



WIAP®

MEMV®



Metall entspannen mit Vibration

BERICHT WM 886 SPANNUNGEN MESSEN

SIN2Y-Verfahren

1 MESSUNG VON EIGENSPIANNUNGEN (SIN2Y-VERFAHREN)

Für die experimentelle Bestimmung von Eigenspannungen stehen verschiedenste zerstörende und zerstörungsfreie Messverfahren zur Verfügung. Die wichtigste zerstörungsfreie Methode stellen die röntgenographischen Messverfahren dar. Zu dieser Gruppe gehört auch das im Rahmen dieses Versuchs vorgestellte sin2y-Verfahren.

Spannungen 1. Art führen zu einer elastischen Verzerrung der Elementarzelle. Ändert sich der Netzebenenabstand aufgrund einer am Gitter wirkenden Kraft von D_0 nach D , so führt dies zu einer Veränderung der Lage der Interferenzlinie, wie Bild 3 verdeutlicht.

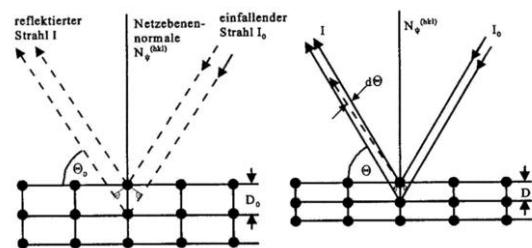


Bild 3: Bragg'sche Reflexion an einem spannungsfreien (links) und einem verspannten Gitter (rechts)

Da die Eindringtiefe der Röntgenstrahlung gering ist (ca. 10-20 μm , abhängig von Material und verwendeter Strahlung), werden nur oberflächennahe Bereiche der Probe erfasst. Eine eventuell vorhandene z-Komponente des Spannungstensors geht an der Oberfläche mangels einer Einspannung immer gegen null. Das heißt, man misst unter der Voraussetzung, dass im erfassten Probenvolumen keine z-Spannungskomponente vorhanden ist, einen zweiachsigen (ebenen) Spannungszustand in der Probenoberfläche.

Bild 4 erläutert die Aufnahmetechnik bei der röntgenographischen Spannungs-

messung. Während bei der Diffraktometeraufnahme in üblicher Strahlgeometrie nur Netzebenen zur Reflexion kommen, die parallel zur Probenoberfläche liegen, erreicht man durch eine Kippung der Probe um den Winkel ψ , dass bei der Spannungsmessung auch solche Netzebenen reflektieren, die nicht parallel zur Oberfläche orientiert sind.

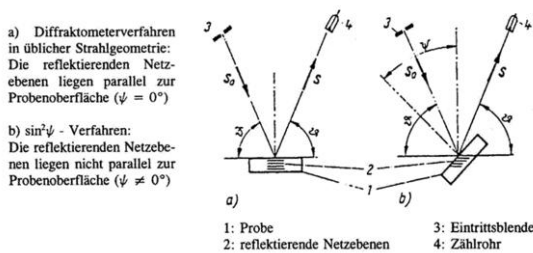


Bild 4: Aufnahmetechnik bei der röntgenographischen Spannungsmessung

Bei der Untersuchung polykristalliner Werkstoffe werden mehrere Kristallite vom Primärstrahl erfasst. Misst man in unterschiedlichen Richtungen ψ einer Probe, so erhält man die Intensität von Netzebenen unterschiedlicher Orientierung, die bei Anliegen einer Spannung unterschiedliche Netzebenenabstände D aufweisen. Es ergibt sich ein Interferenzkegel, wie in Bild 5 dargestellt.

