

## Zur Frage der Eigenspannungen im Restaustenit einsatzgehärteter Stähle

L. WEIGEL, G. LUCAS \* und H. DIERGARTEN

Institut für Physikalische Chemie der Universität Würzburg,  
Metallkunde-Laboratorium

(Z. Naturforsch. 23 a, 1238—1239 [1968]; eingegangen am 16. Mai 1968)

In den letzten Jahren wurden weitere Fortschritte bei der Ermittlung und Bewertung röntgenographisch nachweisbarer Eigenspannungen erzielt<sup>1, 2</sup>. Neben den für reine Metalle und weiche Stähle entwickelten Meßverfahren zur Ermittlung von Eigenspannungen nach plastischer Verformung beschäftigte sich eine Reihe von Arbeiten mit der Messung von Eigenspannungen in gehärteten Stählen, insbesondere in Einsatzgehärteten Stählen<sup>3—6</sup>. Dabei wurden die Eigenspannungen an der martensitischen Phase bestimmt.

Eigenspannungsmessungen in Einsatzgehärteten Stählen sind aber gerade deshalb von besonderer Bedeutung für die Metallphysik, weil hier in den Randschichten ein Kristallhaufwerk vorliegt, das aus zwei verschiedenen Phasen besteht. Bei der Martensitbildung klappt nämlich das kubisch flächenzentrierte Austenitgitter nur unvollständig in das kubisch raumzentrierte, durch zwangsweise Kohlenstoffeinlagerung tetragonal verzerrte Martensitgitter um, so daß oft erhebliche Mengen Restaustenit vorliegen. Eine kristallographische Orientierung zwischen beiden Phasen ist gegeben und wird durch den Kurdjumov-Sachs-Zusammenhang beschrieben. Aus diesen Gründen sind Messungen an der martensitischen Phase allein unzureichend.

In der vorliegenden Arbeit werden die Eigenspannungen in beiden Phasen verfolgt und durch sukzessives Abdünnen der Proben Messungen bei verschiedenen Restaustenitgehalten erzielt. Von großem Interesse sind die Messungen gerade auch wegen der vielen ungelösten Fragen hinsichtlich der elastischen Kopplung der harten, spröden und sehr festen Martensitnadeln mit der weichen, weniger festen Austenitmatrixt, sowie der Kopplung der Kristallite einer Phase untereinander, die durch die andere Phase jeweils gestört ist. Nachdem die Martensitnadeln teils als feine lamellare, bei der Martensitbildung entstandene Umwandlungszwillinge, teils als grobe Verformungszwillinge vorliegen, die Austenitbereiche jedoch durch Verformung bei der Martensitbildung aus vielfach gestörten Kristalliten mit einem Versetzungsnetzwerk bestehen, treten vielfach Effekte auf, die durch Spannungsmessungen allein am Martensit nicht zu klären sind.

Als typische Vertreter wurden für unsere Untersuchungen Proben aus 16MnCr5 mit Restaustenitgehalten am Rand zwischen 11% und 41%, sowie Einsatzhärtungstiefen zwischen 1,6 mm und 2,5 mm ausge-

wählt. Die Probenplättchen mit einem Durchmesser von 45 mm und einer Dicke von 8 mm wurden durch elektrolytisches Polieren schrittweise einseitig abgedünnt. Es wurde mit Mo-K $\alpha$ -Strahlung an der 211  $\alpha$ -Linie und an der 220  $\gamma$ -Linie gemessen. Die verwendete Anordnung, Versuchsführung und Auswertung erlaubt Spannungsmessungen in diesem extremen Vorstrahlbereich mit einer Genauigkeit von etwa  $\pm 5 \text{ kg/mm}^2$  für Martensit und für Austenit bis zu einem Anteil von etwa 8% von etwa  $\pm 10 \text{ kg/mm}^2$  (s. Anm. 7).

In Abb. 1 werden die Ergebnisse beschrieben, die an einer Probe mit einem Restaustenitannteil von 26% gewonnen wurde. Die Probe wurde 30 Std. bei 950 °C zementiert (endothermes Schutzgas + Propan, Kohlenspotential etwa 1%) und in Spindelöl (6,5 E 20 °C) von 50 °C abgeschreckt. Nach 3-stündigem Glühen bei 680 °C wurde wie folgt gehärtet: 840 °C/20'/Öl 50 °C und 2 Std. bei 160 °C angelassen. Daraufhin betrug die Härte 63 HRC und die Einsatztiefe etwa 2,5 mm. In Abb. 1 ist außer den Meßpunkten die nach der Korrektur auf abgetragene Schichten erhaltene Tiefenverteilung der Eigenspannungen im Austenit und im Martensit sowie der jeweilige Restaustenitannteil aufgetragen.

