

GEGEN DIE TRANSLATIONS-HYPOTHESE ALS URSACHE DER BILDSAMKEIT VON METALLKRISTALLEN

Von J. Czochralski, Berlin-Karlshorst

In seinem interessanten Lehrbuch der Metallographie¹⁾ gibt Tammann eine Übersicht über die drei bekannten Hypothesen der bleibenden Formänderungen.

I. Die Modifikations-Hypothese

Die Modifikations-Hypothese lehnt Tammann mit der Begründung ab, daß die optische Untersuchung keine Unterlagen für diese Hypothese ergeben hat.

Obzwar, wie im folgenden gezeigt wird, mikroskopische Anzeichen nicht unbekannt sind, die für die Existenz von Stoffen mit stark verändertem Gefügebau sprechen, so kann vom Standpunkte der modernen Phasenlehre, wie Tammann mit Recht betont, auf die Bildung neuer Formarten (polymorpher Modifikationen) bei der bleibenden Deformation nicht geschlossen werden.

In Anbetracht der Schwierigkeiten, die noch vielfach der Ermittlung verschiedener Formarten sich entgegenstellen (es sei hier nur beispielsweise an Zink oder Aluminium erinnert), besonders aber in Anbetracht der Unklarheiten, die dem Begriff „Amorphismus“ anhaften, ist es offenkundig, daß hier nur Unstimmigkeiten rein begrifflicher, nicht aber weseneigner Art vorliegen. Ein Meinungsausgleich würde etwa dahin führen, daß die Vertreter der Modifikations-Hypothese auf den ursächlichen Zusammenhang zwischen Eigenschaftsänderungen und Existenz verschiedener Formarten (polymorpher Modifikationen) verzichten würden und sich mit der Existenz gleicher Formarten mit stark veränderten Eigenschaften (die alle drei Hypothesen eindeutig zugestehen), ohne weiteres zufrieden geben würden. Letzten Endes ist der Erkenntnistheorie gleich schlecht gedient, ob wir einen in seinem Grundwesen

¹⁾ Leipzig und Hamburg 1914.

Zeitschr. f. Metallographie. Bd. VI.

nicht erkannten Zustand als „amorph“ oder „polymorph“ oder gar als „mit dem ursprünglichen Zustande identisch“ ansprechen, wenn keine dieser Annahmen zutrifft.

„Veränderungsfähigkeit der Eigenschaften“ ist das bisher mit Sicherheit erkannte.

Auf Grund dieser Erkenntnis schließen mit Recht die Anhänger der Modifikations-Hypothese auf stoffliche Änderungen, die sie freilich irrtümlich in den verschiedenen Modifikationen gefunden zu haben glauben, während Änderungen der Kristallstruktur von ihnen zur Erklärung der Bildsamkeit von Metallkristallen nur bedingt oder gar nicht herangezogen werden.

In der Tat sind nun Änderungen der arteigenen (spezifischen) Eigenschaften eines Stoffes ohne gleichzeitige Änderung seines Zustands (Kristallstruktur) oder seiner Formart (Modifikation) nicht beobachtet worden.

Eigenschaftsänderungen ohne gleichzeitige Änderung der Formart würden auch in direktem Widerspruch mit dem Stoffgesetz stehen, da dieses völlige Beständigkeit der arteigenen Eigenschaften verlangt.

Andererseits fordert aber gerade die Tatsache, daß Eigenschaftsänderungen an einer großen Anzahl von Stoffen eindeutig nachgewiesen worden sind, ohne daß neue Formarten aufgetreten sind, eine Einschränkung des Stoffgesetzes auf diejenigen Stoffe, bei denen Verlagerungen der regelmäßigen Kristallstruktur nicht vorkommen.

Das Gesetz verliert demnach seine Gültigkeit bei denjenigen Stoffen oder Formarten, denen durch bleibende Kaltbearbeitung besondere Kristallstruktur und somit besondere Eigenschaften aufgezwungen werden können.

Es ist dies dieselbe Änderung der Kristallstruktur, auf die wir in den Abschnitten III und IV nochmals eingehend zu sprechen kommen.

