



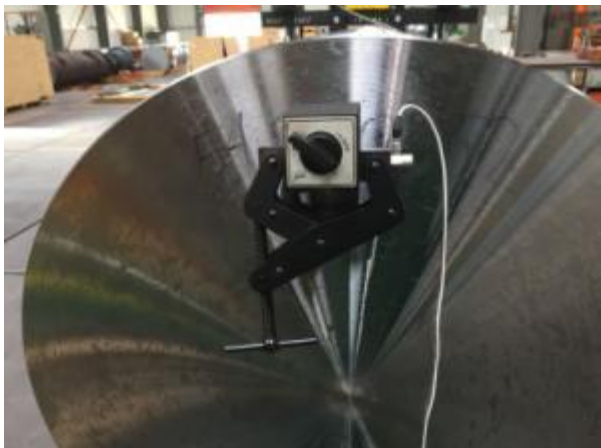
WIAP®

MEMV®



Metall entspannen mit Vibration

BERICHT WM 886 SPANNUNGEN MESSEN



INHALTSVERZEICHNIS

1	Einführung.....	3
2	Spannungsmessung mittels Bohrlochmethode	3
3	Barkhausenrauschen.....	5
3.1	Barkhausenrauschen Analyse	5
3.2	Barkhausenrauschen - das Phänomen	5
3.3	Barkhausenrauschen – die Eigenschaften	6
3.4	Barkhausenrauschen Analyse – Anwendungen	7
4	Röntgenographische Eigenspannungsmessung.....	7
4.1	Der Begriff „Eigenspannungen“	7
5	Messung von Eigenspannungen (sin2y-Verfahren)	8
6	Aufgabenstellung	11
6.1	Cut-Compliance Methode	11
7	Messung der Eigenspannungen.....	11
8	Einteilung der Eigenspannungen nach Wirkungsfeld und Auswirkungen	11
8.1	Beurteilung der Auswirkungen	12
9	Cut-Compliance Methode	12
10	Zwischen Bericht 2014 Themen Basis	13
11	Indikator für mechanische Spannungen «STRESSVISION».....	25
12	Poldi Neutron Diffractometer	30
13	Prüfmethode WIAP MEMV Typ A G Verschiebung	30
14	G Erklärung.....	32
14.1	Physikalische Grundlagen.....	32
14.2	Spezialfälle Gleichmäßige geradlinige Beschleunigung.....	33
	Beispiele	33
15	Quellenverzeichnis.....	33
16.	Kontakt.....	Fehler! Textmarke nicht definiert.

...

1 EINFÜHRUNG

Für das Metall entspannen mit Vibration MEMV® ist das Messen der Bauteile während des Prozesses, der wichtigste Bestandteil der Durchführung. Bei geglähten Werkstücken kann man bis heute hauptsächlich von Erfahrungswerten sprechen.

Die WIAP hat ein Verfahren entwickelt, bei welchem, nebst einer erweiterten Entspannungsmethode, auch das Messen sehr stark berücksichtigt wird.

An vielen Stellen eines Bauteils werden Werte gemessen und ausgewertet. Diese Messresultate sind heute sehr aussagekräftig. Auch bei geglähten Bauteilen können wir genau erkennen, wie sich die Unterschiede verhalten gegenüber ungeglähten Bauteilen.

Flammgerichtete oder andere Werkstücke, welche normalerweise nicht gegläht werden können, entspannen wir mit dem Verfahren WIAP MEMV.

Bei allen Werkstücken sind immer die Messresultate ein wichtiger Bestandteil.

Folgend werden einige Messmethoden genannt, welche zum Spannungen messen angewendet werden.

2 SPANNUNGSMESSUNG MITTELS BOHRLOCHMETHODE

Die Bohrlochmethode gehört zu den am häufigsten eingesetzten mechanischen teilzerstörenden Verfahren mit einer international anerkannten Norm (AST E 837-99). Bei der Bohrlochmethode erfolgt die Bestimmung der inneren Spannungen eines Werkstoffes durch die Verformungs-

änderung beim Werkstoffabtrag. Durch die Bohrung entstehen freie Oberflächen, was zur Auslösung der Eigenspannungen und damit zur Verformungsänderung führt. Die Verformung wird mit Hilfe von Dehnmessstreifen, so genannten DMS-Rosetten registriert (Bild 4.13).

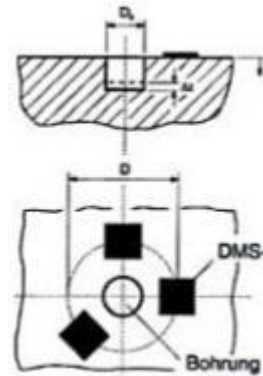


Bild 4.13: Messanordnung bei der Bohrlochmethode, schematische Darstellung Beobachtung des Bohrvorgangs mit dem Videomikroskop

Bei einer schrittweisen Einbringung der Bohrung stellt sich bei jedem Tiefenschritt in der Umgebung der Bohrung ein neuer Gleichgewichtszustand ein, da die Spannungen senkrecht zu der erzeugten lastfreien Bohrungszylinderfläche verschwinden müssen. Für jeden Tiefenschnitt Δz werden die Dehnungen auf der Bauteiloberfläche in radialer Richtung registriert und als Funktion der Tiefe z aufgetragen. Um einen Zusammenhang

zwischen der in der Tiefe ausgelösten Eigenspannung R und den an der Oberfläche registrierten Änderung in den Dehnungssignalen $\Delta\epsilon$ zu erhalten, ist eine Kalibrierung an einem bekannten, meist homogenen Spannungszustand mit Hilfe eines Standards notwendig.

Zur Auswertung der Eigenspannungen stellen sich verschiedene Verfahren dar, wobei das wohl gebräuchlichste die Eigenspannungsermittlung über eine Eigenspannungstiefenverteilung ist, da hier die Gradienten der Eigenspannungsverteilung über die Tiefe betrachtet werden. In der Praxis haben sich hierfür mehrere Verfahren durchgesetzt, wobei im folgenden nur kurz auf das Verfahren nach Kelsey eingegangen werden soll.

Kelsey führt zur Eigenspannungsberechnung einen Proportionalitätsfaktor K (Gl. (4.11)) ein, da bei der Bohrlochmethode die gemessenen Dehnungsänderungen $\Delta\epsilon$ nicht direkt über das Hooke'sche Gesetz in Spannungen umgerechnet werden dürfen. Dies ergibt sich, da die Spannungen in einem Tiefeninkrement Δz beim Bohren nur teilweise ausgelöst werden:

$$\Delta\epsilon_{z_i} = K \cdot \frac{R_{z_i}}{E}$$

Mit

$\Delta\epsilon$ Dehnungsänderung

K Proportionalitätsfaktor = f

(Bohrungsdurchmesser D_0 ,

Geometrie und Anordnung der

DMS, Bohrungstiefe z.

Für die Berechnung der Eigenspannungen nach Kelsey für den zweiachsigen Fall ergibt sich unter Betrachtung der bei einem

Bohrschritt Δz in einer Tiefe z_i an der Oberfläche gemessenen Dehnungssinkremente $\Delta\epsilon$ folgende Beziehung (Gl. (4.12) und (4.13)):

$$R_x = \frac{E}{K_x^2 - \mu^2 \cdot K_y^2} \cdot [K_x \cdot (\Delta\epsilon_x) + \mu \cdot K_y \cdot (\Delta\epsilon_y)]$$

$$R_y = \frac{E}{K_y^2 - \mu^2 \cdot K_x^2} \cdot [K_y \cdot (\Delta\epsilon_y) + \mu \cdot K_x \cdot (\Delta\epsilon_x)]$$

Darin bedeuten:

μ Querkontraktionszahl vom

Werkstoff

K Proportionalitätsfaktor

Im Bild 4.14 ist der experimentelle Aufbau einer zur Bohrlochuntersuchung dargestellt.

Die meisten Messeinrichtungen zur Bohrlochmessung ermöglichen es, Bauteile mit sehr komplexen Geometrien und in verschiedensten Größen zu untersuchen.

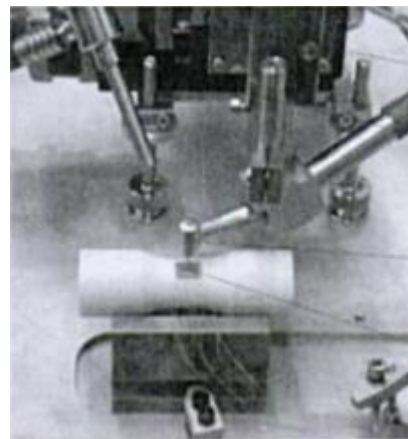


Bild 4.14: Bohrlochverfahren im Labor

Die Ergebnisse einer Bohrlochuntersuchung mit einem Eigenspannungstiefenverlauf an einer 300 μm dicken Hartchromschicht auf einem Kupfergrundkörper sind in Bild 4.15 dargestellt. Bei diesem Messprinzip muss beachtet werden, dass die optimale Eindringtiefe vom Durchmesser des verwendeten Bohrers abhängig ist, wobei ab

einer Eindringtiefe von ca. 1 mm keine verlässliche Auswertung der Ergebnisse mehr möglich ist.

Cu mit Hartchromschicht

Pos. Mitte

▣ Sigma X

◇ Sigma Y

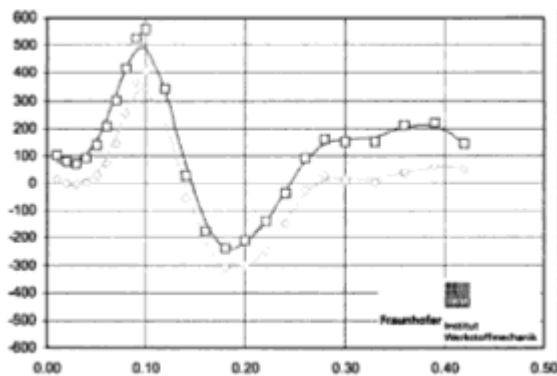


Bild 4.15: Eigenspannungstiefenverteilung am Beispiel einer Hartchromschicht bestimmt mittels der inkrementellen Bohrlochmethode

Ein wesentlicher Vorteil der Bohrlochmethode steht in einer relativ einfachen Messdurchführung. Die Messungen erfolgen lokal mit einer sehr hohen räumlichen Auflösung. Mit Hilfe des inkrementellen Bohrlochverfahrens ist es möglich, Tiefenverteilungen der Eigenspannungen zu messen.

Der Nachteil dieser Methode liegt in dem teilerstörenden Messprinzip, wobei dies in Abhängigkeit vom Einsatz des Bauteils betrachtet werden muss, da es sich lediglich um sehr kleine Bohrungen handelt.

3 BARKHAUSENRAUSCHEN

3.1 Barkhausenrauschen Analyse



Die Barkhausenrauschen Analyse (BNA), genannt auch magnetoelastische oder mikromagnetische Methode, beruht auf dem Prinzip von induktiven Messungen eines rauschartigen Signals, welches bei Magnetisierung eines ferromagnetischen Bauteils erzeugt wird. Nach dem deutschen Wissenschaftler Professor Heinrich Barkhausen, der das Prinzip dieses Phänomens schon im Jahre 1919 erklärt hat, wird das Signal Barkhausenrauschen genannt.

