

**J. Bast, Y. Kotova, I. Krykov**

TU Bergakademie Freiberg Institut für Maschinenbau

## **ENTWICKLUNG UND KONSTRUKTION EINER HORIZONTALSTRANGGIEßANLAGE**

Einleitung und Problemstellung Der Bedarf an Edel-, Bunt- und Leichtmetall- sowie Speziallegierungshalbzeugen gepaart mit hohen Anforderungen an Gefüge, Abmaße, Oberfläche und weitere technologische Eigenschaften steigt immer mehr und damit wird die Entwicklung neuer Stranggießanlagen für vergleichsweise kleine Formate erforderlich. Aus den mit Hilfe dieser Stranggießanlagen erstellten Halbzeugen werden von mittelständischen Unternehmen der metallverarbeitenden Industrie Klein- und Kleinstteile hergestellt, die in der Feinwerktechnik, Elektrotechnik, Sensorik, Automobilindustrie, Schlossindustrie, Verbindungstechnik (Lote) sowie auch der Brillen- und Schmuckindustrie angewendet werden [1].

Die jetzige Fertigung bei der Firma Indutherm erfolgt mit Vertikalstranggießanlagen, bei denen die Länge der Halbzeuge durch den Bauraum begrenzt ist. Die erforderliche Unterbrechung des Stranggießprozesses führt zu Produktionsstillstand und wirkt sich somit negativ auf die Produktivität und die Qualität des Fertigungsprozesses aus. Außerdem verursacht die jetzige Fertigungsart oberflächlich und im Inneren grobkristalline Bereiche, die eine qualitätsgerechte Endverarbeitung verhindern. Das ist auf das gering abgekühlte thermische Zentrum des Stranges mit großem Kristallwachstum zurückzuführen. Dieser Umstand verschlechtert die Halbzeugqualität und trägt zur weiteren Verringerung der Anlagenproduktivität bei. Dies erfordert die Neuentwicklung einer speziell auf kleine Formate zugeschnittenen Horizontalstranggießanlage.

Im Gegensatz zur großindustriellen Metallverarbeitung gibt es für Stranggießanlagen der o.g. Größenordnung und den betreffenden Stranggussprozess kaum systematische Untersuchungen bzw. grundlegende Forschungsarbeiten zum Einfluss von Prozess-, Anlagen- und materialspezifischen Parametern auf die Qualität und die Eigenschaften des erzeugten Materials. Aus diesem Grund wurde das vorgelegte ZIM – Forschungsprojekt in enger Kooperation zwischen der Firma Indutherm GmbH und dem auf dem betreffenden Gebiet erfahrenen Institut für Maschinenbau der TU Bergakademie Freiberg geplant. Die Neukonstruktion bezüglich waagrechttem Schmelzeaustritts hinsichtlich Geometrie und Materialwahl für, z. B. Kokillen und Kühlvorrichtungen, soll mit Hilfe numerischer Simulation

des Stranggießprozesses und auf der Basis des hierdurch erarbeiteten Verständnisses der Vorgänge im Erstarrungsintervall erfolgen.

**Angestrebte technische Funktionalitäten und relevante Parameter der zu entwickelnde Stranggießanlage.** Die neu zu entwickelnde Anlage muss sich aus Gründen der Wirtschaftlichkeit und zur Sicherstellung eines optimierten Services in das bereits bestehende Anlagenspektrum einordnen. Dieses besteht aus Induktionsgieß- und Schmelzanlagen sowie Vertikalstranggießanlagen mit einem Tiegelvolumen zwischen 285 ccm und 3400 ccm. Die Anlagen werden in kleinen Stückzahlen gefertigt und sind daher aus o.g. Gründen stets modular aufgebaut.

