

Auswirkungen der Prozessparameter auf Bandqualität bei Dünbandgießen nach dem Zwei-Rollen-Verfahren

Jian Zeng, Bernd Friedrich

IME Institut für Metallurgische Prozesstechnik und Metallrecycling, RWTH Aachen

Magnesium besitzt aufgrund seines geringen Gewichtes und der guten Festigkeitseigenschaften ein hohes Innovationspotenzial. Das endabmessungsnahe Gießen von Magnesium-Dünband nach dem Zwei-Rollen-Verfahren befindet sich in der Entwicklungsphase. Hier erfolgen durch statistische Versuchsplanung (DoE) unterstützte Versuche, um die Auswirkungen von Prozessparametern, wie z. B. Gießspaltweite, Gießgeschwindigkeit und Kühlleistung, auf die Qualitätsmerkmale der gegossenen Bänder zu erfassen. Optimale Prozessfenster werden durch Experimente als auch durch numerische Simulation festgelegt. Dieses Ergebnis führt zur Verbesserung der Prozessführung beim Dünbandgießen und zur Übertragung auf industrielle Maßstäbe (Scale-Up).

1 Einleitung

Dünband bzw. Blech aus Magnesium und Magnesium-Legierungen weisen ein hohes Innovationspotenzial auf und haben als gegossene Bauteile bereits viele Anwendungen in der Verkehrstechnik gefunden. Einer der der Hindernisse für den mengenmäßigen Durchbruch liegt im hohen Preis von Magnesium-Blechen aus der traditionellen Erzeugerkette "Gussbramme → Vorband → Fertigband". Hier kann der Vorteil des günstigen Verhältnisses der mechanischen Eigenschaften zur Dichte nicht genutzt werden, da das Umformen von Magnesium aufgrund seiner hexagonalen Gitterstrukturen komplex ist [1, 2].

Das Dünbandgießen nach dem Zwei-Rollen-Verfahren (Abbildung 1) verbindet die beiden Fertigungsstufen Urformen (Gießen) und Umformen (Warmwalzen) zu einem Prozess. Bei dem Verfahren rotieren die beiden innen gekühlten Gießrollen gegenläufig mit gleicher Winkelgeschwindigkeit. Beim Kontakt der Schmelze mit den gekühlten Rollen wird der Schmelze Wärme entzogen. Die erstarrten Bandschalen wachsen an und werden im engsten Rollenspalt (*Kissing Point*) zusammengedrückt. Hinter dem Gießrollenspalt wird das Band frei geführt, nachbehandelt und aufgewickelt [3].

Dies Verfahren ist durch hohe Wirtschaftlichkeit, Einsparung von Prozessschritten, geringe Betriebskosten und eine Erweiterung des vergießbaren Legierungsbereiches gekennzeichnet. Die Entwicklung der Dünbandgießtechnologie stellt eine Möglichkeit dar, Magnesium-Knetlegierungen kostengünstiger herzustellen [4-9]. Zurzeit bestehen folgende Herausforderungen zur Prozessoptimierung:

- Schnelle Erstarrung aufgrund geringer Wärmekapazität bzw. Schmelzwärme von Mg
- Rissbildung und Seigerung aufgrund des großen Erstarrungsintervalls von Mg
- Erforderung eines guten Schutzgassystem aufgrund des Reaktionspotentials mit Luftsauerstoff

Diese Herausforderungen führen zu einer hohen Sensibilität in der Schmelzeführung und derzeit noch zu einem instabilen Verfahren. In bisherigen Arbeiten fehlt die Forschung zu einer sicheren Prozesstechnik.

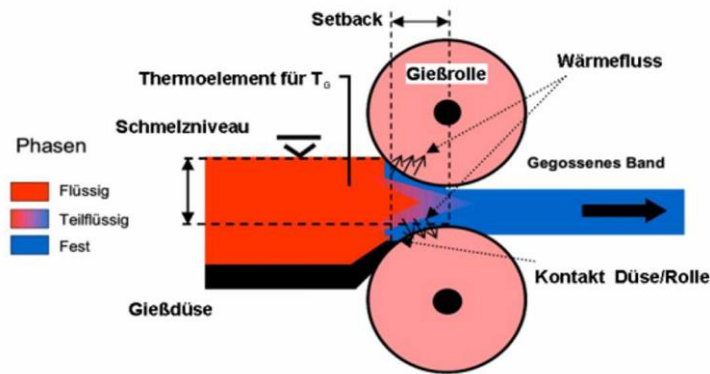


Abbildung 1: Prinzip des Zwei-Rollen-Gießwalzprozesses. Schmelzniveau: Höhe des Schmelzestandes in der Gießrinne, Setback: Abstand von der Spitze der Gießdüse bis zu engsten Rollenspalt

Die Zielsetzung dieser Arbeit ist, ein robustes Gießverfahren zu entwickeln um es weiter auf den Industriemaßstab übertragen zu können. Hierzu wurde die Auswirkung verschiedener Prozessgrößen auf die Bandqualität durch statistische Versuchsplanung (DoE) untersucht. Dies führt durch Experimente und Simulation zur Bestimmung eines optimalen Prozessfensters für die Erzeugung eines Mg-Bandes mit verbesserter Bandqualität.

