

Oberflächenbeschaffenheit und Rissbildung beim Stranggießen peritektischer Stähle

Von der Fakultät für Bergbau, Hüttenwesen und Geowissenschaften
der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen

zur Erlangung des akademischen Grades einer
Doktorin der Ingenieurwissenschaften
genehmigte Dissertation

vorgelegt von **Diplom-Ingenieurin**
Bernadette Weisgerber, geb. Salbert
aus Peiskretscham / Oberschlesien

Berichter: **Univ.-Prof. Dr.-Ing. W. Bleck**
PD Dr.-Ing. K.-H. Tacke, Dillinger Hüttenwerke

Tag der mündlichen Prüfung: 17. Januar 2003

Berichte aus der Metallurgie

Bernadette Weisgerber

**Oberflächenbeschaffenheit und Rissbildung
beim Stranggießen peritektischer Stähle**

D 82 (Diss. RWTH Aachen)

Shaker Verlag
Aachen 2003

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

Weisgerber, Bernadette:

Oberflächenbeschaffenheit und Rissbildung beim Stranggießen
peritektischer Stähle / Bernadette Weisgerber.

Aachen : Shaker, 2003

(Berichte aus der Metallurgie)

Zugl.: Aachen, Techn. Hochsch., Diss., 2003

ISBN 3-8322-1325-2

Copyright Shaker Verlag 2003

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen
oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungs-
anlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 3-8322-1325-2

ISSN 0945-0904

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • eMail: info@shaker.de

DANKSAGUNG

Die vorliegende Arbeit wurde in der Abteilung Forschung und Entwicklung / Stahlerzeugung der AG der Dillinger Hüttenwerke, der ich für die Ermöglichung der Forschungsarbeiten und die Bereitstellung der Arbeitsmittel danke, durchgeführt.

Für die Übernahme des Hauptreferats und damit verbundene interessante Gespräche und Anregungen zu dieser Arbeit danke ich herzlich Herrn Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Bleck vom Institut für Eisenhüttenkunde der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen.

Bei Herrn PD Dr.-Ing. Karl-Hermann Tacke, der seit Mai 2001 Leiter der Abteilung Forschung und Entwicklung der AG der Dillinger Hüttenwerke ist, bedanke ich mich für die begleitende fachliche Betreuung und stete Diskussionsbereitschaft sowie die Übernahme des Koreferats.

Herrn Dr.-Ing. Klaus Harste, ehemals Leiter der Abteilung Forschung und Entwicklung der AG der Dillinger Hüttenwerke, heute Vorstandsmitglied der Saarstahl AG Völklingen, und Herrn Dr.-Ing. Helmut Lachmund, Leiter der Abteilung Forschung und Entwicklung / Stahlerzeugung der AG der Dillinger Hüttenwerke, danke ich ebenfalls für die fachliche Betreuung und die Möglichkeit zur Durchführung der Arbeit.

Ferner gilt mein Dank den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der AG der Dillinger Hüttenwerke, die mit wertvollen Hinweisen und tatkräftiger Unterstützung zum Gelingen der Arbeit beigetragen haben. Insbesondere möchte ich mich bei Herrn Dipl.-Math. Michael Hecht für die gute Zusammenarbeit bedanken.

Meinem Mann Volker, meinen Eltern und meinen Geschwistern danke ich für ihre Unterstützung und ihren Zuspruch.

KURZZUSAMMENFASSUNG

In betrieblichen Untersuchungen an peritektischen, teils mikrolegierten Stählen wurden Zusammenhänge zwischen den Merkmalen der Oberflächenbeschaffenheit stranggegosener Brammen und den Gießbedingungen aufgestellt.

Es wurde festgestellt, dass die Morphologie der Oszillationsmarken sowie die oberflächennahen Dendritenarmabstände und Korngrößen des Primär- und des Sekundärgefüges von den Wärmeabfuhrbedingungen in der Kokille bestimmt werden. Reibung zwischen Kokille und Strangschale fördert die Entstehung von Austenitkorngrenzenrissen, von geseigerten Erstarrungsrissen und kann zum Aufreißen der Oszillationsmarken unter Bildung einer Seigerungsschicht am Boden der Marke führen. Aus der Verteilung der Erstarrungsrisse kann auf die Entstehung der Oszillationsmarken geschlossen werden. Eine Sekundärkühlstrategie, die früh zur Ausscheidung von α -Ferrit entlang der Austenitkorngrenzen führt, konnte als geeignete Maßnahme zur Reduzierung von Austenitkorngrenzenrissen bestimmt werden.

ABSTRACT

Industrial studies on peritectic and micro-alloyed steels were done to find out relationships between the parameters of the surface structure of continuously cast slabs and the applied casting conditions.

The morphology of oscillation marks, the primary and secondary dendrite arm spacings, the δ -ferrite grain sizes and the austenite grain sizes are influenced by the heat removal from the mould. Friction forces between mould and strand shell promote cracking along prior austenite grain boundaries as well as primary cracking and bleeding of oscillation marks. The formation of different types of oscillation marks can be concluded from the results of segregation crack investigation. A secondary cooling strategy leading to an early precipitation of α -ferrite along the prior austenite grain boundaries was found to reduce the detrimental austenite grain boundary cracking significantly.

