

Verformungskalorimetrie an Metallkristallen

D.Rönnpage], G.Schulz

Institut A für Physik der TU Braunschweig

Eine der Methoden zur physikalischen Untersuchung der plastischen Verformung kristalliner Festkörper ist die Messung der Energiebilanz des Verformungsprozesses. Es ist bekannt, daß bei den von uns untersuchten Metallen etwa 90% der Verformungsarbeit in Wärme überführt werden, während die restlichen 10% durch den Aufbau neuer Versetzungsstrukturen, die mit der plastischen Verformung verbunden ist, im Kristall gespeichert werden. Dieser Energiezuwachs des verformten Kristalls kann mit Hilfe von Kalorimetern bestimmt werden. Meßgröße ist dabei die Enthalpiedifferenz zwischen unverformtem und verformtem Zustand. Zur Bestimmung dieser gespeicherten Energie können zwei Methoden angewendet werden: die Anlaß- und die Verformungskalorimetrie. Erstere beruht auf dem Ausheilen der durch plastische Verformung entstandenen Kristallbaufehler bei Temperaturen in der Umgebung der halben Schmelztemperatur des Metalls. Bei diesem Vorgang wird die im Kristall gespeicherte Energie als Wärme freigesetzt; ein Vorgang, der im Kalorimeter als scheinbare Änderung der spezifischen Wärme zu messen ist. Bei der Verformungskalorimetrie werden während der Verformung der Probe die mechanische Verformungsarbeit E_{exp} und die gleichzeitig freigesetzte Wärmemenge Q gemessen. Die im Kristall gespeicherte Energie E_{Stor} ergibt sich als Differenz dieser Größen:

$$E_{\text{Stor}} = E_{\text{exp}} - Q \quad .$$

Wir berichten über ein neuentwickeltes Verfahren der Verformungskalorimetrie. Es zeichnet sich aus durch eine wesentlich gesteigerte Meßgenauigkeit und durch die Möglichkeit, die Energiebilanz der plastischen Verformung dynamisch zu messen: Wir verformen stabförmige Cu-Einkristalle von etwa 150 mm Länge im Zugversuch mit konstanter Geschwindigkeit (Raumtemperatur, Vakuum, in Verformungsschritten von 0,3%). Die dabei auftretenden Temperaturänderungen (als Maß für Q) liegen bei einigen 10^{-2} K.

Grundlagen der erreichten Meßgenauigkeit sind:

- 1) Verwendung von Mikro-Thermistoren, mit denen wir eine Temperaturauflösung von $\Delta T \cong 2 \cdot 10^{-5}$ K und eine Zeitauflösung von $\Delta t \leq 0,1$ s erreichen.
- 2) Eine besondere experimentelle Methode zur Lösung des analytisch nichterfaßbaren Wärmeleitungsproblems, durch das die Messung wesentlich verfälscht wird: Wir führen eine zeitlineare elastische Verformung des Kristalls aus, die infolge des thermoelastischen Effektes zu einer wohldefinierten Wärmeproduktion führt. Unter adiabatischen Bedingungen sollte mit dieser Verformung eine zeitlineare Temperaturänderung verknüpft sein, die wir Testfunktion nennen. Der tatsächliche Temperaturverlauf wird als Antwortfunktion des Wärmeableitsystems registriert. Mit Hilfe dieser Antwortfunktion läßt sich jede beliebige Temperaturänderung (also auch die durch plastische Verformung hervorgerufene) mathematisch über eine Integralgleichung darstellen und rechen technisch auswerten.