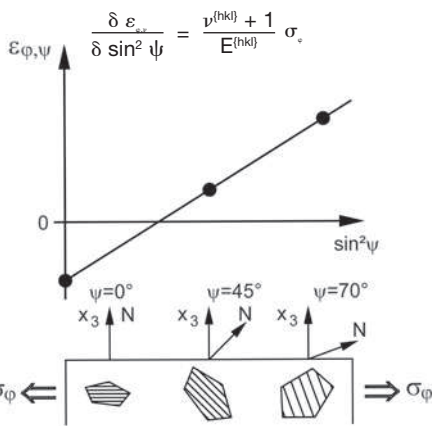


elastizitätstheoretische Grundlagen

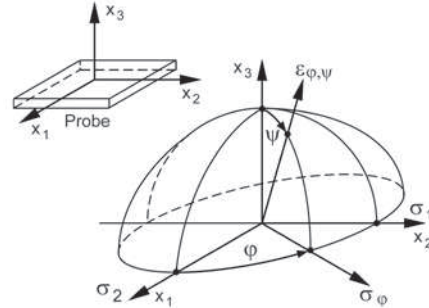
- die gesuchte Spannung σ_φ ist durch
- $$\varepsilon_{\varphi,\psi} = \frac{\nu^{(hkl)} + 1}{E^{(hkl)}} \sigma_\varphi \sin^2 \psi - \frac{\nu^{(hkl)}}{E^{(hkl)}} (\sigma_1 + \sigma_2)$$
- $E^{(hkl)}$ und $\nu^{(hkl)}$ sind röntgenographische Werte des Elastizitätsmoduls und der Querkontraktionszahl

das $\sin^2\psi$ -Verfahren

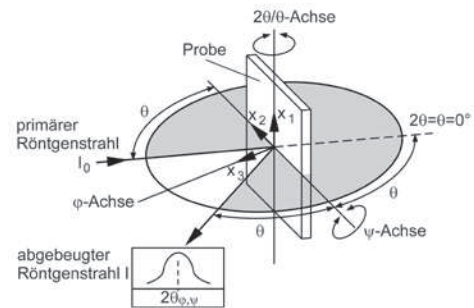


die Steigung der Geraden $\varepsilon_{\varphi,\psi}(\sin^2\psi)$ liefert die Spannung σ_φ

Koordinatensystem und Winkel



Geometrie eines ψ -Diffraktometers

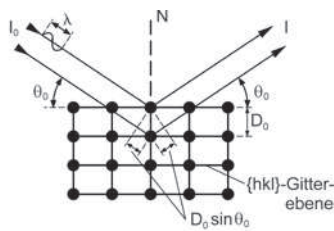


röntgenographische Grundlagen

Beugung monochromatischer Röntgenstrahlung der Wellenlänge λ am Kristallgitter

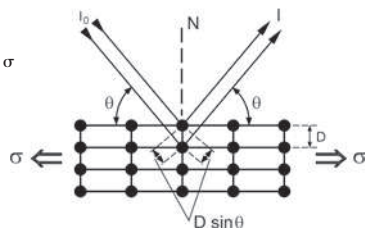
unbelastet

$$\lambda = 2D_0 \sin \theta_0$$



belastet mit σ

$$\lambda = 2D \sin \theta$$



damit Gitterdehnung in Richtung N:

$$\varepsilon = \frac{D - D_0}{D_0} = -(\theta - \theta_0) \cot \theta_0$$

Charakteristika der röntgenographischen Spannungsmessung

- Zerstörungsfreie Ermittlung von Eigen- und Lastspannungen an der Oberfläche kristalliner und teilkristalliner Werkstoffe.
- Erfassung weniger μm dicker Oberflächenschichten.
- Keine besonderen Anforderungen an die Bauteiloberflächen bzw. Oberflächenvorbereitungen.
- Durch lokalen, schrittweisen Werkstoffabtrag können Eigenspannungstiefenverteilungen ermittelt werden.
- Der Durchmesser des Messflecks auf der Oberfläche des Bauteils kann zwischen $50 \mu\text{m}$ und einigen $10^3 \mu\text{m}$ variiert werden.
- Typische Messzeiten sind 0,2 h bis 2 h, abhängig vom Messproblem.
- Es sind spezielle röntgenographische Werte $E^{(hkl)}$ des Elastizitätsmoduls und $\nu^{(hkl)}$ der Querkontraktionszahl erforderlich.
- Wichtige Anwendungsgebiete sind die Entwicklung und die Kontrolle von Wärmebehandlungsprozessen, spanende Bearbeitungsprozesse und mechanische Oberflächenbehandlungsprozesse (z.B. Kugelstrahlen).