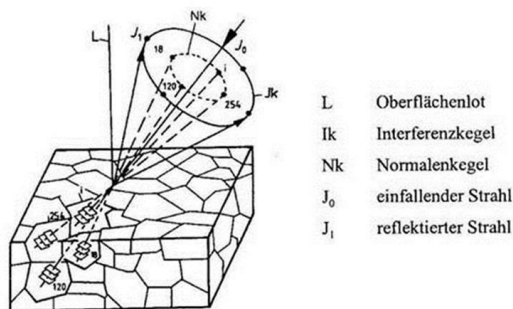


Bild 5: Entstehung des Interferenzkegels in vielkristallinen Werkstoffen

Für die Bestimmung der Spannung im Festkörper ist die Verknüpfung der

gemessenen Gitterdehnung mit elastizitätstheoretischen Gesichtspunkten notwendig.

Legt man das in Bild 6 dargestellte Koordinatensystem mit den Winkeln φ und ψ zugrunde, so lautet die Beziehung zwischen der gemessenen Dehnung $\epsilon_{\varphi,\psi}$ und den oberflächenparallelen Hauptspannungen s_1 und s_2 sowie den Hauptdehnungen e_1 , e_2 und e_3 :

$$\epsilon_{\varphi,\psi} = \epsilon_1 \cos^2 \varphi \sin^2 \psi + \epsilon_2 \sin^2 \varphi \sin^2 \psi + \epsilon_3 \cos^2 \psi$$

Die Verknüpfung der Hauptdehnungen mit den Hauptspannungen ist durch das Hookesche Gesetz gegeben:

$$\epsilon_1 = \frac{1}{E} (\sigma_1 - \nu \sigma_2)$$

$$\epsilon_2 = \frac{1}{E} (\sigma_2 - \nu \sigma_1) \quad , \quad \epsilon_3 = -\frac{\nu}{E} (\sigma_1 + \sigma_2)$$

Damit lässt sich Gleichung 1 schreiben als

$$\epsilon_{\varphi,\psi} = \frac{\nu+1}{E} (\sigma_1 \cos^2 \varphi + \sigma_2 \sin^2 \varphi) \sin^2 \psi - \frac{\nu}{E} (\sigma_1 + \sigma_2)$$

Durch Einführung der Voigtschen Elastizitätskonstanten

$$\frac{1}{2} S_2 = \frac{\nu+1}{E} \quad , \quad S_1 = -\frac{\nu}{E}$$

Erhält man die Grundgleichung der röntgenographischen Verfahren zur Ermittlung elastischer Spannungen in ihrer gebräuchlichsten Darstellung:

$$\epsilon_{\varphi,\psi} = \frac{1}{2} S_2 \cdot \sigma_\varphi \sin^2 \psi + S_1 (\sigma_1 + \sigma_2)$$

mit $\sigma_\varphi = \sigma_1 \cdot \cos^2 \varphi + \sigma_2 \sin^2 \varphi$.

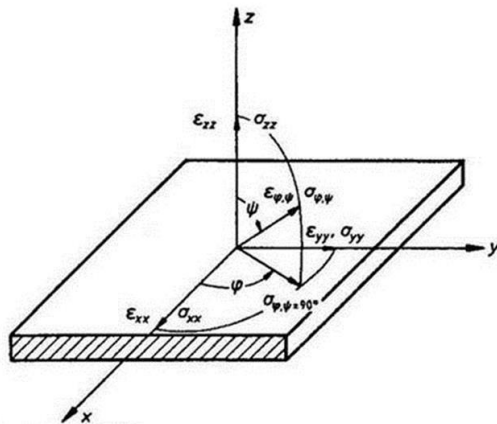


Bild 6: Definition des Koordinatensystems mit den Winkeln φ und ψ

Die Bestimmung des ebenen Spannungszustandes ist somit auf die Ermittlung der Gitterdehnung $\epsilon_{j, y}$ zurückgeführt, welche mittels der Änderung der Interferenzlinienlagen gemessen werden kann. Gleichung 5 lässt sich als Geradengleichung auffassen. Trägt man die elastischen Dehnungen für $j = \text{konst.}$ als Funktion von $\sin^2 \psi$ auf, so ergibt sich eine Gerade, deren Steigung proportional zur im Azimut φ wirksamen Spannungskomponente σ_φ ist und deren Ordinatenabschnitt von der Summe der Hauptspannungen in der Oberfläche bestimmt wird (Bild 7). Zur Separation der Hauptspannungen in der Oberfläche ist es notwendig, in mindestens drei verschiedenen ψ -Richtungen zu messen.

