

INSTITUT FÜR FILM UND BILD IN WISSENSCHAFT UND UNTERRICHT
HOCHSCHULFILM C 611/1951

Aus dem Institut für Metallkunde der Bergakademie Clausthal

Verformung von Metallkristallen

Von

Prof. Dr. G. WASSERMANN

(Mit 1 Abbildung)

Aus dem Institut für Metallkunde der Bergakademie Clausthal

Verformung von Metallkristallen

Von Prof. Dr. G. WASSERMANN

(Mit 1 Abbildung)

Allgemeine Vorbemerkungen über den Aufbau metallischer Werkstoffe aus Kristallen und über das Zustandekommen der Verformung metallischer Werkstoffe durch die Verformung der einzelnen Kristalle — Bedeutung der Kristallgröße — Proben, die aus einem einzigen Kristall bestehen — Herstellung einkristalliner Proben aus Zink durch Ziehen aus der Schmelze — Verformung eines Zinkkristalles — Demonstration der Translation am Modell und am Zinkkristall — Vorgänge im atomaren Bereich — Veranschaulichung der Translation am Seifenblasenmodell nach W. L. BRAGG.

Der Film ist für den Hochschulunterricht bestimmt. Die Schmalfilmkopie (16 mm-Stummfilm) hat eine Länge von 97 m entsprechend 9 Minuten Vorfuhrdauer bei einer Vorfuhrgeschwindigkeit von 24 B/s.

I. Allgemeine Vorbemerkungen

Bei der Verformung eines metallischen Werkstückes erscheint das Metall als ein isotroper und homogener Körper, d. h. es folgt jeder ihm aufgezwungenen Formänderung, ohne den Aufbau des Werkstoffes aus einzelnen Kristallen in Erscheinung treten zu lassen. Die Praxis der Metallverformung und auch die Lehre von der Verformung der Metalle konnte sich lange Zeit damit begnügen, den Metallkristall als solchen nicht in den Kreis der Betrachtung zu ziehen. Sie kam auf diesem Wege zu beachtlichen wissenschaftlichen Erfolgen.

Unabhängig von der oben gekennzeichneten Auffassung der mechanischen Technologie entwickelte sich, ausgehend von den in der Mineralogie gewonnenen Kenntnissen über die Verformung von Kristallen, eine Forschungsrichtung, die die Verformung eines metallischen Werkstoffes als Verformung eines Haufwerkes von

einzelnen Metallkristallen ansieht. Die Verformung des Einzelkristalls erfolgt dabei durch den Vorgang der Translation (Gleitung), der in der Mineralogie seit langem bekannt ist. Erst als man Verfahren entwickelt hatte, die es ermöglichten, Metallproben herzustellen, die aus einem einzigen Kristall bestehen, war es möglich, den Vorgang der Translation und damit die Verformung im Metall-einzelkristall zu studieren. Besonders geeignet zur Veranschaulichung des Translationsvorganges ist der Zinkkristall, weil bei Zink infolge seiner hexagonalen Struktur nur eine einzige Translationsfläche — die Basisfläche (0001) — vorhanden ist.

Neue theoretische Untersuchungen haben bestimmte Vorstellungen über das Zustandekommen der Translation entwickelt. Die Translation wird ermöglicht durch das Vorhandensein von sogenannten Versetzungen, d. h. Kristallbaufehlern, die sich in Bewegung setzen und längs der Gleitebene wandern, wenn eine Zug- oder Druckbeanspruchung auf sie ausgeübt wird.

W. L. BRAGG hat das Zustandekommen der Translation durch Wandern der Versetzungen an dem sogenannten Seifenblasenmodell veranschaulicht. Beim Seifenblasenmodell werden in einer hochviskosen Lösung z. B. von Natriumstearat Luftbläschen von gleichmäßiger Größe (etwa 0,2 mm Durchmesser) durch Auspressen eines feinen Luftstromes durch eine Glaskapillare erzeugt. Die Bläschen schließen sich auf der Oberfläche der Lösung zu einem sogenannten Floß zusammen und ordnen sich dabei in der Konfiguration einer dichtesten Kugelpackung. Durch eine bewegliche Wand wird das Floß einer Scherbeanspruchung oder einer Kompression bzw. Dilatation unterworfen. Ausgehend von den Stellen, an denen ein Bläschen fehlt (Kristallbaufehler), erfolgt ein Aneinandergleiten der Bläschen in der gleichen Weise, wie man sich die Wanderung einer Versetzung durch ein Kristallgitter vorstellt.