Die angestrebten technischen Funktionalitäten lehnen sich an die bekannten Anforderungen der bestehenden Vertikalstranggießanlagen an. Sie berücksichtigen nunmehr aber die darüber hinausgehenden Anforderungen, die sich zum Einen aus regelmäßig wiederkehrende Fragestellungen sowie Diskussionen mit Anwendern bzgl. Fertigungsproblemen und fehlerhaften Stranggüssen ergeben.

Hierzu gehören insbesondere:

1. Fertigung von praktisch unbegrenzter Halbzeuglänge durch horizontalen Strangaustritt.

2. Vermeidung von Strangabrissen, „Kleben“ am Kokillenmaterial, Lunker- bzw. Porenbildung durch optimierte Prozessteuerung sowie optimierte Geometrie und Materialauswahl (Kokille etc.).

3. höhere Prozesssicherheit bei „Crash“ (ungewollter Schmelzaustritt aus Tiegel/Kokille).

4. Möglichkeit der Schmelzeentgasung durch gezielte Vakuum- und Schutzgasführung.

5. Indirekte induktive Erwärmung über Graphittiegeltechnologie.

6. Maximaltemperatur ca. 1700 °C.

7. Eignung für Leicht-, Bunt-, Edelmetall- und weitere Speziallegierungen wie z. B. Lotwerkstoffe.

8. Möglichkeit „mehrsträngig“ ziehen zu können z. B. gleichzeitig 9 Drähte mit 10 mm Durchmesser.

9. Möglichkeit der Herstellung von Drähten, Stangen und Blechen.

10. Einfacher Tiegel und Kokillenwechsel.

**Lösungsvorschläge für die konstruktive Gestaltung der Kokillenisolation.** Es wurde eine Kokillenisolation für die thermisch belastete Anlage gebraucht, die sich im Al-Gehäuse befindet.

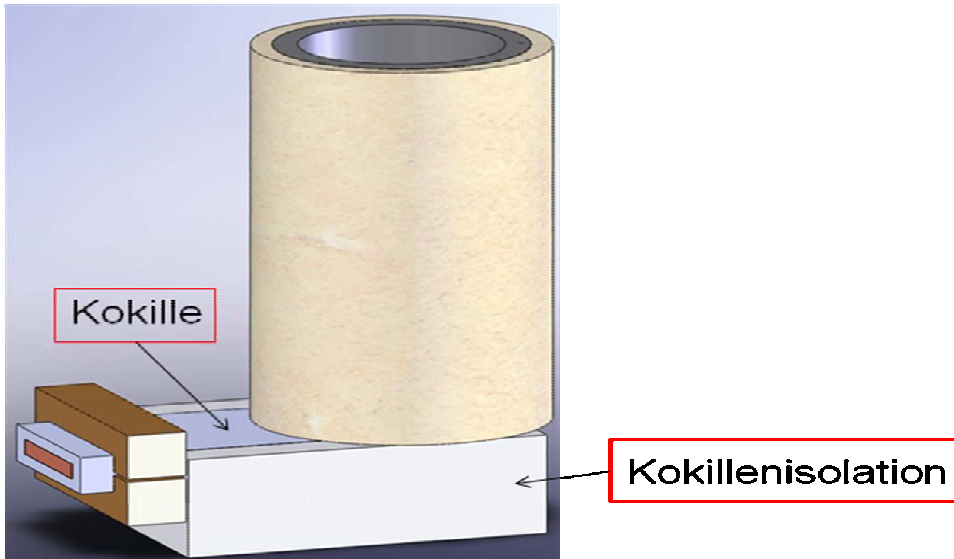


Bild 1. Darstellung des Einlegens der Kokille und der Kokillenisolation

Die Isolation muss folgende Aufgaben erledigen:

1. Das Aufnehmen von oben befindlichen Bestandteilen der Anlage.
2. Das Isolieren der Vakuumkammer, da auf dem Isolator die Kokille mit dem Tiegel steht, die bis zu 1500 °C die Wärme an den Isolator abgeben wird.

