

Beschreibung der Subkornmissorientierung in der Nähe von harten Teilchen von plastisch verformten Metallen

**Peter Loidolt, Manfred Hannes Ulz,
Werner Mitter & Christof Sommitsch**

BHM Berg- und Hüttenmännische Monatshefte

Zeitschrift für Rohstoffe, Geotechnik,
Metallurgie, Werkstoffe, Maschinen-
und Anlagentechnik

ISSN 0005-8912

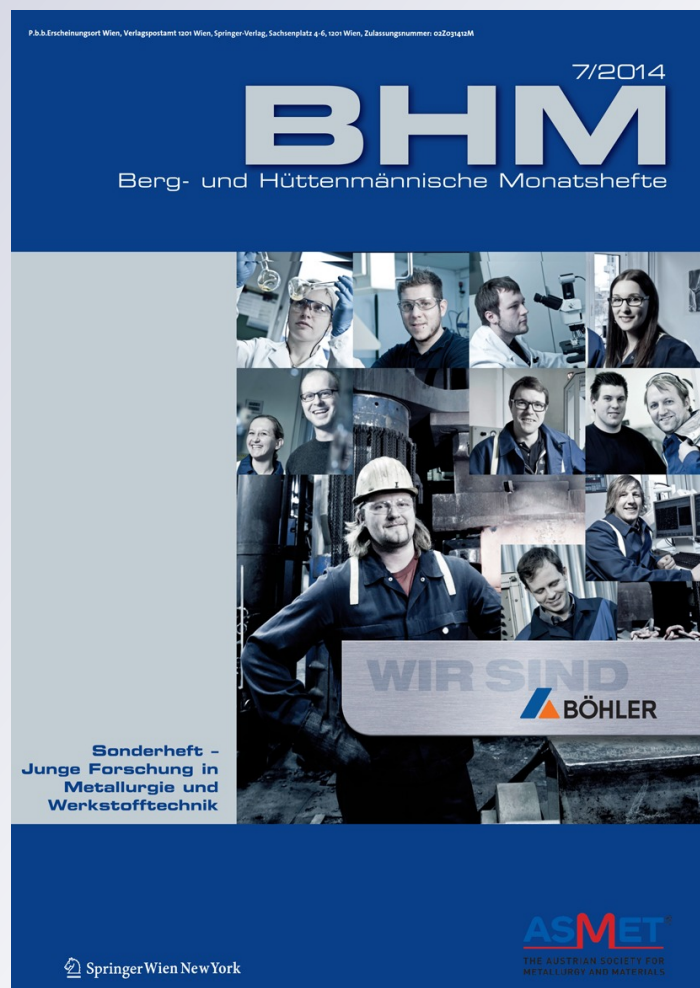
Volume 159

Number 7

Berg Huettenmaenn Monatsh (2014)

159:294-295

DOI 10.1007/s00501-014-0257-x



Your article is protected by copyright and all rights are held exclusively by Springer-Verlag Wien. This e-offprint is for personal use only and shall not be self-archived in electronic repositories. If you wish to self-archive your article, please use the accepted manuscript version for posting on your own website. You may further deposit the accepted manuscript version in any repository, provided it is only made publicly available 12 months after official publication or later and provided acknowledgement is given to the original source of publication and a link is inserted to the published article on Springer's website. The link must be accompanied by the following text: "The final publication is available at link.springer.com".

BHM (2014) Vol. 159 (7): 294–295
 DOI 10.1007/s00501-014-0257-x
 © Springer-Verlag Wien 2014

BHM Berg- und
 Hüttenmännische
 Monatshefte

Beschreibung der Subkornmissorientierung in der Nähe von harten Teilchen von plastisch verformten Metallen

Peter Loidolt¹, Manfred Hannes Ulz², Werner Mitter³ und Christof Sommitsch¹

¹Institut für Werkstoffkunde und Schweißtechnik, TU Graz, Graz, Österreich

²Institut für Festigkeitslehre, TU Graz, Graz, Österreich

³Institut für Mechanik, Montanuniversität Leoben, Leoben, Österreich

Zusatzvermerk: in Pension

Eingegangen am 8. April 2014; angenommen am 11. April 2014; online publiziert am 8. Mai 2014

Zusammenfassung: In dieser Arbeit wird die Materialrotation in der Nähe von harten Teilchen nach der plastischen Verformung eines Metalls mittels FE-Simulation berechnet. Darauf basierend wird mit Hilfe eines einfachen Modells die Rotation von Subkörnern vorgegebener Größe berechnet. Die Missorientierung zweier benachbarter Subkörner wird als Keimbildungskriterium für Rekristallisation definiert. Auf diese Weise lässt sich die Keimbildung als Funktion der Dehnung und der Teilchengröße beschreiben.

