
Schmelzenzufuhr und Bandoberflächenqualität beim Zweirollengießverfahren

Dissertation
zur Erlangung des Grades
eines Doktor-Ingenieurs

vorgelegt von

Dipl.-Ing. Carl Justus Heckmann
aus Duisburg

genehmigt von der
Fakultät für Bergbau, Hüttenwesen und Maschinenwesen
der Technischen Universität Clausthal

Tag der mündlichen Prüfung: 23. März 2004

Vorsitzender der Promotionskommission: Prof. Dr.-Ing. R. Scholz

Hauptberichterstatter: Prof. Dr.-Ing. K.-H. Spitzer

Berichterstatter: Priv.-Doz. Dr.-Ing. habil. K.-H. Tacke

D 104

Dissertation Clausthal 2004

Berichte aus der Metallurgie

Carl Justus Heckmann

**Schmelzenzufuhr und Bandoberflächenqualität
beim Zweirollengießverfahren**

D 104 (Diss. TU Clausthal)

Shaker Verlag
Aachen 2004

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Zugl.: Clausthal, Techn. Univ., Diss., 2004

Copyright Shaker Verlag 2004

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

Printed in Germany.

ISBN 3-8322-2885-3

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

MEINEN ELTERN.

Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter der Abteilung für Metallurgie am Max-Planck-Institut für Eisenforschung in Düsseldorf. Für die Ermöglichung der Forschungsarbeiten danke ich der Max-Planck-Gesellschaft und dem Institut.

Für die Bereitstellung der benötigten Mittel bedanke ich mich bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft.

Für die fachliche Betreuung dieser Arbeit bedanke ich mich bei Herrn Priv.-Doz. Dr.-Ing. habil. K.-H. Tacke.

Da Herr Prof. Dr.-Ing. K.-H. Spitzer die Begutachtung dieser Arbeit übernahm, hatte ich die Möglichkeit, sie endlich einzureichen. Dafür bin ich ihm sehr dankbar.

Herrn Dr. rer. nat. A. R. Büchner danke ich für seine stete Bereitschaft die Inhalte dieser Arbeit engagiert und kontrovers zu diskutieren.

Mein besonderer Dank gilt den Mitarbeitern und Kollegen der Abteilung für Metallurgie des Max-Planck-Institutes für Eisenforschung. Das durch freundschaftliche Kollegialität und Hilfsbereitschaft geprägte Arbeitsklima sucht seinesgleichen.

Herr Dr. rer. nat. Joachim Gnauk hat mir auch spät abends und kurzfristig bei der Lösung von Rechner- und Berechnungsproblemen beigegeben. Dafür danke ich ihm an dieser Stelle sehr herzlich.

Für den großen Rückhalt bei der Entstehung dieser Arbeit bin ich Frau Dr. iur. Christina Hillebrand unendlich dankbar. Ihre Liebe und Zuneigung haben vieles sehr erleichtert.

Meinen Eltern danke ich von ganzem Herzen nicht zuletzt für ihre liebevolle Unterstützung bei allen meinen Entscheidungen und für die Ausbildung, die sie mir ermöglicht haben. Ohne sie wäre ich nicht, was ich jetzt bin.

Carl Justus Heckmann

Essen, im Mai 2004

Inhaltsverzeichnis

1	Eingrenzung der Arbeit	1
1.1	Einleitung	1
1.2	Motivation und Zielsetzung	5
2	Literaturübersicht	9
2.1	Das Zweirollengießverfahren	9
2.2	Schmelzenzufuhrsysteme	13
2.3	Wassermodellierung	16
3	Versuchsanlagen und Versuchsaufbau	21
3.1	Wassermodell	21
3.2	Zweirollengießanlagen	25
4	Theoretische Betrachtung der Poolaufbauphase	33
4.1	Problemstellung	33
4.2	Differentialgleichung für Poolhöhe und Berührwinkel	35
4.3	Lösung der Differentialgleichung und Ergebnisse	37
4.3.1	Ergebnisse für eine Anlage im Labormaßstab	38
4.3.2	Ergebnisse für eine industrielle Anlage	43
4.3.3	Strategien zur Steuerung der Poolaufbauphase	47
4.3.4	Vergleichbarkeit von unterschiedlichen Anlagen	50
4.4	Zusammenfassung des Kapitels	52
5	Ermittlung der Durchflussrate	55
5.1	Problemstellung	55

5.2	Ergebnisse der Versuche	56
5.2.1	Volumenstrom bei unterschiedlichen Verteilerfüllhöhen	56
5.2.2	Einfluss der Eingussposition auf den Volumenstrom	59
5.2.3	Ermittlung des Kontraktionskoeffizienten β	62
5.3	Zusammenfassung des Kapitels	64
6	Versuche am Wassermodell	67
6.1	Problemstellung	67
6.2	Versuchsziele	69
6.3	Ergebnisse der Versuche am Wassermodell	71
6.3.1	Tauchrohr	71
6.3.2	Aufgesetzte Flachstrahldüse	78
6.3.3	Aufgesetzte Rundstrahlreihendüse	82
6.4	Diskussion der Ergebnisse	84
7	Versuche an der Zweirollengießmaschine	87
7.1	Problemstellung	87
7.1.1	Allgemeine Versuchsparameter	87
7.1.2	Versuchsparameter Tauchrohr	89
7.1.3	Versuchsparameter Flachstrahldüse	92
7.1.4	Versuchsparameter Rundstrahlreihendüse	94
7.2	Ergebnisse	98
7.2.1	Mikrostruktur	98
7.2.2	Fleckigkeit der Bandoberfläche	100
7.2.3	Qualität der Bandoberfläche	103
7.3	Diskussion der Ergebnisse	110
7.3.1	Entstehung der Bandoberfläche	110
7.3.2	Einfluss der Berührzeit auf Bandqualität und Wärmestromdichte	113
7.3.3	Einfluss der Düsenausströmgeschwindigkeit auf Bandqualität und Wärmestromdichte	118
7.4	Zusammenfassung des Kapitels	124

8	Zusammenfassung und Ausblick	127
	Literatur	135
	Abbildungsverzeichnis	145
	Tabellenverzeichnis	149
A	Herleitung der Poolteiflächen	151
A.1	Herleitung von Gleichung 4.4 zur Bestimmung der Poolteifläche Q	151
A.2	Herleitung von Gleichung 4.5 zur Bestimmung der Poolteifläche F	153
B	Erklärung der Formelzeichen und Symbole	155