II. Die Smitssche Hypothese

Betreffs der Smitsschen Hypothese, die nichtumkehrbare Änderungen der molekularen Zusammensetzung als Funktion des Druckes annimmt, wird man den verneinenden Ausführungen Tammanns ohne weiteres beistimmen. Merkliche Änderungen der Eigenschaften durch hohen allseitigen Druck oder durch Temperatursteigerung wurden selbst unter stark übertriebenen Versuchsbedingungen bisher nicht beobachtet; auch läßt sich hier eine Änderung des mikroskopischen Gefüges von vornherein nicht erwarten.

Nur eine bleibende Deformation des Metalls kann eine Änderung der arteigenen Eigenschaften hervorrufen, die Druckarbeit selbst kommt nur insofern in Betracht, als sie zur Deformation notwendig ist.

III. Die Translations-Hypothese

Die dritte Hypothese rührt von Tammann selbst her. Sie beruht im wesentlichen auf der Annahme, daß beim Fließen bildsamer Kristalle sich in ihnen eine dem jeweiligen Fließdruck entsprechende Zahl Gleitflächen ausbilde, während das Raumgitter selbst völlig intakt bleibt, weil das Fließen nur in den durch die Gleitflächensysteme vorgeschriebenen Richtungen vor sich gehen kann. Tammann führt aus, daß seine Hypothese auf Grund kristallographischer Tatsachen abgeleitet sei.

In Flüssigkeiten soll die Bahn eines Teilchens eine stetig gekrümmte Raumkurve sein, in einem Kristall eine Zickzacklinie; es unterscheiden sich somit nach Tammann die anisotropen Stoffe von den isotropen durch die Art und Weise ihres Fließens.

Wir wollen im folgenden Fließvorgänge der ersten Art (ohne Raumgitterstörung) kurz als symmetrische, die der zweiten Art als asymmetrische bezeichnen.

Der Verfasser kann es sich nicht verhehlen, daß die Tammannsche Hypothese eine große Lücke aufweist, die darin ihren Grund hat, daß die Untersuchung der Deformationsvorgänge von Tammann nicht in ihrer Gesamtheit durchgeführt worden ist. Die Untersuchungsergebnisse sind für die von Tammann erreichten Deformationsstufen einwandfrei ausgewertet, das weitaus größere Gebiet der asymmetrischen Fließvorgänge ist aber von Tammann unbeachtet geblieben. Die Ursachen liegen meines Erachtens lediglich in der Wahl der Stoffe und in den Arbeitsmethoden. Ehe die Erscheinung asymmetrischer Fließvorgänge bei bildsamen Metallkristallen in ihrer vollen Bedeutung erkannt worden ist, galt es eine ununterbrochene Reihe von „Für“ und „Wider“ zu prüfen und dem Versuch die Entscheidung über jede Einzelfrage zu überlassen. Wertvolle Aufschlüsse sind bei dieser Arbeitsweise nicht ausgeblieben. So konnte beispielsweise festgestellt werden, daß nur äußerst kräftiges Kaltrecken in der Walze eine durchgreifende Zerstörung des kristallinen Raumgitters gewährleistet, während Bearbeitungsprozesse wie Stauchen, Schmieden und dergleichen leicht zu irreleitenden Ergebnissen führen können. In Salzlösungen der Perschwefelsäure, insbesondere Ammoniumpersulfat 1:10, wurde ein einfaches und zuverlässiges Hilfsmittel zur Erzeugung deutlicher Ätzung auf Eisen, Kupfer, Messing und Bronze gefunden, das sich zur Identifizierung der Struktur als besonders geeignet erwies. Bekanntlich wachsen auch mit der Kornfeinheit die Beobachtungsschwierigkeiten. Der Kornquerschnitt der vom Verfasser benutzten Versuchsstücke betrug nicht unter 1 qcm, die Befunde konnten leicht okular nachgeprüft werden.

In einem früher erschienenen Aufsatz¹⁾ brachte der Verfasser eine Reihe optischer Beweise für die Richtigkeit der Annahme, daß durch Kaltrecken die regelmäßige Kristallstruktur bildsamer Metallkristalle völlig verändert wird; er beschränkt sich hier nur auf die Wiedergabe einiger Abbildungen²⁾, die die Vorgänge bei der Deformation in eindeutiger Weise illustrieren.