2 Experimentelle Methodik

2.1 Laboranlage

Zur Durchführung der Versuche wurde die Gießwalzenanlage am Institut für Metallurgische Prozesstechnik und Metallrecycling (IME) der RWTH Aachen verwendet (Abbildung 2). Die Gießrollen haben einen Außendurchmesser von 340 mm und eine Breite von 100 mm. Die Spaltweite kann in einem Bereich von 2 - 5 mm eingestellt werden. Die Gießgeschwindigkeit kann zwischen 0,26 und 5,11 m/min variiert werden. Stahl wurde als Material der wassergekühlten Walzenmäntel verwendet. Aufgrund Reaktionspotenzials mit dem Luftsauerstoff und thermischer Sensibilität bei der Schmelzführung wurde die Laboranlage speziell für Mg-Dünnbandgießen in folge einer FMEA umgebaut.

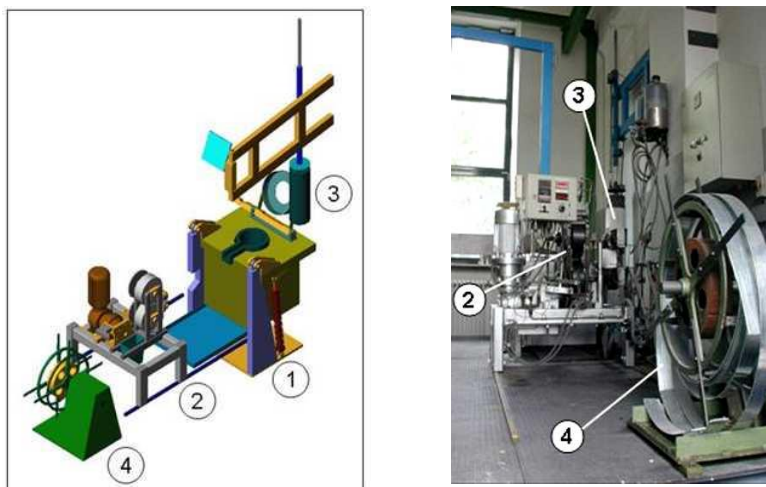


Abbildung 2: Zwei-Rollen-Laboranlage im IME, 1 - Schmelzeinheit; 2 - Gieß-/Walzeinheit; 3 - Niveauregulierung; 4 - Haspel

2.2 Statistische Versuchsplanung und Bewertungsmethoden

Die statistische Versuchsplanung (DoE) führt zu einem Versuchsplan, bei dem Kombinationen von Prozessparametern untersucht werden. Mit Hilfe dieser Methode können Einflussfaktoren und Wechselwirkungen auf eine Zielgröße bei Minimierung der Versuchsanzahl ermittelt werden [10]. Hierbei werden die Einflussgrößen in die drei folgenden Typen unterteilt:

- konstante Einflussgrößen
- variable Einflussgrößen
- Störgrößen

Konstante Einflussgrößen des untersuchten Prozesses (Tabelle 1), festgelegt durch Vorversuche, werden in der Versuchsreihe nicht geändert, da die Veränderung zu einem unstationären Zustand führt oder eine aufwendige Automatisierungstechnik erfordert. Variable Einflussgrößen (Tabelle 2) werden unter den vorgegebenen Bedingungen verändert. Die variablen Einflussgrößen, die von hoher Bedeutung für die Qualität des Mg-Bandes sind, werden in mehrere Einstellbereiche unterteilt und untersucht, um ihre Auswirkung bzw. Wechselwirkung festzustellen. Um eine systematische Verfälschung durch Störgrößen zu verringern, wird eine gezielte Wiederholung und Randomisierung der Versuchsreihe in der Versuchsplanung berücksichtigt.

Die Zielgrößen hängen von den Einflussgrößen ab. Die Walzkraft kann als Maß für die Stabilität des Gießwalzprozesses herangezogen werden, denn Schwankungen anderer Parameter wirken sich auf die Gleichmäßigkeit der Erstarrung und somit auf die Walzkraft aus. Chemische Homogenität und Gefüge haben einen starken Einfluss auf die Eigenschaften der Bänder. Eine hohe Oberflächenqualität ist wichtig für die Weiterverwendbarkeit der Bänder. Um die Qualität eines erzeugten Bandes beurteilen zu können, muss eine geeignete Erfassungsmethode gefunden werden (Tabelle 3).

Tabelle 1: Konstante Einflussgrößen der experimentellen Untersuchungen zum Bandgießen von Mg

Konstante Einflussgrößen	Wert
Magnesiumlegierung	MgAZ31
Walzenwerkstoff	Stahl
Gießtemperatur	695 °C
Schmelzniveau	9 mm
Setback der Gießdüse	30 mm

Tabelle 2: Variable Einflussgrößen und ihre Einstellbereiche





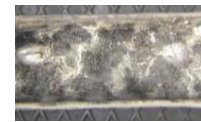
Variable Einflussgröße	Minimum	Maximum	Stufen	Einstellbereich
Spaltweite (mm)	3	4,5	4	3 / 3,5 / 4 / 4,5
Gießgeschwindigkeit (m/min)	2,5	4	4	2,5 / 3 / 3,5 / 4
Kühlleistung (l/min)	25	35	3	25 / 30 / 35

Tabelle 3: Zielgröße und ihre Erfassungsmethode

Zielgröße	Erfassungsmethode
Walzkraft	Kraftsensor
Seigerung von Aluminium	Funkenspektrometer
Seigerung von Zink	Funkenspektrometer
Oberflächenqualität	Visuelle Begutachtung

Die Oberflächenqualität aller Bänder wird nach der Art der Oberflächenfehler (z. B. Oxidation, Poren, usw.), der Fehlerhäufigkeit und dem Schweregrad visuell begutachtet. In Tabelle 4 ist die Klassifikation der Oberflächenqualität aufgezeigt, wie sie später bei der Parameterstudie verwendet wird.

