

## Teilprojekt B9

### **Titel**

Thermomechanische Mehrphasensimulation mit lokaler Berechnung von Werkstoffeigenschaften zur Vorhersage und Minimierung des Verzugs von Gussbauteilen

### **Projektleitung/-bearbeitung**

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

Vossel, Thomas M.Sc.  
Gießerei-Institut - Projektbearbeitung

### **Aufgabenstellung**

- Thermomechanische Simulation der Erstarrung des „F“-Bauteils
- Simulation der Anwendung plasmagespritzter Heizleiterschichten im Schwerkraftkokillenguss

### **Vorgehensweise**

- Thermomechanische Simulation der Erstarrung des „F“-Bauteils

Um einen Benchmarktest für die Bewertung des Verzugs eines Gussbauteils und den thermischen bzw. geometrischen Einfluss auf diesen zu entwickeln, wurde sich an den experimentellen Arbeiten des Teilprojekts B8 orientiert. Der dort entwickelte Aufbau eines „F“-förmigen Aluminiumbauteils (vgl. Abbildung 1), das im Schwerkraftkokillenguss gegossen wird, wurde daher wie Abbildung 2 dargestellt in die Software Abaqus übertragen. Der in vier Bereiche separierte, modulare Aufbau der verwendeten Stahlkokille mit integrierten Kühlkanälen für eine Ölkühlung erlaubt eine lokal unterschiedliche Temperierung während des Erstarrungsprozesses. So sollen die Möglichkeiten einer thermischen Beeinflussung des Verzugs untersucht werden.

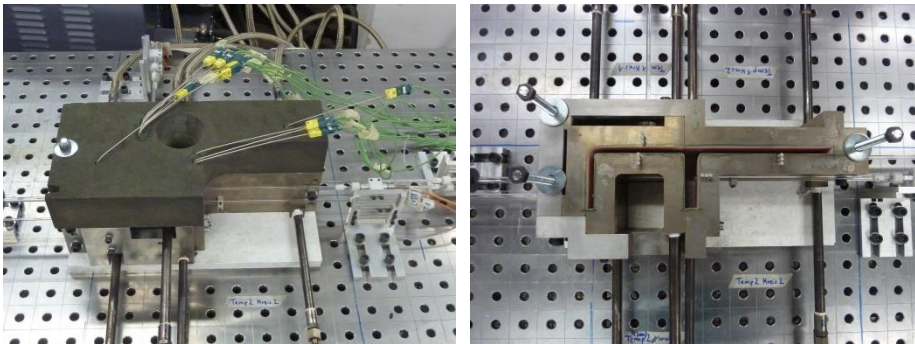


Abbildung 1: Experimenteller Versuchsaufbau des „F“-Bauteils wie vom Teilprojekt B8 entwickelt und in Betrieb genommen

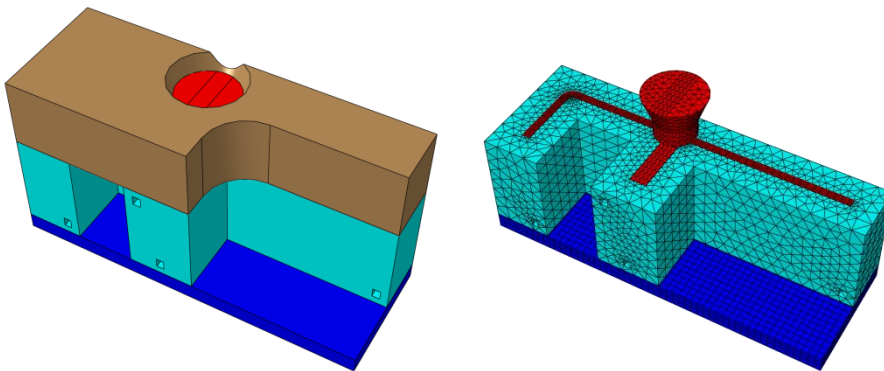


Abbildung 2: Schematischer Aufbau und Vernetzung des Abaqus Simulationsmodells

- Simulation der Anwendung plasmagespritzter Heizleiterschichten im Schwerkraftkokillenguss

