

## Praktikum: Verformung und Rekristallisation

---

### 1. Ziel des Praktikums

1. Verständnis der Mechanismen beim Kaltumformen
2. Kenntnisse über Strukturänderungen kaltumgeformter Werkstoffe bei nachfolgender Wärmebehandlung
3. Ermittlung des Einflusses des Umformgrades auf das Rekristallisationsgefüge von Aluminium

### 2. Grundlagen

Plastische Verformung erfolgt über Abgleiten von Ebenen hoher Atomdichte (Gleitebenen). Der Beginn der plastischen Verformung in einem Kristall erfolgt bei einer bestimmten Schubspannung im Gleitsystem. (Schmidt'sches Schubspannungsgesetz). Der Verformungsmechanismus beruht darauf, dass sich Versetzungen im Kristallgitter sehr leicht bewegen können, wenn sie in Gleitebenen liegen und einen Burgersvektor in Gleitrichtung haben. Die Spannung, die erforderlich ist, um eine Versetzung bei einer bestimmten Temperatur und mit vorgegebener Geschwindigkeit durch einen Kristall zu bewegen, wird als Peierlsspannung bezeichnet. Unter der Einwirkung äußerer Kräfte kommt es zu einer Erhöhung der Versetzungsdichte (Frank-Read-Quelle) und damit zu einer Verfestigung (Kaltverfestigung).

Mechanische Einwirkung, vorzugsweise durch Kaltumformung, führt damit zur Erhöhung der Fehlstellendichte des Gitters. Wird in einem kaltumgeformten Werkstoff die Beweglichkeit der Atome durch Temperaturerhöhung vergrößert, haben diese das Bestreben, wieder eine Gleichgewichtsposition im Gitter einzunehmen. Die Umlagerung der Atome kann nach zwei grundsätzlich verschiedenen Mechanismen ablaufen:

- Erholung (kontinuierlicher Vorgang, Ausheilen nulldimensionaler Gitterfehlstellen, keine Änderung der Gitterorientierung),
- Rekristallisation (diskontinuierlicher Vorgang, über Keimbildung und Keimwachstum verlaufend, Umkristallisation).

Nach van Bueren sind der Erholung eines Werkstoffes folgende strukturelle Änderungen zuzuordnen:

- Ausheilung naher Frenkelpaare,
- Ausheilung entfernter Frenkelpaare,
- Wanderung von Zwischengitteratomen,
- Leerstellenwanderung,
- Selbstdiffusion (Aktivierungsenergie für das Klettern von Versetzungen ist erreicht).

Die Auslösung der Rekristallisation in einem Werkstoff ist an eine Mindestaktivierungsenergie gebunden. Als Richtwert für die Rekristallisationstemperatur gilt  $0.3 T_s < T_R < 0.4 T_s$ . Die treibende Kraft für das Keimwachstum, d.h. die Ausdehnung versetzungsfreier bzw. versetzungsarmer Bereiche, ist die Energiedifferenz zwischen dem Gitter im thermomechanischem Gleichgewicht und dem durch Verformung hergestellten Zwangszustand. Das Einsetzen der Rekristallisation erfordert einen kritischen Umformgrad und das Überschreiten einer Temperaturschwelle, der Rekristallisationstemperatur. Der

Beginn der Rekristallisation wird vielfach definiert durch den Beginn der Wanderung von Großwinkelkorngrenzen, ausgehend von versetzungsarmen Bereichen (Polygonisation), die als Rekristallisationskeime wirken. Die treibende Kraft  $p$  für die Wanderung der Großwinkelkorngrenzen ergibt sich aus der Energiedifferenz zwischen verformten und unverformten Gefüge und wird aus der Versetzungsdichte  $\rho_1$  im unverformten und  $\rho_2$  im verformten Gefüge berechnet. Für eine mittlere Linienenergie  $U_L$  der Versetzungen ergibt sich:

$$p = (\rho_1 - \rho_2) * U_L \quad (\text{Gl. 1})$$

Für die Wachstumsgeschwindigkeit der Keime bis zur gegenseitigen Berührung ist damit die Beweglichkeit der Korngrenze als Funktion von Temperatur und Verformungsgrad ausschlaggebend.

