

# **Einfluss der Strömung und Erstarrungsbedingungen auf die Homogenität von kontinuierlich gegossenem Magnesium Dünband**

Von der Fakultät für Georessourcen und Materialtechnik  
der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen

zur Erlangung des akademischen Grades eines  
Doktors der Ingenieurwissenschaften

genehmigte Dissertation  
vorgelegt von **Master of Engineering**

**Jian Zeng**

aus Chongqing, China

**Berichter:** Univ.-Prof. Dr.-Ing. Karl Bernhard Friedrich  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Herbert Pfeifer

Tag der mündlichen Prüfung: 08. Oktober 2007

/

**Inhaltsverzeichnis**

<b>Extended Abstract</b> .....	<b>I</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Stand der Forschung und Technik</b> .....	<b>3</b>
2.1 Magnesium und Magnesiumlegierungen – ein Überblick .....	3
2.1.1 Werkstoffphysikalische Grundlagen von Magnesium .....	3
2.1.1.1 Kristallgitter .....	4
2.1.1.2 Dichte und Dichteänderung.....	4
2.1.1.3 Spezifische Wärmekapazität.....	5
2.1.1.4 Schmelzwärme .....	6
2.1.1.5 Wärmeleitfähigkeit .....	6
2.1.1.6 Oxidationsneigung .....	7
2.1.1.7 Mechanische Eigenschaften .....	8
2.1.2 Einfluss von Legierungselementen .....	9
2.1.3 Magnesiumlegierungen .....	11
2.1.3.1 Magnesium Gusslegierungen .....	11
2.1.3.2 Magnesium Knetlegierungen .....	12
2.2 Chemische und thermo-physikalische Daten von MgAZ31 .....	13
2.3 Dünnbandgießen .....	14
2.3.1 Kurzvorstellung der konkurrierenden Verfahren zum endabmessungsnahen Gießen .....	14
2.3.1.1 Dünnbrammengießen .....	15
2.3.1.2 Vorbandgießen .....	16
2.3.1.3 Dünnbandgießen .....	18
2.3.2 Schalenaufbau und Gefügebildung beim Dünnbandgießen.....	21
2.3.2.1 Prinzip des Schalenaufbaus beim Dünnbandgießen .....	21
2.3.2.2 Schalenaufbau beim Magnesium Dünnbandgießen .....	22
2.3.2.3 Gefügebildung beim Magnesium Dünnbandgießen .....	23
2.3.3 Grundlagen der Modellierung und Simulation des Dünnbandgießens	25
2.3.4 Spezielle Aspekte des Dünnbandgießens von Magnesium .....	29
2.3.4.1 Motivation für das Dünnbandgießen von Magnesium .....	29
2.3.4.2 Technische Aspekte des Dünnbandgießens von Magnesium.....	30
<b>3 Zielsetzung und Innovationsgrad der Arbeit</b> .....	<b>36</b>
<b>4 Aufbau und Umbau der Gießwalzanlage</b> .....	<b>38</b>
4.1 Grundausstattung der verwendeten Zwei-Rollen-Gießwalzanlage .....	38
4.1.1 Funktion und Auslegung der Einzelkomponenten .....	39
4.1.1.1 Schmelzeinheit.....	39
4.1.1.2 Gießwalzeinheit .....	39
4.1.1.3 Niveauregulierung.....	40
4.1.1.4 Haspel.....	40

4.2	Anlagenoptimierung mit Unterstützung der FMEA Methode .....	40
4.2.1	Aufgabenanalyse .....	41
4.2.2	Fehleranalyse.....	42
4.2.3	Klassierung .....	43
4.2.4	Maßnahmen .....	44
<b>5</b>	<b>Experimentelle Untersuchungen.....</b>	<b>47</b>
5.1	Versuchsplanung.....	47
5.1.1	Definition der Einfluss- und Zielgrößen .....	47
5.1.2	Modellgestützter teilfaktorieller Versuchsplan .....	51
5.2	Festlegung der konstanten Parameter anhand von Vorversuchen .....	51
5.2.1	Festlegung der Gießtemperatur .....	53
5.2.2	Festlegung von Schmelzeniveau und Setback.....	53
5.3	Bewertungsmethoden .....	54
5.3.1	Makroskopische Charakterisierung der Bänder .....	54
5.3.1.1	Geometrie .....	55
5.3.1.2	Bandoberfläche.....	57
5.3.1.3	Rissbildung .....	60
5.3.2	Mikroskopische Charakterisierung der Bänder.....	62
5.3.2.1	Gefügemorphologie .....	62
5.3.2.2	Chemische Seigerung.....	68
<b>6</b>	<b>Parameterstudien an der Bandgussanlage.....</b>	<b>71</b>
6.1	Einfluss der Prozessparameter auf Walzkraft, Seigerungen und Bandoberfläche.....	71
6.1.1	Qualifizierung des Modells .....	71
6.1.2	Einfluss der Prozessparameter auf die Walzkraft.....	73
6.1.3	Einfluss der Prozessparameter auf die Seigerungsneigung.....	76
6.1.4	Einfluss der Prozessparameter auf Oberflächenqualität .....	79
6.2	Festlegung des Prozessfensters durch statistische Versuchsauswertung ...	83
<b>7</b>	<b>Grundlagen der Numerische Simulation.....</b>	<b>85</b>
7.1	Erhaltungsgleichungen der Strömungs- und Erstarrungssimulation.....	85
7.2	Turbulenzmodellierung.....	87
7.2.1	Standard-k- $\epsilon$ -Modell .....	88
7.2.2	Realizable k- $\epsilon$ -Modell .....	89
7.2.3	Wandgesetze .....	90
7.2.4	Modellierung der Erstarrung.....	92
7.3	Numerische Simulation .....	94
7.3.1	Geometrie und Rechennetz .....	94

7.3.2	Modellbildung und Randbedingungen.....	95
7.4	Ergebnisse der Simulation .....	98
7.4.1	Strömung und Erstarrung im Schmelzenpool.....	98
7.4.1.1	Strömungsfeld in der Gießlippe.....	98
7.4.1.2	Temperaturfeld in der Gießlippe .....	100
7.4.2	Temperaturfeld im Band.....	102
7.4.3	Variation von Spaltweite und Gießgeschwindigkeit.....	103
8	Zusammenfassende Bewertung von Experiment und Simulation .....	107
	Schrifttum.....	110
	Anhang .....	117