Infolge der zu wünschenden niedrigen Wärmeleitfähigkeit des Isolators muss das Unterteil der Isolation maximal bis zu 200–250 °C heiß werden. Das ist erforderlich damit das Al-Gehäuse, in dem sich die Kokillenisolation befindet, sich nicht verformt oder eventuell schmilzt. Da auch für solche Bedingungen hohe Dichte des Isolators notwendig ist, verliert man dabei Wärmeleitfähigkeit, wenn er nur aus einem Stoff wie z.B. (Keramik) bestehen würde.

Unter Berücksichtigung der oben beschriebenen Bedingungen, ergeben sich folgende Lösungsvorschläge für die konstruktive Gestaltung der Isolation:

1. Isolation als Formteil
2. „Sandwich“-Ausführung der Kokillenisolation

Isolation als Formteil. Der Isolator wird aus Keramik mit Innen liegender Zusatz Schicht (Fasermaterial) (Bild 2) erstellt. In dem Fall würde Keramik für das Aufnehmen der Gewichtskraft vom mit Metall gefülltem Tiegel dient und die Zusatzschicht, um die Temperatur zu absorbieren oder zurückzustrahlen. Der Isolator soll als Formteil sein, um die hohen Toleranzen bei seiner Herstellung zu vermeiden.

Zu den Vorteilen solcher Ausführung werden dann hohe Isolationswerte, Formstabilität sowie niedrige Schrumpfung gezählt. Neben den Vorteilen weist der Isolator als Formteil auch Nachteile auf. Die sind hohe Produktionskosten, der aufwändige Wechsel beim Bruchfall.

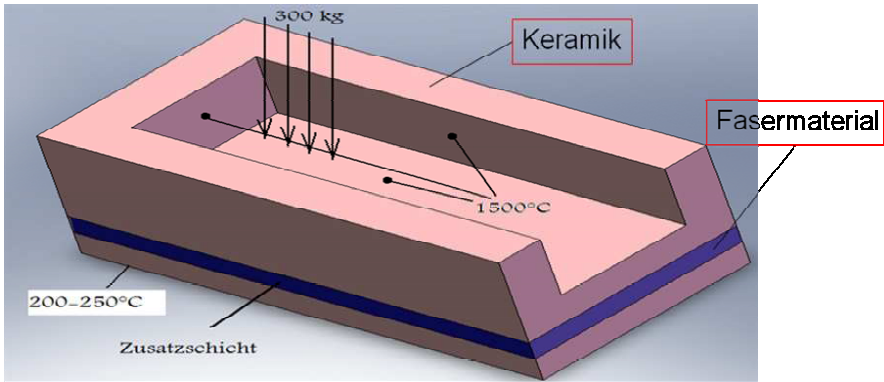


Bild 2. Isolation als Formteil

„Sandwich“ – Ausführung der Isolation. Da die schon vorgeschlagene Variante der Herstellung teuer ist, ist andere Ausführung zu betrachten:

1. In den vorhandenen Schlitten werden n-Bolzen angezogen (Bild 3). Die Anordnung und Anzahl sind von der Belastung abhängig.

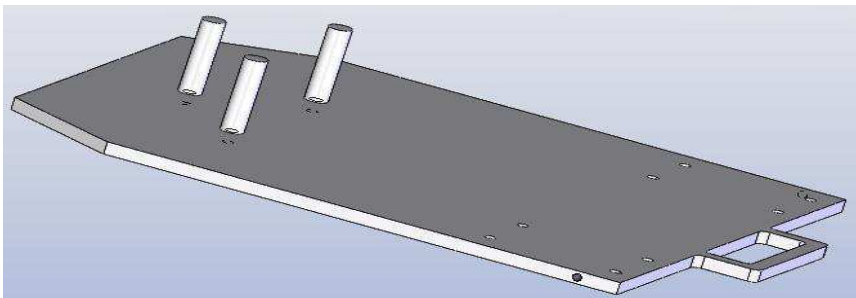


Bild 3. Einschrauben Bolzen in den Schlitten

2. Auf die Bolzen werden Keramikrohre (Bild 4) aufgesetzt, die hohe Steifigkeit aufweisen. Die Keramikrohre sind dann für die Aufnahme der vollen Gewichtskraft verantwortlich.

