VERTINGOT

Flow-solidification control in vertically cast ingot

Programm / Ausschreibung	FinVn 22/23, Kooperationsstrukturen, Bridge Ausschreibung 2023	**Status**	laufend
Projektstart	01.12.2023	**Projektende**	30.06.2027
Zeitraum	2023 - 2027	**Projektlaufzeit**	43 Monate
Keywords	Flow-solidification intraction; crystal fragmentation; macrosegregation; ingot; as-cast structure		

Projektbeschreibung

Motivation und Ziele: Trotz der langen Geschichte der Gießtechnologien sind die Wechselwirkung zwischen Strömungen und Erstarrung und deren Einflüsse auf die Bildung von Gussgefüge, Makroseigerungen und Porosität immer noch nicht vollständig verstanden. Ein vertieftes Verständnis über diese Zusammenhänge ist von entscheidender Bedeutung, insbesondere um den hohen Qualitätsansprüchen mit einer steigenden Nachfrage an großen und hochwertigen Gussteilen in der Schwerindustrie (Energiesektor) gerecht zu werden. Zur Beeinflussung der Strömungen während der Erstarrung in solchen Gussblöcken wurden bereits neue Ansätze vorgeschlagen, z.B. durch Rotation der Gussform (RCM) oder durch Rühren der Schmelze mit einem elektromagnetischen Feld (EMS). Die Umsetzung solcher Ansätze in der Produktion ist jedoch eher eine Kunst als eine Wissenschaft und mit einer Reihe von kostspieligen und zeitintensiven Experimenten von Laborversuchen über Pilotanlagen bis hin zur Evaluierung in Produktionsanlagen verbunden, um den hohen Qualitätsansprüchen der Endkunden gerecht zu werden. Diese hohen Kosten und hoher Zeitaufwand in der Entwicklung veranlassen die Metallurgen, die Rolle der Strömung bei der Erstarrung mit neu entwickelten Simulationsmodellen besser zu erschließen. Die Motivation dieses Projekts ist die Entwicklung eines mehrphasigen Erstarrungsmodells für die Untersuchung von Strömungen während des Erstarrungsprozesses von großen, vertikal gegossenen Gussblöcke, so dass die Innenqualität der Gussblöcken durch das numerische Modell vorhergesagt werden kann und der Einfluss sowie die idealen Prozessparameter für z.B. RCM und/oder EMS optimiert werden können.

Stand der Technik: Eine kritische Frage im Zusammenhang mit der Wechselwirkung zwischen Strömung und Erstarrung ist der Ursprung der äquiaxialen Kristalle, die durch die strömungsbedingte Kristall-Fragmentation verursacht werden. Im Rahmen des internationalen Projekts MICAST der Europäischen Weltraumorganisation wurden im Materialforschungslabor an Bord der Internationalen Raumstation Er-starrungsexperimente unter kontrollierten Strömungsbedingungen durchgeführt; dabei wurden einige Erkenntnisse gewonnen und ein Sub-Modell für die strömungsbedingte Fragmentation vorgeschlagen. Dieses Sub-Modell wurde vor kurzem in ein volumengemitteltes (VA) Mehrphasen-Erstarrungsmodell implementiert. Man beachte, dass die VA-basierten Erstarrungsmodelle auf das Erstarrungsproblem im Prozessmaßstab abzielen; die großen vertikal gegossenen Gussblöcke können nur mit einem derartigen Modell betrachtet werden. Des Weiteren gibt es einige Studien über den EMS-Effekt während der Erstarrung, wobei Studien über das RCM und dessen Einfluss auf die Erstarrung

derzeit noch nicht zur Verfügung stehen.

Methode: Es werden sowohl Experimente als auch numerische Modellierungen durchgeführt. Stahlblöcke im Labormaßstab werden gegossen; verschiedene RCM-Schemata (Rotation in einer Richtung mit konstanter Geschwindigkeit, alternativer Wechsel der Drehrichtungen) werden umgesetzt; die gegossenen Blöcke werden auf Gefüge, Makroseigerung und Porosität untersucht. Das bestehende VA-basierte "mixed columnar-equiaxed" Erstarrungsmodell wird für das RCM erweitert, d.h. es werden die Mehrphasenströmungsphänomene im Rotationsrahmen gelöst (Behandlung von Zentrifugal- und Corioliskräften). Das Erstarrungsmodell wird durch Vergleich mit den oben genannten Laborexperimenten und weiterer Literatur bewertet. Schließlich wird das verifizierte Modell verwendet, um das Konzept der Erzielung einer verbesserten Innenqualität eines großen vertikal gegossenen Blocks (segment casting) mit der Strömungssteuerung über RCM und EMS zu beweisen.

