



Warmwalzsimulation mit Berücksichtigung der Mikrostrukturentwicklung

Mittels Simulation kann die AMAG die Entwicklung des Gefüges von Walzprodukten entlang der Prozesskette nachbilden. Das erhöht das Werkstoff- und Prozessverständnis und ermöglicht somit eine Verkürzung der Entwicklungszeit neuer und verbesserter Produkte.

Für die Entwicklung, Herstellung und Verbesserung hochwertiger Spezialprodukte, welche einen Großteil des AMAG-Produktportfolios darstellen, reichen empirische Überlegungen nicht mehr aus, um die Eigenschaften der Bleche und Platten zu optimieren. Es ist ein tiefes metallkundliches Verständnis über die ablaufenden mikrostrukturellen Vorgänge notwendig, um zielgerichtet Produktentwicklung voranzutreiben.

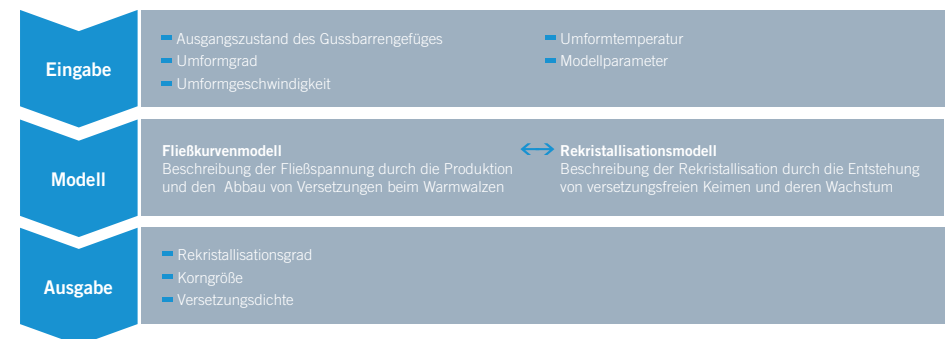
Industrielle Versuche zur Klärung der Fragestellungen wären viel zu aufwändig. Die

Simulation bietet heutzutage die Möglichkeit, den Aufwand an industriellen Versuchen auf ein Mindestmaß zu reduzieren. Mittels der Simulation kann die Entwicklung des Gefüges entlang der Prozesskette zur Herstellung von Aluminiumplatten und -blechhalbzeugen bei der AMAG nachgebildet werden. Die erforderliche Prozesskette besteht dabei aus mehreren aufeinanderfolgenden Umformstufen und

einer nachfolgenden Wärmebehandlung. Die während der Herstellung auftretenden Verfestigungs- und Entfestigungsprozesse sind abhängig von der Umformtemperatur, der Umformgeschwindigkeit sowie dem Umformgrad. In Zusammenarbeit mit der LKR Leichtmetallkompetenzzentrum Ranshofen GmbH konnte in den letzten Jahren für die Warmwalzsimulation ein physikalisch basiertes Modell zur Be-

Steuerstand des neuen Warmwalzwerkes

Abbildung 1: Schematische Darstellung des Mikrostrukturmodells



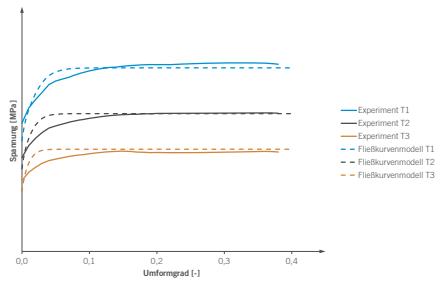


Abbildung 2: Vergleich der berechneten (gestrichelte Linie) und experimentellen (durchgezogene Linie) Fließkurve bei unterschiedlichen Temperaturen. Bei steigender Temperatur sinkt die Fließspannung.

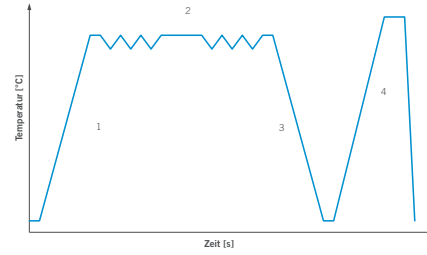


Abbildung 3: Gewählte schematische Darstellung der Prozesskette

schreibung der Mikrostruktur entwickelt werden, das die Legierungszusammensetzung und die Herstellroute von aushärtbaren Werkstoffen berücksichtigt.