3.2 Barkhausenrauschen - das Phänomen

Ferromagnetische Materialien besitzen kleine magnetische Bereiche, die modellhaft winzigen Stabmagneten ähneln und Domänen genannt werden, oder auch Weißsche Bezirke. Jede Domäne wird entlang einer bestimmten kristallographischen Vorzugsrichtung magnetisiert. Die Domänen werden voneinander durch Grenzen getrennt, die als Domänenwände oder Blochwände bekannt sind. Durch Wechselmagnetfelder bewegen sich die Domänenwände hin und her. Damit sich eine Domänenwand bewegen kann, muß sich die Domäne an einer Seite der Wand vergrößern, während die Domäne an der Gegenseite schrumpft. Das Ergebnis ist eine

Änderung der allgemeinen Magnetisierung des Teils.

Wenn eine Spule aus leitfähigem Draht in die Nähe eines ferromagnetischen Bauteils gestellt wird, während die Domänenwand sich bewegt, erzeugt die entstehende Magnetisierung einen elektrischen Impuls in der Spule. Erstmals wurden die elektrischen Betrachtungen der Bewegung der Domänenwand von Professor Heinrich Barkhausen im Jahre 1919 gemacht. Er hat bewiesen, dass der Magnetisierungsprozess, der durch eine Hysteresekurve charakterisiert wird, eigentlich nicht stetig und ununterbrochen abläuft, sondern aus kleinen, sprungartigen Schritten besteht, die entstehen, wenn sich die magnetischen Domänen unter dem angewandten Magnetfeld bewegen. Wenn alle elektrischen Impulse, die durch alle Domänenbewegungen entstehen, addiert werden, wird ein rauschartiges Signal oder das Barkhausenrauschen erzeugt.

Das Barkhausenrauschen verfügt über ein Leistungsspektrum, das bei der Magnetisierungsfrequenz beginnt und bei den meisten Materialien bis über 2 MHz ansteigt. Es wird exponentiell gedämpft als eine Funktion des Abstands, um welchen es sich im Material bewegt hat. Dies wird vor allem durch die Wirbelstromdämpfung verursacht, die durch die sich vermehrenden elektromagnetischen Felder entsteht, die durch die Domänenwände erzeugt werden. Das Ausmaß der Dämpfung legt die Tiefe fest, in der Informationen erfasst werden können (Messtiefe). Die Hauptfaktoren, die diese Tiefe beeinflussen, sind

der Frequenzbereich des analysierten Barkhausenrauschens sowie

die Leitfähigkeit und Permeabilität des Prüfmateri-als.

Die möglichen Messtiefen für praktische Anwendungen befinden sich zwischen 0,01 und 1,5 mm, in der Regel wird zur Randzonenanalyse (Schleifbrandprüfung) nur der oberflächennahe Bereich bis ca. 0,05 mm Tiefe ausgewertet.

3.3 Barkhausenrauschen – die Eigenschaften

Zwei wichtige Materialeigenschaften beeinflussen vorwiegend die Intensität des Barkhausenrauschensignals:

Eine davon ist die Größe, das Vorzeichen und die Verteilung der elastischen Spannungen im Mikrogefüge, die den von Domänen gewählten und in der Vorzugsrichtung der Magnetisierung geschlossenen Weg beeinflussen. Dieses Phänomen von elastischen Eigenschaften, die mit der Struktur der Domänen und den magnetischen Eigenschaften des Materials zusammenwirken, wird magnetoelastische Interaktion genannt. Durch die magnetoelastischen Interaktion verringern Druckspannungen die Intensität des Barkhausenrauschens, während die Zugspannungen die Intensität vergrößern. Dies gilt für Materialien mit positiver magnetischer Anisotropie (Eisen, die meisten Stahlsorten und Kobalt, bei Nickel mit negativer magnetischer Anisotropie ist der Effekt genau umgekehrt.) Diese Tatsache wird bei der Messung der Intensität des Barkhausenrauschens ausgenutzt zur Beurteilung des Eigenspannungszustandes in der Randzone des untersuchten Materials. Die Messung stellt auch die Richtung der Hauptspannungen fest.

Die zweite Materialeigenschaft, welche Barkhausenrauschen wesentlich beeinflusst, ist die Mikrogefügestruktur. Dieser Effekt kann näherungsweise über die Mikrohärt-

beschrieben werden: die Intensität des Rauschens verringert sich in Gefüge mit größerer Mikrohärtigkeit. So vermitteln Barkhausenrauschenmessungen Informationen zum mikrostrukturellen Zustand des untersuchten Materials.

3.4 Barkhausenrauschen Analyse – Anwendungen

Viele Oberflächenbearbeitungen, wie z. B. Schleifen, Hartdrehen, Einsatz- und Induktionshärtung, Kugelstrahlen verursachen erhebliche Änderungen in Eigenspannung und Mikrogefügestruktur der Randzone, die mittels Barkhausenrauschen charakterisiert werden können. Die Kontrolle von Hartfeinbearbeitungen (Prüfung auf Schleifbrand) stellt die Hauptanwendung des Barkhausenverfahrens dar. Prozesse wie Kriechen und Ermüdung ändern ebenfalls die Eigenspannung und Mikrostruktur und können mittels Barkhausenrauschen analysiert werden.

Praktische Anwendungen der magnetoelastischen Barkhausenrauschenmethode können allgemein in drei Kategorien eingeteilt werden:

Bewertung der Eigenspannungen; solange die mikrogefügestrukturellen Variablen bekannt und konstant bleiben.

Bewertung des Mikrogefüges; solange die Eigenspannungen bekannt und konstant bleiben.

Prüfen von Randzonen auf Veränderungen in Eigenspannung und Mikrogefüge, welche durch Wärmebehandlungen und Bearbeitungsprozesse beeinflusst werden können:

- * Zerstörungsfreie Feststellung von Schleifbrand, Kontrolle des Schleifprozesses

- * Überwachung von Hartdrehbearbeitungen

- * Kontrolle von Wärmebehandlungen

- * Zerstörungsfreie Prüfung von thermischen Schädigungen des Substrats durch Verchromungsschichten hindurch

- * Bewertung der Oberflächeneigenspannung in Walzen aus Stahl

4 RÖNTGENOGRAPHISCHE EIGENSpannungSMESSUNG

In diesem Versuch werden die Grundlagen der röntgenographischen Eigenspannungsmessung erarbeitet und die Möglichkeiten und Grenzen dieses Messverfahrens am Beispiel einer randschichtgehärteten Probe diskutiert.

4.1 Der Begriff „Eigenspannungen“

Unter Eigenspannungen versteht man allgemein Spannungen in einem Bauteil, auf das keine äußeren mechanischen Beanspruchungen einwirken und das einem räumlich und zeitlich konstanten Temperaturfeld unterliegt. Die mit den Eigenspannungen verbundenen inneren Kräfte und Momente sind im mechanischen Gleichgewicht.

Je nach ihrer Reichweite werden Eigenspannungen in solche 1., 2. und 3. Art unterteilt:

Eigenspannungen 3. Art (inhomogene Mikrospannungen) sind mikroskopischer Natur. Sie ändern Betrag und/oder Richtung innerhalb eines Kornes. Sie entstehen in der Nähe eines Gitterfehlers, z.B. einer Versetzung.

Eigenspannungen 2. Art (homogene Mikrospannungen) sind innerhalb eines Kornes konstant, variieren aber von Korn zu Korn. Sie sind Folge der Streckgrenzenanisotropie, d.h. die

Streckgrenze verschiedener Phasen im Werkstoff ist unterschiedlich, dadurch erfolgt eine plastische Verformung inhomogen. Grund für diese Eigenspannungen können auch unterschiedliche Wärmeausdehnungskoeffizienten verschiedener Phasen in mehrphasigen Werkstoffen sein.

Eigenspannungen 1. Art (Makro-eigenspannungen) erstrecken sich über makroskopische Bereiche eines Werkstücks, d.h. über mehrere Körner. Eigenspannungen 1. Art entstehen beispielsweise bei der Umformung, mechanischer Bearbeitung oder bei der Wärmebehandlung metallischer Werkstoffe.

Bild 1 zeigt den schematischen Verlauf der Spannungen längs eines Gefügeausschnittes mit der entsprechenden Definition der Eigenspannungen 1., 2. und 3. Art.

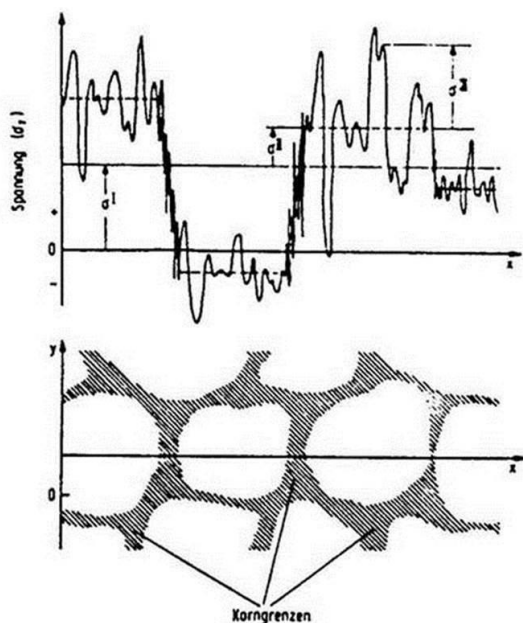
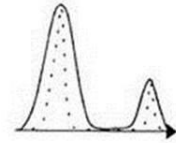


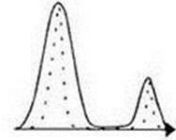
Bild 1: Schematischer Verlauf der Eigenspannungen längs der Oberfläche eines Gefügeausschnittes einer Metallprobe

Eigenspannungen 1., 2., und 3. Art

Eigenspannungen 3. Art



Eigenspannungen 2. Art



Eigenspannungen 1. Art

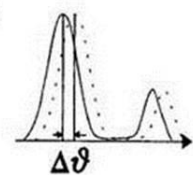


Bild 2: Auswirkung der Eigenspannungen 1., 2. und 3. Art auf die Peaks einer Röntgenbeugungsaufnahme

Da bei der Röntgenbeugungsaufnahme polykristalliner Werkstoffe im allgemeinen mehrere Körner vom Röntgenstrahl erfasst werden, sind Eigenspannungen 2. und 3. Art nicht unterscheidbar und den Eigenspannungen 1. Art überlagert. Sie führen aufgrund einer höheren Streubreite der Netzebenenabstände zu einer Verbreiterung der Peaks. Eigenspannungen 1. Art bewirken hingegen eine Verschiebung der Peakmaxima um $\Delta\theta$, da alle reflektierenden Netzebenen einer Netzebenenschar in gleicher Weise verzerrt werden. Dies wird in Bild 2 verdeutlicht.

5 MESSUNG VON EIGENSpannungen (SIN2Ψ-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 $\sin^2\psi$ -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.

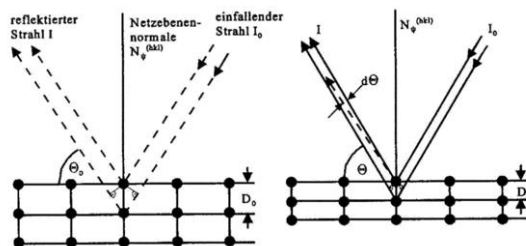


Bild 3: Braggsche Reflexion an einem spannungsfreien (links) und einem verspannten Gitter (rechts)

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 Spannungsmessung. 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.