Die röntgenographische Spannungsanalyse

Eigen Spannungsmessung in unserem hauseigenen Röntgenlabor

Mittels der röntgenografischen Eigen Spannungsanalyse von metallischen Bauteilen ist es möglich, die vorhandenen Eigen Spannungswerte an der Oberfläche und dem oberflächennahen Volumen zu ermitteln.

Durch das direkt an die Produktion angeschlossene Röntgenlabor ist eine hochpräzise, produktionsbegleitende Qualitätskontrolle der verfestigungsgestrahnten Bauteile hinsichtlich der geforderten Druckeigen Spannungswerte möglich.

Ein Nachweis der Eigen Spannungen ermöglicht dynamische Produktionsoptimierungen als auch produktionsbegleitende Analysen und Qualitätskontrollen.

Darüber hinaus führen wir kundenspezifische Eigen Spannungsmessungen im Lohnauftrag aus.

(nur am Standort Petershausen)

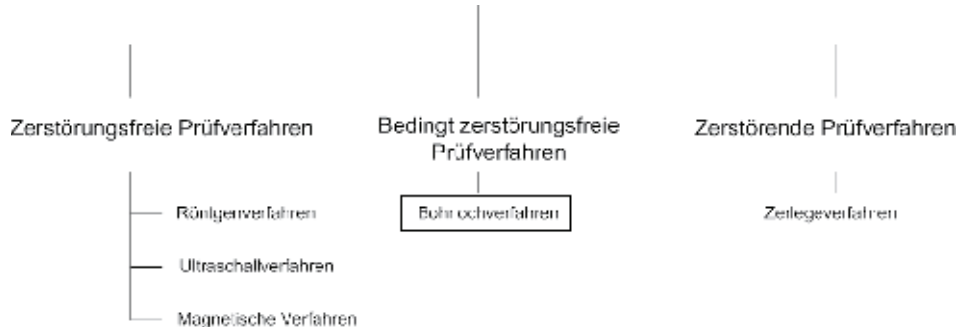


Eigen Spannungsmessung mit dem Bohrlochverfahren

Einleitung

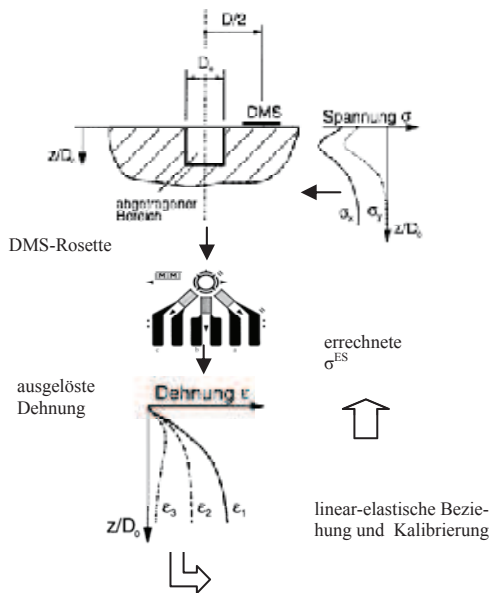
Bei dem Bohrlochverfahren handelt es sich um ein Eigen Spannungsmessverfahren, welches sich für den mobilen Einsatz an großen, sperrigen Bauteilen eignet. Die Ermittlung der Eigen Spannungen erfolgt anhand der durch den Materialabtrag beim Bohren ausgelösten elastischen Dehnungen. Eigen Spannungstiefenverläufe können in einer Aufspannung ermittelt werden.

Einordnung in die Eigen Spannungsmessverfahren



Abhängig von der Beanspruchung im Messpunkt können die untersuchten Bauteile weiter eingesetzt werden.

Prinzip des Bohrlochverfahrens



Eigenschaften des Bohrlochverfahrens

Merkmale der ermittelten Eigen Spannungen:

- Makro eigen Spannungen (I. Art)
- ebener Spannungszustand
- maximale Höhe der Eigen Spannungen ca. 60% der lokalen Streckgrenze R_{eS}

Materialvoraussetzungen:

- für alle Werkstoffgruppen einsetzbar
- homogener / isotroper Werkstoff
- Kenntnis von E-Modul und Querdehnzahl

Örtliche Auflösung:

- auf der Oberfläche im Bereich des Bohrungsdurchmessers
- in der Tiefe im μm -Bereich (abhängig von Tiefenmesseinrichtung)
- maximal auswertbarer Tiefenbereich ca. $0,5 \times$ Bohrungsdurchmesser D_0

Messtechnik mit DMS-Rosetten



Für jeden Anwendungsfall kann die passende DMS-Rosette gefunden werden.

