

Atomdeformation bei bearbeiteten Metallen.

Von **W. Geiss** und **J. A. M. van Liempt** in Eindhoven (Holland).

(Eingegangen am 30. September 1927.)

Versuche über die Änderung der elektrischen Leitfähigkeit an abgebeizten Wolframdrähten bestätigen die Auffassung, daß bei der Kaltbearbeitung die Atome deformiert werden.

Nachdem die Röntgenanalyse die für die metallographische Forschung so wichtige Feststellung gemacht hatte, daß die bei der Kaltbearbeitung der Metalle stattfindende plastische Verformung ohne Störung des Raumgitters vor sich geht, stand die wissenschaftliche Metallographie vor der Schwierigkeit, die bei der Bearbeitung wie Hämmern, Ziehen, Walzen usw. auftretenden Änderungen der physikalischen und chemischen Eigenschaften der Metalle zu erklären.

Von verschiedenen Seiten wurde deshalb auf die schon viel früher aufgestellte Knüllungshypothese von P. Ludwik zurückgegriffen. Ludwik war auf Grund eines eingehenden Studiums der Krümmung der Gleitlinien zu der Auffassung gekommen, daß die bei der plastischen Verformung sich gegeneinander verschiebenden Lamellen oder Gleitpakete etwas gekrümmt und dadurch gegeneinander blockiert werden. Hierbei treten notwendig Raumgitterstörungen auf, welche aber unterhalb der Auflösungsgrenze der normalen Röntgenanalyse liegen.

Diese Arbeitshypothese ist für die Entwicklung einer Theorie des Gleitungsmechanismus außerordentlich fruchtbar gewesen. Sie schien eine weitere starke Stütze zu erhalten, als es van Arkel¹ gelungen war, durch eine verfeinerte Röntgenanalyse eine sehr geringe Störung des Raumgitters von etwa 0,5 % an einem kaltgezogenen Wolframdraht festzustellen.

Eine Reihe eingehender Untersuchungen über die Änderungen der elektrischen Leitfähigkeit mit der Kaltbearbeitung² haben uns jedoch zu der Auffassung geführt, daß etwa eintretende geringe Parameteränderungen — deren Möglichkeit wir keineswegs bezweifeln, wie hier noch einmal ausdrücklich betont sei — nicht die Ursache sein können für diese Änderungen. Wir haben daraufhin die Vorstellung entwickelt und auf Grund einer Reihe von Änderungen anderer Eigenschaften ausführlich begründet, daß bei der Kaltbearbeitung eine Deformation der Elektronen-

¹ A. E. van Arkel, *Physica* 5, 208, 1925.

² W. Geiss und J. A. M. van Liempt, *ZS. f. anorg. Chem.* **133**, 107, 1924; **143**, 259, 1925; *ZS. f. Metallkde.* **18**, 216 1926.

hüllen eintritt, die von einer geringen Störung des Raumgitters begleitet sein kann, aber keineswegs muß.

Vor kurzem hat K. Becker¹ die Versuche von van Arkel etwas ausführlicher wiederholt und deren Ergebnisse bestätigt. Er ist dann in seiner Veröffentlichung in dieser Zeitschrift unserer Auffassung entgegengetreten und hat sich auf den Standpunkt gestellt, daß die von uns untersuchte Änderung der elektrischen Leitfähigkeit sich zwanglos aus der geringen elastischen Störung des Raumgitters erklären lasse. In dieser Untersuchung wurde es allerdings unterlassen, eine Erklärung dafür zu geben, warum ein durch äußeren Zwang elastisch deformierter Wolframdraht bei 1 % Deformation nur etwa 3 % Änderung der Leitfähigkeit aufweist, während der kaltbearbeitete Wolframdraht mit elastischen Deformationen von ebenfalls etwa 1 %, hervorgerufen durch inneren Zwang infolge von Blockierung, Abnahmen der elektrischen Leitfähigkeit bis zu 60 % zeigt. Ebenso wenig wurde es erklärt, weshalb der innere Zwang nach Erhitzen auf etwa 900° nach den röntgenanalytischen Messungen vollständig verschwunden ist, während die Leitfähigkeit noch weit von ihrem normalen Werte entfernt ist². Schließlich ist Becker überhaupt nicht eingegangen auf unsere Deutung des Umwandlungspunktes des α - β -Eisens. Die Röntgenanalyse findet in diesem interessanten Falle keinerlei Änderung des Gitterparameters und kann deshalb auch keine Deutung der sprunghaften Änderung wichtiger physikalischer Eigenschaften geben. Nach unserer Auffassung handelt es sich um eine sprunghafte Deformation der Elektronenhülle unter Aufnahme von Energie, so daß die Atome plötzlich in einen anders angeregten Zustand übergehen.

Becker hat also die Argumente nicht zu entkräften versucht, die uns gerade veranlaßt haben, Störungen des Raumgitters als unwesentlich für die Änderungen der physikalischen Eigenschaften bei Kaltbearbeitung der Metalle anzusehen.

Vielmehr beschreibt er einen Versuch, dessen Ergebnisse nach seiner Auffassung für den Zusammenhang zwischen Gitterparameter und Änderungen der physikalischen Eigenschaften sprechen. In der Tat darf man von der vollständigen Durchführung der von Becker nur nach einer Richtung vorgenommenen Untersuchung die Entscheidung für die Frage erwarten: Ist bei der Kaltbearbeitung die Raumgitteränderung das Ur-

¹ K. Becker, ZS. f. Phys. 42, 226, 1927.