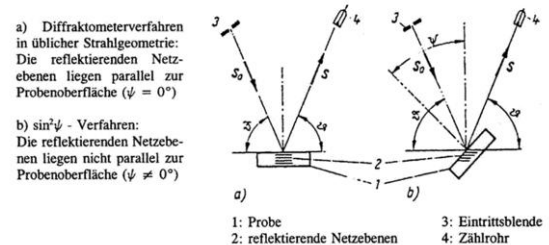


Bild 4: Aufnahmetechnik bei der röntgenographischen Spannungsmessung

Bei der Untersuchung polykristalliner Werkstoffe werden mehrere Kristallite vom Primärstrahl erfasst. Misst man in unterschiedlichen Richtungen γ 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.

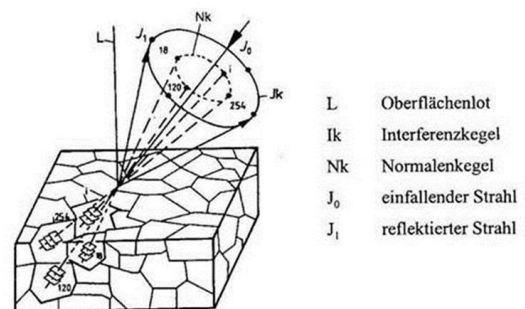


Bild 5: Entstehung des Interferenzkegels in vielkristallinen Werkstoffen

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 j und γ

zugrunde, so lautet die Beziehung zwischen der gemessenen Dehnung $\varepsilon_{j,y}$ und den oberflächenparallelen Hauptspannungen s_1 und s_2 sowie den Hauptdehnungen e_1 , e_2 und e_3 :

$$\varepsilon_{\varphi,\psi} = \varepsilon_1 \cos^2 \varphi \sin^2 \psi + \varepsilon_2 \sin^2 \varphi \sin^2 \psi + \varepsilon_3 \cos^2 \psi$$

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

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{E}(\sigma_1 - \sigma_2),$$

$$\varepsilon_2 = \frac{1}{E}(\sigma_2 - \nu\sigma_1), \quad \varepsilon_3 = -\frac{\nu}{E}(\sigma_1 + \sigma_2)$$

Damit lässt sich Gleichung 1 schreiben als

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

Durch Einführung der Voigtschen Elastizitätskonstanten

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

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

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

$$\text{mit } \sigma_{\varphi} = \sigma_1 \cos^2 \varphi + \sigma_2 \sin^2 \varphi$$

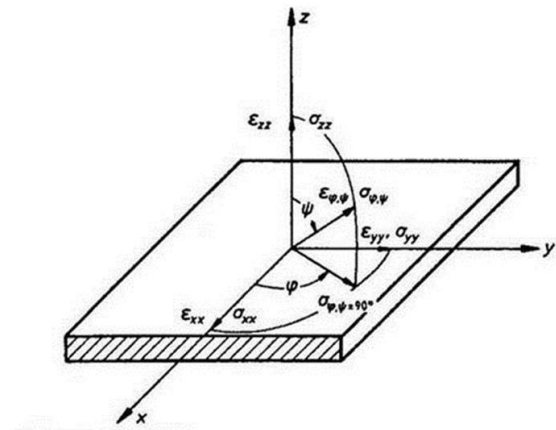


Bild 6: Definition des Koordinatensystems mit den Winkeln j und y

Die Bestimmung des ebenen Spannungszustandes ist somit auf die Ermittlung der Gitterdehnung $\varepsilon_{j,y}$ 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 j wirksamen Spannungskomponente s_j 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 j -Richtungen zu messen.

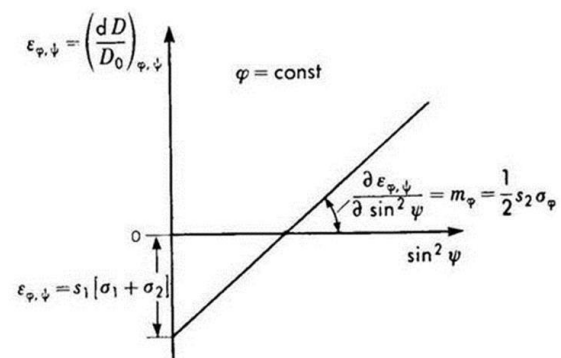


Bild 7: Dehnungsverteilung in der Azimutebene $j = \text{konst.}$ eines ebenen,

oberflächen-parallelen Spannungszustandes

6 AUFGABENSTELLUNG

An einer laserstrahlgehärteten Probe sind die Spannungskomponenten parallel und senkrecht zur Vorschubrichtung des Lasers röntgenographisch zu messen. Die Auswertung erfolgt mit Hilfe der sin2 ψ -Auftragung.

6.1 Cut-Compliance Methode

7 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.

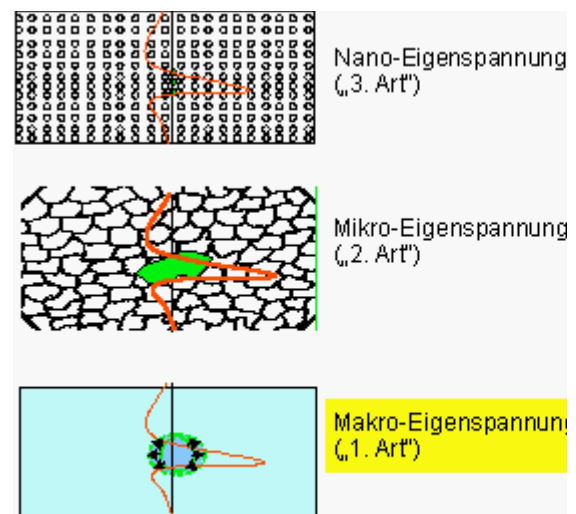
Wenn zur Messung ein vorgängiges Zerschneiden des Bauteils notwendig ist,

sind die dadurch bewirkten Spannungsänderungen unbedingt zu berücksichtigen.

8 Einteilung der Eigenspannungen nach Wirkungsfeld und Auswirkungen

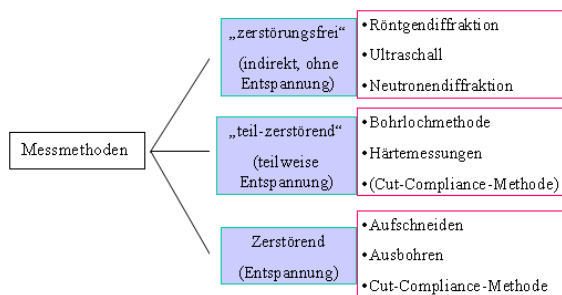
Je nach Wirkungsfeld unterscheidet man zwischen Makro- und Mikro-eigenspannungen (bzw. Eigenspannungen der 1., 2. und 3. Art, siehe schematische Darstellung). Von technischer Bedeutung sind in erster Linie die makroskopischen. Diese können das Bruchverhalten, die Lebensdauer oder die Formstabilität eines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

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





Eigenspannungsbedingter 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 Eigenspannungen 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](#).

8.1 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, Spannungsriisskorrosion, 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.

9 CUT-COMPLIANCE METHODE

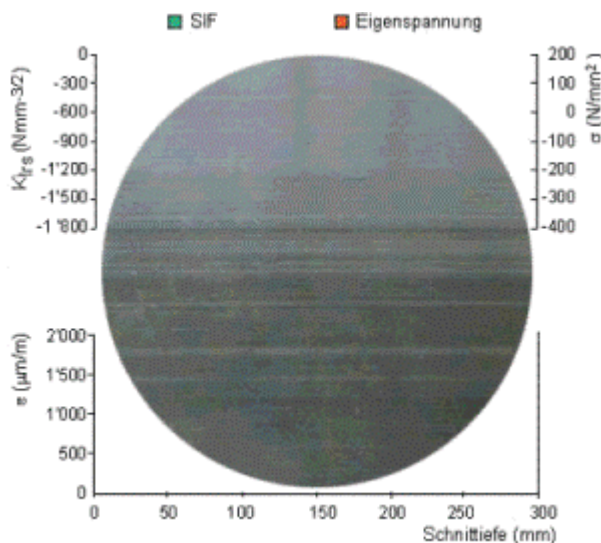
Mit der Cut-Compliance-(CC-) Methode, an deren Entwicklung Mat-Tec massgeblich beteiligt war (und ist), lassen sich die Eigenspannungsverläufe über einen ganzen Querschnitt eines Bauteils effizient und zuverlässig messen. Für nähere Erläuterungen wird auf Publikationen (PDF) verwiesen:

[Some Steps Towards Automation of the Crack Compliance Method to Measure Residual Stress Distributions, ICRS5, 1997](#)

[Experimental Determination of Crack Closure by the Cut Compliance Technique, in: Advances in Fatigue Crack Closure Measurement and Analysis, ASTM STP 1343, 1999](#)

Dazu lässt sich auch direkt der Verlauf der Rissbeanspruchung infolge der Eigenspannungen in Form des Verlaufs des Spannungsintensitätsfaktors ermitteln. Dieser ist für bruchmechanische Ermüdungs- und Lebensdauerberechnungen erforderlich. Damit ist die CC-Methode auch geeignet, Risschliesseffekte experimentell zu ermitteln (PDF: Charakterisierung und Abschätzung des Ermüdungsrisssverhaltens im Bereich des Schwellenwerts). Die CC-Methode lässt sich auch als teilerstörendes Verfahren zur Ermittlung der Eigenspannungen bis in eine gewisse Tiefe anwenden (PDF: Near-surface stress measurement in 2D and 2D by the cut compliance technique, Material Science Forum, 2002). Damit lassen sich Eigenspannungen an grösseren Objekten in-situ messen. Zur CC-Methode ist zurzeit eine ASTM-Norm in Vorbereitung, in deren Drafting-Committee auch die Mat-Tec AG Einsitz hat.

Beispiel einer Eigenspannungsmessung und Ermittlung des daraus resultierenden Spannungsintensitätsfaktors in einer geschmiedeten Welle



©

10 ZWISCHEN BERICHT 2014 THEMEN BASIS

Bemerkung: Dieser Bericht wurde automatisch aus dem Vietnamesisch auf Deutsch übersetzt, daher sind nicht alle Satz und Wortstellungen richtig.

Inhalt

- I. Informationen und Finanzierung, Beibehaltung und Forschung
- II. Zusammenfassung
- III. Schlussfolgerung

Informationsthemen

- Projekttitle: Forschung, Ausbeutung und Nutzung von Restspannungs-messgerät basiert auf dem Effekt Stressvision 2.05 aus elastisch.
- Durchführung: 12 Monate (von 01/2014 bis 12/2014)
- Finanzierung: 60 Millionen VND
- Projektleitung: Luu Vu Nhut, Materialingenieur
- Verantwortliches Referat: Nicht-destruktive Evaluation Center Institut für Atomenergie Huy Vietnam

Gründe

- Das ZfP-Verfahren traditionell als Ultraschall, Röntgen, Wirbelstrom ... können Defekte in Komponenten bewerten und erkennen, sind aber begrenzt den Spannungszustand (Restspannung) von beurteilen es.
- Restspannungen werden immer in dem Körper nach Verformung und Glühen gespeichert, die die Viskosität der Materialien, Änderung verringert und Spannungsverteilung geometrische Stabilität verringern; Vandalismus

Vollständigkeit des Kristalls, Risse in den Oberflächenstrukturen zu schaffen.

