



Odborná rozprava v německém jazyce doktoranda ing. Jiřího Šimečka na téma.

Methoden der Messung von Restspannungen

Předseda oborové rady:

Školitel:

Garant rozpravy:

Doc. Ing. Václav Mentl CSc. Doc. Dr. Ing. Antonín Kříž Prof. Dr. Ing. František Pfrogner

Inhalt

- Einführung
- Aufteilung der Methoden von Messungen
- Messungen der Restspannungen mittels Röntgendiffraction
- Messungen der Restspannungen mittels Neutronendiffraction
- Messungen der Restspannungen mittels Ultraschall
- Messungen der Restspannungen mittels Änderung der Magnetfeld
- Messungen der Restspannungen mittels mechanische Methoden
- Indirekte Messungen der Restspannungen
- Schlußfolgerung

Einführung

Die Restspannungen entstehen bei der Formherstellung, insbesondere bei einer Bearbeitung, wo grosse Mengen von Wärme entstehen, dies bei Spanndbearbeitung und Gußtechnologie erfolgt.

Die Restspannungen wirken als wichtiger Faktor bei einer Werkstoffermüdung, und mehr als 90% der Betriebsausfälle sind von dies verursacht, deshalb ist es nötig grosse Aufmerksamkeit darauf legen.

Hier besteht grosse Menge von Methoden der Messungen von Restspannungen zur Verfügung. In dieser Presentation werden einige öfters in Praxis angewandten Methoden vorgestellt.

Aufteilung der Methoden der Messungen

-direkte \approx indirekte Messung

je nach benützter Ausstattung

- mechanische (Ätzung, Abbohrung)

- Röntgen und Neutron Diffraction

- Magnetische

- Ultraschall

- Optische

- Spezielle physikalische Methoden

Messung der Restspannungen mittels Röntgendiffraction

Das Prinzip: Messen des interebenen Abstandes an den deformierten Proben und Vergleich mit undeformierten Zustand. Je nach Formel.

$$\varepsilon = \frac{\Delta d}{d_0} \quad (1.1)$$

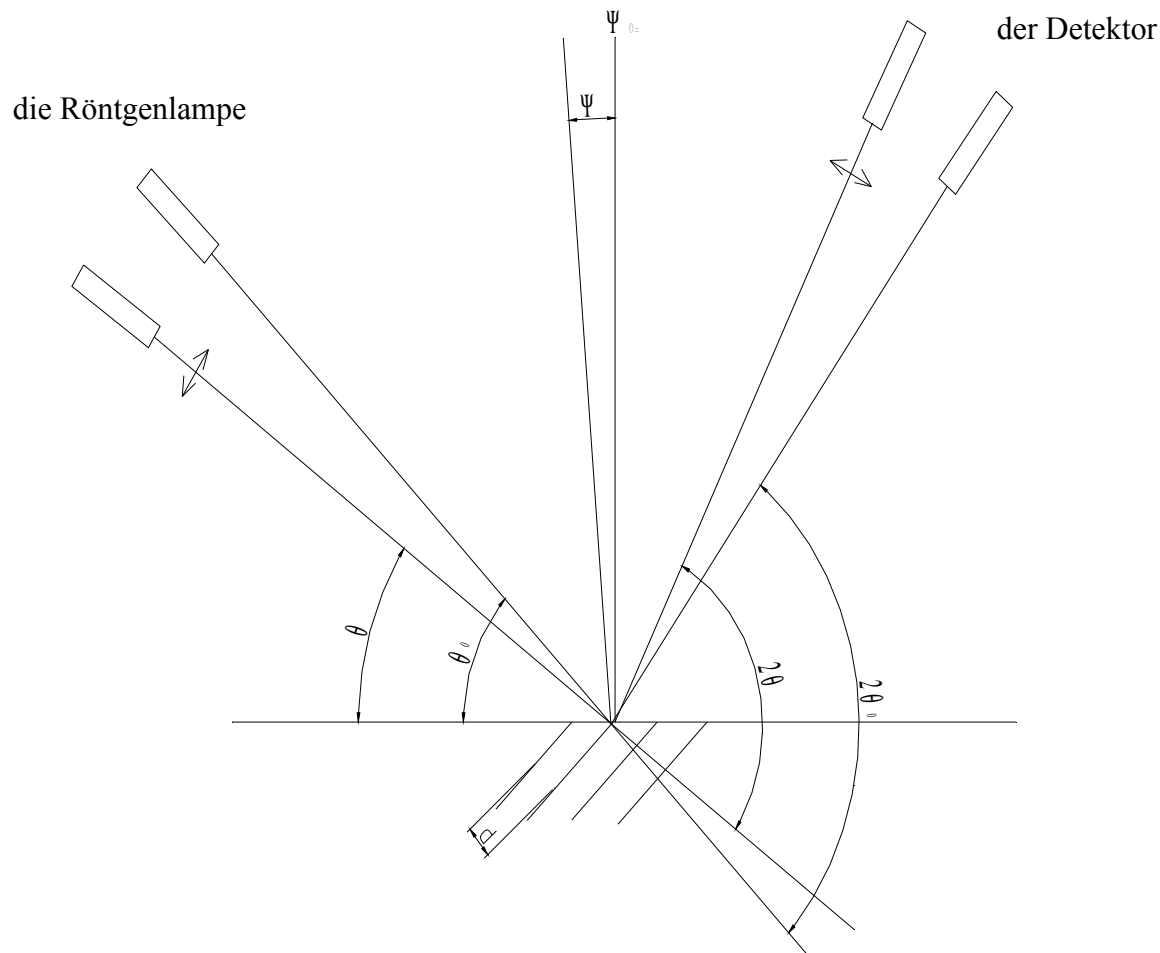
ε - relative Ausdehnung des Krystals, Δd - Ausdehnung der Distanz zwischen zwei Ebenen, d - Undeformierte Distanz, Nach der Theorie von Linearelasticität. Beim Beleuchten des Kristallgitters in günstiger Richtung mit Röntgenstrahlen kommt es zur Diffraction und dem Entstehen des Interferenzmaximums in Richtung θ . Es wurde aus der Bragg-Gleichung ausgegangen. n ist der Unterschied zwischen der Weglänge der Strahlen.