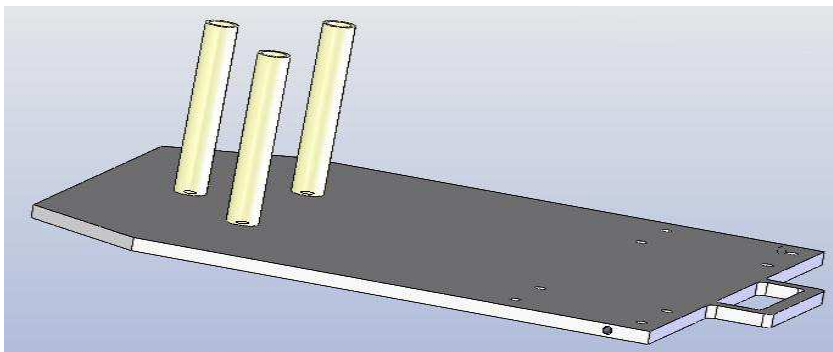


Bild 4. Aufsetzen der Keramikrohre auf die Bolzen

3. Zwischen dem Schlitten und der Kokille werden Isolationsschichten (Bild 5) aus Fasermaterial für die gute Wärmedämmung eingelegt. Anzahl der Isolationsschichten ist von der Kokillenbauart abhängig.

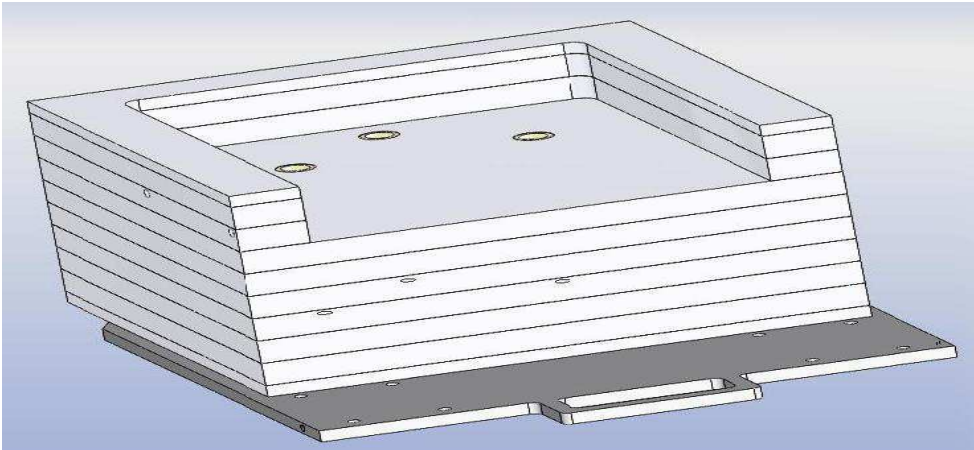


Bild 5. Einlegen der Isolationsschichten auf den Schlitten

Zu den Vorteilen solcher Ausführung werden dann gute Isolationswerte, niedrige Produktionskosten sowie der einfacher Wechsel im Bruchfall nur der obersten Isolationsschicht gezählt. Neben den Vorteilen weist der Isolator als Formteil auch Nachteile auf. Die sind hohe Toleranzen, Schrumpfungen.

**Einsatz der Thermoelemente in der Anlage HCC12000.** Für die Steuerung und Überwachung des Gießprozesses ist es erforderlich, die Temperatur an den verschiedenen Stellen der Anlage zu überprüfen. Zu diesem Zweck finden die Thermoelemente ihre Anwendung. Bei der neu entwickelten Horizontalstranggießanlage ist die Nutzung von 6 Thermoelementen vorgesehen.