- Verfahren aus elastischem (magneto-elastischen), basierend auf Wirkungen von Villari (Italienische Physiker (1836-1904)) angebliche russische Messung DIMENStest Entwicklung. Dies ist nicht-destruktive Verfahren zum schnellen vorherzusagen Position innerhalb der Struktur Restspannungen und Defektprüfung vorgeschoben

Das Ziel des Subjekts

- Forschungs- und Versuchseigen-spannungsmessmethoden zur Verbesserung der Konzentrationsgrade und die Variabilität der Eigenspannungen im Material zu bewerten und zu überwachen. Dies ist ein sehr wichtiger Parameter bei der Bewertung und Vorhersage der Lebensdauer des Objekts und bei der Prävention von korrupten Aktivitäten.
- Anwendung Prüfmethode Yuan fortgeschritten in der Wartung, Instandhaltung und in regelmäßigen Abständen überprüft die Qualität der Geräte, Komponenten, industrielle (Ausrüstung, Rohbau in rauen Bedingungen, wie beispielsweise Last, Druck, Hochtemperatur-Vorrichtungen, wie beispielsweise Druck, Pipeline / Gas, Balken, Kranen, ...).

Wichtige Forschungsinhalte

Inhalt 1: Forschungsmethoden

- Übersicht der Restspannung Messmethoden verwendet heute.
- Forschungsmethoden aus elastischem Villari, physikalischer Natur.
- Lernen und stellt Ausrüstung Betriebsführung Stressvision-2: 05.

Inhalt 2: Kalibrierung und Prüfung

- Bauprozess Geräte Kalibrierung und Vorbereitung
- Umfrage Restspannung Schweißproben Testen vor und nach der Wärmebehandlung mittels elastischen (4 unbehandelten Proben erhitzt + 3 Proben wurden wärmebehandelt).
- Verification Test durch Bohren von Löchern (1 Probe)
- Gasflaschen sammeln Proben und Belastungstests in Position Schweißungen und Wärmeeinflusszone (2 Proben) durchzuführen.

Inhalt 3: Test Process

- Bauprozess Restspannung Testausrüstung unter Verwendung von Standard Stressvision Russland MDS 2.05 53 bis 2,2004

Zusammenfassung der Inhalt

Was sind Belastungen?

Stress (MPa): Spannung ist ein Maß der internen Ressourcen entsteht in deformierbare Körper zeigt aufgrund der Auswirkungen äußerer Ursachen wie Last, Temperaturänderung.

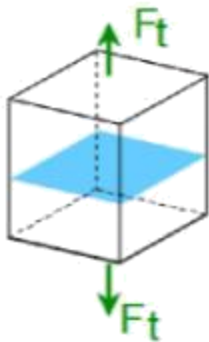
Diese Art von körperlicher Belastung

Zugspannung (die auftreten, wenn der Metallstab gezogen wird)

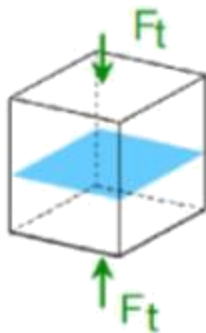
Druckspannung (die auftreten, wenn der Metallstab komprimiert wird)

Schubspannung Biegespannung Druck (Flüssig und gasförmig)

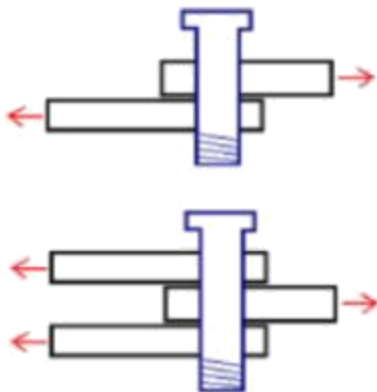
Wenn der Stress können die zulässigen Belastungsgrenzen überschreitet verursachen Zerstörung, Beschädigung Texturen.



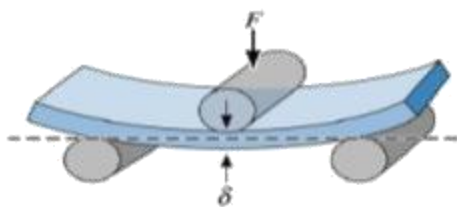
Thanh ch ich u Beibehaltung ng su Á t Pull



Thanh ch ich u Beibehaltung



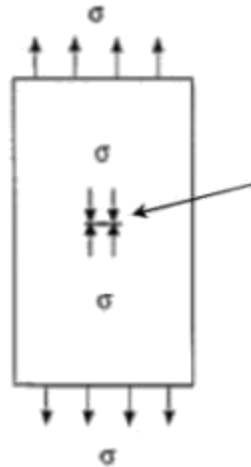
Bolzen B í Stase ng su Á t Kompression



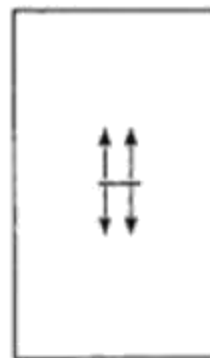
Thanh ch ich u Beibehaltung Thanh ch ich u ng su Á tu abscheulich n

Beibehaltung ng su Á td u Was ist?

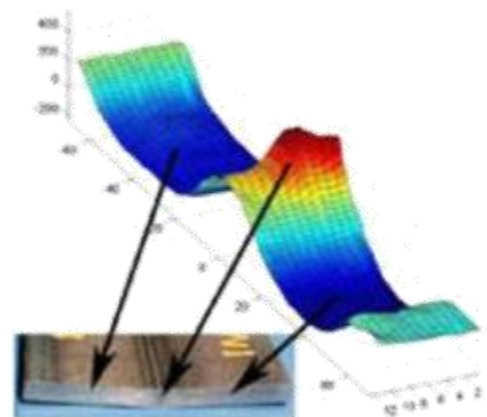
Stress besteht in Teilen, Texturen, ohne die Auswirkungen von ausländischen Kräften, die aufgerufen werden Restspannung.



Unterworfen äußere Kräfte



Wenn ausländische Kräfte verlassen, erscheint SpannungsKonzentration an dem Risse



Spannungsverteilung im Schweißnaht

Inhalt 1 Überblick über die Restspannung Messmethoden:

Origins Restspannung

- Die Restspannung kann im Prozess der Bearbeitung von Artikeln aus Blöcken erzeugt werden, bis zum fertigen Produkt.
- Die Verarbeitungsstufen können Restspannungen erzeugen können, umfassen: Walzen, Gießen, Schmieden oder Schneiden, Biegen, Ziehen, Abtragen (Fräsen ...), die Grundsätze des Schweißens oder während der Verarbeitung die Temperatur oder Prozessstahl

Das Testverfahren Restspannung

zerstörungs Technik NDT und DT Zerstörungstechniken: Die Restspannung Messtechniken können in zwei Gruppen unterteilt werden.

Phương pháp	Thời gian đo & điều kiện đo	Bề phân đo	Chiều sâu đo	Độ chính xác	Ưu nhược	Đặc trưng
Phương pháp cắt bỏ	1 đến 20 phút	0,1 mm đến 20 mm	40 đến 100 mm	10 đến 20	Ảnh hưởng của trục vật liệu	Vết cắt
Phương pháp khoan	1 đến 10 phút	1 mm	0,1 đến 1 m	10 đến 20	Non-destructive	Vết khoan
Phương pháp dùng đầu xoay	10 đến 10 phút	1 mm	40 đến 100 mm	-	Vết lõm trên bề mặt của trục vật liệu	Vết lõm
Phương pháp chiếu xạ tia X	10 đến 2 giờ	0,1 mm	5 đến 20 mm	5 đến 10	Cần thiết dụng cụ và kích thước hạt	Không vết
Phương pháp đo biến dạng	40 phút đến 2 giờ	0,1 mm	20 mm	20	Ảnh hưởng của trục vật liệu	Không vết
Phương pháp đo biến dạng	1 đến 10	-	1 đến 10 mm	± 5%	Vết lõm	Vết lõm

Loch Bohrverfahren

- Das Prinzip dieser Methode ist: Wenn das Material Restspannung vorhanden ist, wird Das Prinzip dieser Methode ist: Wenn das Material Restspannung vorhanden ist, wird unterschiedlicher Grad der Verzerrung in der Lage sein, verarbeitet werden, die Daten bereitstellt, die Restspannungen zu berechnen.

- Um zu untersuchen, zunächst muß in die Probe ein Loch tief in dem Lochdurchmesser und kleiner als die Dicke der Probe bohren (wenn die Tiefe größer ist ©

als der Durchmesser des Lochs sehr schwierig ist, die Genauigkeit der Genehmigung, um sicherzustellen, Maßnahme). Messung die Verformung der Lochbearbeitung in verschiedenen Positionen mit Hilfe von Moire-Interferometrie, Laser-Interferometrie oder holographischen Laser.

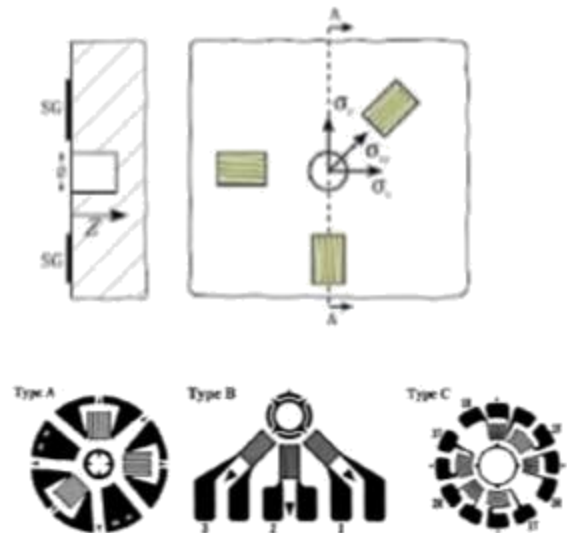
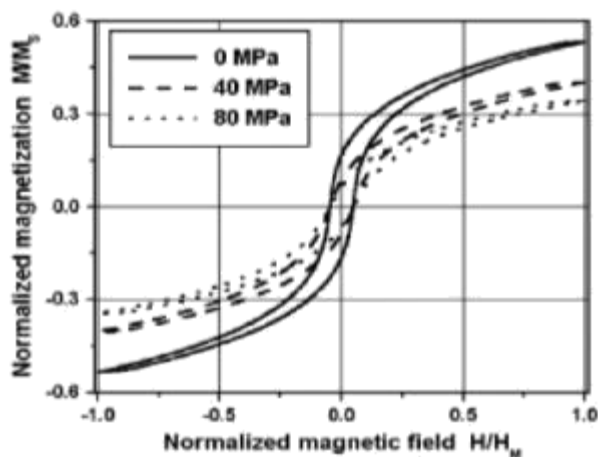
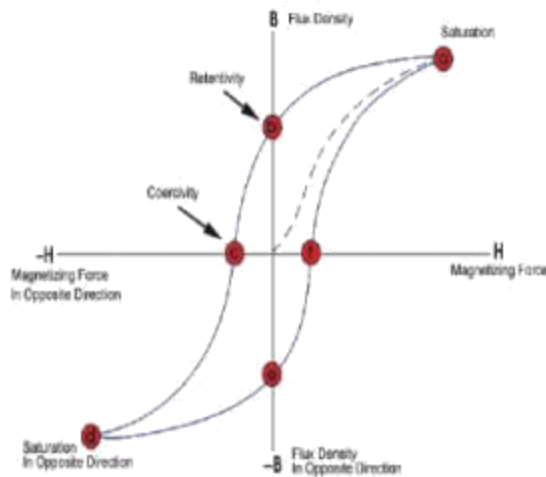


Fig. 2.1 - Strain gauge rosettes used in ASTM E837-08

Das Layout Blattform-Messwiderstand nach ASTM E837-08

Magnetverfahren

- Es gibt zwei Methoden aus dem magnetostriktiven und Barkhausen-Rauschen Methoden, die auf Leitfähigkeitsmessungen von dem Sensor und von da um die Bewegung der Domäne aus analysieren. Wenn magnetostriktive Materialien, wird es von wechselnder Domain betont werden: Die Domain, um das Wachstum von Eigenspannungen ausgerichtet ist, ziehen (magnetostriktiven positiv) und Druckrestspannung (magnetostriktiven Ton).