Tabelle 4: Bestimmung der Oberflächenqualität von Mg-Band

Klasse	1	2	3	4	5
Bandfehler	kaum Oberflächenfehler	kurze Risse, aber wenig Oxidation	kurze Risse, leichte Oxidation	lange Risse, Anhaftungen	schwere Oxidation, Poren, Überfaltung
Beispielprobe					

Die statistische Versuchsplanung wurde mit Hilfe der Software MODDE 5.0 von UMETRICS durchgeführt und das sogenannte D(Determinaten) - Optimal - Design angewendet [11]. Der Versuchsplan besteht aus 15 Versuchen und 3 Wiederholungsversuchen. Im Vergleich zum vollfaktoriellen Versuchsplan ($4 \cdot 4 \cdot 3 = 48$) nimmt die Versuchsanzahl bei D-optimal stark ab. Die 18 Versuche wurden an der Laboranlage (vgl. Abbildung 2) entsprechend dem Versuchsplan durchgeführt und die Ergebnisse wurden über MODDE ausgewertet.

3 Mikroskopische Charakterisierung der Bänder

Ein typisches Gefüge der erhaltenen Bänder wird in Abbildung 3 gezeigt. Infolge der Rascherstarrung während des Gießwalzverfahrens zeigt sich das zu erwartende gerichtete dendritische Gefüge deutlich, Abbildung 3a. Hierbei wachsen die Dendriten, die als Folge einer konstitutionellen Unterkühlung in der Erstarrungsfront auftreten, dem Temperaturgradienten folgend von den beiden Bandoberflächen in Richtung Bandmitte. Die groben Dendriten können auf die große Überhitzung der Schmelze von 60 °C (Gießtemperatur 695 °C) zurückgeführt werden. In den Primärdendriten kann man Zwillingsbildung durch Verformungen erkennen, welches ein typisches Charakteristikum von Magnesiumknetlegierungen nach dem Umformen ist. In manchen Proben stehen die Dendriten nicht senkrecht sondern ca. 70 ° zur Walzrichtung. Dies beweist eine starke Scherkraft zwischen Band und Walzrollen. Die Körngröße in der Mitte ist ca. 4- bis 5-mal so groß wie an der Bandoberfläche, Abbildung 3b und c.

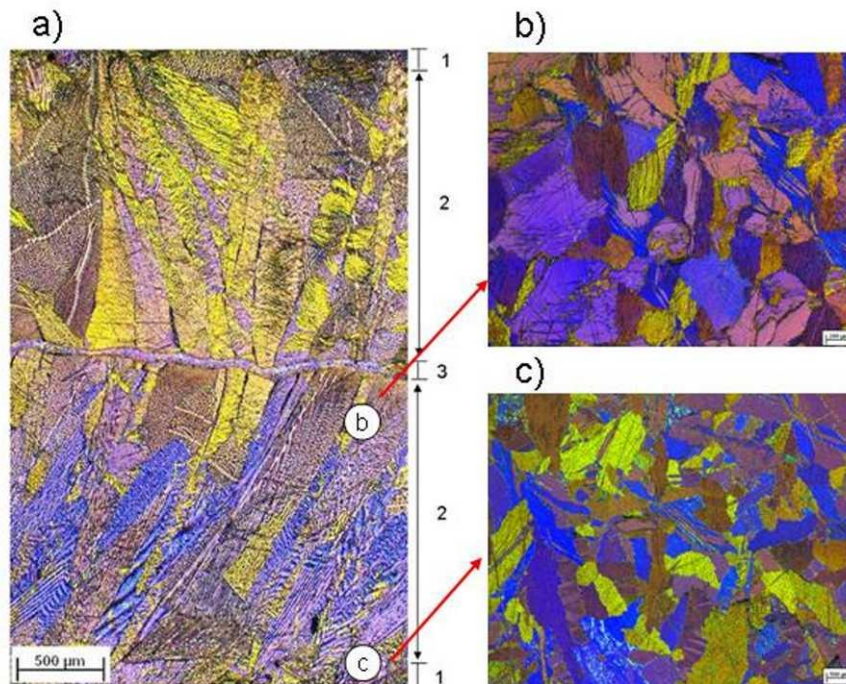


Abbildung 3: Gefügestruktur von Mg Band, $d = 4 \text{ mm}$, $v = 3,5 \text{ m/min}$ und $KL = 35 \text{ l/min}$.
 a) Längsschliff: (1) feiner dendritischer Bereich auf der Oberfläche; (2) grober dendritischer Bereich; (3) globulitischer Kern; b) Querschliff aus (2), c) Querschliff aus (1).
 (*DR: Dickenrichtung, WR: Walzrichtung, QR: Querrichtung)

Die Korngröße kann durch folgende Gleichung [12] berechnet werden:

$$D = 1,74 \times \sqrt[3]{L_1 \times L_2 \times L_3} \quad (\text{G } 1)$$

Hierbei steht L_i für die Länge der Dendriten in drei Dimensionen, die nach dem Linienschnittverfahren bestimmt wird. Die durchschnittliche Korngröße an der Oberfläche liegt demnach bei ca. $180 \text{ }\mu\text{m}$, während sie in der Mitte ca. $550 \text{ }\mu\text{m}$ beträgt. Nach [5] besteht folgender Zusammenhang zwischen dem Abstand der sekundären Dendritenarme (SDAS, engl. secondary dendrite arm spacing) und Abkühlgeschwindigkeit:

$$\lambda_2 (\mu\text{m}) = 35,5 \times V_s^{-0,31} \quad (\text{G } 2)$$

Hierbei steht λ_2 für den Abstand der sekundären Dendritenarme in μm und V_s für die Abkühlgeschwindigkeit in K/s . Die gemessenen Werte von λ_2 betragen $6 - 10 \text{ }\mu\text{m}$. Die entsprechende Abkühlgeschwindigkeit beträgt hier $60 - 310 \text{ K/s}$, welche gut zu den Ergebnisse anderer Autoren von $130 - 350 \text{ K/s}$ [6] und 270 K/s [7] passt.