In Abb. 1 und 2 ist ein und dasselbe Metallstück vor und nach beträchtlicher Kaltreckung dargestellt.

Abb. 1 gibt zu erkennen, daß die Ätzung den Bereich jedes Kristalls durch Helligkeitsdifferenzen klar anzeigt, sofern sich das Gefüge im



Fig. 1.

Eingeformtes α -Messing im ungereckten Zustand. Geätzt rund 30 Minuten in 10prozentiger Ammoniumpersulfatlösung.
Etwas verkleinert.

ungestörten natürlichen kristallinen Lagegleichgewicht befindet, und zwar erreicht jeder Kristall bei bestimmten Winkeln zwischen seinen Achsen und den Lichtstrahlen Helligkeitsmaxima und -minima. Relativbewegungen zwischen Schliff und Lichtquelle verändern die Helligkeitsverteilung auf dem Schliff. Auf diese Weise kann man bei bestimmten Schliffdrehungen die hellen Kristalle dunkel und die dunklen hell erscheinen lassen. Diese Erscheinung ist nur Stoffen eigen, die eine orientierte Lagerung der Elementarteilchen aufweisen. Der Verfasser bezeichnet diese Erscheinung kurz als dislozierte (unterbrochene) Reflexion.

¹⁾ W. v. Moellendorf und J. Czochralski, Technologische Schlüsse aus der Kristallographie der Metalle (ZDIng, Juni 1913).

²⁾ Die Lichtbilder 1 bis 4 entstammen der Sammlung der Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft, Kabelwerk Oberspree.

Abb. 2 zeigt dagegen, daß diese Erscheinung auf Schliffen kalt-gereckter Metalle verwaschen wird bzw. im Endzustand höchster Verfestigung völlig verschwindet.

Würden die Gleitlinien, wie Tammann es fälschlich annimmt, einen Kristall bei starker Deformation vor einer Verwirrung seiner regelmäßigen Raumgitterstruktur schützen, so wäre ein Verschwinden der optischen Orientierung (Übergehen der dislozierten Reflexion in eine ununterbrochene, homogene Reflexion) auch bei einer noch so hoch getriebenen bleibenden Deformation unmöglich. Es müßte vielmehr die

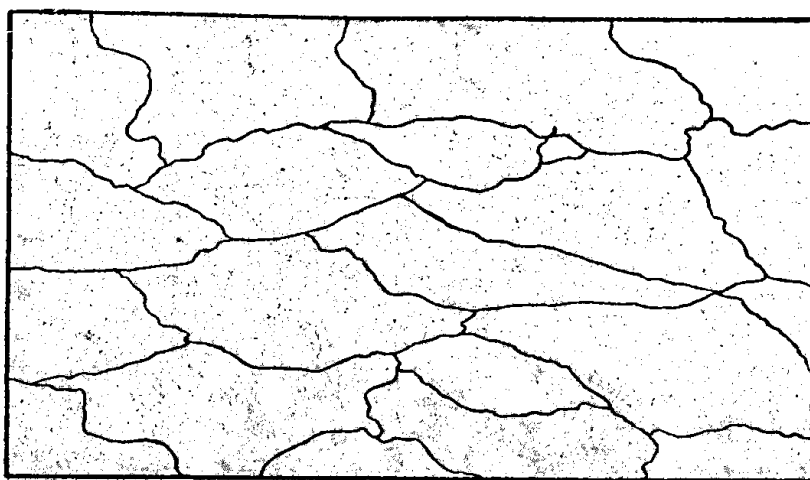


Fig. 5.

Dasselbe α -Messing. Hilfspause zu Fig. 2. Die Gleitlinien-verbände erhalten. Ätzung wie bei Fig. 1. Etwas verkleinert.

unterbrochene Reflexion unverändert bestehen bleiben und infolge Vergrößerung der einzelnen Kornfelder beim Walzen nur noch an Deutlichkeit zunehmen.