$$n\lambda = 2d \sin \theta \quad (1.2)$$

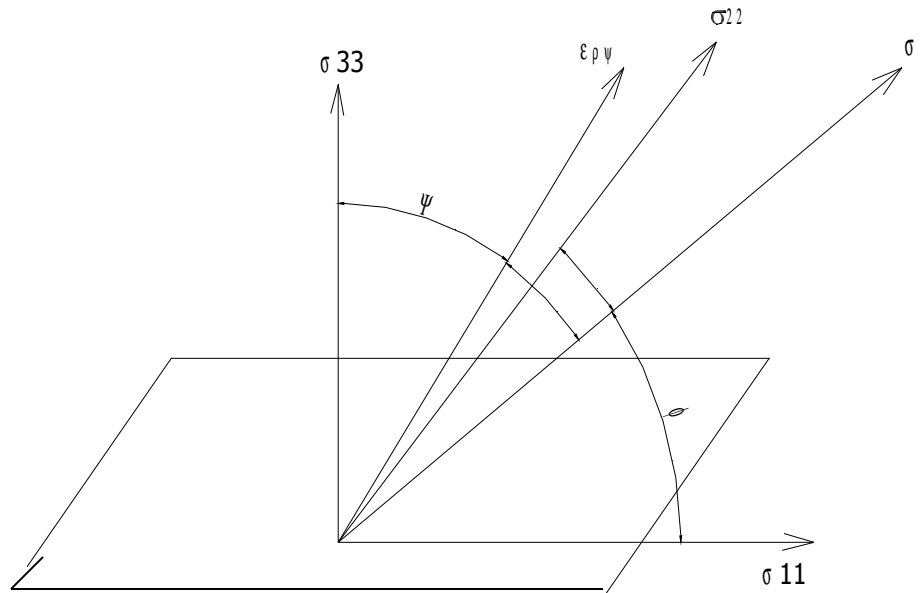
d ist die gemessene Distanz zwischen zwei Ebenen.

Anordnung der Messapparatur

Die Röntgenlampe emittiert die Strahlung in Richtung auf das gemessene Material und nach Diffraction wird sie in einem Detektor abgenommen. Das Ergebnis ist ein Winkel θ , wo das Maximum der Rückstrahlen ersichtlich wird.