1. Das erste Thermoelement ist in der Tiegelwand eingelegt (Bild 6). Mit seiner Hilfe lässt sich die Temperatur des erschmolzenen Metalls an der Wand bestimmen.

2. Das zweite Thermoelement befindet sich im Verschlussstab. Dieses dient zur Bestimmung der Metalltemperatur in der Tiegelmitte. Die Notwendigkeit dieses Thermoelements ist durch die Festlegung des gleichmäßigen Zustands des Metalls bedingt.

3. Das dritte Thermoelement ist an der Kokille am Übergang zwischen der Kokille und dem Tiegel aufgestellt (Bild 7). Und ist notwendig, um die Temperatur der Kokille zu erkennen. Um das Erstarren des Metalls in der Kokille zu vermeiden, sollte die Kokille ungefähr die gleiche Temperatur wie der Tiegel betragen. Wenn die gewisse Temperatur der Kokille erreicht wurde, kann der Verschlussstab aufgehoben werden und somit der Gießprozess beginnt.

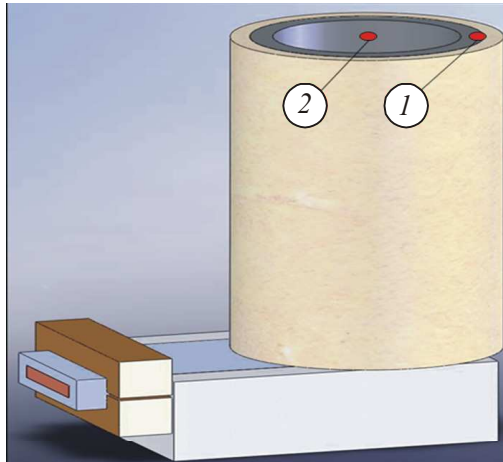


Bild 6. Anordnungen der Thermoelemente 1 und 2

4. Das vierte Thermoelement befindet sich in der Kokille vor dem Kokillenkühler. Mit seiner Hilfe wird kontrolliert, dass das Metall in der Kokille fließt. Wenn die Temperatur an dieser Stelle sich erhöht, ist das ein Merkmal dafür, dass das Metall diesen Punkt der Kokille erreicht hat und nicht am Eingang der Kokille erstarrt ist.

5. u. 6. Das fünfte und das sechste Thermoelemente sind Steuerungsmittel. Sie steuern den Erstarrungsprozess des Stranges. Sie sind in den Kokillenkühlern gelagert. In Anlehnung der Temperaturanzeige lassen sich zwei Kokillenkühler separat in Abhängigkeit von den erforderlichen Gefügeeigenschaften des Gussstranges steuern.