II. Erläuterungen zum Film

Wenn die Kristalle, aus denen jeder metallische Werkstoff aufgebaut ist, im allgemeinen nicht sichtbar sind, so liegt dies daran, daß ihre Größe zu gering ist und daß man die Einzelkristalle erst durch eine geeignete Ätzung sichtbar machen muß. Der Film zeigt zunächst den Blick in eine feinmechanische Werkstatt, in der

Metalle in verschiedener Weise bearbeitet werden. Es wird eine geeignete Werkstoffprobe aus weichem Aluminiumblech, in dem verhältnismäßig große Kristalle vorhanden sind, ausgewählt. Nach Ätzung mit einer Flußsäure-Salzsäure-Lösung kann man die Einzelkristalle mit der Lupe erkennen. Durch geeignete Behandlung, nämlich durch Verformung und Rekristallisation, gelingt es, in Metallstücken Kristalle zu erzeugen, die nach Ätzung mit bloßem Auge sichtbar sind. Durch verschiedene Verformung kann man die Kristallgröße variieren, und zwar ist der Durchmesser der erzeugten Kristalle um so größer, je geringer die Verformung ist.

Der Film zeigt daher weiterhin Proben mit Kristallen zunehmender Größe, die durch Recken der Proben um verschiedene Beträge mit anschließender Rekristallisation und Ätzung erzeugt und sichtbar gemacht wurden. Da beim Ätzen eine bestimmte Kristallfläche — die Würfelfläche — freigelegt wird und wie ein Spiegel das einfallende Licht reflektiert, werden die einzelnen Kristalle dadurch sichtbar, daß sie infolge verschiedener Orientierung (d. h. Lage des Kristallgitters zu einer Bezugsrichtung, etwa der Blechoberfläche) einen einfallenden Lichtstrahl in verschiedener Richtung reflektieren. Man erkennt das wechselnde Aufleuchten und Verlöschen der einzelnen Kristalle, das durch Hin- und Herbewegen der Lichtquelle hervorgerufen wird.

Zur Beobachtung bestimmter Vorgänge für wissenschaftliche Zwecke kann man Proben so großer Kristalle herstellen, daß die Probe nur aus einem einzigen Kristall (Einkristall) besteht. Dies ist nicht nur durch Rekristallisation, sondern bei niedrig schmelzenden Metallen — Zink, Kadmium, Zinn — auch durch Ziehen eines Kristalls aus der Schmelze möglich.

Ziehen eines Zinkeinkristalls aus der Schmelze¹⁾

Der Film zeigt eine Apparatur, die dadurch gekennzeichnet ist, daß eine Stange, die an ihrem unteren Ende einen sogenannten Impfkristall trägt, langsam (mit einer Geschwindigkeit von etwa 10 cm pro Stunde) in die Höhe gezogen wird, nachdem man den Impfkristall in die Schmelze getaucht hat. Der aus der Schmelze gezogene dünne Zinkdraht (Durchmesser etwa 2 mm) erstarrt dann zu einem einzigen Kristall. Das Hochziehen der Stange bewirkt ein

¹⁾ Die *Kursiv*-Überschriften entsprechen den Zwischentiteln im Film.

Uhrwerk; es treibt ein mit einer Rolle versehenes Rad an, auf das eine Schnur gewickelt ist. Durch langsames Aufwickeln der Schnur wird die den Kristall tragende Zugstange in die Höhe gehoben. An der mit aufgenommenen Wanduhr ist die Dauer des Herstellungsprozesses, bedingt durch die geringe Ziehgeschwindigkeit, abzulesen.

Man sieht im Bild, daß auf der Metallschmelze ein Glimmerplättchen schwimmt, das in der Mitte gelocht ist. Durch dieses Loch wird der Kristall herausgezogen. Das Bild zeigt ferner deutlich die Grenze der Erstarrung. Die Schmelze wird ein wenig in die Höhe gehoben; sie ist von einer dünnen Schicht aus Zinkoxyd umgeben. Wie der Film erkennen läßt, müssen das Eintauchen des Impfkristalles in die Schmelze und das Herausziehen des Kristalls mit großer Sorgfalt und Vorsicht vorgenommen werden. Erschütterungen sind peinlichst zu vermeiden, da jede Störung zur Entstehung neuer Keime führen kann, die die einkristalline Natur der Probe zerstören. Der entstandene Kristall ist äußerst weich und biegsam, und es muß vermieden werden, ihn unbeabsichtigt zu verformen. Daher muß auch das Herausnehmen des fertigen Kristalls mit besonderer Sorgfalt erfolgen.

Translation beim Zinkkristall

Die Translation (Gleitung) eines Zinkkristalles wird zunächst an einem Modell veranschaulicht. Die Lage der Translationsfläche — der hexagonalen Basisfläche — in dem zylindrischen Kristallmodell wird gezeigt. Das eingezeichnete Sechseck veranschaulicht die Lage der diagonalen Achse I. Art in der Translationsfläche (weißer Strich). Der schwarze Strich gibt die Richtung der großen Achse der Ellipse (Verschneidung der Translationsfläche mit der Mantelfläche) wieder. Der im folgenden Bild erscheinende, nach rechts oben weisende weiße Pfeil zeigt die Translationsrichtung $[11\bar{2}0]$, in der bei der nun folgenden Zugbeanspruchung die Abgleitung erfolgt. Sie ist, wie man erkennen kann, rein kristallographisch bedingt und mit der Ellipsenachse nicht identisch. Durch die Dehnung wird der Kristall infolge der Abgleitung in der Translationsfläche zu einem Band ausgezogen. Bei Blick senkrecht auf die Translationsfläche erkennt man, daß der ursprüngliche Durchmesser sich ein wenig vergrößert, während nach Drehung des Kristalls um 90° zu sehen ist, daß der Durchmesser des Kristalls

in Richtung senkrecht zur Translationsfläche sich erheblich vermindert hat.

