

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

Gor, Shrujal M.Sc.
Gießerei-Institut - Projektbearbeitung

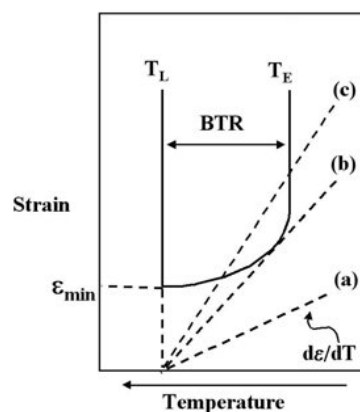
Aufgabenstellung

- Implementierung und Entwicklung von Heißrissskriterien für das 'F'-förmige Bauteil im Kokillenguss

Vorgehensweise

Die neuere Literatur legt nahe, dass die Dehnungsrate den Heißrissmechanismus während der Erstarrung beeinflusst. Daher wurde der Fokus auf die Implementierung von aktuellen dehnungsratenbasierten Kriterien für die Anwendung im Kokillenguss gelegt. Es wurden zwei Kriterien implementiert: 1. das Prokhorov-Kriterium und 2. Rappaz-Kriterium.

Prokhorov-Kriterium:



Auf Duktilität basierende Modelle erkannten, dass die Dehnungsrate ebenfalls ein wichtiger Faktor für das Heißreißen ist, aber nur insofern, als sie dazu dient, zu bestimmen, wie viel Dehnung während der Zeit der Erstarrung akkumuliert werden kann. Dieses Konzept wurde zuerst von Prokhorov vorgeschlagen und später als kritische Dehnungsrate für Temperaturabfall bezeichnet.

Prokhorov schlug den folgenden Anfälligkeitsindex vor:

$$HCS_{prokh.} = \max \left(\dot{\varepsilon} - \frac{D_{min}}{BTR} |\dot{T}| \right)$$

Dabei ist D_{min} die minimale Versagensdehnung, BTR ist der spröde Temperaturbereich. Beides sind materialabhängige Angaben.

Rappaz Kriterium:

Rappaz schlägt vor, dass Heißrissbildung auftritt, wenn der Druck der Schmelze in den interdendritischen Räumen unter einen kritischen Wert sinkt (bei dem der Flüssigkeitsfilm reißt). Er verknüpft die Dehnungsrate mit der Verformung im Festkörper und kommt unter Verwendung der volumengemittelten Gleichungen zur Erhaltung der Masse sowie der Darcy-Gleichung zu einer Beziehung zwischen der Druckänderung der flüssigen Schmelze und der Dehnungsrate. Dieses Kriterium deutet darauf hin, dass die Dehnungsrate nicht nur eine Rolle bei der Beschreibung der akkumulierten Dehnung spielt, sondern auch direkt den Mechanismus des Heißreißen anspricht. Der Anfälligkeitsindex für das RDG-Kriterium kann wie folgt geschrieben werden:

$$HCS_{RDG} = \frac{180\eta\Delta T}{\lambda^2} \left(\frac{|\dot{T}|}{G^2} \beta A + \frac{(1+\beta)B\dot{\varepsilon}\Delta T}{G^2} \right)$$

$$, \text{ where } A = \frac{1}{\Delta T} \int_{T_{end}}^{T_{mf}} \frac{f_s^2 dT}{(1-f_s)^3}, \quad B = \frac{1}{\Delta T} \int_{T_{end}}^{T_{mf}} \frac{f_s^3 F_s(T) dT}{(1-f_s)^3},$$

$$F_s(T) = \frac{1}{\Delta T} \int_{T_{end}}^T f_s dT$$

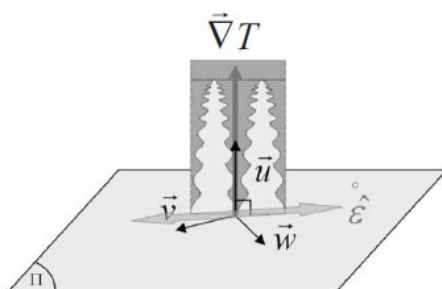


Figure i Komponenten des Dehnungsgeschwindigkeitstensors senkrecht zum Temperaturgradienten (Richtung des Dendritenwachstums)