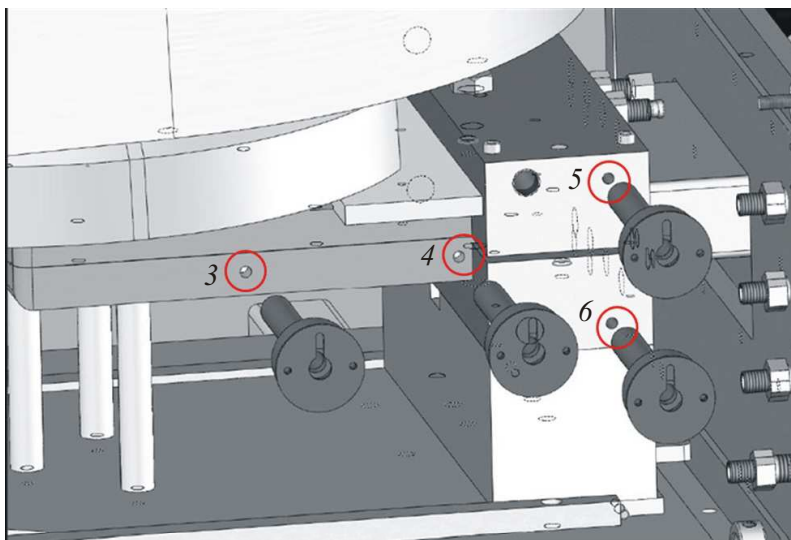


Bild 7. Anordnungen der Thermoelemente 4–6

**Kokillenwechseln.** Mit Hilfe der Anlage können Gussteile mit folgenden Profilen (Bild 8) hergestellt werden:

1. Band mit dem Querschnitt 200×20.
2. Ein Draht mit maximalen  $\text{Ø}70$  mm.
3. Mehrere Drähte (maximale Anzahl = 9 bei  $\text{Ø} = 10$  mm).

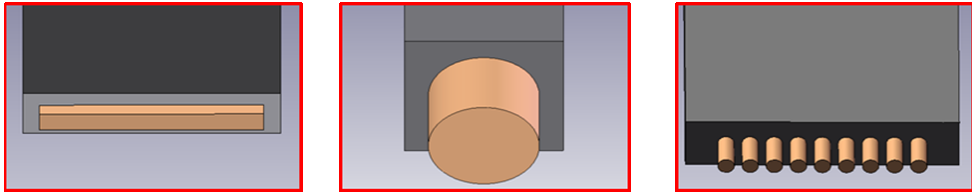


Bild 8. Strangsortiment der Anlage

Für die universelle Anlage ist ein schnelles Wechseln der Kokille ein der wichtigsten Aufgaben. Dafür wird ein Schlitten verwendet. Dieser Schlitten ermöglicht ein schnelles Ein- und Ausbauen der Kokille (Bild 9), da diese zusammen mit dem Kokillenkühler und der Isolierung wie eine Schublade herein- und herausgeschoben werden kann. Mittels der Anschläge, die in den Schlitten eingedreht werden, und zwei Führungen am Gehäuseboden kann die richtige Positionierung dieser Bauteile gewährleistet werden.

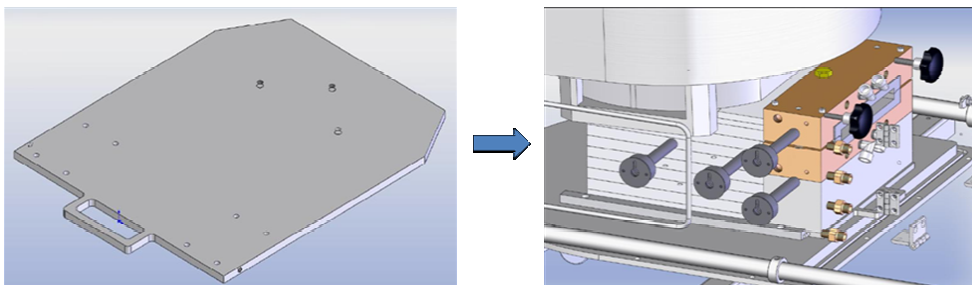


Bild 9. Montage des Schlittens

**Berücksichtigung einer asymmetrischen Kühlung des Stranges.** Um die Notwendigkeit einer asymmetrischen Kühlung des Stranges zu verstehen, muss der Gießprozess innerhalb der Kokille betrachtet werden. Nach der Erstarrung verringert sich durch die weitere Abkühlung der Querschnitt des Gussstranges. Durch den Einfluss der Schwerkraft liegt der Strang auf der Unterseite der Kokille auf. An der Oberseite der Kokille bildet sich ein Luftspalt zwischen Strang und Kokille. Das hat zur Folge, dass sich die Wärmeleitung von der Kokille zum Kühler verringert.