Zur detaillierten Untersuchung des Einflusses einer thermochemischen Behandlung wurden zwei Bänder mit der Länge von 30 cm , $d_A = 4,5 \text{ mm}$ bzw. $d_B = 3,5 \text{ mm}$, wärmebehandelt und nachgewalzt. Die Mikroseigerungen im Gusszustand wurden durch Homogenisierungsglühung beseitigt. Während des Warmwalzens zeigten die Bänder eine sehr gute Verformbarkeit, es trat keine neue Rissbildung auf.

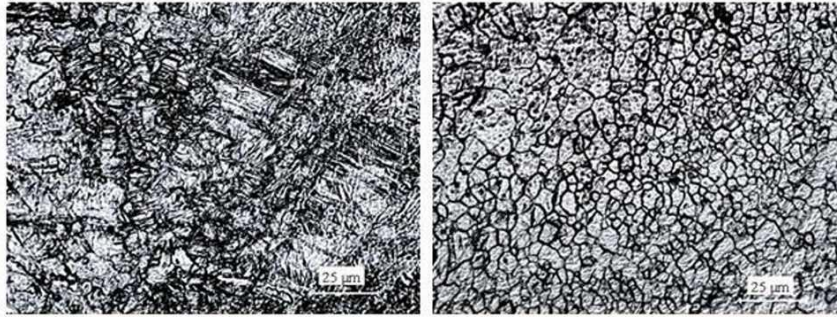


Abbildung 4: Gefügestruktur von Mg-Band nach dem Homogenisieren (400 °C, 60 min) und Warmwalzen (350 °C, von 4,5 mm auf 2,25 mm), links: vor Glühung; rechts: nach Glühung (380 °C, 60 min)

Die erzielte geringe Korngröße ist durch plastische Verformung und durch die eingeleitete Rekristallisation begründet, die Rekristallisationstemperatur liegt bei ca. 205 °C [6]. Die dynamische Rekristallisation trat während jedes Walzstiches auf und die statische Rekristallisation während der Zwischenheizung. Die Rekristallisation tritt üblich an der Korngrenze bzw. in der Zone der Zwillingsbildung auf. Das anisotrope Gefüge nach dem Nachwalzen stellt die typische Struktur von starker Zwillingsbildung dar (Abbildung 4, links). Nach der Glühung war die Anisotropie fast nicht mehr vorhanden. Die Körner waren globulitisch und ihre Größe unterhalb von 10 µm (Abbildung 4, rechts). Nach der Homogenisierung und dem darauffolgenden Nachwalzen erhöhte sich die Härte von 65 (im Gusszustand) auf 85.

4 Parameterstudien an der Bandgussanlage

4.1 Einfluss der Prozessparameter auf die Walzkraft

Die Walzkraft beim Mg Dünbandgießen auf der Laboranlage des IME liegt im Bereich von 50 - 140 kN. Bezogen auf die erzeugte Bandbreite von 10 mm beträgt die normierte Walzkraft damit zwischen 4 - 14 kN/mm. Dieser Walzkraftbereich deckt sich mit dem beim Al-Dünbandgießen (6 - 10 kN/mm) [13], ist jedoch viel größer als beim Stahlbandgießen, 0,3 - 0,5 kN/mm [14].

Abbildung 5 stellt die Koeffizienten der Einflussgrößen auf die Walzkraft dar. Hier kann man erkennen, dass Spaltweite (d), Gießgeschwindigkeit (V), und ihre Wechselwirkung (d*V) mit 95 %iger Wahrscheinlichkeit hoch signifikant sind und den Prozess zu verändern gestatten, während die Kühlleistung (KL) lediglich einen Tendenzen Effekt hat.

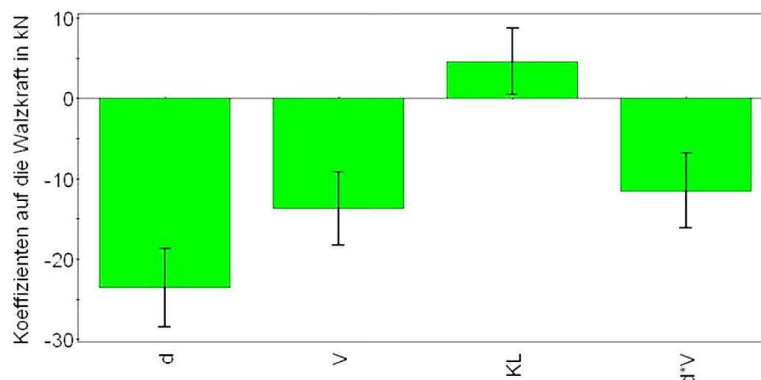


Abbildung 5: Koeffizient der Einflussgröße auf die Walzkraft.

