

# **Rohstoffe und Reststoffe des Thixoformings**

## **- Einsatz und Wiederverwertung**

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

zur Erlangung des akademischen Grades eines  
Doktors der Ingenieurwissenschaften  
genehmigte Dissertation

vorgelegt von Diplom-Ingenieur

Claus Helmut Kiehne

aus Hagen-Haspe

Berichter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. J. Krüger  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. B. Friedrich

Tag der mündlichen Prüfung: 12. Mai 2000



Berichte aus der Metallurgie

**Claus Helmut Kiehne**

**Rohstoffe und Reststoffe des Thixoformings  
- Einsatz und Wiederverwertung**

D 82 (Diss. RWTH Aachen)

Shaker Verlag  
Aachen 2000

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

*Kiehne, Claus Helmut:*

Rohstoffe und Reststoffe des Thixoformings - Einsatz und Wiederverwertung /

Claus Helmut Kiehne. Aachen: Shaker, 2000

(Berichte aus der Metallurgie)

Zugl.: Aachen, Techn. Hochsch., Diss., 2000

ISBN 3-8265-7704-3

Copyright Shaker Verlag 2000

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

Printed in Germany.

ISBN 3-8265-7704-3

ISSN 0945-0904

Shaker Verlag GmbH • Postfach 1290 • 52013 Aachen

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

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • eMail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

## Danke !

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Zeit als wissenschaftlicher Angestellter am Institut für Metallhüttenkunde und Elektrometallurgie der RWTH Aachen in den Jahren 1995 bis 1999.

Ich danke all denen, die durch Ihr Tun zum Gelingen der Arbeit beigetragen haben:

Herrn Prof. Dr.-Ing. Joachim Krüger, meinem Doktorvater, dem ich eine schöne und zugleich lehrreiche Zeit am Institut verdanke und der mich stets intensiv betreut hat.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Bernd Friedrich, der das Korreferat übernommen hat.

Herrn Prof. Dr.-Ing. D. Neuschütz, der die mündliche Prüfung geleitet hat.

Der Deutschen Forschungsgemeinschaft, die die Arbeit im Rahmen des Sonderforschungsbereiches 289 finanziell unterstützt hat.

Den Mitstreitern und Weggefährten an den Nachbarinstituten und bei der EFU, die sich dem Thixoforming verschrieben haben.

Den Mitarbeitern der Chemie, die für jedes schwer zu lösende Problem stets eine passende Lösung gefunden haben.

Den Mitarbeitern in der mechanischen Werkstatt und in den Schmelzhallen, die beim Bau der Stranggußanlage viele konstruktive Vorschläge und Arbeiten geleistet haben.

Frau Dipl.-Ing. Birthe Scholemann und Herrn Dipl.-Ing. Rainer Gries, für ihre tatkräftige Unterstützung bei der Durchführung und Auswertung der Experimente.

Meinem Bürokollegen, Herrn Dr.-Ing. Alexander Arnold, sowie Frau Dipl.-Ing. Bettina Hübschen, Herrn Dipl.-Ing. Martin Köneke und Herrn Dr.-Ing. Jens Manthey, für zahlreiche anregende Diskussionen und für die Beratung in metallurgischen und werkstofftechnischen Fragen.

Herrn Dipl.-Ing. Karsten Neumann, für die Beratung in Computerfragen.

Meinen Eltern, die mir mein Studium ermöglicht haben.

Frau Marion Darnieder, für viel Verständnis und Geduld.