Für die entsprechende Stelle an den Proben werden die Gleichgewichtsbedingung bestimmt.



$$\varepsilon_{\rho\phi} = \frac{\nu + 1}{2E} (\sigma_{11} \cos^2 \phi + \sigma_{12} \sin 2\phi + \sigma_{22} \sin^2 \phi - \sigma_{33}) \sin^2 \psi +$$

$$\frac{\nu + 1}{2E} (\sigma_{13} \cos \phi + \sigma_{23} \sin \phi) \sin 2\psi + \frac{\sigma_{33}}{E} + \frac{-\nu}{E} (\sigma_{11} + \sigma_{22})$$

E - Elastizitätsmodul, ν – die Querdehnungszahl, ϕ – ist der Messungswinkel der Spannung, ψ Winkel zwischen der Normale und Richtung der Deformation

Ein Zweiachszustand der Spannung ist vorgenommen. Nach Bearbeitung wird die Beziehung zwischen der Gitterdeformation und Function $\sin^2\psi$:

$$\varepsilon_{\phi\rho} = \frac{\nu + 1}{2E} \sigma_{\rho} \sin^2\psi + \frac{-\nu}{E} (\sigma_{11} + \sigma_{22}) \quad (1.4)$$

Nach Ableitung:

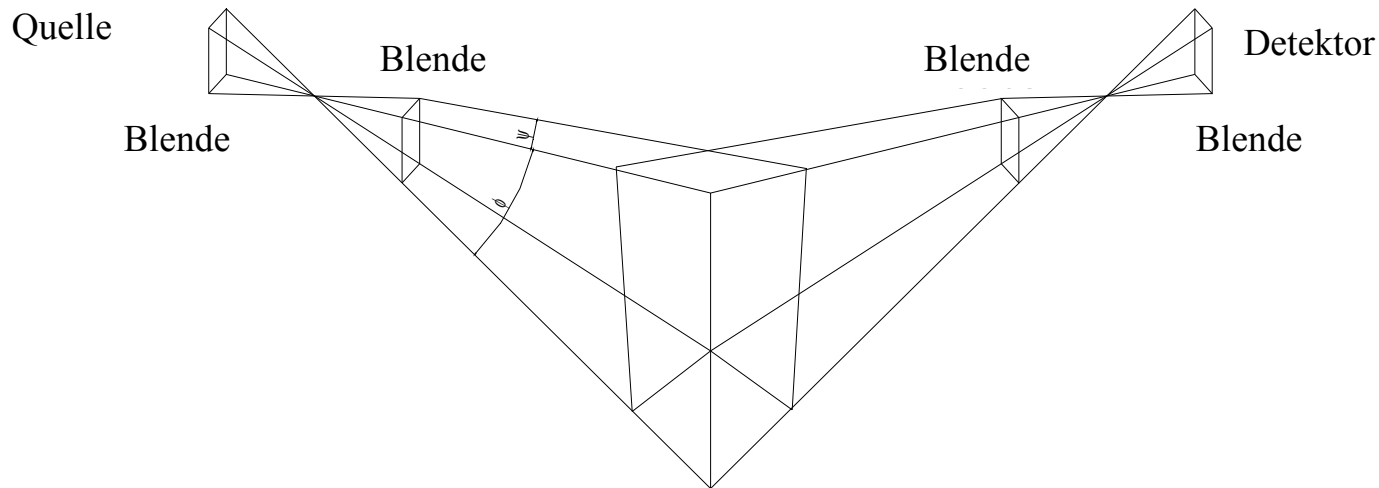
$$\frac{\partial \varepsilon_{\phi\rho}}{\partial \sin^2\psi} = \frac{(\nu + 1)\sigma_{\rho}}{2E} \quad (1.5)$$

Vergleichen wir die Gleichung 1.4 mit 1.1, 1.2 und 1.5 bekommen wir die Formel für die Spannungsermittlung mit der Berechnung σ_{ρ}

$$\sigma_{\rho} = \frac{2E}{\nu + 1} \cot g\theta_0 \frac{\partial \theta_{\rho\phi}}{\partial \sin^2\psi} \quad (1.6)$$

Die Messung ist aufwendig und anspruchsvoll. Da im Bereich der Herstellung der Detektoren ein grosser Fortschritt vorhanden ist, ist eine neue Anordnung der Messapparatur möglich.