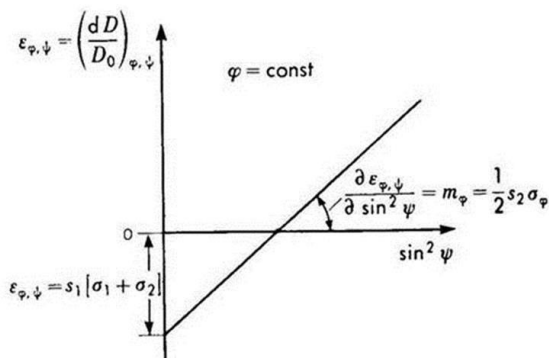


Bild 7: Dehnungsverteilung in der Azimutebene $\varphi = \text{konst.}$ eines ebenen, oberflächen-parallelen Spannungszustandes

2 AUFGABENSTELLUNG

An einer laserstrahlgehärteten Probe sind die Spannungskomponenten parallel und senkrecht zur Vorschubrichtung des Lasers röntgenographisch zu messen. Die Auswertung erfolgt mit Hilfe der $\sin^2 \psi$ -Auftragung.

2.1 Cut-Compliance Methode

3 MESSUNG DER EIGENSPANNUNGEN

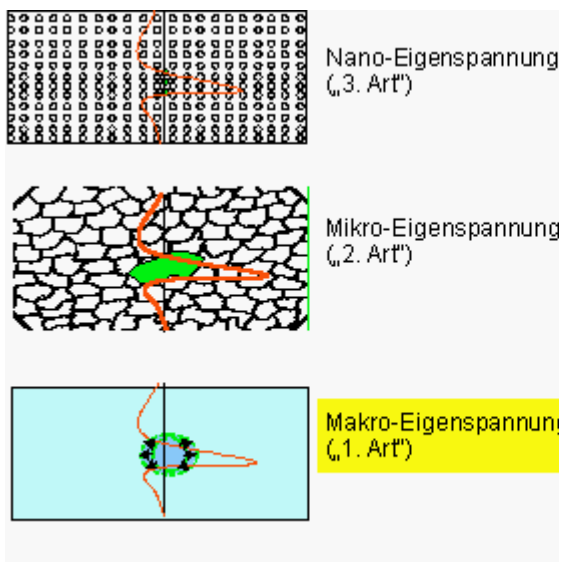
Man unterscheidet generell zwischen den "zerstörungsfreien" und den "zerstörenden" Messmethoden. "Zerstörungsfrei" bedeutet dabei, dass die Messung unter der zu messenden Spannung erfolgt. Das Messprinzip der "zerstörenden" Methoden besteht dagegen gerade darin, die Spannungsänderung infolge eines mechanischen Eingriffs zu messen, und daraus die ursprünglichen Eigenspannungen zu berechnen. In diesem Zusammenhang ist allerdings anzumerken, dass aufgrund der engen Platzverhältnisse in den entsprechenden Prüfgeräten und der beschränkten Durchdringungskraft der Röntgen- bzw. Neutronenstrahlen auch die Anwendung "zerstörungsfreier" Methoden oft die faktische Zerstörung des Bauteils zur Folge hat. Effektiv "zerstörungsfrei" sind deshalb nur die "teilzerstörenden" Verfahren, bei welchen dem Bauteil lediglich ein lokaler, reparierbarer Schaden (Bohrloch, Oberflächenschnitt, Härteindruck) beigelegt wird.

Wenn zur Messung ein vorgängiges Zerschneiden des Bauteils notwendig ist, sind die dadurch bewirkten Spannungsänderungen unbedingt zu berücksichtigen.