Ultraschallverfahren

• Die Veränderung der Ultraschallgeschwindigkeit kann gemessen werden, wenn das Material belastet wird, kann diese Änderung entlang der Wellen mittlere Spannung gemessen werden. Die negative Koeffizient Elastizität für die Analyse benötigt wird, wird dieser Koeffizient durch Experiment bestimmt. Verschiedene Arten von Wellen können verwendet werden, aber die am häufigsten verwendeten Methoden sind Longitudinalwellen. Die maximale Empfindlichkeit wird erzielt, wenn die Ausbreitungsrichtung und die gleiche Belastung. Die Gleichung, die Restspannung zu berechnen, sind:

$$V = V_0 + K\epsilon$$

V_0 - Geschwindigkeit; ϵ - Stress;

K - Elastizitätskoeffizient negativ.

Neutronenbeugung

• Neutronenbeugung ist ein zerstörungsfreies Verfahren zur Eigenspannungen im Material Einkristall zu bestimmen. Neutronendiffraktion den Wert der elastischen Verformungskomponente parallel zu der Streuvektor wissen, die sich aus der Belastung berechnet werden kann. Neutronenbeugungsmessungen von Störungskomponenten aus den Veränderungen in dem Kristallgitterabstand. Gitterverformung kann aus der Gleichung von Bragg gefunden werden:

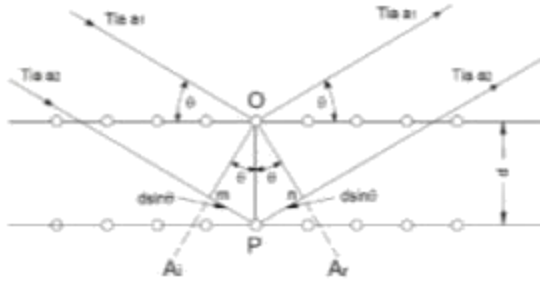
$$2d\sin\theta = n\lambda$$

$$\text{mit } \lambda = \Delta d / \cos\theta$$

XRD

• Dies ist einer der nicht-destruktives Verfahren zur Messung von Restspannung am häufigsten verwendet wird.

• Röntgenbeugungsverfahren auf der Grundlage der Eigenspannungsmessung der Beugungswinkel definiert ist, mit der größten Intensität auftritt, wenn die Röntgen Form. Aus diesem Blickwinkel kann den Abstand d zwischen der Beugungsebene kennen. Restspannungen in dem Material führt zu Veränderungen des Abstandes zwischen der Ebene (D) als die nicht vorhandenen Spannungszustand. Diese Änderung wurde verwendet, um die elastische Verformung durch die Änderung des Beugungswinkels abzuleiten.



Inhalt 1: Forschungsmethoden aus elastischen Villari, physikalischer Natur

• Verfahren zur Elastizität auf der Grundlage der Wirkung von Villari ist eine NDT-Methode erweiterte Hilfe schnell Restspannung überprüfen und möglicherweise vorhersagen, wo Mängel in der Struktur können den Computer anschließen und die Anzeige Verteilung 2D, 3D-Untersuchungsgebiet Stress, Zeit für einen Messpunkt von 1-2s, erfordert keine Oberflächenvorbereitung und die gemessene Tiefe bis 12 mm.

• Welt Methoden der elastisch - 02.05 Stressvision Gerät wurde verwendet und entwickelt mehr als 25 Ländern: Russland, Kanada, Brasilien, Australien ... das einzige Gerät in Vietnam

Vorteile

- 1. 2s schnelle Messzeit
- Nicht der Betreiber von 1,2 Yuan verlangen
- Simulation 2D, 3D Spannungsverteilung Karte
- Prüfen Sie Spannungskonzentrationsfaktor
- Low Cost
- hohe Empfindlichkeit
- Mobile, 2,5 kg
- Keine hohen Anforderungen an die Oberflächenvorbereitung (Farbe, kann die Regierung bis 4 mm).



GRUNDLAGEN DER METHOD OF ELASTIC

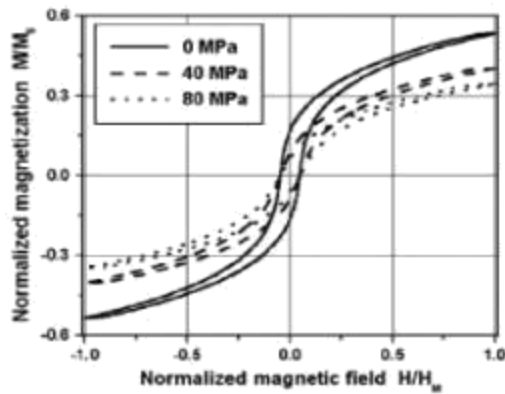
Hysteresese

• Wie folgt beschrieben: wenn ferromagnetisches Objekt zu einem Magnetfeld von jeder magnetisiert, wenn wir das Magnetfeld zu verringern und wieder zurück in der entgegengesetzten Richtung, ist es nicht mehr original Magnetisierungskurve zurückkehrt, sondern geht andere Art und Weise.

• Wenn die Restspannung besteht in dem Material wird die Hysteresekurve ändern, das Material schwierig zu magnetisieren. Figur Parteien beschreiben den Prozess von materiellen Gütern bestehen, wenn Stress von 0, 40, 80 MPa.

• Die Beziehung zwischen der Restspannung und damit verbundener magnetischer Empfindlichkeit S,

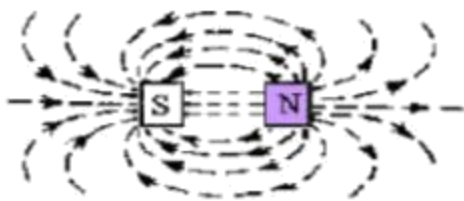
$$S = \partial B / \partial \sigma$$



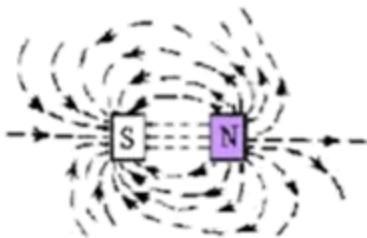
Stress wirkt sich auf die Hysteresekurve

Magnetische Kraftlinien

- Magnetischen Kraftlinien die geschlossene Schleife bilden, schneiden nicht mit der gleichen Intensität und gibt es innerhalb und umgebenden Objekten aus der Natur oder aus der Schule. Wenn dieses Magnetfeld auf das ferromagnetische Material angelegt, so wird diese ferromagnetische Materialien innerhalb des Kraftlinie aus der gleichen Richtung wie die ursprünglichen magnetischen Kraftlinien magnetisieren und erstellen. Wenn heterogene Materialien (aufgrund der Restspannung) den Weg der magnetischen Kraftlinien im Innern des Materials verändern.



homogene Materialien



Heterogene Materialien (Restspannung Einfluss)

Prinzip Ausrüstung

Wenn auf der Oberfläche des Testobjekts die Sonde platziert, Roll- Reiz

E_1 E_2 erzeugt ein Magnetfeld in dem Material, messen stimulierende Spulen D_1 D_2 ändern create magnetische Induktion B_c , Diese Änderung induzierte elektro Leistung (Spannung U) in der Spule, Spannung ist ein Schlüsselparameter Spannungszustand in dem Material zu beurteilen.

$$U = K (\omega_2 / \omega_1) B_c S_0 f \sin \beta$$

Unter ihnen:

B_c - magnetische Induktion (Tesla);

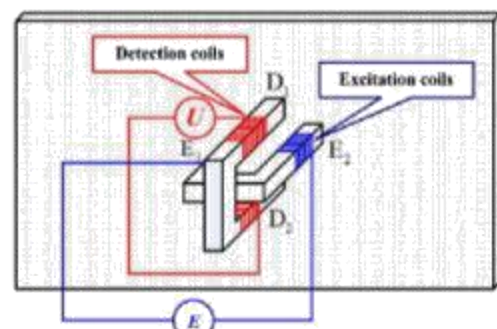
S_0 - Cross-bedeckte Spule;

K - Skalierungsfaktor;

f - Frequenz;

β - Der Winkel zwischen der Meßspule ω_2 und Induktion von B ;

ω_1, ω_2 - Anzahl der Spulen.



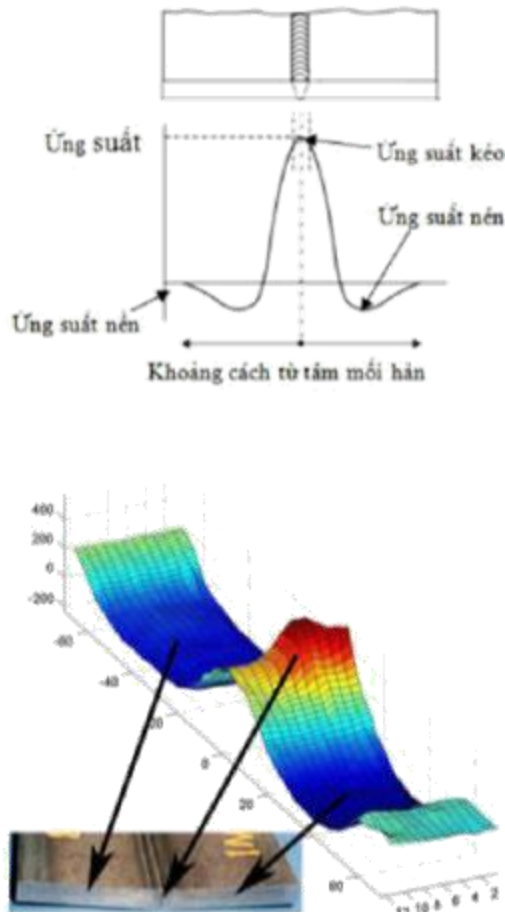
Structure Probe

Inhalt 2: Testen Proben Schweiß

Restspannungsverteilung in dem Schweiß

- Standard Stress vor keine Schweißplatte.