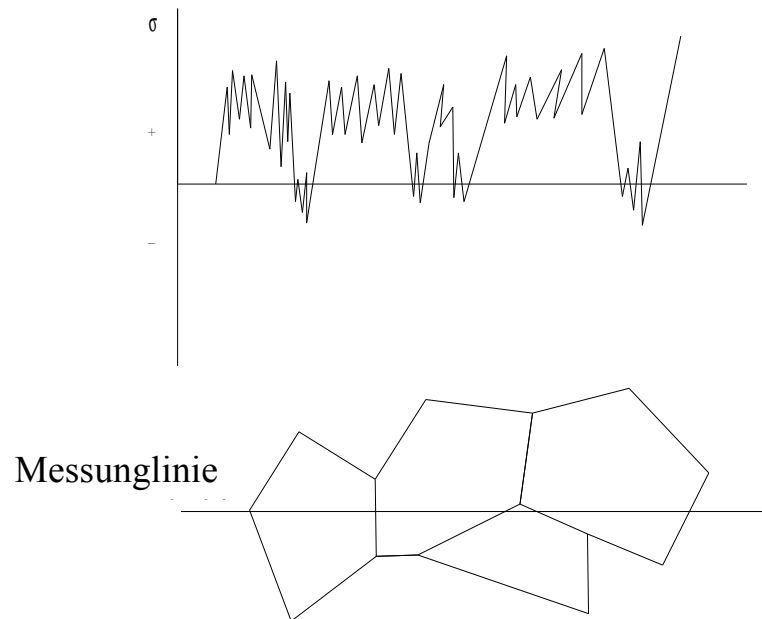
- die Proben und der Detektor sind unbeweglich
- zum Material wird eine vereinbarte Strahlung emittiert mit verschiedenen Wellenlängen, das Messen wird mittels der Blendensystem durchgeführt.



Beim Erfüllen der Braggbedingung entsteht das Maximum E_{hkl} und dies wird nach folgender Formel berechnet:

$$E_{hkl} = \frac{0.6206}{d_{hkl} \sin \theta} \quad (1.7)$$

Die Änderung der Energie E_{hkl} entspricht der Gitterstörung.



Vorteile:

- nicht destruiierend
- es besteht die Möglichkeit auch Mehrrichtungsdistorsion zu messen auch auf jene Phasen der Gefüge
- das Messen von Spannungen I. II. und III. Art

Nachteile:

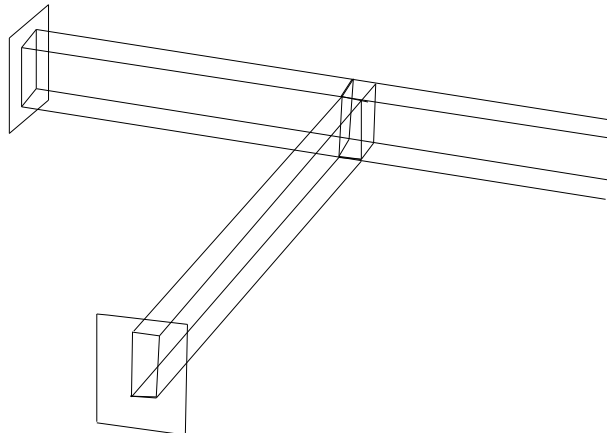
- Messung nur in einer Dünnschicht von 0,01-0,001 mm
- Einige Materialien haben ein kontrastarmes Bild
- unbrauchbar für amorphe Strukturen
- Die Messgenauigkeit senkt sich bei steigender Grösse des Metalkornes
- Messung nur von elastischen Deformationen

Das Messen der Restspannung durch Neutronendiffraktion

Das Neutron ist etwa 2000 mal schwerer als das Elektron und hat keine elektrische Ladung. Das Neutron kann durch grosse Schichten des Materials ohne Ausnahme durchdringen und beim Aufprall auf das Kristall in günstiger Richtung entsteht die Diffraction.

Die Anordnung des Testes. Neutronen durchdringen ein Blendensystem und abgestoßene Neutronen sind detektiert

Diese Methode ermöglicht die Messung von Beziehungen in Legierungen z.B. FeCo, die mit anderen Methoden schlecht durchführbar ist.



Vorteile:

- Neutronen können grosse Schichten der Materialien bis zu 50 mm bei Al durchstoßen
- Proben grosser Volumen können als Ganze untersucht werden

Nachteile:

- relative Unzugänglichkeit
- niedrige Genauigkeit
- grosse Streuung

Messung der Restspannungen durch Ultraschall

Das Prinzip ist eine Änderung der Geschwindigkeit der Ultraschallwellen im Medium wo sich Spannungen und Hindernisse befinden.