Die Applikation von Heizleiterschichten im Sinne einer die in Gießereien gemäß Stand der Technik eingesetzten Schichten ersetzenden Oberflächenbeschichtung stellt ein innovatives Konzept für die thermische Beeinflussung des Wärmehaushalts dar. Im Gegensatz zum herkömmlichen Einsatz von Kühlkanälen, die über einen Ölkreislauf temperiert werden, ermöglicht der neue Ansatz der Nutzung von Heizleitern die gezielte lokale Freisetzung von Wärme in den Gießprozess an der Schmelze/Form Grenzfläche. Ein weiterer Vorteil besteht in der unmittelbaren Energieeinbringung über den elektrischen Strom was im Gegensatz zum trägen Reaktionsverhalten einer Öltemperierung für ein schnelles Ansprechverhalten der Temperaturen an der Grenzfläche sorgt. So lassen sich neue Temperierungskonzepte entwickeln, die vormals nicht möglich waren. Diesbezüglich soll eine Konzeptstudie in Kooperation

mit den Teilprojekten A10 und A12 das Potential der Anwendung von Heizleitern in Gießprozessen darlegen und gleichzeitig als Vorarbeit für die Planung des experimentellen Einsatzes dienen. Hierzu werden vier in Abbildung 3 markierte Regionen der Stahlkokille als mit Heizleiter zu versehen Flächen ausgewählt, die mit einer Heizleistung von 10 bzw. 30 W/cm<sup>2</sup> simuliert wurden. Anschließend wird der Einfluss auf die Verformung des „U“-förmigen Bereichs des Gussteils ausgewertet.

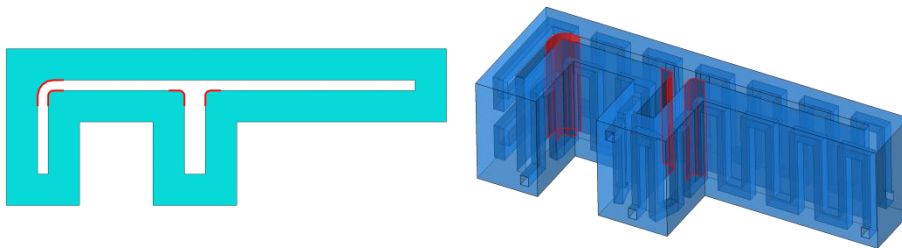


Abbildung 3: Schematische Darstellungen der Stahlkokille und der vier Regionen mit applizierter Heizleiterbeschichtung

## Ergebnisse

- Thermomechanische Simulation der Erstarrung des „F“-Bauteils

Die thermomechanische Simulation der Erstarrung des Bauteils in „F“-Geometrie erlaubt die Analyse des Verformungsverhaltens in Folge unterschiedlicher Abkühlbedingungen, die durch Änderungen an der Öltemperierung verändert werden können. Weiterhin kann die Verformung während des Verbleibs des Gussteils in der Kokille (unter Formzwang) wie auch die weitere Verformung nach Entnahme des Bauteils aus der Form ausgewertet werden (vgl. Abbildung 4). Die durchgeführten Simulationen können damit als Hilfestellung für die Planung eines adaptierten Versuchsaufbaus mit Möglichkeit zur Bauteilentnahme bei hohen Bauteiltemperaturen dienen und bilden die Basis für die Erwartungshaltung an die sich im Experiment ausbildenden Verzüge.