Durch die kontaktlose Verbindung von Strang und Kokille wird mehr Wärme an die untere als an die obere Kokillenplatte abgeführt. Dadurch wachsen

die Kristalle auf der Unterseite schneller in der Schmelze als auf der Oberseite. Die beiden Erstarrungsfronten treffen oberhalb der geometrischen Mitte des Stranges. Der Ort, wo beide Erstarrungsfronten aufeinander treffen, wird als thermische Mitte bezeichnet. Das so entstandene ungleichmäßige Gefüge beeinträchtigt die Weiterverarbeitbarkeit der Gussbänder. Das Ziel der asymmetrischen Kühlung besteht darin, um die Erstarrungsfronten von oben und unten möglichst in die Mitte zu schieben.

Beim Gießen des Bandes entstehen zwei Probleme, die sind: sowohl ungleichmäßige Erstarrung über die Höhe, als auch über die Breite des Stranges. Durch folgende konstruktive Maßnahmen kann die thermische Mitte in die geometrische Mitte verschoben werden:

1. Montage.
2. Getrennter Kokillenkühler.
3. Anbringung entlang des Stranges 4 angeordneter Wasserkanäle.

Um der ungleichmäßigen Kühlung über die Höhe des Stranges entgegenzuwirken, sind Kühlkörper Ober- und Unterteil getrennt regelbar, so dass man mehr oder weniger Durchfluss umstellen kann.

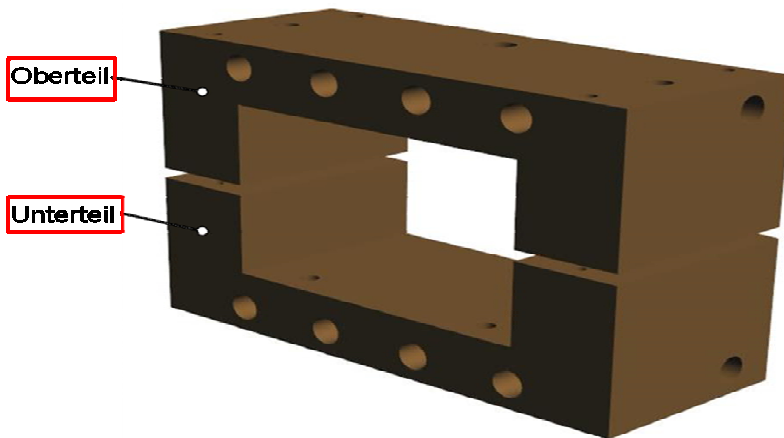


Bild 10. Montage 2 getrennter Kokillenkühler mit 4 Wasserkanälen

Äußere Kontur des Gussteils, die an der Kokillenkühlung liegt, gibt mehr Wärme ab als die Mitte des Gussteils. So entsteht die ungleichmäßige Abkühlung des Stranges über die Breite. Aus diesem Grunde wird die Mitte des Stranges mit Hilfe der entlang des Stranges angeordneten Wasserkanäle stärker abgekühlt.

**Zusammenfassung.** Bei der Entwicklung einer Horizontalstranggießanlage wurde eine Lösung für die Gestaltung der Kokillenisolation gefunden. Die „Sandwich“-Ausführung aus Fasermaterial bietet gute Isolationswerte und niedrige Produktionskosten.



Die mechanischen Komponenten der Kokille werden während des Gießprozesses von hohen Temperaturen beeinflusst und führen bei Versagen zu kostenintensiven Gießabbrüchen. Ausgehend davon wurden Überwachungsmaßnahmen mittels der Thermoelemente zur Sicherung eines störungsfreien Kokillenbetriebes konstruiert.

Eine konstruktive Lösung für die Kokillenwechsel wurde durch Schlitten gemacht. Damit wird die neu entwickelte Anlage universell. Eine asymmetrische Kühlung wurde mittels getrennter Regulierung der Ober- und Unterteil des Kühlers durch 4 Wasserkanäle realisiert.

Получено 1.07.2010