Der starke „negative“ Einfluss der Spaltweite ist deutlich ersichtlich. Die Walzkraft sinkt z. B. von 128 kN auf 52 kN, wenn der Spalt von 3 bis 4,5 mm verbreitert wird. Darüber hinaus hat die Geschwindigkeit einen verringenden Einfluss auf die Walzkraft. Dieser Einfluss ist jedoch weniger ausgeprägt als der der Spaltweite.

Dies Ergebnis wurde durch numerische Simulation [15] bestätigt. Auch hier wird der Einfluss der Spaltweite von $d = 3$ und 4 mm bei einer gleichen Gießgeschwindigkeit ($V = 3$ m/min) untersucht. Abbildung 6 ergibt, dass bereits vor dem Gießspalt keine Restschmelze mehr vorhanden ist, wodurch ein erstarrtes Band eine Walzkraft erfährt. Bei der geringeren Spaltweite ($d = 3$ mm) wird die "mushy zone" weiter in Richtung Schmelzofen verlagert. Dies führt zu einem Anstieg der Walzkraft.

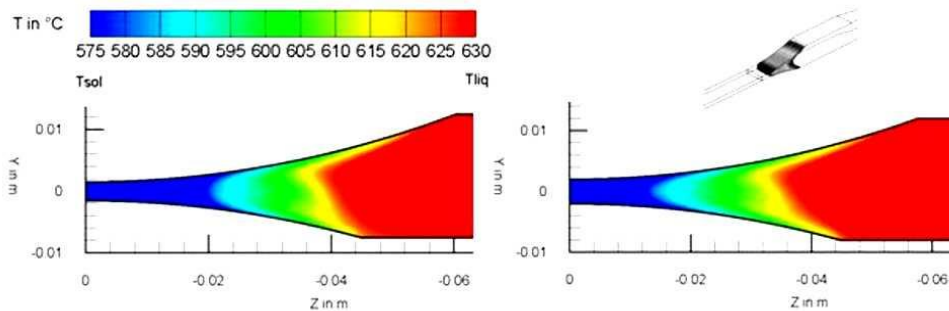


Abbildung 6: Numerische Simulation des Einflusses der Spaltweite auf das Erstarrungsintervall (Gießwalzen von MgAZ31), links: $d = 3$ mm, $V = 3$ m/min; rechts: $d = 4$ mm, $V = 3$ m/min [15]

Eine zunehmende Kühlleistung (Kühlwasserdurchfluss) führt zu einer tendenziellen Zunahme der Walzkraft. Eine mögliche Ursache dafür ist, dass die größere Kühlleistung zu einem besseren Wärmeübergang und damit schnellerem Erstarren der Schmelzen führt, wodurch sich die Walzkraft erhöht. Es ist jedoch ersichtlich, dass der Einfluss der Kühlleistung viel kleiner ist, als der von Spaltweite und Geschwindigkeit. Diese Schlussfolgerung wurde auch bei Versuchen zum Aluminium Dünbandgießen gezogen [16].

Abbildung 7 zeigt eine Wechselwirkung, d.h. der Einfluss der Geschwindigkeit hängt selber vom Gießspalt ab. Wenn die Spaltweite groß ist, hat die Gießgeschwindigkeit einen eindeutigen Einfluss auf die Walzkraft. Bei einem dünnen Spalt hingegen beeinflusst die Geschwindigkeit die Walzkraft kaum noch. Die Ursache liegt darin, dass die Schmelze bei einem dünnen Gießspalt schneller als bei einem dickeren Gießspalt erstarrt.

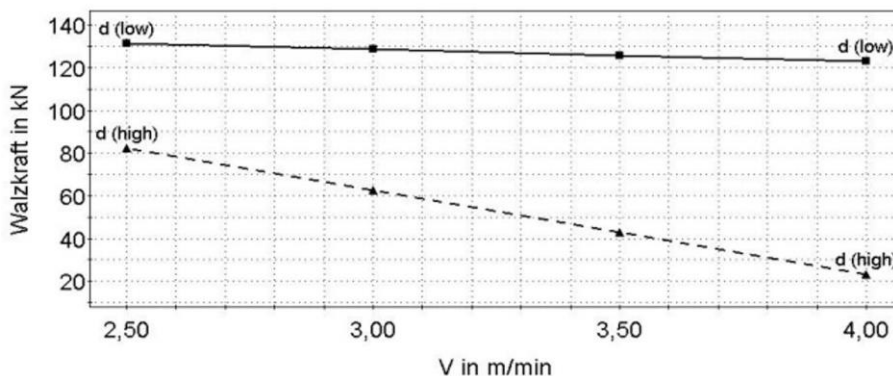


Abbildung 7: Wechselwirkung von Geschwindigkeit und Spaltweite auf die Walzkraft (experimentelle Ergebnisse)

4.2 Einfluss der Prozessparameter auf Seigerungsneigung von Al bzw. Zn

Zur chemischen Seigerungsneigung von Al bzw. Zn wurde in den Versuchen nachgewiesen, dass Al-Gehalt bzw. Zn-Gehalt mit der Abstand von Oberfläche abnehmen. Um den Einfluss auf die Seigerung vorauszusagen, werden Spaltweite und Geschwindigkeit verändert, während die Kühlleistung von 35 l/min (möglich stärkste Seigerung) konstant gehalten wird. Aus Abbildung 8 ergibt sich, dass die Seigerungsneigungen bei steigender Spaltweite und kleineren Geschwindigkeiten abnehmen. Parallele Tendenzen lassen sich bei Al- und Zn-Seigerung erkennen.