Selbst beim Zerfall der Kristalle in gleichgerichtete mikroskopische Teilchen müßte sich in der Gesamtwirkung die dislozierte Reflexion ungeschwächt äußern.

Würden dagegen die Kristalle bei starker Deformation in verworrengerichtete mikroskopische Teilchen zerfallen, so müßte dies auch optisch nachweisbar sein. Das Gefüge stark gereckter Metalle ist aber mikroskopisch nicht auflösbar. Bei fortgesetzter Ätzung wird das Gefüge griesig und schließlich entstehen zahlreiche unregelmäßige und verwaschene Ätzgruben und Ätzhügel auf der Schlifffläche (Abb. 3).

Zu ganz anderen mikroskopischen Erscheinungen gelangt man bei ungereckten Metallkristallen. Hier werden von den Lösungsmitteln

Abb. 2 zeigt dagegen, daß diese Erscheinung auf Schliffen kaltgereckter Metalle verwaschen wird bzw. im Endzustand höchster Verfestigung völlig verschwindet.

Würden die Gleitlinien, wie Tammann es fälschlich annimmt, einen Kristall bei starker Deformation vor einer Verwirrung seiner regelmäßigen Raumgitterstruktur schützen, so wäre ein Verschwinden der optischen Orientierung (Übergehen der dislozierten Reflexion in eine ununterbrochene, homogene Reflexion) auch bei einer noch so hoch getriebenen bleibenden Deformation unmöglich. Es müßte vielmehr die

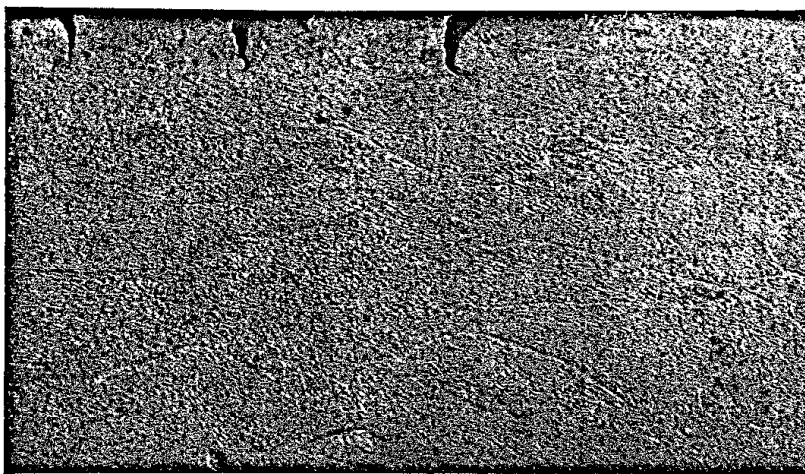


Fig. 2.

Dasselbe α -Messing nach äußerst kräftiger Kaltreckung. Kornverbände erhalten, Korninneres bis zur Homöotropie verlagert. Ätzung wie bei Fig. 1. Etwas verkleinert.

unterbrochene Reflexion unverändert bestehen bleiben und infolge Vergrößerung der einzelnen Kornfelder beim Walzen nur noch an Deutlichkeit zunehmen.

Selbst beim Zerfall der Kristalle in gleichgerichtete mikroskopische Teilchen müßte sich in der Gesamtwirkung die dislozierte Reflexion ungeschwächt äußern.

Würden dagegen die Kristalle bei starker Deformation in verworrengerichtete mikroskopische Teilchen zerfallen, so müßte dies auch optisch nachweisbar sein. Das Gefüge stark gereckter Metalle ist aber mikroskopisch nicht auflösbar. Bei fortgesetzter Ätzung wird das Gefüge griesig und schließlich entstehen zahlreiche unregelmäßige und verwaschene Ätzgruben und Ätzhügel auf der Schlifffläche (Abb. 3).

Zu ganz anderen mikroskopischen Erscheinungen gelangt man bei ungereckten Metallkristallen. Hier werden von den Lösungsmitteln

mikroskopische Gebilde bloßgelegt, die mit der Symmetrie der Kristalle im innigsten Zusammenhang stehen (Abb. 4). Nach dem Vorgehen der Mineralogie nennt man diese Gebilde „Ätzfiguren“. Sie sind wie die dislozierte Reflexion nur Stoffen eigen, die eine orientierte Lagerung der Elementarteilchen aufweisen. Die Kristallfigurenätzbarkeit verschwindet in dem Grade, wie die Verfestigung zunimmt.