Die Spannungsrichtung ist wirksam in Richtung der Ultraschallwellen, deren Geschwindigkeit sich steigert.

Wenn die Spannungsrichtung wirksam gegen der Richtung der Ultraschallwellen ist, sinkt deren Geschwindigkeit.

Hier besteht die Möglichkeit einer Korrelation zwischen der Ausbreitung der Wellen im elastischem Material, Härte und Porosität.

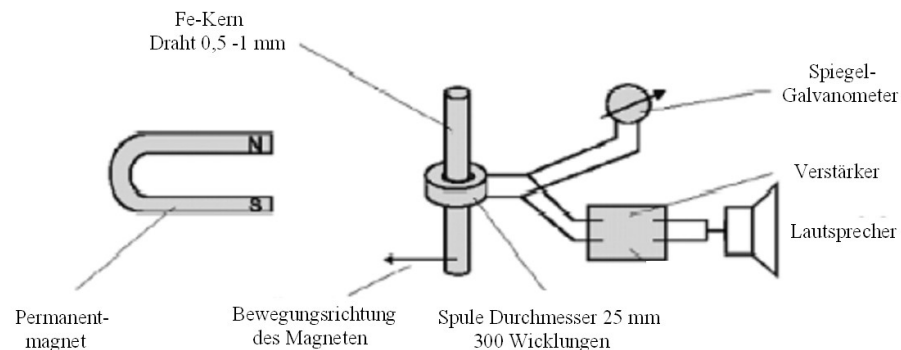
Messung der Restspannungen mittels Magnetfeld

Das Prinzip ist die Ausnützung des Barkhausengeräusches
Beim Heranführen und Entfernen des Magnets in Nähe der
Induktionsspule hören wir aus dem Lautsprecher die Geräusche.
Dies ist abhängig von Materialeigenschaften der Ferrowerkstoffen.

Die Intensität der Geräusche ist je grösser je härter der Eisenkern
der Induktionsspule ist.

Die Zugspannung in der Richtung der Magnetisierung verstärkt das
Geräusch und die Druckbeanspruchung schwächt dieses.

Ursprüngliche Barkhausen-Anordnung (1919)

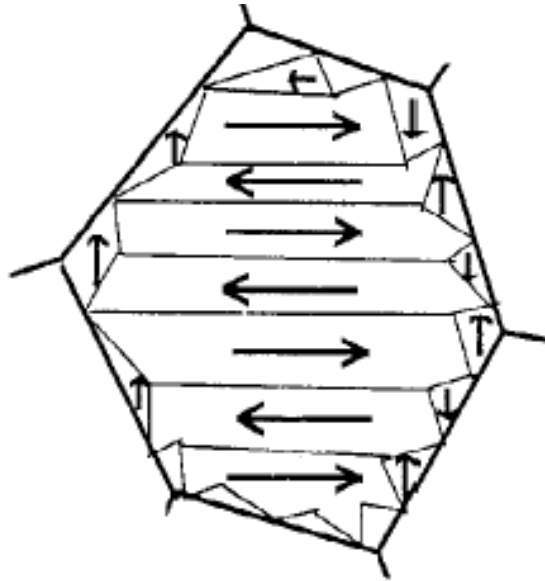


Das Prinzip der magnetischen Eigenschaften

Zusammensetzung alle Materialien aus Weiss-Bereichen von Volumen ca. $0,001-1\text{mm}^3$, die durch s. g. Bloch-Wände getrent sind.

Mittels der Magnetisierung sind ursprünglich systemlos orientierte Gebiete in einer Richtung eingerollt.

Um die Bloch-Wand an einer Seite ausdehnen zu können, muss diese auf zweiter Seite zussamenschrumpfen, und dies verursacht die Inhomogenität in Verlauf der Magnetisierung.