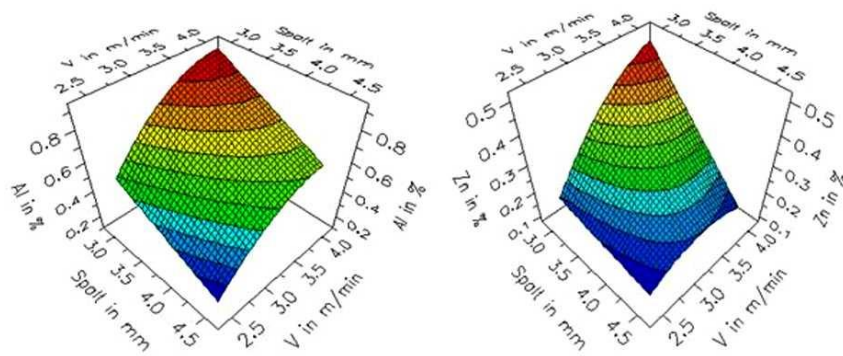


Abbildung 8: Einfluss von Geschwindigkeit und Spaltweite auf die Seigerungsneigungen von Al (links) und Zn (rechts), bei Kühlleistung von 35 l/min

Bei der Rascherstarrung während des Gießwalzens wachsen die Dendriten sehr schnell und die Restschmelzen zwischen dem Dendritenskelett mit einem hohen Gehalt an Legierungselementen werden durch die große Walzkraft an die Oberflächen gepresst. Hohe Gießgeschwindigkeit und damit geringe Erstarrungsrate bringt mehr Restschmelze. Geringe Spaltweite und damit hohe Walzkraft drückt diese Restschmelze zur Oberfläche.

Die Walzkraft kann als Summenindiz für alle Einflussgrößen genutzt werden, da sie sich auf die erforderliche Walzkraft auswirken [17]. Wenn die Walzkraft größer als 100 kN wird, zeigt sich die Al-Seigerung in erhöhtem Maße (oberhalb von 0,9 %). Bei der Seigerung von Zn ist die Tendenz ähnlich, die Seigerung beträgt mehr als 0,4 %, Abbildung 9.

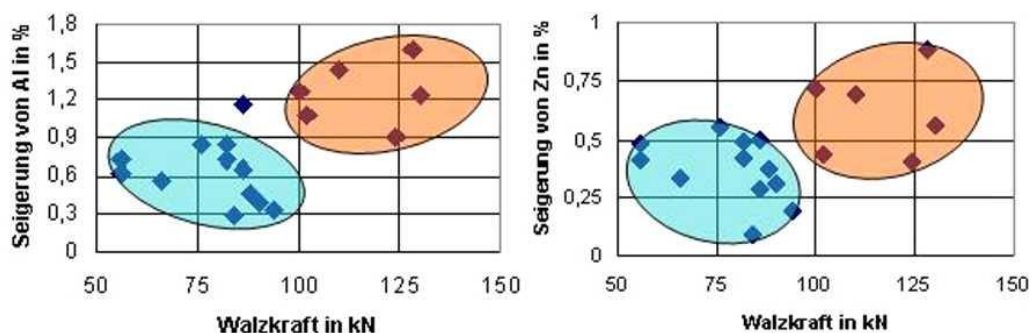


Abbildung 9: Beziehung zwischen Walzkraft und chemische Seigerungen von a) Seigerung von Aluminium, b) Seigerung von Zink

4.3 Einfluss der Prozessparameter auf Oberflächenqualität

Zur Untersuchung dieses Effektes werden die beiden „online-veränderbaren“ Einflussgrößen, die Geschwindigkeit und die Kühlleistung für eine bestimmte Spaltweite gemeinsam variiert. Die Oberflächenqualität erhöht sich mit Abnahme von Geschwindigkeit und Kühlleistung. Bei einer Spaltweite von $d = 3$ mm (Abbildung 10, links) ist in fast allen Gebieten der Geschwindigkeit und Kühlleistung eine hervorragende Oberflächenqualität vorhanden. Besonders, in der Ecke, wo die Geschwindigkeit unterhalb 3 m/min und die Kühlwassermenge weniger als 30 l/min beträgt, ist eine Oberflächenqualität oberhalb Klasse 2 vorhanden. Abbildung 10 (rechts) zeigt dagegen, dass bei $d = 4,5$ mm die Oberflächenqualität tendenziell schlechter ist. Nur in der unteren linken Ecke, wieder bei Geschwindigkeiten $V < 3$ m/min, ist die Oberflächenqualität annehmbar.