- Spannungen nach dem Schweißen in drei Hauptbereiche: die Schweißnähte unter Zugspannung, Basismetallbereiche betonten Hintergrund (kann gezogen oder zusammengedrückt wird) und der Übergangsbereich unter Druckspannung



Inhalt 2: Testen Proben Schweiß

Das Testobjekt

- Schweißverfahren: arc, Probengröße 150x150x10mm.
- Anzahl der Messpunkte: 49 bis 60 Punkte.
- Grid: der auf dem Papier, der Entfernungsmesspunkt $x = 15 \text{ mm}$, $y = 15 \text{ mm}$

- Meßmethoden: survey Restspannung Schweißnaht 4 Proben vor und nach der Wärmebehandlung

- Heizbetrieb „Schweißen Science and Technology“, Md Ibrahim Khan

Vorbereitung der Test

- Vor der Durchführung des Tests die Flecken durch Schweißen Schlacke, Staub verursacht zu reinigen und beseitigen Unregelmäßigkeiten in der Oberfläche größer als 0,5 mm.
- Die Mindestgröße beträgt 80 x 100 mm der Test.
- Wer kann das Netz verwenden, um direkt auf die Oberfläche des Papiers Scheck oder Jungs zu malen an die Oberfläche und fügen Sie anschließend Inspektion. Mindestanzahl der Meßpunkte Gitter 25, die jeweils 5 Reihen x 5 Spalten.



Bảng 2. Các mẫu sử dụng trong thí nghiệm

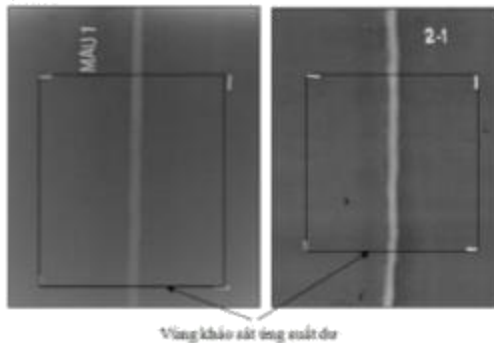
Số	Mẫu	Chỉ độ sóng	Phương pháp đo	Mục đích
1	Mẫu 1	600 độ, 30 phút	Đo kiểm chứng bằng khoan lỗ	Kiểm chứng giá trị đo bằng phương pháp khoan lỗ sau khi đã xử lý nhiệt và tháo rời ứng suất bằng STRESSTRON.
			Ứng suất trước và sau khi XLN	
2	Mẫu 2	600 độ, 60 phút	Ứng suất trước và sau khi XLN	Nghiên cứu ảnh hưởng của thời gian giữ nhiệt (30, 60, 120 phút) đến tập ứng suất dư các mẫu mối hàn.
4	Mẫu 3	600 độ, 120 phút	Ứng suất trước và sau khi XLN	
4	Mẫu 4	600 độ, 120 phút	Ứng suất trước và sau khi XLN	Nghiên cứu ảnh hưởng của xử lý nhiệt và tháo rời ứng suất dư các mẫu mối hàn.
5	Mẫu 5	Không xử lý nhiệt	Ứng suất tại vị trí khuyết tật	Mẫu chuẩn để đo UT đã biết trước vị trí khuyết tật.

Ausgang Experiment

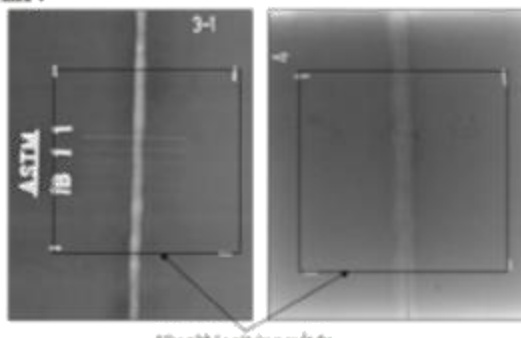
ch emplacements p RT Film

- RT Fotografie Strahlung durchgeführt wird vor dem Brennen und nach maschinell STRESSVISION 02.05 Restspannung zu messen.
- Der Zweck der Testschweißungen RT ist das bestehende Muster hoher Eigen-spannungen zu berücksichtigen bestehen, wenn eine Behinderung? Normalerweise wird die Belastungstestergebnisse an der Schweißzone höher ist als das Grundmetall sollten alle Proben Schweißfehler zu testen, werden entnommen.

Mẫu 1 & mẫu 2

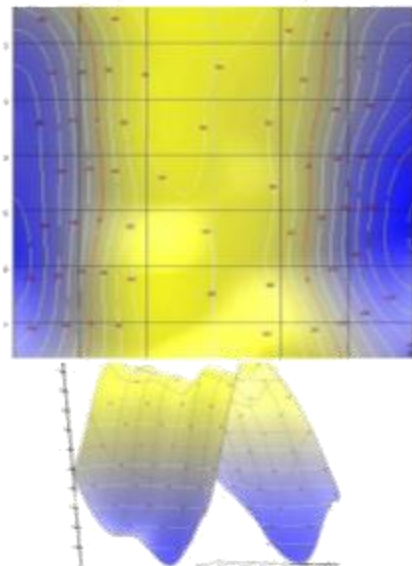
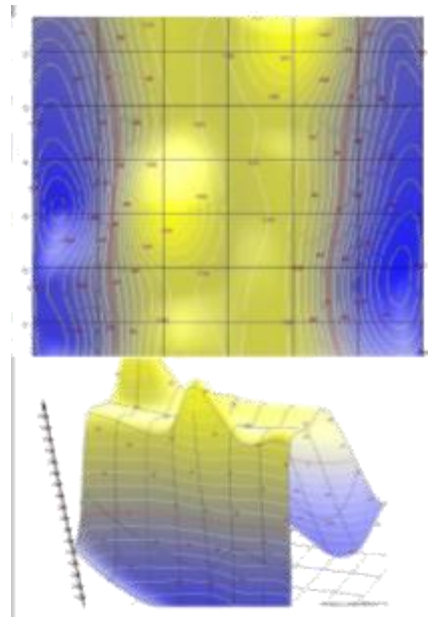


Mẫu 3 & mẫu 4



Ausgang Überwachung Beibehaltung

- **Probe 1:** Ergebnisse Verteilung Schweiß-restspannung vor und nach der Wärmebehandlung bei Temperatur 600° C, 30 Minuten- kein Defekt

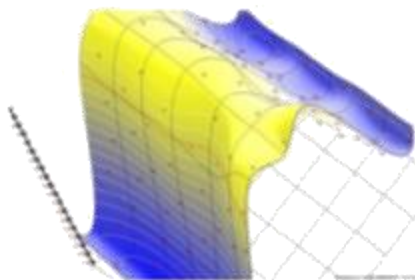
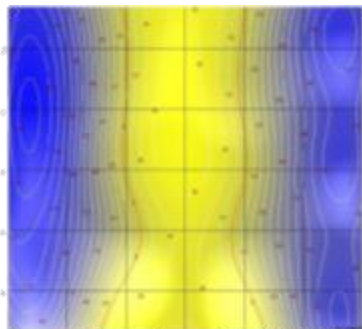
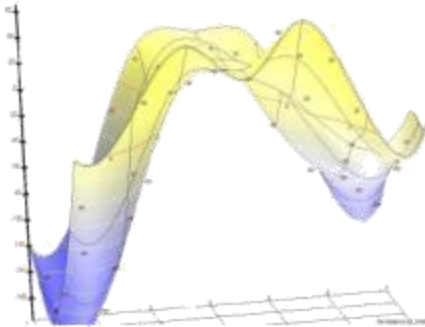
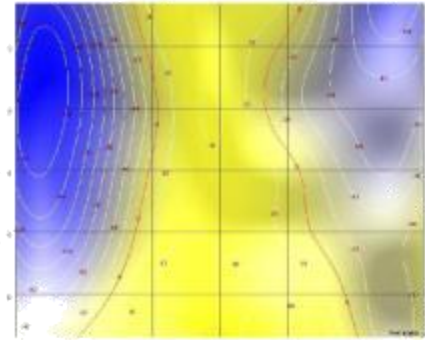


Bemerkung 1:

- Die Testergebnisse zeigen, dass vor der Wärmebehandlung, DPMS der Unterschied in der Belastung der größten ist 400 Einheiten und der Koeffizient der Konzentrations Belastung sehr hoch ist 8,0, aber nach einer Wärmebehandlung von 600 Grad für 30 Minuten, die Verteilungs-anwendung DPMS Produktivität und nur deutlich reduziert Faktor MSC Spannungskonzentration auf 200 Einheiten und 3,0. Zur gleichen Zeit wird die

Spannungsverteilung in der Schweißnaht ist, nicht erscheinen, die Spannungsspitzen so hoch wie vor der Wärmebehandlung.

Form 2: Ergebnisse Verteilung Schweißrestspannung vor und nach der Wärmebehandlung bei Temperatur 600° C, 60 Minuten - kein Defekt

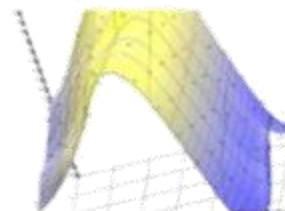
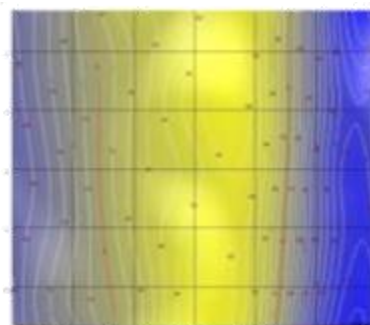
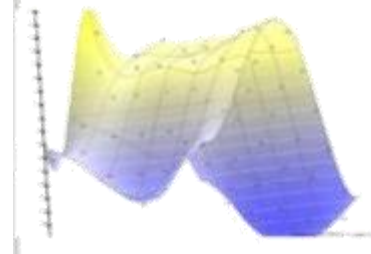
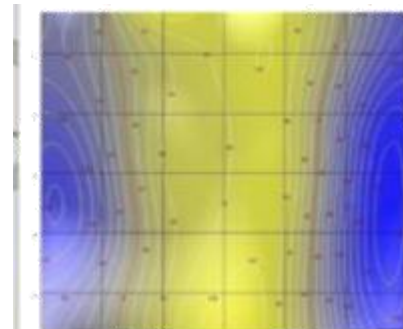


Anmerkung 2:

Dieser Fall ist vor der Wärmebehandlung DPMS der größte Unterschied ist 220, die größte MSC 3.25. Nach der Wärmebehandlung von 600 Grad - 60 Minuten DPMS 170 ist, ist die MSC 2,4 Einheiten.

Die Testergebnisse zeigen, dass vor und nach der Wärmebehandlung deutlich Stress verringert, aber die Spannungsverteilung in gleichmäßigem Schweiß.

Form 3: Ergebnisse Verteilung Schweißrestspannung vor und nach der Wärmebehandlung bei Temperatur 600° C, 120 Minuten- kein Defekt

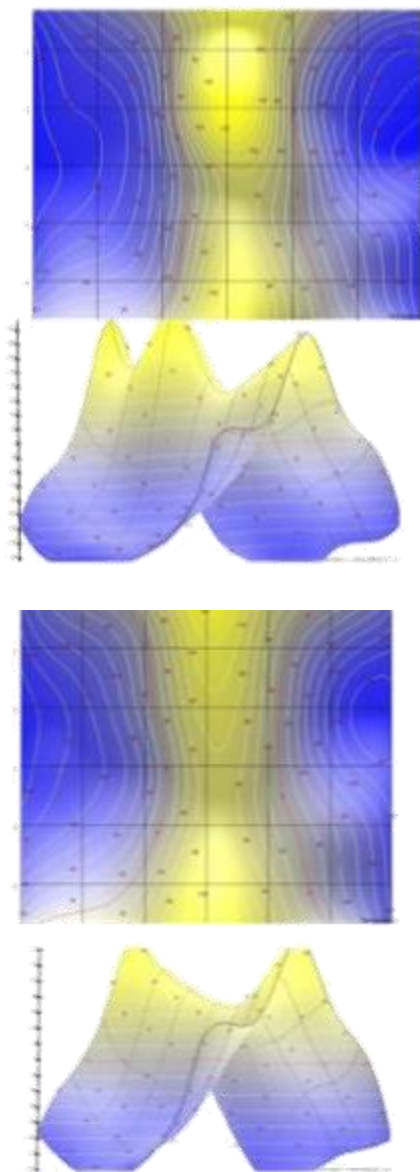


Anmerkung 3:

•Vor der Wärmebehandlung, DPMS der Unterschied etwa 300 Einheiten, ist die MSC 2.8. DPMS nach der Wärmebehandlung auf 180 Einheiten sank, ist die MSC 2.8.