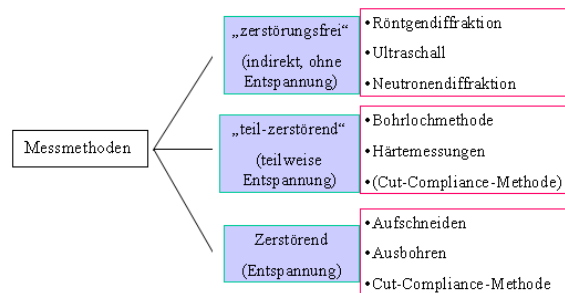
4 EINTEILUNG DER EIGENSINNUNGEN NACH WIRKUNGSFELD UND AUSWIRKUNGEN

Je nach Wirkungsfeld unterscheidet man zwischen Makro- und Mikro-eigenennungen (bzw. Eigenennungen der 1., 2. und 3. Art, siehe schematische Darstellung). Von technischer Bedeutung sind in erster Linie die makroskopischen. Diese können das Bruchverhalten, die Lebensdauer oder die Formstabilität eines Bauteils massgeblich beeinflussen.

Gezielt eingebrachte Eigenennungen können sich auch günstig auf die Bauteilbeanspruchung auswirken und die Lebensdauer entscheidend erhöhen.



Eigenennungsbedingter Riss in einem Kegelrad



Alle aufgeführten Methoden haben ihre spezifischen Vor- und Nachteile, und entsprechend ihre zweckmässigen Einsatzgebiete. Ein wichtiges Kriterium ist dabei die zu messende Tiefe und der erlaubte Zerstörungsgrad. Mit den international normierten Methoden (Bohrlochmethode und Röntgendiffraktion) lassen sich Eigenennungen nur an der Oberfläche messen. Die Ermittlung eines Tiefenprofils ist mit diesen Methoden äusserst aufwendig und relativ ungenau.

Bezüglich Genauigkeit und Aussagekraft hinsichtlich des mechanischen Bauteilverhaltens sind die mechanischen (zerstörenden bzw. teil-zerstörenden) Methoden den andern oft überlegen. Dies gilt insbesondere für die neueste der mechanischen Methoden, die Cut-Compliance Methode (auch Crack Compliance Methode genannt, eine ASTM-Norm in Vorbereitung, siehe unten). Eine

ausführlichere Beschreibung der mechanischen Methoden findet sich in (PDF) Mechanische Verfahren zur Bestimmung von Eigenspannungen.

Ende Bericht WM 886, Spannungen messen
Hpw 07_11_2018

4.1 Beurteilung der Auswirkungen

Die Messung der Eigenspannungen ist meistens nur der eine Teil der Problemlösung - der andere, ebenso wichtige, ist die Beurteilung ihrer Auswirkungen auf das Bauteilverhalten. Eigenspannungen beeinflussen namentlich die Geschwindigkeit des unterkritischen Risswachstums (Ermüdung, Spannungsrissskorrosion, u. ä.) und damit die Lebensdauer und die Bruchsicherheit. Generell gilt, dass die Eigenspannungen nicht punktuell, sondern integral wirken. Zur Beurteilung der Auswirkungen sind punktuelle Spannungswerte deshalb nicht ausreichend - entscheidend ist ihre Verteilung über ein gewisses, physikalisch relevantes Gebiet.

5 QUELLENVERZEICHNIS

Int_ Nasser Kanani

<http://de.stresstechgroup.com/content/de/1041/1671/Barkhausenrauschen%20Analyse.html>

[Praktikumsanleitung Versuch - Lehrstuhl Metallische Werkstoffe](#)

<http://www.mat-tec.ch/de/services/eigenspannungen.html>

<https://www.psi.ch/sinq/poldi/>

<http://wiap.ch/Diverse%20Sprachen/Deutsch/1.%20Inhalt%2000/Inhalt%2000.htm>

Wikipedia NDE

<http://stressvision.com/>