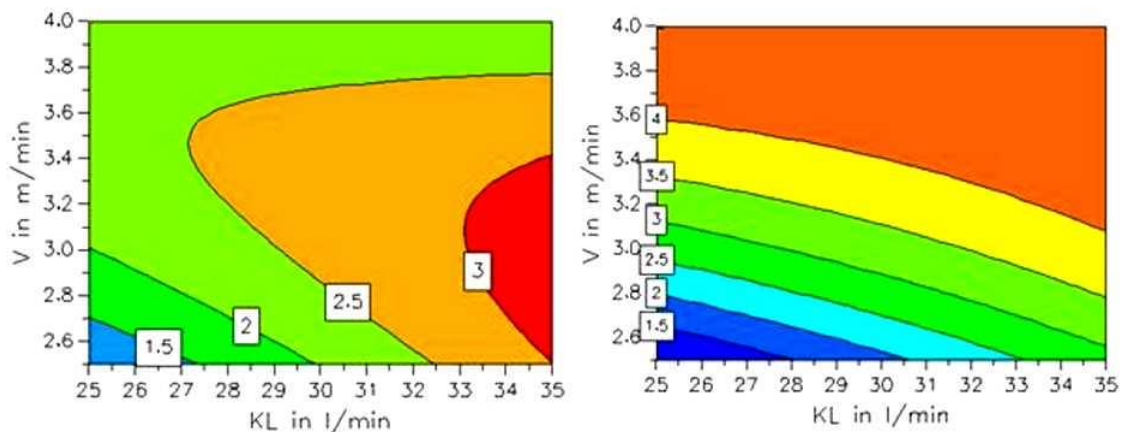


Abbildung 10: Einfluss von Geschwindigkeit und Kühlwasserdurchfluss auf die Oberflächenqualität, links: bei schmalen Spalt, $d = 3$ mm; rechts: bei breitem Spalt, $d = 4,5$ mm. Die Klassifikation der Oberflächenqualität (Werte in Boxen) ist in Tabelle 4 definiert: 1 = gut; 5 = schlecht.

Diese Erfahrungen aus den Versuchen führen zur Aussage, dass die Oberflächenqualität empfindlich von der Walzkraft abhängt, auf die wiederum alle untersuchten Prozessparameter Einfluss haben. Eine Erhöhung der Walzkraft hat einen verbesserten Wärmeübergang und so einen stabileren Gießvorgang zur Folge. Andererseits führen überhöhte Kräfte zu vermehrter Rissbildung, da die mechanische Spannung im Bandkörper ansteigt. Um Bänder mit guter Oberflächenqualität zu erzeugen, muss eine Walzkraft ausgewählt werden, die einen Kompromiss zwischen diesen beiden Effekten erzielt.

4.4 Festlegung des Prozessfensters

Hinsichtlich der dargestellten Einflüsse der einzelnen Zielgrößen kann ein Prozessfenster aufgestellt werden. Die Anforderungen an das Produkt bzw. den Prozess werden in Tabelle 5 zusammengestellt.

Tabelle 5: Rahmenbedingungen für die Aufstellung eines Prozessfensters zum kontinuierlichen Bandguss von Mg

Zielgröße	Grund für die Einschränkung	Bedingung
Walzkraft	Vermeidung von Beschädigungen der Gießwalzeinheit	max. 140 kN
Seigerung von Al	Homogenität der Elementverteilung	max. 1%
Seigerung von Zn	Homogenität der Elementverteilung	max. 0,5%
Oberflächenqualität	Vermarktbarkeit des Produktes	max. Klasse 3

Das Ergebnis der Berechnungen aus dem Modell (MODDE) kann Abbildung 11 entnommen werden. Bei einer Kühlleistung von 30 l/min, befindet sich das berechnete Prozessfenster bei Spaltweiten unterhalb 3,4 mm. Bei einer Gießgeschwindigkeit von $V = 3$ m/min ist die Flexibilität am größten, d.h. ein Spalt im Bereich von 3 - 3,4 mm ermöglicht die Erzeugung einer guten Bandqualität. Wenn die Kühlleistung auf 35 l/min erhöht wird, schrumpft das Prozessfenster zu $d = 3,2 - 3,5$ mm und $V = 2,5 - 3,2$ m/min. Bei einer Kühlleistung von 25 l/min existiert kein Prozessfenster mehr, um alle Bedingungen zu erfüllen.

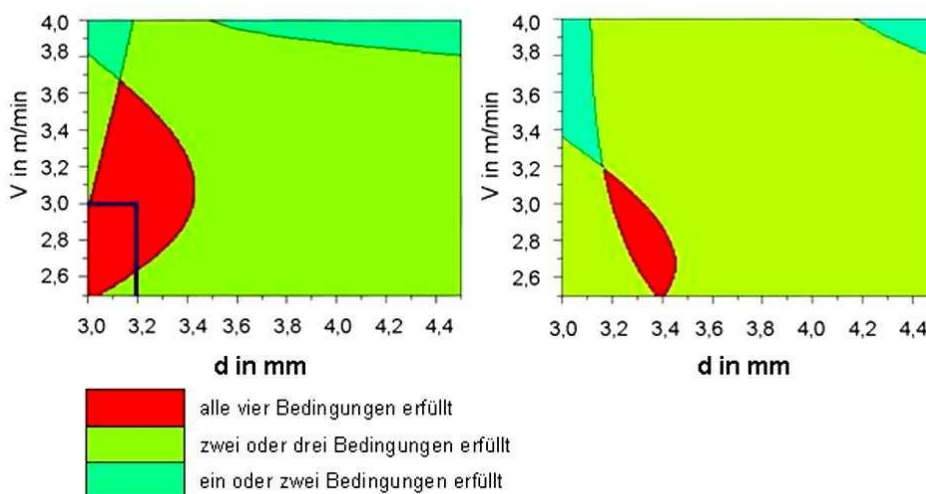


Abbildung 11: Berechnetes Prozessfenster für die Laboranlage im IME
links: KL = 30 l/min, rechts: KL = 35 l/min

Zur Überprüfung dieser Berechnungen wurden Kontrollversuche durchgeführt. Im Folgenden wird ein Beispiel gezeigt. Die gewählten Parameter sind in Abbildung 11 mit einer dunklen Linie gekennzeichnet: $d = 3,2$ mm, $V = 3$ m/min, KL = 30 l/min. Das Ergebnis der akzeptablen Bandqualität wurde durch einen Versuch bestätigt: die Walzkraft betrug 98 kN, die Seigerung von Al bzw. Zn 0,71 % bzw. 0,38 %, und die Oberflächenqualität war gut (Klasse 2).