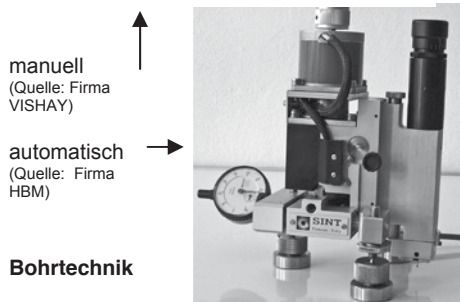
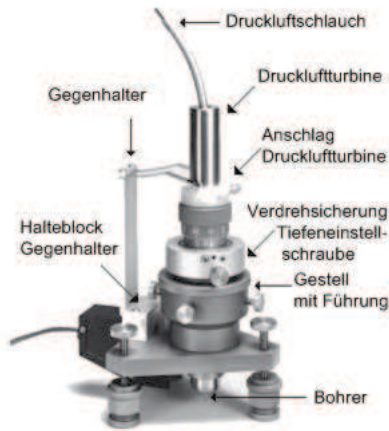
Geometrische Randbedingungen zur korrekten Anwendung

Randbedingung	Grenze
Abstand zur Bauteilberandung	$> 5-10 \times D_0$
Bauteildicke	$> 3 \times D_0$
Messstellenabstand	$> 5 \times D_0$
Radius Oberflächenkrümmung	$> 3 \times D_0$



Eigen Spannungsmessung mit dem Bohrlochverfahren

Geräte- und Messtechnik



manuell
(Quelle: Firma VISHAY)

automatisch
(Quelle: Firma HBM)

Bohrtechnik

Hochgeschwindigkeitsbohren mit $U_{\text{Norm}} = 300000 \text{ U/min}$ und stark reduzierter Wärme einbringung

Bohrwerkzeug

- Stirnbohrfräser mit TiN-Beschichtung oder Diamantfräser ($D_0 = 0,8 \text{ mm}$ oder $1,6 \text{ mm}$)
- Bohrungsdurchmesser: $0,8 - 4,1 \text{ mm}$
- Werkzeugauswahl nach Anwendungsfall

Ablauf MPA II-Auswerteverfahren und Ergebnis

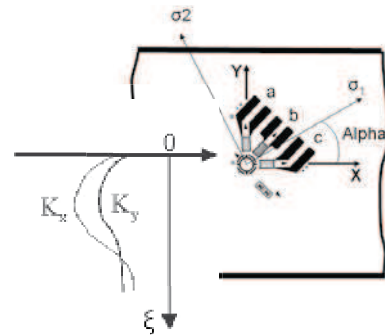
Voraussetzungen

- Normalisierte Tiefe

$$\xi = \frac{z}{D_0}$$

- Kalibrierfunktionen

$$K_x(\xi) \quad K_y(\xi)$$



Berechnung

- Spannungen σ_a , σ_b und σ_c in DMS-Richtung mit $K_x(\xi)$, $K_y(\xi)$

$$\sigma_{1,2}(\xi) = \frac{\sigma_a(\xi) + \sigma_c(\xi)}{2} \pm \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_a(\xi) - \sigma_b(\xi))^2 + (\sigma_c(\xi) - \sigma_b(\xi))^2}$$

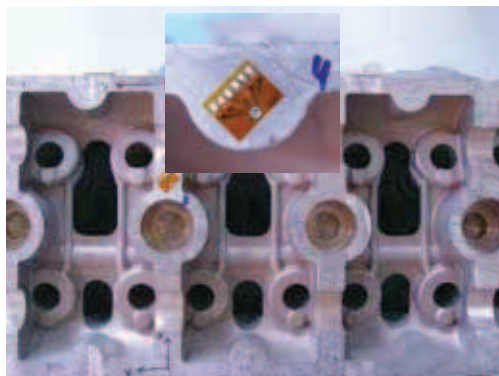
$$\alpha(\xi) = \frac{1}{2} \arctan \frac{2\sigma_b(\xi) - \sigma_a(\xi) - \sigma_c(\xi)}{\sigma_a(\xi) - \sigma_c(\xi)}$$

• Hauptspannungen und Hauptorientierung

Ergebnis

Tiefe	Sigma 1	Sigma 2	Alpha	Sigma X	Sigma Y
0	-30	-62	-84	-62	-30
0,02	-28	-58	-85	-58	-28
0,04	-24	-53	-86	-53	-24
0,06	-18	-44	-87	-44	-19
0,08	-11	-34	-89	-34	-11
0,1	-3	-24	-93	-24	-3
0,16	12	-3	-106	-2	11
0,22	19	5	-117	8	17
0,32	24	9	-123	13	20
0,42	26	10	-120	14	22
0,52	26	11	-114	13	24
0,62	22	10	-110	12	21
0,72	18	7	-109	8	17
0,82	24	6	-111	8	22
0,92	35	7	-113	11	31

Anwendungsbeispiele



Aluminiummotorblock



Turbinenschaufel