Das Modell zur Beschreibung der Mikrostrukturentwicklung basiert, wie in Abbildung 1 dargestellt, auf zwei eigens geschaffenen physikalisch basierten Modellansätzen. Mittels des Fließkurvenmodells kann die Fließspannung durch die Entwicklung der Versetzungsdichte berechnet werden. Dabei werden die Generierung von Versetzungen durch die Umformung während des Walzprozesses und der Abbau von Versetzungen durch deren spontane Annihilation sowie das thermisch aktivierte Versetzungsklettern berücksichtigt [1]. Der zweite Ansatz zur Rekristallisation beschreibt deren Berechnung aufgrund der Entstehung von versetzungsfreien Keimen und deren Wachstum. Als Eingabeparameter für dieses Modell dienen unter anderem Parameter, die aus dem Fließkurvenmodell berech-

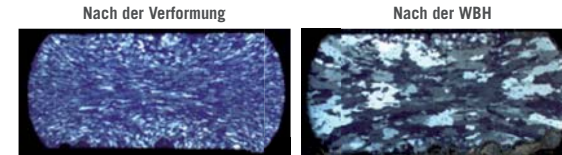
net werden, wie zum Beispiel die Versetzungsdichte. Diese Interaktion der beiden Modelle ermöglicht somit die Berechnung des Rekristallisationsgrades und der zu erwartenden Größe der rekristallisierten Körner [2].

Zur Kalibrierung und Validierung des kombinierten Mikrostrukturmodells wurden Zylinderstauchversuche an einer Al-Cu-Mg-Mn Legierung durchgeführt. Zur Kalibrierung des Modells für die entsprechenden Modellparameter wurden Fließkurven aus Standardstauchversuchen herangezogen. Mittels Reverse Engineering konnten somit die berechneten Fließkurven an die experimentell ermittelten Fließkurven durch Variation der Modellparameter angepasst werden. In Abbildung 2 ist für drei unterschiedliche Temperaturen im Temperaturbereich des Warmwalzens der gewählten Aluminiumlegierung und einer Umformgeschwindigkeit von 10,0 1/s exemplarisch der Vergleich der experimentellen Fließkurven

dargestellt. Es zeigt sich insbesondere im Bereich der Sättigungsspannung eine sehr gute Übereinstimmung zwischen Experiment und Berechnung.

Da der Herstellungsprozess für Aluminiumhalbzeuge innerhalb der AMAG weit aus komplexer als ein einfacher Stauchversuch ist, musste zur Validierung des Modells eine entsprechende Prozesskette für den Labormaßstab definiert werden. Mittels Umformdilatometer ist es möglich, eine solche Prozesskette abzubilden:

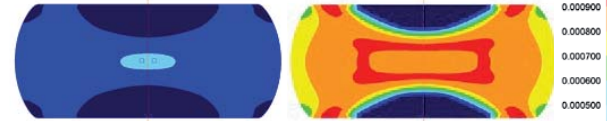
1. Aufheizen des Probenmaterials auf Walztemperatur in der Prüfkammer
2. Zweistufiger Umformschritt mit einer Haltezeit zwischen den Umformschritten
3. Abkühlen des verformten Probenmaterials auf Raumtemperatur
4. Anschließende Wärmebehandlung mit Abschrecken der Probe



a) Metallographische Analyse des Gefüges



b) Simulation: Rekristallisierter Anteil [-]



c) Simulation: Korngröße [m]