5 Zusammenfassung

Das Dünnbandgießen nach dem Zwei-Rollen-Verfahren kann als kostengünstiges Verfahren zur Magnesiumbandherstellung in der Industrie eingesetzt werden. Das an der Laboranlage am IME in Aachen gegossene Band zeigt einen Abstand der sekundären Dendritenarme von 6 - 10 μm , was einer Abkühlgeschwindigkeit von 60 - 310 $^{\circ}\text{C/s}$ entspricht. Nach dem Nachwalzen erreicht man ein feines globulitisches Korn von ca.

10 µm. Im festgelegten Prozessfenster lässt sich die Seigerungsneigungen von Al unterhalb von 1 % und die von Zn unterhalb von 0,5 % halten.

Mit Hilfe der statistischen Versuchsplanung (DoE) wurde der Einfluss der Prozessparameter auf die Bandqualität untersucht:

- Walzkraft ↓ , wenn $d \uparrow$, $V \uparrow$ und Kühlleistung ↓
- Seigerung von Al und Zn ↓ , wenn $d \uparrow$, $V \downarrow$ und Kühlleistung ↑
- Oberflächenqualität ↑ , wenn $V \downarrow$ und Kühlleistung ↓

Basierend auf diese Auswertung wurden optimale Prozessfenster an der Laboranlage festgelegt. Diese Aussage wurde durch Versuchsergebnisse validiert.

Danksagung

J. Zeng dankt dem Deutschen akademischen Austauschdienst (DAAD) für die finanzielle Unterstützung. Herrn A.M. Kamoushkoo wird gedankt für die Unterstützung bei der Versuchsdurchführung.

Schrifttum

- [1] Friedrich, H.E.; Mordike, B.L.: Magnesium Technology, Springer-Verlag, 2006
- [2] Kawalla, R.; Engl, B.: Magnesiumdünnbandgießen und -walzen am Beispiel der AZ31 Legierung, 19. Aachener Stahlkolloquium, 25. - 26.03.2004, S. 199 - 210
- [3] Odenthal, H.-J.: Physikalische und numerische Strömungssimulation kontinuierlicher Gießverfahren der Hochtemperaturtechnik, eingereichte Habilitationsschrift, Fachbereich Bergbau, Hüttenwesen und Geowissenschaften, RWTH Aachen, 2004
- [4] Schumann, S.: Future use of Magnesium in cars-Potential and prerequisite, 12th Magnesium Automotive and End User Seminar, Aalen, Germany, 2004
- [5] Allen, R.V.; East, D.R.; Johnson, T.J.; Borbidge, W.E.; Liang, D: Magnesium alloy sheet produced by twin roll casting, Magnesium Technology 2001, TMS (The Minerals, Metals&Materials Society) 2001, p. 75 - 79
- [6] Park, S.; Lee, J.; Lee, H.; Kim, N.: Development of wrought Mg alloys via strip casting, Magnesium Technology 2004, TMS (The Minerals, Metals&Materials Society) 2004, p.107 - 112
- [7] Löchte, L.; Westengen, H.; Rodseth, J.: An efficient route to magnesium alloy sheet: twin roll casting and hot rolling, Magnesium Technology 2005, TMS (The Minerals, Metals&Materials Society) 2005, p. 247 - 252
- [8] Engl, B.: A new technology for Magnesium sheet Production, Light Metal Age 10, 2005, S. 14 - 19
- [9] Volkova, O.; Moghaddam, S.B.; Lachmann, S.; Scheller, P.-R.: Flow conditions by twin-roll casting of light metals, Metall 61, Jahrgang 5, 2007
- [10] Kleppmann, W.: Taschenbuch Versuchsplanung, Hanser Verlag, 2006
- [11] Orth, A.: Modellgestützte Versuchsplanung und Optimierung, Intensivkurs, 12. - 15.02.2001, Umesoft GmbH, Niederhöchstadt/Eschborn.
- [12] Tompson, A.W.: Calculation of true volume grain diameter, Metallography, 5 (1972), p 366 - 369
- [13] Yun, M.; Lokyer, S.; Hunt, J.D.: Twin roll casting of aluminium alloys, Materials Science and Engineering Vol. 280 (2000), p. 116 - 123
- [14] Litterscheidt, H.; Hammer,R.; Schneider, C.; Simon, R.W.; Kopp, R.; Hehl, B.: Bandgießen nach dem Zwei-Rollen-Verfahren - Stand der Entwicklung bei der Thyssen Stahl AG, Stahl und Eisen, 111 (1991) 2, S. 61 - 66
- [15] Zeng, J.; Koitzsch, R.; Pfeifer, B.; Friedrich, B.: Numerical Simulation of the Twin Roll Casting Process of Magnesium Alloy Sheet, Journal of Materials Processing Technology, 2007 (eingereicht)
- [16] Sahai, Y.; Saxena, A.: Modelling of twin roll thin strip casting of aluminum alloys, Light Metals 2002, TMS, 2002, p. 643 - 650
- [17] Frischknecht, B.: Bandgießtechnologie - Stand der Technik und Trends, Aluminium Vol. 77 (2001) No. 10, p. 746 - 751