Die Verformung ist weiterhin mit einer Änderung der Orientierung und einer Verfestigung des Kristalls verbunden. Die Orientierungsänderung, die unmittelbar mit der vorher erwähnten Bandbildung zusammenhängt, besteht darin, daß die hexagonale Basis jetzt einen kleineren Winkel mit der Längsachse des Kristalls einschließt als vor der Verformung, — mit anderen Worten, daß die Basisfläche nach der Verformung flacher zur Längsachse liegt als am Beginn.

Nach dem Modellversuch wird die Dehnung eines Zinkkristalls unmittelbar gezeigt. Der Kristall wird an beiden Enden in die Fassungen einer kleinen Dehnapparatur gespannt. Durch eine Spindel wird die rechte Fassung in Bewegung gesetzt und damit der Kristall gezwungen, sich zu dehnen. Man erkennt, daß der Kristall eine sehr große Dehnbarkeit (die 100% und mehr betragen kann) aufweist. Ferner sieht man auf der Oberfläche des Kristalles die sogenannten Translationsellipsen, d. h. die Verschneidungen der Translationsflächen mit der Mantelfläche, in Erscheinung treten. Schließlich zerreißt der Kristall. Man sieht rechts und insbesondere links von der Bruchstelle wieder deutlich die Translationsellipsen. Das Zerreißen erfolgt nach Auftreten einer (im Bilde nicht sichtbar werdenden) mechanischen Zwillingsbildung.

Das eine Ende des zerrissenen Kristalls wird gedreht. Man erkennt deutlich, wie der anfangs kreisrunde Kristall sich in der beim Modell beschriebenen Weise zu einem Band gelängt hat. Beim Drehen des zerrissenen Kristalls sind auch einzelne Zwillingslamellen zu bemerken.

Vorgänge im atomaren Bereich
(*Seifenblasenmodell nach W. L. BRAGG*)

Das Bild zeigt einen Blick auf die mit Seifenbläschen bedeckte Flüssigkeitsoberfläche. Baufehler durch Fehlen von Bläschen und durch Versetzungen (auf der rechten Seite des Bildes) sind deutlich erkennbar. Bei der folgenden mechanischen Beanspruchung des Seifenblasenflosses sieht man das Zustandekommen der Translation durch Wandern der Versetzungen. Eine Translation ist im Modell in drei verschieden orientierten Richtungen, jeweils nach der einen

oder anderen Seite — insgesamt also in sechs Richtungen —, möglich. Stellen, an denen ein Bläschen fehlt, können beim Durchwandern einer Versetzung ausgefüllt werden. Man erkennt auch, daß eine Versetzung jeweils nur eine begrenzte Länge hat und nicht gleichzeitig sämtliche Bläschen einer im Bilde sichtbaren Reihe erfaßt (vgl. Abb.1). Die eine Anzahl von Bläschen umfassende

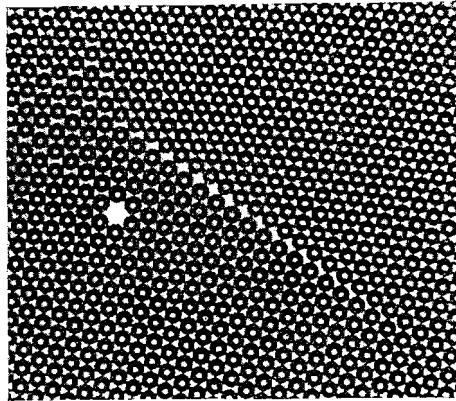


Abb. 1. Dichteste Kugelpackung mit einer Versetzung begrenzter Länge
(Seifenblasenmodell nach W. L. BRAGG)

Versetzung wandert vielmehr gleichmäßig durch die Reihe hindurch. Man sieht, wie beim Auseinanderziehen des Floßes die einzelnen Bläschen sich immer wieder in die dichteste Kugelpackung einordnen. Die folgenden Aufnahmen zeigen denselben Translationsvorgang mit etwa dreifacher Zeitdehnung (Aufnahmefrequenz 80 B/s).

(Eingegangen am 15. 4. 1952)

Die Herstellung des Films erfolgte im Jahre 1951 durch das
Institut für Film und Bild in Wissenschaft und Unterricht
Abteilung Hochschule und Forschung, Göttingen (Dir.: Dr.-Ing. G. WOLF)
Sachbearbeitung: G. BEKOW — Aufnahme: E. HEYSE, K. PHILIPP