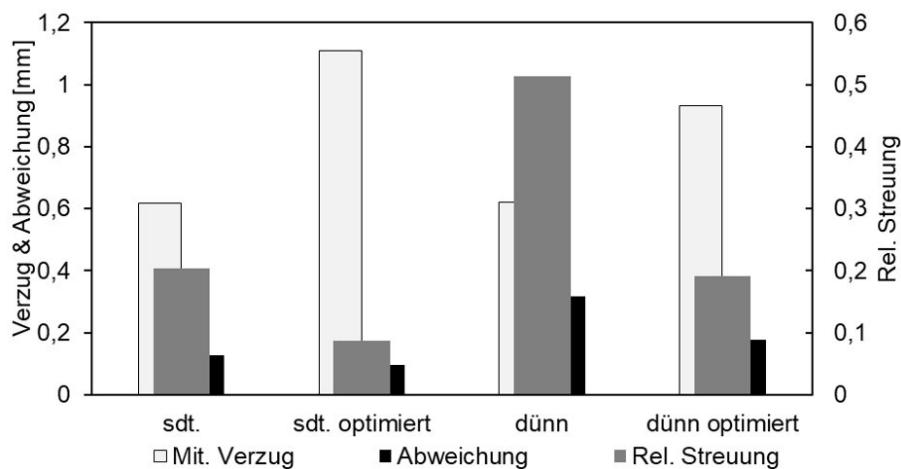


Abb. 2: Mittlerer Verzug, Standardabweichung und relative Streuung für verschiedene Bauteilserien, einmal mit konventionellem und einmal mit optimiertem Kühlkonzept.

Die Reduzierung des mittleren Verzuges konnte durch den Einsatz – von empirisch ermittelter – geometrischer Kompensation erreicht werden, wie in Abb. 3 für die beiden Bauteilvariationen dargestellt ist. Jedoch zeigt diese keinen klar erkennbaren Einfluss auf die Abweichung der Verzüge innerhalb einer Serie, weswegen die Standardabweichung für die Variation mit Standardbauteilwandstärke deutlich über dem mittleren Verzug liegt. Daraus ergibt sich eine relative Streuung von 3,45, verglichen mit der des optimierten Kühlkonzeptes von 0,18.

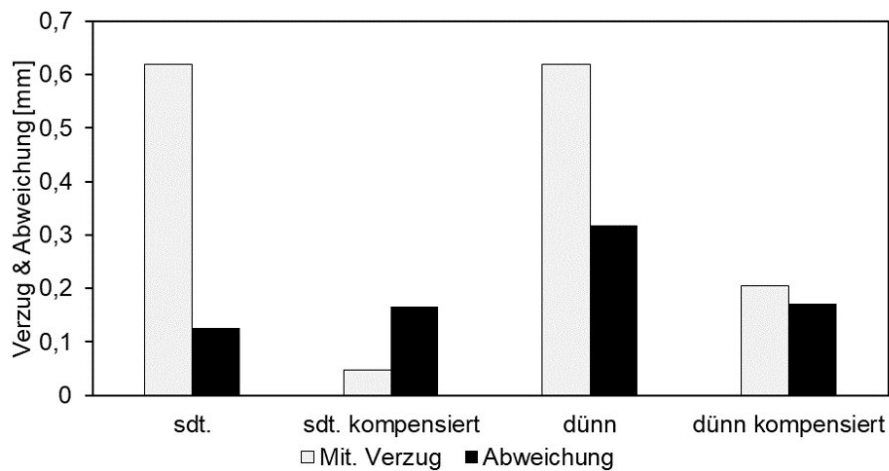


Abb. 3: Mittlerer Verzug und Standardabweichung für verschiedene Bauteilserien, einmal mit Kern mit soll- und einmal mit kompensierter Geometrie.

Abbildung 4 zeigt ein CAD-Modell des Kokillenkonzeptes für die zeitvariable Entformung bis hin in den teilerstarten Bereich. In dem beschriebenen Zeitraum wurde das Konzept entwickelt, konstruktiv umgesetzt und die Fertigung beauftragt.