Erwartete Ergebnisse und Neuheiten: Das zentrale Ergebnis ist ein verifiziertes VA-basiertes "mixed columnar-equiaxed" Erstarrungsmodell, das für große vertikal gegossene Blöcke mit der Strömungskontrolle über RCM und EMS anwendbar ist. Die Neuheiten sind: i) wissenschaftlich gesehen wurde die Kristall-Fragmentation während der Erstarrung in großen vertikal gegossenen Blöcken mit dem RCM noch nie untersucht; ii) aus technischer Sicht würde das Modell zu einer quantitativen Kontrolle der Innenqualität der großen Blöcken führen; iii) wirtschaftlich gesehen würde das RCM im Gießprozess ganz oder teilweise das EMS ersetzen und somit den Energieverbrauch minimieren. Eine verbesserte Innenqualität der mit RCM produzierten Blöcke ist zu erwarten, wodurch Herstellungsschritte eliminiert werden können und dadurch nachhaltig Produktionskosten, Energieverbrauch und CO2 Ausschuss eingespart werden.

Abstract

Motivation and goal: Despite the long history of casting technique, the flow-solidification interaction still remains mysterious. The surging demand for large high quality rotor shafts or similar cast components in heavy industry (energy sector) drives the metallurgists to obtain profound understanding of such flow-solidification interaction in the formation of as-cast structure, macrosegregation and porosity. Concepts and technologies to influence the flow during solidification have already been proposed, e.g. by rotating the casting mold (RCM) or by stirring the melt with electromagnetic stirring (EMS). However, the implementation of such ideas into practice is more an art than a science; it requires a series of costly and time consuming experiments (from laboratory, pilot plant, to the industry implementation) to verify the concept. The motivation of this project is to develop a multiphase solidification model, hence the inner quality of the large vertically cast ingot can be predicted and then controlled via RCM and/or EMS.

State-of-the-art: One critical issue regarding to the flow-solidification interaction is the origin of the equiaxed crystals caused by the flow-driven crystal fragmentation. An international project MICAST was established within the European Space Agency to perform solidification experiments under controlled flow conditions in Materials Science Laboratory aboard of the International Space Station; some knowledge was obtained and a sub-model for the flow-driven fragmentation was proposed. Such model was recently implemented in a volume-average (VA) based multiphase solidification model. Note that the VA-based solidification models target the solidification problem at the process scale; the large vertically cast ingots can only be tackled with such models. Additionally, some studies on the EMS during solidification are available, but study on the RCM is rare.

Methods: Both experiment and numerical modeling will be performed. Steel ingots at the laboratory scale are cast; different

RCM schemes (rotation in one direction with constant speed, alternative change of the rotation directions) are implemented; the as-cast ingots are analyzed for as-cast structure, macrosegregation and porosity. The existing VA-based mixed columnar-equiaxed solidification model is extended for the RCM, i.e. solving the multiphase flow phenomena in the rotational frame (treatment of centrifugal and Coriolis forces). The solidification model will be evaluated by comparison with the above laboratory experiments and other literatures. Finally, the verified model is used to prove the new concept of a large vertically cast ingot (segment casting) with the flow control via RCM and/or EMS.

Expected results and novelties: The main result is a verified VA-based mixed columnar-equiaxed solidification model, applicable for large vertically cast ingots with the flow control via RCM and/or EMS. The novelties are: i) scientifically, the crystal fragmentation during solidification in large vertically cast ingots with the RCM has never been studied; ii) in the engineering point of view, the model would lead to the quantitative control of the inner quality of the large ingots; iii) economically, the RCM would fully or partially replace the EMS in the casting process, hence to minimize the energy consumption. Additionally, a vertically cast ingot produced by implementing RCM will reduce subsequent processing steps, which in return will reduce production costs, energy consumption and CO2 emissions.

Projektkoordinator

- Montanuniversität Leoben Lehrstuhl für Modellierung und Simulation metallurgischer Prozesse

Projektpartner

- INTECO melting and casting technologies GmbH