Schlüsselwörter: Rekristallisation, Keimbildung, PSN, Einschlüsse, Subkörner, Materialrotation

Description of Subgrain Misorientation in the Vicinity of Hard Particles of Plastically Deformed Metals

Abstract: In this work the material rotation in the vicinity of hard particles after plastic deformation in a metal is determined by means of a FE-simulation. Based on this, a model is proposed to compute the rotation of subgrains of predefined size. The misorientation of two neighbouring subgrains is defined as the nucleation criterion for recrystallization. In this manner, nucleation is described as a function of strain and particle size.

Keywords: Recrystallization, Nucleation, PSN, Inclusions, Subgrains, Material rotation

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. C. Sommitsch (✉)
 Institut für Werkstoffkunde und Schweißtechnik, TU Graz,
 Kopernikusgasse 24/I, 8010 Graz, Österreich
 E-Mail: christof.sommitsch@tugraz.at

1. Einleitung zur Keimbildung für Rekristallisation

Wird ein kaltverformtes Metall gegläht, so kommt es ausgehend von Keimstellen zur Rekristallisation. Keimbildung findet unter anderem in der Nähe von harten Teilchen durch Bildung von Subkörnern hoher Missorientierung statt [1]. Subkörner bilden sich während der Verformung und anschließender Glühung durch den Vorgang der Polygonisation, wobei sich Versetzungen an Subkorngrenzen anlagern [1]. Damit Subkörner hoher Missorientierung gebildet werden können, muss ein Orientierungsgradient nach der Verformung vorhanden sein [1].

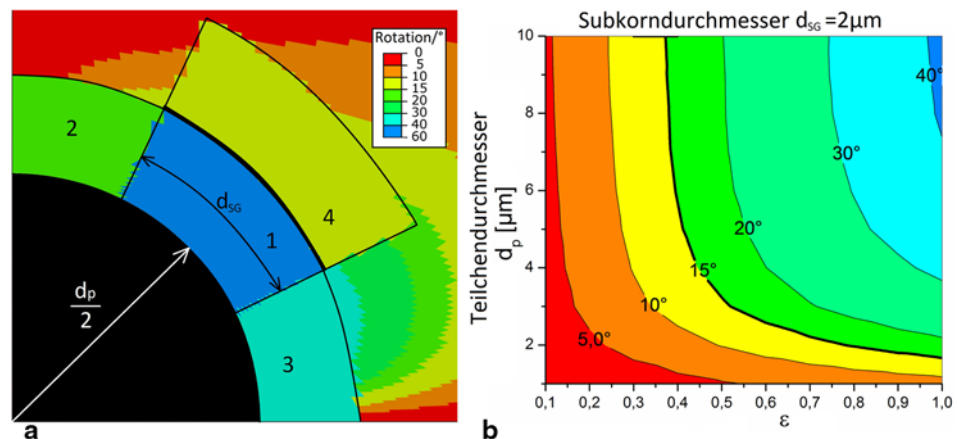
1.1 Kritische Bedingungen für Keimbildung

Ein Keim muss einen kritischen Radius r_c besitzen (Gleichung 1) [2]:

$$r_c = \frac{4\gamma}{\rho G b^2} \quad (1)$$

Dabei ist γ die spezifische Oberflächenenergie, ρ die Versetzungsdichte, G der Schubmodul und b der Burgersvektor. Werden die Stoffdaten für kaltverformtes Aluminium verwendet ($\gamma=0,5 \text{ Jm}^{-2}$ (Großwinkelkorngrenze), $\rho \approx 10^{15} \text{ m}^{-2}$, $G=26 \text{ GPa}$, $b=2,86 \times 10^{-10} \text{ m}$), so erhält man einen Richtwert von $r_c \approx 1 \text{ }\mu\text{m}$ für den kritischen Keimradius. Für Rekristallisation muss die Grenzfläche des Keims ausreichend mobil sein, was für Großwinkelkorngrenzen mit einer Missorientierung von mindestens 15° der Fall ist [2].

