

# Der Verformungseinfluß auf die röntgenographischen elastischen Konstanten und die Oberflächeneigenspannungen unlegierter und chromlegierter Stähle

R. PRÜMMER und E. MACHERAUCH

Max-Planck-Institut für Metallforschung, Stuttgart

(Z. Naturforsch. 21 a, 661–662 [1966]; eingegangen am 6. April 1966)

Bei der röntgenographischen Bestimmung der durch plastische Deformation verursachten Eigenspannungen treten Unterschiede auf, wenn die dazu notwendigen Gittereigendehnungsmessungen an verschiedenen Netzebenen erfolgen. So ist seit langem bekannt, daß bei plastisch verformten Stahlproben die mit  $\text{CoK}\alpha$ -Strahlung am Ferrit ermittelten Eigenspannungen um etwa 20–40% größer sind als die mit  $\text{CrK}\alpha$ -Strahlung gemessenen, wenn der Berechnung die mechanischen elastischen Konstanten zugrunde gelegt werden. Dieser Unterschied wird etwas reduziert, wenn bei der Berechnung der Eigenspannungen die sogen. röntgenographischen elastischen Konstanten benutzt werden, also der Anisotropieeinfluß berücksichtigt wird.

Systematische Untersuchungen an unlegierten Stählen zeigten, daß die am Ferrit gemessenen röntgenographischen elastischen Konstanten in gesetzmäßiger Weise vom Anteil des Eisenkarbids abhängen<sup>1</sup>. Darüber hinaus gelang bei einem eutektoiden unlegierten Stahl der Nachweis, daß die Verformungsstruktur die röntgenographischen elastischen Konstanten beeinflusst. Sie nehmen mit wachsendem Verformungsgrad im Betrage ab, wenn mit Chrom und Eisenstrahlung an den  $\{211\}$ - und  $\{220\}$ -Netzebenen gemessen wird, und sind gegenüber plastischer Verformung invariant<sup>2, 3</sup>, wenn die Messung mit Kobaltstrahlung an  $\{310\}$ -Ebenen erfolgt. Auch bei Berücksichtigung dieser Einflüsse bleiben jedoch immer noch Unterschiede in den mit verschiedenen Wellenlängen ermittelten Eigenspannungen zurück.

Um zu klären, inwieweit es sich hierbei um einen typischen Heterogenitätseffekt handelt, der sich spezifisch auswirkt, je nachdem, ob die Gitterdehnungsmessungen an Gleitebenen erfolgen oder ob Netzebenen vermessen werden, die mit Sicherheit keine Gleitebenen sind, haben wir weitere Untersuchungen durchgeführt und dabei folgende Resultate erzielt:

1. Bei normalisierten und anschließend bei  $700^\circ$  geglähten Proben unlegierter Stähle werden die röntgenographischen elastischen Konstanten um so stärker durch plastische Deformation beeinflusst, je größer der Anteil an  $\text{Fe}_3\text{C}$  ist. Dieser Verformungseinfluß beschränkt sich auf Gitterdehnungsmessungen an Gleitebenen. Berücksichtigung der Verformungsabhängigkeit der röntgenographischen elastischen Konstanten führt nur bei kleinen Zementitanteilen zu praktisch übereinstimmenden

Eigenspannungen bei Messungen an  $\{211\}$ - und  $\{310\}$ -Ebenen. Diese Befunde veranschaulichen die Meßwerte in Abb. 1. Im oberen Teil ist  $\frac{1}{2} s_2^{20}$  in Abhängigkeit von der plastischen Verformung für 2 Stähle mit Kohlenstoffgehalten von 0,03 und 0,86% C für Messungen an  $\{211\}$ - und  $\{310\}$ -Netzebenen angegeben. Die mit diesen röntgenographischen elastischen Konstanten nach plastischer Zugverformung bestimmten Oberflächendruckeigenspannungen sind im unteren Teil der Abb. 1 wiedergegeben.