Abbildung 4: Vergleich der metallographischen Analyse des Gefüges mit der Simulation nach der Verformung (links) ohne auftretende Rekristallisation und nach der Wärmebehandlung (rechts) mit auftretender Rekristallisation [2]. Copyright (2014) by LKR

eine partielle Rekristallisation in der Probenmitte ersichtlich. Ein grob rekristallisiertes Gefüge stellt sich dabei allerdings erst nach der anschließenden Wärmebehandlung ein. Die Simulationsergebnisse geben dieses in der Praxis beobachtete Verhalten wieder. Auch hier beginnt die Rekristallisation aufgrund der höheren Umformgeschwindigkeit und des höheren Umformgrades während einer entsprechend langen Haltezeit in der Probenmitte. Die Ausbreitung der Rekristallisation erfolgt mit zunehmender Haltezeit zu den Probenrändern. Der maximal erreichte Rekristallisationsgrad beträgt 0,1. Während der Haltezeit steigt die mittlere Korngröße an. Erst durch die zweite Stauchstufe, bei der die rekristallisierten Körner nochmals verformt werden, wird wieder genügend Energie für eine weitere Rekristallisation bereitgestellt [2]. Da der Umformgrad der zweiten Stauchstufe wesentlich geringer als in der ersten Stufe gewählt wurde, bilden sich während der Wärmebehandlung weniger Keime aus und es kommt zu einer Vergrößerung des Gefüges am Ende der Rekristallisation. Dies korreliert ausgezeichnet mit der experimentellen Validierung im industriellen Umfeld. ■

Diese Abfolge ist in Abbildung 3 schematisch dargestellt. Die Probenkörper wurden nach dem Verformen und Abschrecken halbiert, wobei eine Hälfte sofort metallographisch untersucht und die andere Hälfte der Wärmebehandlung unterzogen und anschließend ebenfalls metallographisch untersucht wurde.

Die Gefügeentwicklung der im Labormaßstab durchgeführten Prozesskette konnte somit für die Validierung des Mikrostrukturmodells dienen. Dafür wurde

das Mikrostrukturmodell in das Softwarepaket DEFORM als User-Subroutine implementiert und ein entsprechendes Finite Elemente Modell mit den aus dem Realversuch gegebenen Randbedingungen aufgebaut. Abbildung 4 vergleicht die mit einer Barker-Ätzung behandelten Schlichtbilder aus dem Realversuch nach der Verformung und nach der Wärmebehandlung mit den Simulationsergebnissen. Dabei zeigt sich eine gute Übereinstimmung der Simulation mit dem experimentellen Ergebnis. Direkt nach der Verformung ist

Zusammenfassung:

Das in gemeinsamer Projektarbeit zwischen der AMAG und dem LKR entwickelte kombinierte Modell zur Beschreibung der Mikrostrukturentwicklung konnte im Labormaßstab für einen mehrstufigen Umformprozess und einer anschließenden Wärmebehandlung validiert werden. Die experimentellen Ergebnisse der gewählten Prozesskette zeigten dabei eine gute

Übereinstimmung mit der Simulation. Das entwickelte Modell bietet somit die Möglichkeit, für die Produktion hochwertiger Spezialprodukte wichtige metallkundliche Vorgänge detailliert zu beschreiben und zu analysieren. Durch die Übertragung der erzielten Ergebnisse auf den realen Herstellungsprozess steht nun innerhalb der AMAG ein Werkzeug zur Verfügung, mit dem es mög-

lich ist, die komplexen Zusammenhänge zwischen Legierungszusammensetzung, Herstellroute (thermomechanisch), Gefüge und Eigenschaftsprofil zu veranschaulichen. Somit wird es möglich, die Werkstoffzusammensetzung und die Prozessparameter gezielt zu definieren, um das für das entsprechende Produkt gewünschte Gefüge einzustellen.

Danksagung:

Die Autoren danken für die Unterstützung des Projektes ForMAT im Rahmen des EU-Programmes Regio 13 aus Mitteln des Europäischen Fonds für Regionale Entwicklung (EFRE) sowie aus Mitteln des Landes Oberösterreich 00.

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] E. Kablivan, P. Sherstnev; "Integrated modeling of strength evolution in Al-Mg-Si alloys during hot deformation"; Materials Science Forum Vol. 765 (2013); p. 429-433
- [2] E. Kablivan, P. Sherstnev, J. Kronsteiner, T. Ebner; "Physikalisch basierte Simulation des Rekristallisationsverhaltens in einer Al-Cu-Mg-Mn Legierung während der Warmumformung und anschließender Wärmebehandlung"; Tagungsband 8. Ranshofener Leichtmetalltage, Nov. 2014, Geinberg