Abb. 1: **a** Rotation von Subkörnern in der Nähe eines harten Teilchens und **b** Missorientierung zwischen Subkorn 1 und 4 als Funktion der Dehnung und des Teilchendurchmessers bei einer konstanten Subkorngröße von 2 μm



2. Modellierung

Die Berechnung der plastischen Verformung im Nahbereich eines harten Teilchens wird mit der kommerziellen FE-Software ABAQUS durchgeführt. Dabei wird ein kugelförmiges Teilchen als rein elastischer Körper fest verbunden mit einer elasto-plastischen Matrix in einem rotationssymmetrischen Modell abgebildet. Die Matrix wird plastisch gestaucht, wobei es zu inhomogener Verformung im Nahbereich des harten Teilchens kommt. Neben einer inhomogenen Dehnungsverteilung wird dabei auch eine ungleichmäßige Starrkörperrotation des Matrixmaterials erhalten.

Nun werden im Nahbereich des Teilchens Subkörner bestimmter Form und Größe definiert. Die Rotation dieser Subkörner θ_{SG} wird als gewichtetes arithmetisches Mittel der Materialrotation des entsprechenden Querschnittes berechnet (Gleichung 2). Die Größen θ_i und A_i sind die Rotation und die Fläche jener Elemente der FE-Lösung, die den Querschnitt der definierten Subkörner abdecken.

$$\theta_{SG} = \frac{\sum \theta_i A_i}{\sum A_i} \quad (2)$$

Durch die Bestimmung einer einheitlichen Subkornrotation wird der physikalische Vorgang der Polygonisation im Modell abgebildet. Für die Keimbildung der Rekristallisation ist jedoch nicht die Rotation der Subkörner bezüglich des Ausgangszustandes vor der Verformung, sondern die Missorientierung zweier benachbarter Subkörner maßgeblich. Diese ergibt sich als Differenz der Rotationen der beiden angrenzenden Subkörner.

3. Ergebnis

In Abb. 1a wird beispielhaft das Simulationsergebnis eines harten Teilchens mit $d_p=5\mu\text{m}$ und einer globalen Dehnung der Matrix von $\epsilon=1$ dargestellt. Es werden die Subkörner 1 bis 4 im Nahbereich des Teilchens gezeigt, wobei Subkorn 1 die größte Rotation besitzt. Es wird der Subkorndurchmesser $d_{SG}=2\mu\text{m}$ verwendet, was dem oben abgeschätzten kritischen Keimradius $r_c=1\mu\text{m}$ entspricht. Als Keimbildungskriterium wird die größte Missorientie-

rung an Subkorn Grenzen, nämlich zwischen Subkorn 1 und 4, herangezogen. Diese wird in Abb. 1b als Funktion der globalen Dehnung ϵ und des Teilchendurchmessers d_p bei einem konstanten Subkorndurchmesser von 2 μm dargestellt. Als Kriterium für Keimbildung wird eine Missorientierung von mindestens 15° herangezogen. Die Wahrscheinlichkeit für Keimbildung steigt mit der Dehnung und dem Teilchendurchmesser, wobei mit zunehmendem Teilchendurchmesser Sättigung erreicht wird. Ist der Teilchendurchmesser geringer als der nötige Keimdurchmesser, so kann keine Keimbildung stattfinden.

4. Schlussfolgerung

In dieser Arbeit wird durch Einführung einer Subkorngröße bzw. Keimgröße als Parameter ein größenabhängiges Modell geschaffen, wodurch es möglich ist, Keimbildung für Rekristallisation in der Nähe von harten Teilchen als Funktion der Dehnung und des Teilchendurchmessers vorauszusagen. Eine experimentelle Untersuchung von Keimbildung in unterschiedlich stark verformten Aluminium-Einkristallen mit harten Teilchen unterschiedlicher Größe ist in [1] dargestellt. Die Simulationsergebnisse zeigen gute Übereinstimmung mit den Beobachtungen im Experiment.

Literatur

1. Humphreys, F. J.; Hatherly, M.: Recrystallization and related annealing phenomena, 2. Aufl., Oxford: Elsevier, 2004
2. Gottstein, G.: Physikalische Grundlagen der Materialkunde, 3. Aufl., Berlin: Springer, 2007