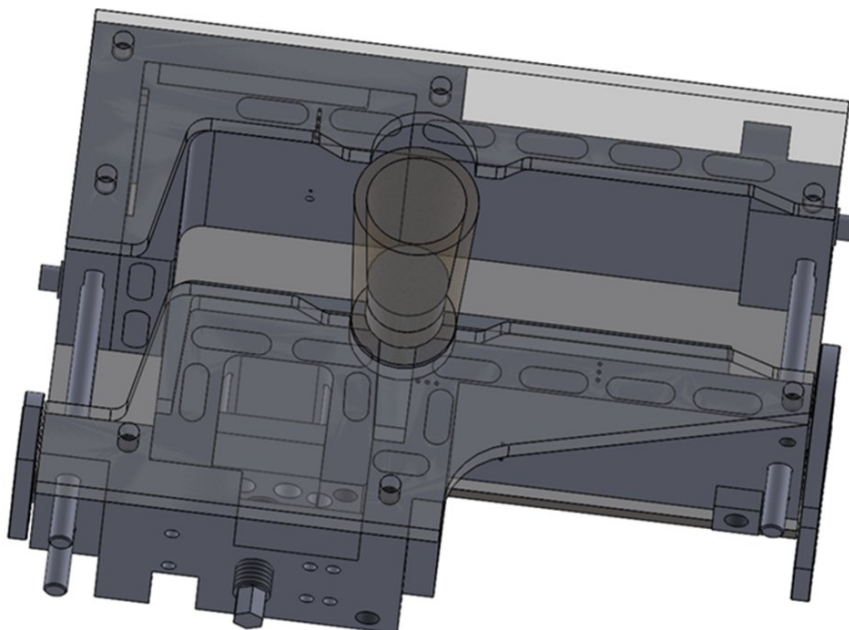


Abb. 4: Darstellung der Kokille zur zeitlich variablen Aufhebung des Formzwanges.

Zusammenfassung und Ausblick

Die Versuche der in-situ Heißrissbeobachtung in Kombination mit den aus der Kooperation mit Teilprojekt A02 gewonnen metallografischen Erkenntnissen ermöglichten erste Fortschritte beim Verständnis der Heißrissentstehung. In weiteren Versuchen sollen weitere Legierungsvariationen betrachtet werden. Ebenfalls wird, im Austausch mit den numerischen Teilprojekten B07 für mikro- und B09 für makroskalige numerische Methoden, die Modellbildung zu den der Rissbildung zugrunde liegenden Mechanismen weiter vertieft.

Die Verzugsuntersuchungen zeigen für die Variation der Temperierung bei einer Optimierung des Wärmehaushaltes für eine homogene Erstarrung die Erreichbarkeit einer geringeren Schwankung im Bauteilverzug, bei jedoch größer werdendem Verzug an sich. Dem gegenüber steht, dass die empirische geometrische Verzugskompensation den Verzug signifikant verringern kann, allerdings unter Beibehaltung der Schwankungsbreite. Daraus lässt sich ableiten, dass eine Zusammenführung beider Konzepte ein nächster Schritt zur Verzugsminimierung ist. Wobei auf dem Weg der geometrischen Kompensation in Zukunft durch Kooperation mit den Teilprojekten B09 und B02 verstärkt auf numerische Methoden gesetzt wird.

Neben der Fortführung dieser Herangehensweise werden weiterführende Methoden angewandt, unter anderem durch das vorgestellte Konzept zur zeitlich variablen Aufhebung des Formzwanges. Mit dem Ziel die Mechanismen der Verzugsentstehung in der Kausalkette von Wärmehaushalt, Erstarrung und Schrumpfung einem weiter vertieften Verständnis zuzuführen.

Veröffentlichungen

N. Wolff, T. Hohlweck, U. Vroomen, A. Bührig-Polaczek, Ch. Hopmann. Entwicklung einer Versuchskokille zur Untersuchung und thermischen Beeinflussung des Bauteilverzugs beim Schwerkraftkokillengießen. Gießerei Special, Bd. 1, S. 14-23, 2020.

N. Wolff, G. Zimmermann, U. Vroomen, A. Bührig-Polaczek. A Statistical Evaluation of the Influence of Different Material and Process Parameters on the Heat Transfer Coefficient in Gravity Die Casting. Metals, 2020, 10(10), 1367, <https://doi.org/10.3390/met10101367>