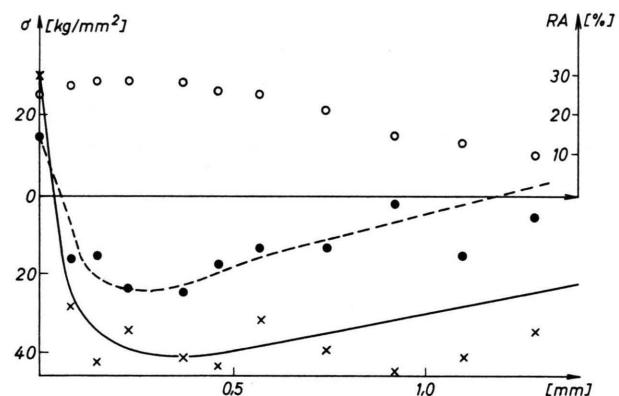


Abb. 1. Tiefenverteilung der Eigenspannungen im Martensit und im Restaustenit einer Einsatzgehärteten Probe aus 16MnCr5. — Spannung im Austenit (korrigiert), — Spannung im Martensit (korrigiert), ● Meßwert (Austenit), ✕ Meßwert (Martensit), ○ Restaustenitgehalt.

Im Martensit gehen die Zugspannungen am Rand etwa 30  $\mu\text{m}$  unter der Oberfläche in Druckspannungen über. In einer Tiefe von etwa 400  $\mu\text{m}$  erreichen die Druckspannungen 40 kg/mm<sup>2</sup> und nehmen dann proportional dem Restaustenitgehalt ab, bis sie schließlich im Kern (in der Abb. nicht gezeichnet) durch Zugspannungen kompensiert werden. Anders ist der Verlauf der Eigenspannungen im Austenit. Alle im Austenit gemessenen Spannungen sind kleiner als die an gleicher

\* SKF Kugellagerfabriken, Schweinfurt.

<sup>1</sup> G. HELLWIG, R. PRÜMMER, H. WOHLFARTH u. E. MACHERAUCH, Z. Naturforsch. 22 a, 2125 [1967].

<sup>2</sup> V. HAUK, Arch. Eisenhüttenwes. 38, 233 [1967].

<sup>3</sup> D. P. KOISTINEN, Trans. ASM 50, 227 [1958].

<sup>4</sup> U. WOLFSTIEG, Arch. Eisenhüttenwes. 30, 447 [1959].

<sup>5</sup> H. STROPPE u. H. BLUMENAUER, Wiss. Z. Hochschule Magdeburg 4, 157 [1960].

<sup>6</sup> H. WIEGAND u. G. TOLASCH, Härterei-Techn. Mitt. 22, 330 [1967].

<sup>7</sup> L. WEIGEL, Dissertation, Universität Würzburg 1966.



Stelle im Martensit bestimmten Spannungen. So beträgt das Druckspannungsmaximum, das gegenüber dem Maximum der Spannungen im Martensit verschoben ist, nur etwa  $25 \text{ kg/mm}^2$ . Die Druckspannungen sind bereits in der Mitte der Einsatzschicht abgebaut, wo der Martensit noch unter erheblichen Druckspannungen steht.

Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, daß die Eigen- spannungen im Martensit und im Austenit verschieden sind und daß Messungen, die nur an der martensiti- schen Phase durchgeführt sind, unvollständig sind. Eine

eingehende Beschreibung der Versuchsführung, die röntgenographische Spannungsmessungen bei kleinen Braggschen Winkeln ermöglicht und verschiedene ex- perimentelle Schwierigkeiten bei gehärteten Stählen löst, sowie weiterer Ergebnisse, die die elastische Wechselwirkung der Kristalle untereinander betreffen, soll in Kürze veröffentlicht werden.

Der Deutschen Forschungsgemeinschaft danken wir für die Unterstützung der Untersuchungen.