² Es ist in der Glühlampenindustrie wohl allgemein bekannt, daß der Draht in einer Glühlampe erst längere Zeit auf etwa 2400° geglüht werden muß, bevor er seine normalen elektrischen Eigenschaften erlangt.

sächliche, und die Deformation der Elektronenhülle, welche die Änderungen der physikalischen Eigenschaften hervorruft, das hierdurch Bedingte, oder ist umgekehrt der Zustand des Atoms das Wesentliche, der Platz des Atomschwerpunktes dagegen zur Deutung der Kaltbearbeitung das Nebensächliche?

Becker hat einen Wolframeinkristalliten (Pintschdraht) von 300μ Dicke mit Hilfe der Röntgenanalyse untersucht. Dabei wurde das normale Raumgitter gefunden. Der auf 200μ heruntergezogene Draht ergab eine Verwischung des $K\alpha$ -Dubletts der Kupferstrahlung, was auf eine geringe Deformation des Raumgitters weist. Wurde dieser gezogene Einkristalldraht auf eine Dicke von 145μ abgebeizt, so ergab sich wieder das typische Bild des undeformierten Drahtes. Soweit der Versuch von Becker.

Wir haben daraufhin die elektrischen Eigenschaften eines derartigen Pintschkristalliten in den verschiedenen obengenannten Zuständen untersucht. Da der Pintschkristall normal Spuren von Eisen enthält, wie wir in einer früheren Arbeit gezeigt haben¹, ist es notwendig, den Draht zunächst einige Stunden bei hoher Temperatur zu glühen. Die Messung des Temperaturkoeffizienten des elektrischen Widerstandes an einem Kristalliten von 300μ Durchmesser ergab den für Wolfram normalen Wert: $\alpha = 484 \cdot 10^{-5}$. Wurde dieser Draht auf 200μ kalt heruntergezogen, so fiel der Temperaturkoeffizient auf den Wert $\alpha = 446 \cdot 10^{-5}$. Wurde dieser Draht auf 140μ abgebeizt, so blieb der Temperaturkoeffizient unverändert; gefunden wurde $\alpha = 449 \cdot 10^{-5}$.

Dieselben Verhältnisse fanden wir an einem polykristallinen Wolframdraht — Becker hat keine Versuche an vielkristallinen Wolframdrähten beschrieben —, hier hatte der Draht bei 200μ einen Temperaturkoeffizienten $\alpha = 424 \cdot 10^{-5}$, nach dem Beizen auf 140μ war $\alpha = 418 \cdot 10^{-5}$, also auch hier unverändert.

In Übereinstimmung mit einem bereits früher beschriebenen Versuch an einem Messingstab², ergibt sich also auch hier, daß nach Aufhebung der Raumgitterstörung die elektrischen Eigenschaften nicht ohne weiteres normal werden, und damit wird die von Becker gegebene Deutung eines

¹ W. Geiss und J. A. M. van Liempt, ZS. f. anorg. Chem. **143**, 259, 1925. Beizt man einen nicht geglühten Pintschdraht von 300μ ab, so nimmt der Temperaturkoeffizient des elektrischen Widerstandes nach dem Innern ab, was auf eine nach Innen zunehmende — und auch zu erwartende — Konzentration des Eisengehalts weist.

² W. Geiss und J. A. M. van Liempt, ZS. f. anorg. Chem. **133**, 107, 1924.

inneren Zusammenhanges zwischen Raumgitterstörung und Leitfähigkeitsänderung hinfällig¹. Diese Untersuchung hat im Gegenteil unserer Auffassung eine weitere starke Stütze gegeben, daß bei der Kaltbearbeitung die Atome deformiert werden, z. B. in der Art, daß die bei der Bearbeitung aufgenommene Energie dazu verwendet wird, die äußeren Elektronen auf eine Bahn höherer Energiestufe zu bringen. Eine etwa auftretende Änderung des Gitterparameters ist hierbei eine durchaus sekundäre Erscheinung.

Die von Becker gefundene Änderung des Parameters von außen nach innen dürfte vermutlich mit den von Heyn und Bauer festgestellten Zug- und Druckspannungen in gezogenem Material identisch sein².

Zusammenfassend kommen wir auf Grund unserer früheren und der vorliegenden Versuche zu dem folgenden Ergebnis: Die Deutung der Kaltbearbeitung ist im wesentlichen ein elektronentheoretisches und nicht ein strukturgeometrisches, also ein physikalisches und kein kristallographisches Problem.

Eindhoven (Holland), Phys.-Chem. Fabriklaboratorien der Philips' Glühlampenfabriken A.-G., 28. September 1927.

¹ Anm. bei der Korrektur: Nach Versuchen von Frh. v. Göler und G. Sachs (ZS. f. Met.-Kunde **19**, 410, 1927) gilt dasselbe für Raumgitterstörung und Verfestigung: „Die Verwischung der Röntgeninterferenzen durch Kaltverformung hat also nichts mit der Verfestigung zu tun.“

² v. Göler und Sachs: „... kann der Zusammenhang zwischen Verwischung der Röntgenlinien und inneren Spannungen als sichergestellt gelten.“