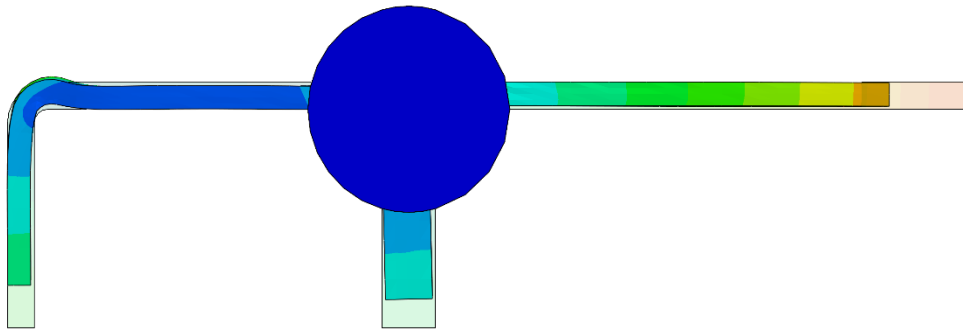


Abbildung 4: Verformung des Gussteils unter Formzwang in der Kokille (Verformungsausmaß um Faktor 10 skaliert)

- Simulation der Anwendung plasmagespritzter Heizleiterschichten im Schwerkraftkokillenguss

Um die Auswirkungen der thermischen Beeinflussung des Prozesses durch die Heizleiterschichten zu beurteilen, wird die Verformung in x-Richtung der beiden Flanken des „U“-förmigen Gussteilbereichs wie in Abbildung 5 dargestellt ausgewertet. Abbildung 6 zeigt die sich jeweils ausbildenden Verformungen der abgebildeten Punkte O2 und I2. Sowohl eine Veränderung der Öltemperierung von 30 oder 300 °C wie auch die Variation der optionalen Temperatureinbringung durch die Heizleiter mit 10 oder 30 W/cm<sup>2</sup> Heizleistungsdichte zeigen Unterschiede hinsichtlich des sich einstellenden Verzugs. Es konnte somit eine grundsätzliche Eignung der Heizleiter für die Beeinflussung des Verzugsverhaltens unter auch praktisch realisierbarer Energieeinbringung nachgewiesen werden. Aufbauend auf den erfolgten Untersuchungen können weitergehende Konzepte für die Nutzung der Heizleiterschichten zur gezielten Erzielung oder Vermeidung von Verzügen erarbeitet und erprobt werden. Die aus der Dreidimensionalität des Verformungsverhaltens resultierende Komplexität der ablaufenden Vorgänge machen dazu auch die Erarbeitung eines ganzheitlichen Maßes für die Verformung nötig, da die zur ersten Auswertung herangezogene eindimensionale Verformung nur einen Bruchteil der Gesamtverformung widerspiegeln kann.

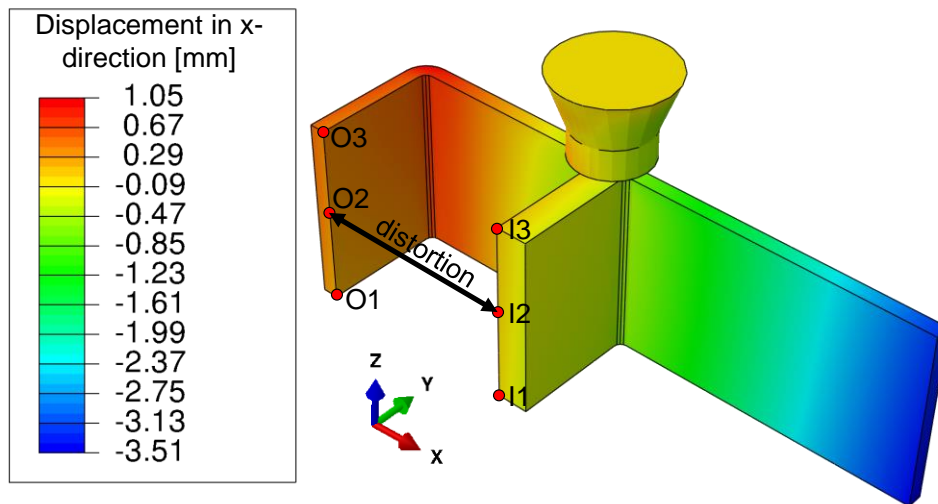


Abbildung 5: Darstellung des Verzugs in x-Richtung auf dem gesamten Bauteil und Messpositionen für die Auswertung der Verzugsbeeinflussung