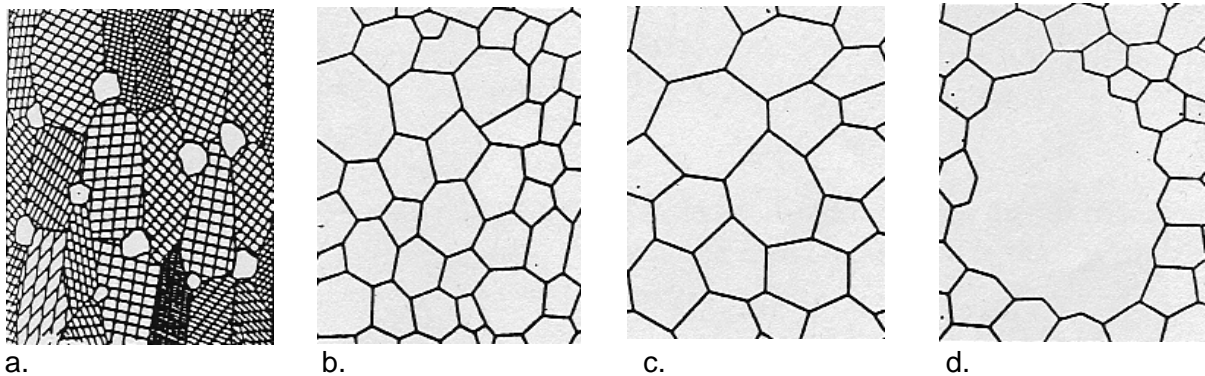


Abb. 1 Schematische Darstellung des Rekristallisationsablaufes  
a verformte Körner, b Primärkristallisation, c Kornvergrößerung, d Sekundärrekristallisation

Durch Rekristallisation nehmen Eigenschaften die Werte des unverformten Zustandes an. Der elektrische Widerstand, die Härte und die Streckgrenze nehmen ab, während die Bruchdehnung und die Risszähigkeit zunehmen.

Bei Umformprozessen in Temperaturbereichen oberhalb  $0.3 T_s$  werden im technischen Messstab keine Festigkeitssteigerungen durch Erhöhen der Versetzungsdichte erreicht. Durch die thermische Beweglichkeit der Gitterfehler können diese unmittelbar nach ihrer Entstehung wieder beseitigt werden (feinkörniges Gefüge). Bei geeigneter Parameterwahl lassen sich die mit der Umformung überlagert ablaufenden Rekristallisationsprozesse sehr feinkörnige Gefüge erzeugen (dynamische Rekristallisation).

### 3. Keilzugversuch

Gegebene Keilzugproben aus Aluminium (Al 99.5) werden bis zum Bruch gereckt. Anschließend wird die Probe rekristallisationsgeglüht:  $530^\circ\text{C}/30 \text{ min}$ .

- Rekristallisationsglühen vor dem Recken der Proben im Keilzugversuch:  $500^\circ\text{C}/30 \text{ min}$
- Recken
- Rekristallisationsglühen nach dem Recken:  $530^\circ\text{C}/30 \text{ min}$
- Kontrastierung des Rekristallisationsgefüges mit Hilfe der TUCKER-Lösung (15% HF, 45% HCl, 15% HNO<sub>3</sub>, 25% dest. H<sub>2</sub>O)

### 4. Literatur

1. Schatt, W. und H. Worch: Werkstoffwissenschaft, Verlag Wiley VCH 2001
2. G. Gottstein: Physikalische Grundlagen der Materialkunde, Springer-Lehrbuch 2001, Kapitel