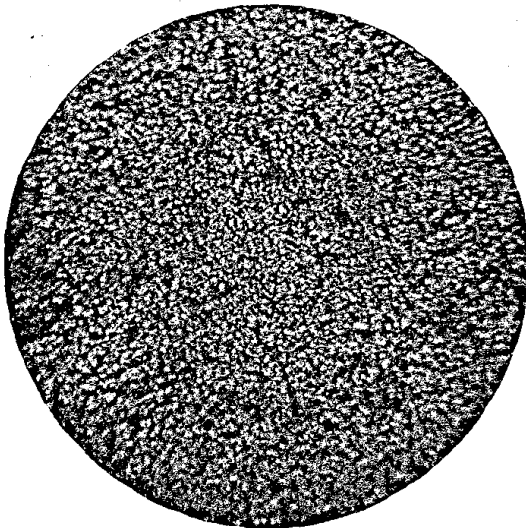


Fig. 3.
 α -Messing nach äußerst kräftiger Kaltreckung. Korninneres bis zur Homöotropie verlagert. Ätzung wie bei Fig. 1.
 333fach vergr.

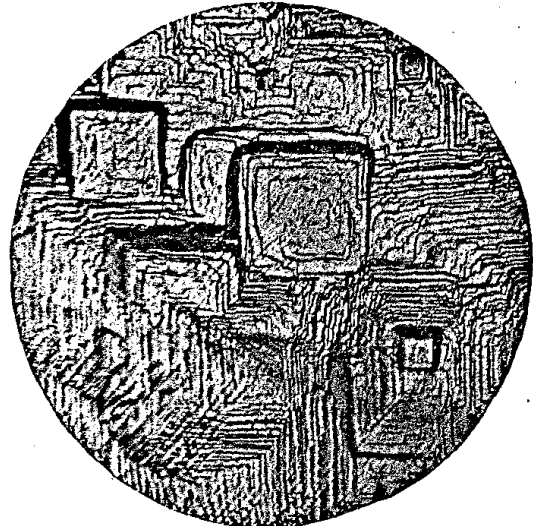


Fig. 4.
 Kupferkristall mit Ätzfiguren.
 Ätzung wie bei Fig. 1.
 150fach vergr.

Der von Tammann geforderte Nachweis für die Richtigkeit der Annahme, daß beim Kaltrecken eine Verwirrung der regelmäßigen Raumgitterstruktur eintritt, ist somit durch unwiderlegbare Tatsachen erbracht. Aber auch seine Translations-Hypothese ist durch diese Tatsachen vollends entkräftet worden.

IV. Die Verlagerungs-Hypothese

Nach der in der vorgenannten gemeinsamen Arbeit ausgesprochenen Hypothese werden die bildsamen Metallkristalle beim Kaltrecken „geknetet, verbogen und in den Zustand einer starken, inneren Verspannung versetzt, bleiben jedoch, jeder für sich betrachtet, ein ganzes Individuum. Kornverfeinerung durch eigentliches Kaltrecken tritt erst ein, wenn zugleich die Formbarkeit des Metalls erschöpft, das Arbeitsgut also bis zum Bruch angestrengt und verfestigt ist. In der Abb. 2 ist noch jeder

ursprüngliche Kornverband (in der Abb. noch deutlich zu erkennen; Hilfspause Abb. 5) unzertrümmert geblieben, nur am Rande, an dem die Formbarkeit des Metalls völlig erschöpft war, traten Brüche auf.