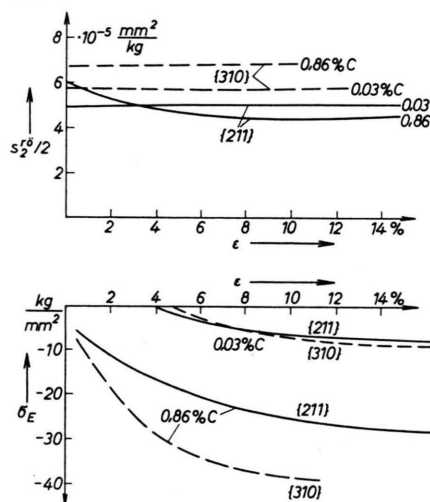


Abb. 1. Röntgenographische elastische Konstanten und Eigenspannungen zweier unlegierter Stähle als Funktion des Deformationsgrades. — Messung an  $\{211\}$ -Ebenen des Ferrits; — — Messung an  $\{310\}$ -Ebenen des Ferrits.

2. Bei Eisen–Chrom-Legierungen mit sehr kleinen Kohlenstoffgehalten (0,02% C) sind die röntgenographischen elastischen Konstanten vom Verformungsgrad abhängig, und zwar um so ausgeprägter, je größer der Chromgehalt ist. Dies wird sowohl bei Messungen an Gleit- als auch an Nichtgleitebenen gefunden, wirkt sich jedoch bei Messungen an Gleitebenen stärker aus. Beispiele für zwei legierte Stähle mit 3,7% und 9,2% Chrom sind in Abb. 2 angegeben. Die Berücksichtigung der Verformungsabhängigkeit der röntgenographischen elastischen Konstanten führt nach dem unteren Teil der Abb. 2 innerhalb der untersuchten Chromgehalte ( $0 \leq \% \text{Cr} \leq 9,2$ ) zu praktisch übereinstimmenden Eigenspannungswerten bei Messungen an  $\{211\}$ - und  $\{310\}$ -Ebenen. Der Chromgehalt ist auf den Betrag der Eigenspannungen nach höheren Verformungsgraden nicht von Einfluß.

Aus diesen Ergebnissen folgt, daß sowohl bei den heterogenen Kohlenstoffstählen als auch bei den nahezu homogenen Eisen–Chrom-Legierungen die röntgenographischen elastischen Konstanten im allgemeinen ver-

<sup>1</sup> R. PRÜMMER, Diplomarbeit, Technische Hochschule Stuttgart 1963.

<sup>2</sup> R. PRÜMMER u. E. MACHERAUCH, Z. Naturforsch. 20 a, 1369 [1965].

<sup>3</sup> R. PRÜMMER u. E. MACHERAUCH, 3. Intern. Tagung, Experimentelle Spannungsanalyse, Berlin, März 1966.



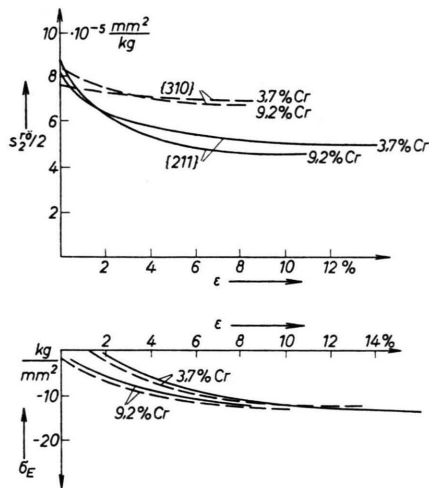


Abb. 2. Röntgenographische elastische Konstanten und Eigenspannungen chromlegierter Stähle in Abhängigkeit von der plastischen Verformung. — Messung an {211}-Ebenen mit Cr-Strahlung; — — Messung an {310}-Ebenen mit Co-Strahlung.