INHALTSVERZEICHNIS

Tabellenverzeichnis	1
Abbildungsverzeichnis	3
Verzeichnis der verwendeten Symbole und Abkürzungen	7
1 Einleitung	9
2 Theoretische Grundlagen und Literaturübersicht	11
2.1 Grundlagen der Erstarrung	11
2.1.1 Keimbildung	11
2.1.2 Kristallwachstum	14
2.2 Dendritisches Wachstum	16
2.2.1 Gerichtete und ungerichtete Erstarrung	16
2.2.2 Aufbau eines Dendriten	16
2.2.3 Sekundärarmreifung	17
2.2.4 Einfluss der Erstarrungsbedingungen auf das Dendritenwachstum	18
2.3 Bildung von Oszillationsmarken	19
2.3.1 Theorien zur Entstehung von Oszillationsmarken	19
2.3.2 Einfluss der Gießbedingungen auf die Oszillationsmarkenform . .	21
2.3.3 Entstehung der Seigerung im Oszillationsmarkengrund	24
2.4 Entstehung von Erstarrungsrissen	25
2.5 Entstehung von Austenitkorngrenzenrissen	26
2.5.1 Heißzugversuche und ihr Beitrag zur Klärung der Rissbildung im Stahl	26
2.5.1.1 Definition der Brucheinschnürung	26
2.5.1.2 Beschreibung der Heißzugkurve zwischen 600 und 1000°C	26
2.5.1.3 Erweiterung der Brucheinschnürungskurve	33

2.5.2	Übertragbarkeit der Heißzugversuchsdaten auf den Stranggießprozess	33
2.5.3	Einfluss verschiedener Prozessvariablen	35
2.5.3.1	Austenitkorngröße	35
2.5.3.2	Chemische Zusammensetzung	36
2.5.3.3	Seigerungen	38
2.5.3.4	Oszillationsmarken	38
2.5.3.5	Abkühlungsgeschwindigkeit	39
3	Experimenteller Teil	41
3.1	Untersuchte Stähle und Übersicht der Versuchsbedingungen	41
3.2	Beschreibung der Stranggießanlage	42
3.3	Beschreibung der Sekundärkühlung	46
3.3.1	Oberflächentemperaturprofil über die Brammenbreite	46
3.3.2	Oberflächentemperaturprofil in Gießrichtung	49
3.4	Materialverlust durch Verzunderung	51
3.4.1	Während des Stranggießens	52
3.4.2	Während der Ofenreise im Walzwerk	52
3.5	Sonstige Gießbedingungen	53
3.6	Probennahme und -präparation	54
3.6.1	Probennahme	54
3.6.2	Probenpräparation	55
3.7	Beschreibung der Untersuchungsmethoden	56
3.7.1	Oszillationsmarken	56
3.7.2	Dendritenarmabstände	57
3.7.3	δ -Ferritkorngröße	57
3.7.4	Austenitkorngröße	58
3.7.5	Erstarrungsrisse	58
3.7.6	Austenitkorngrenzenrisse	58
3.7.7	Statistische Auswertung	60
4	Versuchsergebnisse und Diskussion	61
4.1	Oszillationsmarken	61
4.1.1	Klassifizierung der Oszillationsmarkenmorphologie	61
4.1.2	Häufigkeit der Oszillationsmarkentypen und der Seigerung im Kerbgrund	63
4.1.3	Verteilung der Oszillationsmarkentypen über die Brammendicke	63
4.1.4	Beschreibung der Oszillationsmarkengeometrie	65
4.1.4.1	Unterschiede zwischen den Oszillationsmarkentypen	65
4.1.4.2	Änderung der Oszillationsmarkengeometrie über die Brammendicke	66

4.1.4.3	Zusammenhang zwischen anfänglicher Oszillationsmarkentiefe und Oszillationsmarkenbreite	68
4.1.5	Untersuchungen zur Seigerung im Oszillationsmarkengrund	69
4.1.5.1	Entstehung	69
4.1.5.2	Abhängigkeit von der Oszillationsmarkengeometrie	70
4.2	Primärgefüge	72
4.2.1	Primärdendritenarmabstand	72
4.2.2	Sekundärdendritenarmabstand	74
4.2.3	Vergleich von Primär- und Sekundärdendritenarmabstand	74
4.2.4	Delta-Ferritkorngröße	78
4.2.5	Einfluss des Primärgefüges auf die Oszillationsmarkengeometrie	78
4.3	Sekundärgefüge	82
4.3.1	Austenitkorngröße	82
4.3.2	Einfluss des Primärgefüges	84
4.3.3	Einfluss der Oszillationsmarkengeometrie	84
4.4	Erstarrungsrisse	87
4.4.1	Verteilung auf Oszillationsmarkenhälften und -mitte	87
4.4.2	Verteilung zwischen Oszillationsmarkenrand und -mitte	90
4.4.3	Korrelation mit der Oszillationsmarkengeometrie	90
4.4.3.1	Seigerungsrisse pro Oszillationsmarke	90
4.4.3.2	Seigerungsrisslänge	92
4.4.4	Einfluss des Titangehalts	94
4.5	Austenitkorngrenzenrisse	94
4.5.1	Einfluss der Oszillationsmarkengeometrie	95
4.5.2	Einfluss der Austenitkorngröße	97
4.5.3	Einfluss der Kühlung	99
4.5.4	Einfluss mechanischer Spannungen	103
4.5.5	Einfluss des Titangehalts	104
4.5.6	Einfluss der Überhitzung	105
4.5.7	Einfluss der Seigerung im Oszillationsmarkengrund	106
4.6	Einfluss der Verzunderung auf die untersuchten Parameter	107
4.6.1	Verzunderung während des Stranggießens	107
4.6.2	Verzunderung während der Ofenreise im Walzwerk	108
5	Zusammenfassung und Ausblick	111
	Literaturverzeichnis	115