•Ähnlich in der Form 1 und 2, die gleichmäßige Verteilung der Spannung in dem Lot und scheint nicht die lokale Spannungskonzentration.

Form 4: Ergebnisse Verteilung Schweißrestspannung vor und nach der Wärmebehandlung bei Temperatur 600° C, 120 Minuten- LOP Defekt

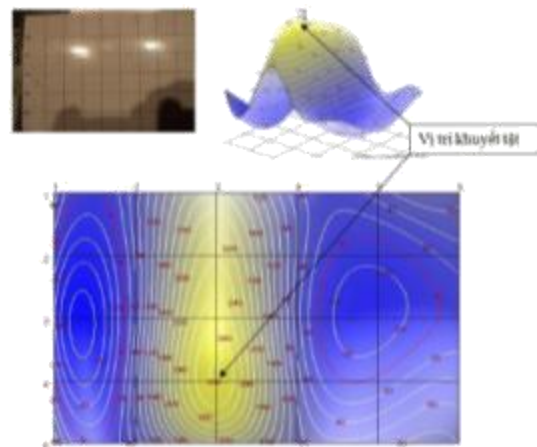
**Kommentar 4:**

•Vor der Wärmebehandlung, DPMS der Unterschied etwa 360 Einheiten, ist die MSC 6.0. DPMS nach der Wärmebehandlung auf 280 Einheiten sank, ist die MSC 2.5.

•Vor und nach der Wärmebehandlung der Spannungsverteilung in der Schweißung reduziert vernachlässigbar. Der Grund ist, weil die Probe 4 mit einer Behinderung nicht verstehen Längsnähte. So große Belastung in Schweißverbindungen nach der Wärmebehandlung mit der Behinderung durch.

•Diese experimentelle erwies der Lage, nicht nur die Eigenspannungen in Schweißungen Erfassen, dass alle Mängel des Gerätes STRESSVISION 02.05.

Form 5: Probenvorbereitung verschweißen Ultraschallprüfung UT PL15351

**Kommentar 5:**

Probenplatte PL15351 UT Ultraschallstandards, 10 mm dick, Defektstelle im Voraus. In den Schweißnähten, Fehlstellen erkennen, die Differenz in der Belastungs DPMS ist 360 Einheiten an den Koordinaten (3, 4), ist die Spannungskonzentration MSC 5,5, wie vom Hersteller empfohlen, die Einzelheiten unter Stress Balance ist hoch (in der Region 350-420), aber immer noch

innerhalb der zulässigen Grenzen und muß regelmäßig Zyklus 6 oder 12 Monate überprüfen

Allgemeine Bemerkungen

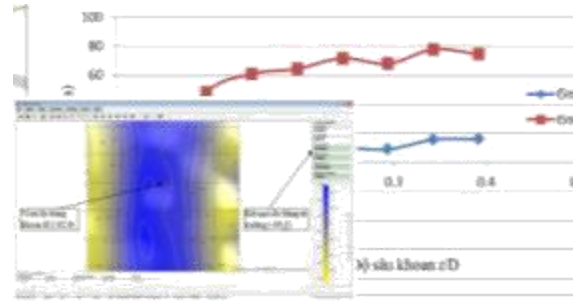
- Restspannungsmessergebnisse DPMS und MSC in 5 Proben von Schweiß

Stt	Mẫu	Chế độ XLN	Trước XLN		Sau XLN	
			DPMS	MSC	DPMS	MSC
1	Mẫu 1	600 độ, 30 phút	400	8.0	200	3.0
2	Mẫu 2	600 độ, 60 phút	220	3.23	170	2.4
4	Mẫu 3	600 độ, 120 phút	300	2.8	180	2.8
4	Mẫu 4	600 độ, 120 phút	360	6.0	280	2.5
5	Mẫu 5	Không xử lý nhiệt	360	5.5	-	-

- Aus den obigen Ergebnisse zeigen, dass: Wärmebehandlung ist nur teilweise wirksam bei den Spannungen in Schweißungen zu reduzieren. Nach XLN reichten verbleibenden Unterschiede in Beziehung zu suất DPMS 170-200 Einheiten. Spannungen werden gleichmäßig in der Schweißnaht verteilt sind und nicht die Positionen lokal hohe Konzentration MSC erscheinen.
- Verteilungskurve DPMS-3D Proben mit Behinderungen konvexen Spitzen erscheinen, bei denen eine hohe Spannungskonzentration und Wärmebehandlung nur einen Teil Stress in Schweißfehler reduziert.
- Stresstest Proben erwiesen defekte Gerät, STRESSVISION in gefährlichen Orten des Erfassens, wo Mängel bestehen und haben eine sehr hohe Konzentration MSC in Schweißungen.

TESTERGEBNISSE durch Spannungsverluste USING

Zweck der Eigenspannungen durch Bohrungen überprüft ist, den Wert durch das Verfahren der elastischen gemessen zu verifizieren



Bewertungen:

- Vergleichen Testergebnisse DPMS Verfahren Bohrungen an den Schweiß-ortskoordinaten (4,4)-62,9 MPa, und das Ergebnis wird durch die Vorrichtung gemessen wird, ist -69,6 2.04 STRESSVISION Einheit, die gefunden:
- Zwei Messverfahren haben ähnliche Werte (Abweichung 6,7 MPa).
- Bohrerergebnisse als Absolutwert (MPa) von Eigenspannungen in der Tiefe von Bohrlöchern, wobei das Verfahren auch von dem relativen Wert ergibt. So mehr Experimente müssen die Vereinbarkeit dieser beiden Methoden zu überprüfen.

Auswerteverfahren

- Wertdifferenz Hauptspannung, dass Messeinrichtungen ist nicht der absolute Wert MPa, dieser Wert ist nur ein relative Bedeutung und gegenwärtige Disparität Spannungsverteilung, existieren nachgewiesener Bereiche hohe Beanspruchung, die die Möglichkeit von Fehlern in der nahen Zukunft vorhersagen.
- Daher haben die Hersteller einige Empfehlungen folgendes zu beurteilen:
- Wenn die Hauptspannungsunterschied (DPSM) bis 350 Einheiten (Differenz höchste und niedrigste Punkt), ausführliche Arbeit unter Bedingungen ermöglicht wird.
- DPSM 350-420 Werte Detailarbeit mit hohen Beanspruchung ist akzeptabel, aber

soll regelmäßig Zyklen 6 bis 12 Monate überprüfen.

- 420 bis 450. Der Wert DPMS sehr hohe Eigenspannungen, Defekte entwickelt werden können, empfiehlt Ersatz so schnell wie möglich.
- Wert DPMS 450-500 empfiehlt Korrekturmaßnahmen sofort ergriffen werden müssen, auch wenn keine Defekte im Material.

Schlußfolgerungen

- Angewandte Forschung Ausrüstung Stressvision hat eine wichtige Bedeutung bei der Inspektion und Wartung und Überwachung der strukturellen Alterung Ausrüstung. Geben Sie Daten, bei denen eine Behinderung vorherzusagen und rechtzeitig Korrektur vorschlagen

11 INDIKATOR FÜR MECHANISCHE SPANNUNGEN «STRESSVISION»

Indikator für mechanische Spannungen «STRESSVISION» ist für das Scannen, Auswerten und Visualisieren von Feldern mechanischer (Rest-, technologischer) Spannungen von ferritischen Legierungen ausgelegt.

Fähigkeiten von «STRESSVISION»:

- Verarbeitung von empfangenen Indikationen und Aufbau von 2D- und 3D-Karten Das Prinzip der Prinzipien Mechanische Spannungen (DPMS), Konzentrationsmechanischer Spannungsfaktor (CMS) und Gradienten von DPMS in der «Summe der Schichten», «Dünnschicht 0 bis 3 mm», «Dicke Schicht 0 bis 6 mm» bis zu einer Tiefe von 12-15 mm;
- Verarbeitung von Indikationen und Konstruktionsdiagrammen von DPMS,

Gradienten und Konzentration von DPMS im profilierten Querschnitt des Objekts;

- Langfristige nichtflüchtige Speicherdaten;
- Software der Datenverwaltungsverwaltung für die Speicherung von DSMS;
- Gerätegehäuse, Schutzklasse vor äußeren Einflüssen IP54;
- Optional, Gehäuse IP64 Schutzklasse für extreme Bedingungen und wasserdicht

Aufführung des STRESSVISION®-Indikators nach dem Prinzip der Messung von elektromotive Forces (EMF), angeregt in Messsensoren des Sensors durch das Magnetfeld, initiiert von Erregerspulen im elektromagnetischen Feld des untersuchten Objekts. Das empfangene Signal der Sensoreinheit ist proportional zur Differenz der mechanischen Hauptspannungen (DPMS) am Aufstellbereich des Sensors auf der Oberfläche des Überwachungsobjekts und in der angegebenen Richtung.

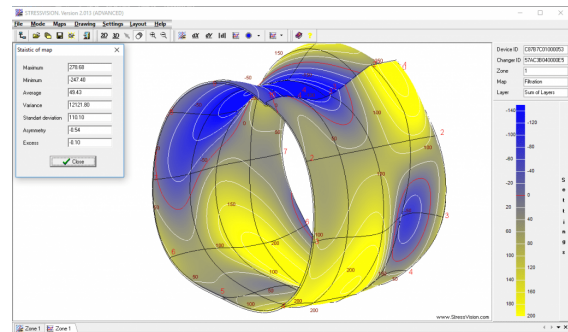
Die Messung von Metall durch spezielle elektromagnetische Felder ermöglicht eine hohe Reproduzierbarkeit von Indikationen und sammelt Informationen über den Stressstatus schichtweise. Die Messungen liefern Auskunft, die ausreicht, um den Koeffizienten der Konzentration der mechanischen Beanspruchungen CMS zu quantifizieren, die Auswertung der Niveaus der Differenz der mechanischen Hauptspannungen DPMS in «Richtung», den Gradienten von DPMS und die Bestimmung der Bedingungen für die Entwicklung des Fehlers im untersuchten Bereich des geprüften Gegenstandes.