---

## Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Formgebung im teilerstarrten Zustand – Thixoforming</b> .....	<b>2</b>
2.1 Grundlagen des thixotropen Verhaltens von Metallen .....	4
2.2 Vormaterialherstellung .....	6
2.2.1 Physikalische Kornfeinung .....	6
2.2.1.1 MHD-Strangguß .....	7
2.2.1.2 Single-Slug-Production .....	8
2.2.2 Chemische Kornfeinung .....	9
2.2.3 Beeinflussung der Primärerstarrung durch schnelle Abkühlung ..	10
2.2.4 Thermomechanische Behandlung .....	12
2.2.5 Weitere Verfahren .....	13
2.3 Erwärmung.....	14
2.3.1 Technologie .....	14
2.3.2 Messung der Anteile fester und flüssiger Phasen .....	16
2.3.3 Einflußgrößen auf das Abtropfverhalten .....	18
2.4 Formgebung .....	19
2.4.1 Technologie .....	20
2.4.2 Vergleich mit anderen Ur- / Umformverfahren.....	21
2.5 Werkstoffe .....	23
2.6 Reststoffe .....	24
2.7 Aktuelle Entwicklungen .....	25
<b>3 Grundlagen der Vormaterialherstellung</b> .....	<b>26</b>
3.1 Strangguß von Aluminiumwerkstoffen .....	26
3.1.1 Einführung .....	26
3.1.2 Herstellungsprozeß .....	28
3.1.3 Gießanlagen und Kokillentechnik .....	30
3.2 Kornfeinung von Aluminiumlegierungen .....	34
3.2.1 Einführung .....	34
3.2.2 Mechanismen der Kornfeinung .....	36
3.2.3 Technologie .....	39
3.2.4 Legierungssysteme .....	42
3.2.5 Methoden zur physikalischen Kornfeinung .....	45
3.2.6 konstitutionelle Unterkühlung .....	46
3.2.7 Veredelung und Phosphorbehandlung .....	46
<b>4 Untersuchungen zur Vormaterialherstellung</b> .....	<b>49</b>
4.1 Untersuchungen zur modifizierten Kornfeinung .....	49
4.1.1 Versuchsbeschreibung .....	49
4.1.2 Versuchsergebnisse .....	51
4.2 Untersuchungen zur Drahtinjektionstechnik .....	55
4.2.1 Einführung .....	55
4.2.2 Einsatz der Drahtinjektionstechnik in der Aluminiumindustrie ..	56

4.2.3	Experimente zum Abschmelzverhalten der Kornfeinungsdrahte	58
4.2.3.1	Beschreibung der Versuchsapparatur	58
4.2.3.2	Eintauchversuche	59
4.2.3.3	Einspulversuche	61
4.2.4	Übertragung der Ergebnisse auf die betriebliche Praxis	65
4.2.4.1	Berechnungen zur Anzahl der einzuspulenden Drähte	65
4.2.4.2	Berechnungen zum Wärmehaushalt	67
4.2.5	Zusammenfassung	69
4.3	Untersuchungen zum Einfluß von Verunreinigungen	70
4.3.1	Einführung	70
4.3.2	Versuchsbeschreibung	70
4.3.3	Ergebnisse und Diskussion	71
4.3.4	Zusammenfassung	75
4.4	Untersuchungen zur Legierungsoptimierung	76
4.4.1	Einführung	76
4.4.2	Versuchsbeschreibung	76
4.4.3	Versuchsergebnisse	78
4.4.3.1	Untersuchung des Gußgefüges	78
4.4.3.2	Gefügeuntersuchungen nach Wiedererwärmung	78
4.4.4	Zusammenfassung	83
4.5	Untersuchungen zur chemischen Homogenität	84
<b>5</b>	<b>Bau und Inbetriebnahme einer Strangußanlage</b>	<b>88</b>
5.1	Auslegung des Schmelzofens	88
5.2	Rinnensystem und Kokille	91
5.3	Weiteres Vorgehen	92
<b>6</b>	<b>Untersuchungen zur Reststoffverwertung</b>	<b>93</b>
6.1	Einführung	93
6.2	Ermittlung der Entfallstellen	93
6.2.1	Schmelzprozeß	93
6.2.2	Vormaterialherstellung	94
6.2.3	Wiedererwärmung	96
6.2.4	Formgebung und Nachbearbeitung	97
6.3	Untersuchungen zur Wiederverwertung	97
6.3.1	Recycling und Schrottanalyse	97
6.3.1.1	Krätzen	98
6.3.1.2	Kopf- und Fuschrotte	98
6.3.1.3	Späne	99
6.3.1.4	Abtropfverluste	100
6.3.1.5	Bauteile, Prereste und Überläufe	101
6.3.2	Akkumulation von Verunreinigungen	102
6.3.3	Wiedereinsatz von Neu- und Altschrotten	103
6.3.4	Veränderungen der Zusammensetzung aufgrund der Prozetechnik	106
6.3.5	Einflu des Schrottaufkommens auf die Wirtschaftlichkeit	108
6.3.6	Einflu des Schrottaufkommens auf den Energieverbrauch	110

---

<b>7 Zusammenfassung .....</b>	<b>112</b>
<b>8 Literaturverzeichnis.....</b>	<b>114</b>
<b>Anhang.....</b>	<b>120</b>
Anhang A: Probenvorbereitung zur Gefügeuntersuchung .....	120
Anhang B: Probenvorbereitung zur chemischen Analyse .....	121
Anhang C: Thermodynamische Daten .....	122
Anhang D: Chemische Analysen.....	123
Anhang E: Metallographische Analysen.....	126
Anhang F: Drahtinjektionstechnik .....	127
Anhang G: Legierungsoptimierung .....	128
Anhang H: Binäre Zustandsdiagramme.....	136