formungsabhängig sind. Dieser Einfluß, der den bei der plastischen Deformation entstandenen Gitterstörungen zugeschrieben werden muß, reicht offenbar bei hinreichend homogenen Werkstoffen zur Beseitigung der Wellenlängenabhängigkeit der röntgenographischen Oberflächeneigenspannungsbestimmung nach einachsiger Zugverformung aus. Im Zusammenhang mit der beobachteten stärkeren Verformungsabhängigkeit der für Gleitebenen gültigen röntgenographischen elastischen Konstanten kann die Beobachtung an Eisen-Chrom-Legierungen bedeutsam sein, daß sich im Gegensatz zu den {310}-Ebenen die bei den Gitterdehnungsverteilungen an {211}-Ebenen gemessenen dehnungsfreien Richtungen in systematischer Weise mit der Deformation ändern. Wenn man Einflüsse von Quereigenspannungen ausschließen kann, würde das bedeuten, daß sich die durch die Versetzungsstruktur bedingte Volumdilatation des Ferrits besonders in einer anisotropen Gitteraufweitung parallel zu den Gleit-ebenennormalen auswirkt.

Die Deutsche Forschungsgemeinschaft unterstützte diese Arbeit in dankenswerter Weise durch die Bereitstellung von Apparaturen.

## Zur Natur des Plasmaverlustes bei 3,6 eV in dünnen Silberfolien

J. DANIELS

Institut für Angewandte Physik der Universität Hamburg  
(Z. Naturforsch. **21 a**, 662—663 [1966]; eingegangen am 4. April 1966)

Energieverlustmessungen an Elektronen, die dünne Ag-Folien durchquert haben, ergeben einen Energieverlust bei 3,6 eV. Auf Grund von optischen Messungen<sup>1</sup> muß man annehmen, daß dieser aus einem Oberflächenverlust ( $\epsilon = -1$  bei  $\hbar \omega_s = 3,6$  eV) und einem Volumenverlust ( $\epsilon = 0$  bei  $\hbar \omega_p$  zwischen 3,75 und 3,8 eV) zusammengesetzt ist. Mit den bisher üblichen Anordnungen konnten diese Verluste wegen der zu hohen Energiebreite der Primärelektronen nicht getrennt werden. Ein Hinweis für die Richtigkeit dieser Vorstellung ist die Beobachtung, daß sich der Verlust mit zunehmender Schichtdicke von 3,6 eV bei etwa 500 Å nach 3,75 eV bei 1100 Å Dicke verschiebt, entsprechend dem mit wachsender Schichtdicke stärker werdenden Einfluß des Volumenverlustes<sup>2</sup>.

Mit Hilfe des von HARTL entwickelten Monochromators<sup>3</sup>, mit dem die Trennung der Verluste möglich ist, kann diese Vorstellung geprüft werden.

Die Untersuchungen wurden an der in<sup>3</sup> beschriebenen Apparatur an freitragenden Silberfolien durchgeführt. Die Temperatur der Schichten konnte zwischen 300 °K und 7 °K variiert werden.

## Temperaturabhängigkeit

Abb. 1 zeigt das Spektrum einer 600 Å dicken Silberfolie bei  $T = 7$  °K, aufgenommen mit einem Energieauflösungsvermögen von 90 mV. Die Energie der Elektronen betrug 50 keV. Die Halbwertsbreite des Oberflächenverlustes beträgt 400 mV, die des Volumenverlustes ist kleiner als 100 mV.



Abb. 1. Energieverlustspektrum einer 600 Å dicken Silberfolie zwischen 2,5 und 4 eV bei  $T = 7$  °K. Der linke Verlust stellt den Oberflächen-, der rechte den Volumenverlust dar.

<sup>1</sup> E. A. TAFT u. H. R. PHILIPP, Phys. Rev. **121**, 1100 [1961].

<sup>2</sup> A. OTTO u. W. STEINMANN, Phys. Status Solidi **2 K**, 187 [1962].

<sup>3</sup> W. HARTL, Z. Phys. **191**, 487 [1966]; Phys. Letters **13**, 133 [1964].