Eine der von Rappaz getroffenen Annahmen war, dass die Verformung in der Richtung senkrecht zum thermischen Gradienten erfolgt. Der Dehnungsraten tensor wurde in einer Ebene π ausgedrückt, die senkrecht zum thermischen Gradienten

steht. So kann ein Skalar definiert werden, der der maximalen positiven Hauptdehnungsrate in der π -Ebene entspricht. Dieser Skalar ist die Zugdehnungsrate senkrecht zu den restlichen interdendritischen Flüssigkeitsfilmen und wird in den oben erwähnten Suszeptibilitätsindizes verwendet. Die Integralfunktionen des Festkörperanteils werden numerisch unter Verwendung der Festkörperanteilskurven aus Mikrostruktursimulationen berechnet.

Ergebnisse

Die folgenden Abbildungen zeigen die Ergebnisse für die Implementierung der im vorherigen Abschnitt besprochenen Indizes für die Heißrissanfälligkeit.

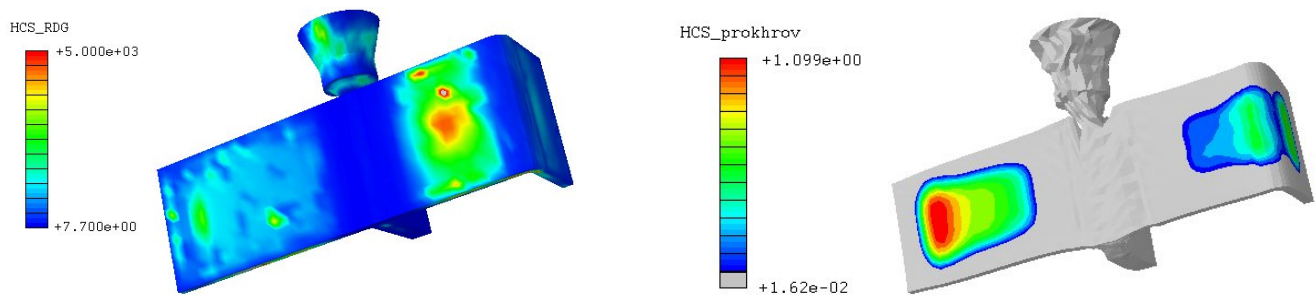


Figure ii Heißrissanfälligkeit nach RDG und Prokhorov-Kriterium

In Experimenten wurden Risse in den ähnlichen Bereichen gefunden, für die das RDG-Kriterium gilt. Die hier implementierten Kriterien können die Bereiche vorhersagen, die in einem bestimmten Temperaturbereich zu Heißrissen neigen, aber sie können nicht die Instanz vorhersagen, in der ein Riss auftritt.

Zusammenfassung und Ausblick

Eine erste Implementierung des dehnratenbasierten Heißrisskriteriums wurde durchgeführt. Integrale Funktionen im RDG-Kriterium wurden numerisch mit Hilfe der aus Mikrostruktursimulationen gewonnenen Bruchteil-Volumenkurven berechnet. Bereiche innerhalb der F-Komponente mit Heißrissneigung wurden durch das Kriterium vorhergesagt und mit experimentellen Ergebnissen verglichen.

In den nächsten Schritten wird der Fokus auf der Verbesserung der bereits implementierten Kriterien liegen, indem mikrostrukturabhängige Permeabilitätsinformationen verwendet werden, die mit Hilfe von Mikrostruktursimulationen gewonnen wurden. Es werden Simulationen für verschiedene Geometrien und Randbedingungen durchgeführt und verglichen, um die Kriterien zu validieren. Bessere Heißrissvorhersagen sind ein notwendiger Ausgangspunkt, um auf die Steuerung der Prozessparameter zur Reduzierung des Heißrisses während der Erstarrung hinzuarbeiten.

Veröffentlichungen

[1] T. Vossel, B.Pustal, A. Bührig-Polaczek. Determination of the heat transfer coefficient via inverse simulation for air gap and contact pressure dominated interfaces in gravity die casting processes. 2020 AFS Proceedings of the 124th Metalcasting Congress.

[2] T. Vossel, B.Pustal, A. Bührig-Polaczek. Determination of the heat transfer coefficient for a liquid-solid contact in gravity die casting processes. Emporia 2020.