Vorteile:

- nicht destruktiv
- schnell
- operativ

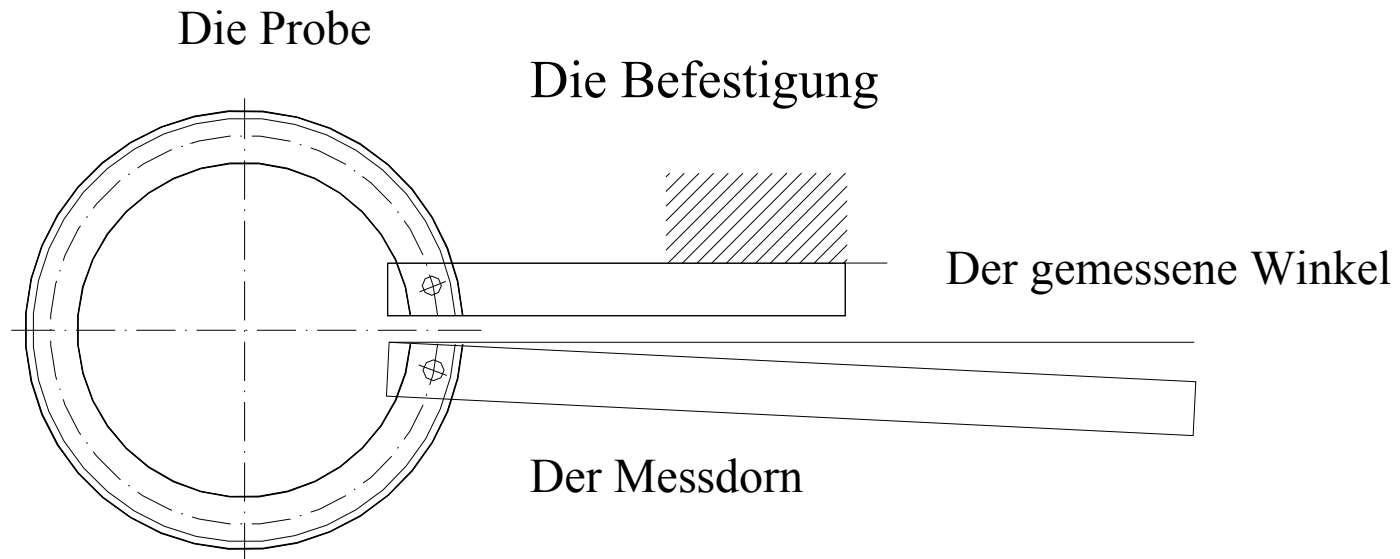
Nachteile

- teure und schwer erreichbare Einrichtung
- komplizierte Einstellung der Apparate
- Vieldeutigkeit der Ergebnisse

Die mechanische Messung der Restspannungen

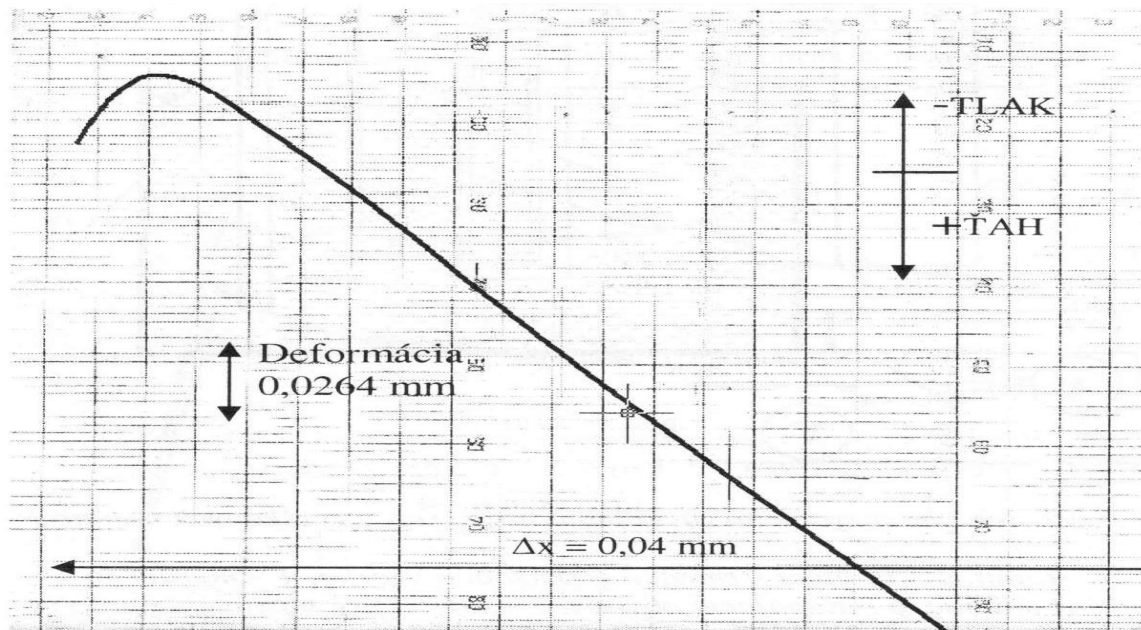
Das Princip: Messung der Deformation bei Abätzen der Oberflächenschichten. Beim Ätzen werden Schichten auch gegenwärtige Restspannungen entfernt, und das äussert sich als Änderung der Deformation, und wird als Änderung der Winkel gemessen.