Das Raumgitter wird derart gestört, daß Scharen ursprünglich gerader Liniensysteme ununterbrochen beliebige asymmetrische Zwischenlagen durchlaufen, ohne daß die Moleküle von der einen in die andere kristallographische Gleichgewichtslage überspringen; nur die zuerst auftretenden Gleitlinien erscheinen infolge der anfänglichen Tendenz geordneter Verschiebung der Elementarteilchen in kristallographisch definierten Gleitebenen als scheinbar symmetrische Gebilde. Diese Liniensysteme krümmen sich bei weiterer Formänderung mehr und mehr und die ursprünglich regelmäßige Raumgitterstruktur eines Kristalls wird allmählich völlig verwirrt. Zufolge der überaus hohen Zähigkeit pflanzt sich jedoch erst allmählich der Druck von Zone zu Zone fort, und mit unterbrochenen Übergängen findet man Inseln verzögerter, neben Bändern voreilender Raumgitterverwirrung. Ist dann an einer gewissen Grenze (die keinesfalls mit der völligen Erschöpfung der Bildsamkeit zusammenfällt) jeder Kristall im Haufwerk an allen Stellen in seinem regelmäßigen Aufbau gestört, so nimmt die Zahl der Gleitebenen nicht mehr zu.

Der Endzustand, dem der plastische Kristall beim Umbilden zustrebt, heißt nach O. Lehmann erzwungene Homöotropie und ist vom Amorphismus ebensowohl zu unterscheiden wie vom hypothetischen isotropen Zustand eines äußerst dispersen Haufwerks ungeordneter Moleküle.“

Nicht die Fähigkeit, Gleitebenen zu bilden, entscheidet also darüber ob ein Kristall plastisch und verfestigungsfähig ist oder nicht, sondern Art und Größe seiner molekularen Verlagerungssphäre.

Die Wirkung, die die Kaltbearbeitung auf die Eigenschaften der Metalle ausübt, muß als die Folge dieser arteigenen asymmetrischen Verlagerung der Moleküle definiert werden.

Die bildsamen Metallkristalle werden verfestigt durch Verringern oder gänzliches Aufheben ihrer molekularen Verschiebbarkeit.

Ob die Bewegungen der Elementarteilchen in der Richtung der Kristallachsen¹⁾ oder schief zu den Kristallachsen und in beiden Fällen unter gemeinsamer Drehung erfolgen, ist für unsere Betrachtung zunächst gleichgültig. Wesentlich ist, daß alle diese Verlagerungen zu einer Verwirrung des regelmäßigen Kristallgefüges führen.

Betreffs der weiteren kristallographisch-mechanischen Beziehungen sei auf den vorgenannten Aufsatz verwiesen.

¹⁾ Vgl. auch J. Stark, Über elektrische und mechanische Schubflächen in Metallen (PhysZ [1912] 583).

Anregung zur erfolgreichen Durchführung dieser Untersuchung verdankte der Verfasser s. Z. den genialen Forschungsergebnissen über flüssige Kristalle von O. Lehmann, dessen Voraussagen auch auf dem Sondergebiete der Metalle die weitgehendste experimentelle Bestätigung gefunden haben.

Zusammenfassung

Nach der Verlagerungs-Hypothese, die die meisten Deformationsvorgänge auf eine zwanglose Weise erklärt und gleichzeitig dem gesamten vorhandenen Tatsachenmaterial am meisten gerecht wird, erweisen sich Reckung und Verfestigung als ununterbrochene Raumgitterstörung des Kristallgefüges. Das Kristallgefüge bleibt also nicht intakt, sondern erleidet eine tiefgreifende Verlagerung. Die Störung wird optisch durch Verschwinden der Zonen- und Kristallfigurenätzbarkeit angezeigt. Die Endlage der Moleküle nach Erschöpfung der Bildsamkeit ist nicht unregelmäßig, sondern erzwungen homöotrop. Die Translations-Hypothese wird an Hand optischer Belege widerlegt.

Summary

According to the "Verlagerungs"-hypothesis, which explains the majority of deformation processes in an unconstrained way, and at the same time takes into consideration most of the data available, extension and endurance are associated with a continuous breaking down of the space lattices of the crystalline material. The crystalline material does not remain intact but suffers a deep seated "Verlagerung". The breaking down of the space lattices is demonstrated optically by the zones and crystal outlines revealed by etching the polished specimens. The final arrangement of the molecules after the exhaustion of the plasticity is not irregular, but forced to be homöotropic. The translation theory is disproved by the optical border.