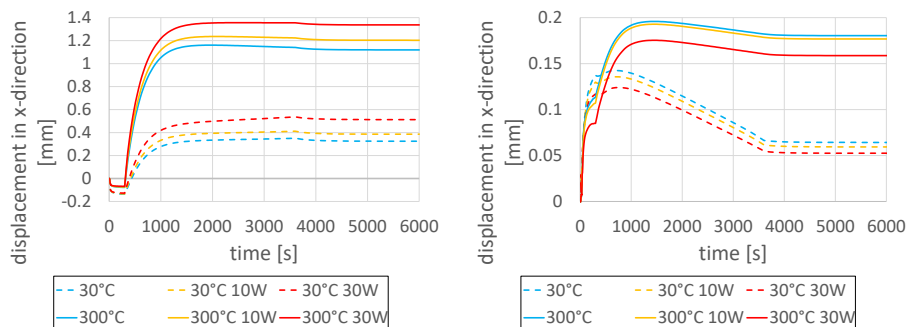


Abbildung 6: Entwicklung des Verzugs an den Messpositionen O2 (links) und I2 (rechts) über die Prozesszeit

### Zusammenfassung und Ausblick

Der Aufbau des Simulationsmodells für die „F“-Geometrie und die enge Zusammenarbeit mit den experimentellen Arbeiten des Teilprojekts B8 erlauben die konzeptuelle und praktische Auswertung von Konzepten zur Kompensation von Verzug von Gießprozessen. Neben Untersuchungen hinsichtlich des Zeitpunkts der Befreiung vom Formzwang während des Abkühlprozesses wird auch die Möglichkeiten thermischer Beeinflussung des Wärmehaushalts hinsichtlich des Verzugs aufgezeigt. Insbesondere die Anwendung von Heizleiterschichten stellt dabei ein innovatives Konzept dar, das Möglichkeiten schafft, die mit der bislang eingesetzten Öltemperierung nicht realisierbar waren.

Weiterhin erlauben die thermomechanischen Simulationen eine Untersuchung des Heißrissverhaltens. Die Implementierung eines Heißrisskriteriums unter Nutzung der im Teilprojekt B9 bereits entwickelten Erstarrungsmodelle wird die Vorhersage von heißrissgefährdeten Bereichen ermöglichen. Dies erlaubt die Planung von präventiven Maßnahmen zur Vermeidung von Heißrissen und den Abgleich mit von Teilprojekt B8 durchgeführten Experimenten. Neben den weiteren Auswertungen hinsichtlich der thermischen Beeinflussung des Verzugs wird ebenfalls eine geometrische Verzugskompensation durch Variation der Kokillengeometrie erfolgen. Auf diese Weise können die Konzepte und Potentiale für den Einsatz von thermischer und geometrischer Kompensation aufgezeigt und miteinander verglichen werden, um so eine höchstmögliche Präzision des Gießprozesses zu erreichen.

### **Veröffentlichungen**

[1] T. Vossel, B. Pustal, A. Bührig-Polaczek, Influence of Gap Formation and Heat Shrinkage Induced Contact Pressure on the Development of Heat Transfer in Gravity Die Casting Processes, Liquid Metal Processing & Casting Conference 2019

[2] T. Vossel, N. Wolff, B. Pustal, A. Bührig-Polaczek, Influence of die temperature control on solidification and the casting process, International Journal of Metalcasting, December 2019

[3] T. Vossel, B. Pustal, A. Bührig-Polaczek, Einfluss der Spaltbildung und der schrumpfungsbedingten Kontaktdrücke auf die Entwicklung des Wärmeübergangs im Schwerkraftkokillenguss, Giesserei-Special 02/2019, S. 26-33

[4] T. Vossel, B. Pustal, A. Bührig-Polaczek, Einfluss der Kokillentemperatur auf die Erstarrung beim Dauerformgießprozess, Giesserei-Special 02/2019, S. 34-45

[5] K. Komerla, S. Gach, T. Vossel, A. Schwedt, A. Bührig-Polaczek, U. Reisgen, W. Bleck, The effect of beam oscillations on the microstructure and mechanical properties of electron beam welded steel joints, The international journal of advanced manufacturing technology 102 (9/12), S. 2919-2931