Die Probe hat eine kreisförmige Darstellung, und bildet einen Krummträger. Der Durchmesser ist 30-100mm.



Die Deformation des Kreises besteht aus

- Moment der Restspannungen
- Verlängerung der gemessenen Proben
- Verlängerung des Messdornes



Aufnahme der geschliffenen Fläche, mit martensitischen Gefüge

Indirekte Messung der Restspannungen

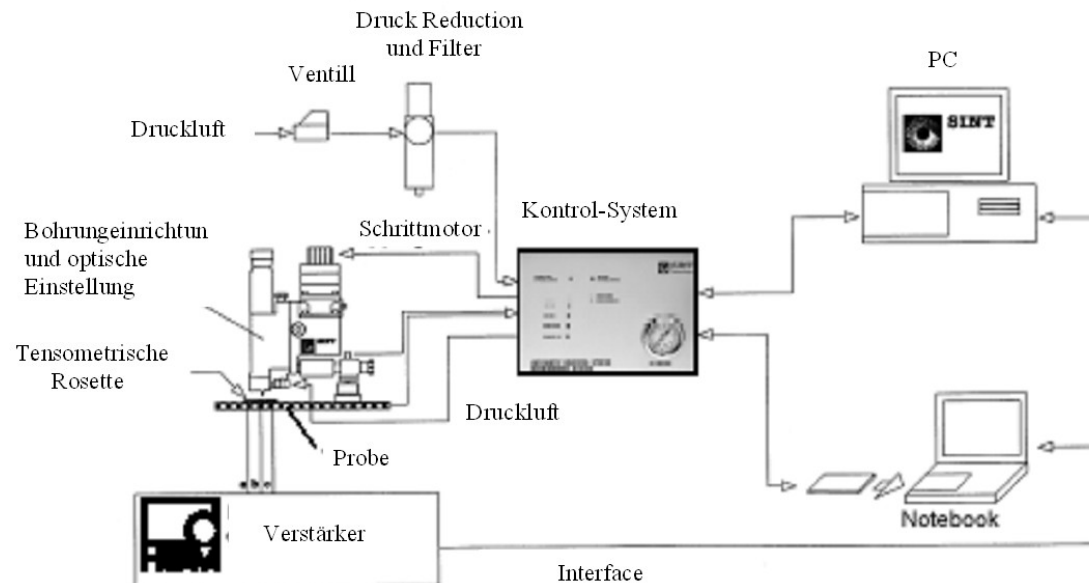
Das Nachbohren der Oberflächenschichten

das Princip: beim Bohren wird ein Teil der Spannung aufgehoben, das wird tensometrisch gemessen.

Je nach der Deformationsrichtung werden die Richtung und ungefähren Spannungen ermittelt.

Der Einsatz ist von der Maximalbetriebstemperatur ist beschränkt.

Block-Diagramm des MTS 3000 Systems



Schlußfolgerung:

Messungen der Restspannungen ist keine einfache und billige Angelegenheit. Aber wegen steigenden Ansprüchen auf Qualität und insbesondere zur Erhöhung der Haltbarkeit ist es nötig grosse Aufmerksamkeit dieser Beachtung zu schenken.

Es ist nicht möglich in der Praxis entstehende der Restspannungen vollig zu vermeiden, aber durch Änderung der Produktionsverhältnisse is es möglich deren Entstehung zu reduzieren.

Hier wurden nur ein paar der Methoden vorgestellt. Es stehen viele Möglichkeiten zur Verfügung, die sind mehr in Labors durchführbarig. Es ist natürlich nicht ausgeschlossen, dass diese Methoden sich in der Zukunft mehr verbreiten werden.

Ich danke für Ihre Aufmerksamkeit
und bin bereit Ihre Fragen zu antworten