Der Prozess der Datenerfassung

- Auf der Oberfläche der untersuchten Stelle des Produktes (Kontrollzone) ein rechteckiges Koordinatengitter platziert. Die Mindestgröße des Gitters beträgt 5 x 5 (Zeilen * Spalten).
- Rasterabstand in Abhängigkeit von der zu löschenden spezifischen Frage ab 5 mm bei der Prüfung eines bestimmten Punktes CMS bis zu 25 cm bei der Analyse von Spannungs-Dehnungsstrukturen.
- Die Sonde (Sensor) wird konsequent in die Knoten (Kreuzungen) einer Gitterzone platziert, wobei ihre konstante Ausrichtung relativ zu den Achsen der Produkte mit dem Zeiger (Hauptmarker) am Seitenrand der Sonde beibehalten wird.
- Durchführen einer Punkt-für-Punkt-Messung a.k.a als "manueller Scan"
- Die empfangenen Ergebnisse werden in der Prozessoreinrichtung (der Messblock) vorbereitet und im nichtflüchtigen Speicher abgelegt.
- Nach Abschluss des Scannens werden akkumulierte Ergebnisse auf Laptop oder Computer übertragen, wo sie gespeichert sind und für die endgültige Verarbeitung, Auswertung und als Kartogramme DPMS, CMS, etc. dargestellt werden.

- Hüten Sie sich vor dem Edge-Effekt während des Scannens.



12 POLDI: «NEUTRONEN DIFFRACTOMETER»

Neutronen Spannungen Messen

POLDI: A Materials Science Time-Of- Flight Neutron Diffractometer

POLDI (Pulse OverLap Diffractometer) is a time-of-flight thermal neutron diffractometer, dedicated to materials science applications. In particular POLDI is well suited for:

- Spatially resolved measurements of residual stresses in engineering components
- Study of stress/temperature induced phase transformations
- In-situ deformation studies of metallic systems

POLDI is operated by the [NIAG group](#) of the [Laboratory for Neutron Scattering and Imaging](#).

Phone: +41 56 310 4342
E-mail: tobias.panzner@psi.ch

Instrument		co-responsible
Steven	Van	Petegem
Phone:	+41 56 310	2537
E-mail:	steven.vanpetegem@psi.ch	

POLDI: Ein Materialwissenschaftliches Flugzeit-Neutronen-Diffraktometer

POLDI (Pulse OverLap Diffractometer) ist ein thermisches Neutronen Diffraktometer, das speziell für Anwendungen in der Materialwissenschaft entwickelt wurde. Insbesondere ist POLDI gut geeignet für:

- Ortsaufgelöste Messungen von Eigenspannungen in technischen Bauteilen
- Untersuchung von stress- / temperaturinduzierten Phasenumwandlungen
- In-situ-Verformungsuntersuchungen metallischer Systeme

POLDI wird von der NIAG-Gruppe des Labors für Neutronenstreuung und Bildgebung betrieben

12.1.1 CONTACT

Instrument	responsible
Tobias	Panzner

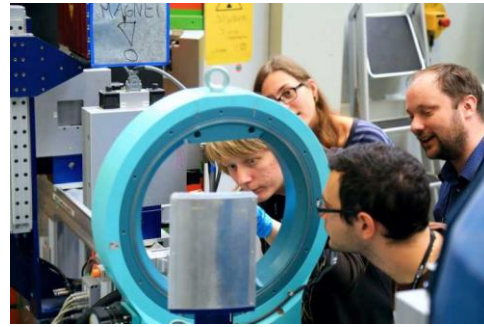
The Laboratory for Neutron Scattering and Imaging (LNS) at the Paul Scherrer Institute is responsible for the scientific exploitation, operation and development of neutron scattering and imaging instruments at the Swiss Spallation Neutron Source (SINQ). The team of 50 senior scientists, postdoctoral researchers and PhD students further collaborates on diverse research projects ranging from modern topics in condensed matter physics and materials science to pressing questions in energy research and health care. [read more](#)

12.2 PhD, Master, Bachelor or Semester projects at the LNS

We offer students the possibility to do their PhD or educational research in our lab. See [Teaching and Education](#) for detailed information on Master/Diploma thesis, Bachelor/Semester work and practical courses at the LNS. Currently we have open positions for

- [Semester projects](#) on several topics
- [Master project](#) - Elastic properties in **low dimensional quantum systems**
- [Master project](#) - Spontaneous magnon decay in **non-collinear antiferromagnets**

- [Master project](#) - Geometrical magnetic frustration beyond insulating ionic compounds
- [Master project](#) - Magnetic order in anisotropic triangular materials
- [Master project](#) - Magnetic structure of the quantum trimer compound $\text{Cs}_3\text{Cu}_3\text{Cl}_8\text{OH}$



12.3 News

12. February 2018



12.3.1 IMAGING AT PAUL SCHERRER INSTITUTE HELPS TO INCREASE PRODUCTION AT ABB SITE IN AARGAU

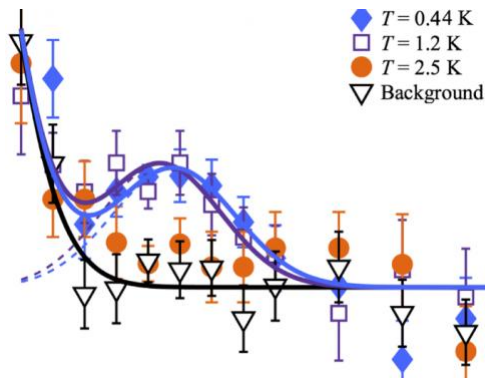
The ABB facility in Wettingen, Aargau, got practical recommendations on increasing output in the manufacture of ceramic components. The ceramics in question are voltage-dependent resistors used in overvoltage protectors – a kind of lightning protection system – for example in electrical transmission lines. Researchers of the Laboratory for Neutron Scattering and Imaging at the Paul Scherrer Institute PSI examined the components by means of neutron imaging. With the help of these images, ABB employees were able to see where there was potential for further process optimisation. This investigation took place within the framework of a feasibility study funded by Hightech Zentrum Aargau. [PSI Media Release](#)

11. December 2017

12.3.2 SWEDNESS STUDENTS VISIT PSI FOR HANDS-ON TRAINING IN NEUTRON SCATTERING

To take full advantage of the upcoming European Spallation Source facility ESS, strategic funding has been allocated to rebuild and expand the Swedish neutron scattering community. One of the most important actions is the establishment of the Swedish national graduate school in neutron scattering (SwedNess). Up to 40 PhD students will be fully funded, employed and trained within this school. In the end of September 2017, the first 20 PhD students arrived at the Paul Scherrer Institute (PSI) and the Swiss Spallation Neutron Source (SINQ) for their very first hands-on training in neutron scattering. During their week at PSI the SwedNess students obtained specific training in neutron reflectometry as well as neutron and x-ray imaging. The training was very much appreciated by the students and PSI looks forward to welcoming them back in a near future as scientific users of the SINQ neutron facility.

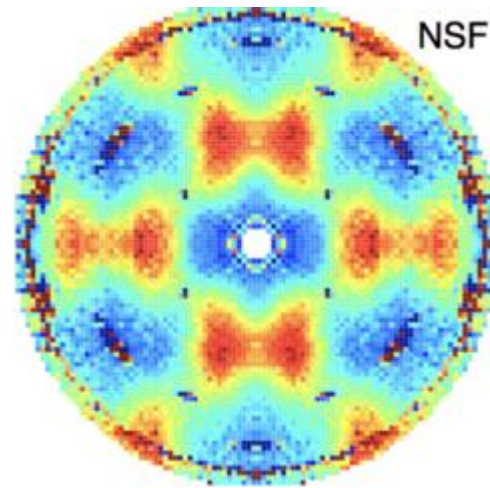
15. November 2017



12.3.3 SPIN RESONANCE AND MAGNETIC ORDER IN AN UNCONVENTIONAL SUPERCONDUCTOR

D.G. Mazzone et al., [Physical Review Letters 119, 187002 \(2017\)](#). Unconventional superconductivity in many materials is believed to be mediated by magnetic fluctuations. It is an open question how magnetic order can emerge from a superconducting condensate and how it competes with the magnetic spin resonance in unconventional superconductors. Here we study a model d-wave superconductor that develops spin-density wave order, and find that the spin resonance is unaffected by the onset of static magnetic order. This result suggests a scenario, in which the resonance in $\text{Nd}_{0.05}\text{Ce}_{0.95}\text{CoIn}_5$ is a longitudinal mode with fluctuating moments along the ordered magnetic moments.

17. October 2017



12.3.4 COULOMB SPIN LIQUID IN ANION-DISORDERED PYROCHLORE $\text{Tb}_2\text{Hf}_2\text{O}_7$

R. Sibille et al., [Nature Communications 8, 892 \(2017\) \(full article\)](#). The charge ordered structure of ions and vacancies characterizing rare-earth pyrochlore oxides serves as a model for the study of geometrically frustrated magnetism. The organization of magnetic ions into networks of corner-sharing tetrahedra gives rise to highly correlated magnetic phases with strong fluctuations, including spin liquids and spin ices. It is an open question how these ground states governed by local rules are affected by disorder. Here we demonstrate in the pyrochlore $\text{Tb}_2\text{Hf}_2\text{O}_7$, that the vicinity of the disordering transition towards a defective fluorite structure translates into a tunable density of anion Frenkel disorder while cations remain ordered. Quenched random crystal fields and disordered exchange interactions can therefore be introduced into otherwise perfect pyrochlore lattices of magnetic ions. We show that disorder can play a crucial role in preventing long-range magnetic order at low temperatures, and instead induces a strongly fluctuating Coulomb spin liquid with defect-induced frozen magnetic degrees of freedom.

13.03.2018 11:00 - 12:00 WHGA/121

*12.3.5 SUPERCONDUCTIVITY IN TWISTED
BILAYER GRAPHENE*

Seminar

CMT

Jyong-Hao Chen (CMT)



14.03.2018 14:00 - 15:00 WHGA/121

*12.3.6 [HYPERFINE STRUCTURE OF HEAVY
MUONIC ATOMS](#)*

Seminar

LTP

Niklas Michel (MPI Heidelberg)

Noch zu integrieren [Neue Methode zur
Vermessung von Neutronen | Paul Scherrer
Institut ...](#)

[https://www.psi.ch/media/neue-methode-
zur-vermessung-von-neutronen](https://www.psi.ch/media/neue-methode-zur-vermessung-von-neutronen)

02.10.2015 - Klaus Kirch, Laborleiter
Teilchenphysik am PSI, an einem
Testaufbau zur Messung des elektrischen
Dipolmoments des Neutrons. Die
Forschenden haben eine neue Methode
entwickelt, ultrakalte **Neutronen** zu
vermessen. Diese kann womöglich bei der
Erklärung helfen, weshalb beim Urknall
deutlich

13 PRÜFMETHODE WIAP MEMV TYP A G VERSCHIEBUNG

Die vorliegende Beschreibung erklärt ein Verfahren zur Messung der Eigenspannung von Werkstücken bei deren Vibration. Beim Bearbeiten von Werkstücken aus Metall, beispielsweise beim Schweißen, entstehen im Werkstück Spannungen. Diese unerwünschten Spannungen bleiben im Werkstück zurück. Auch Giessen, Schmieden oder maschinelle Bearbeitungen können bleibende Spannungen hervorrufen. Diese Eigenspannungen verringern die Belastbarkeit des Werkstücks und können sich auch negativ auswirken, wenn das Werkstück einer weiteren, insbesondere Spanabhebenden Bearbeitung unterzogen werden soll. Neben der beeinträchtigten Formstabilität kann auch die spätere Korrosionsbeständigkeit des Werkstücks leiden.

Bekannt und verbreitet ist das Entspannen von Werkstücken durch Erwärmen oder Glühen. Das ist aber zeitraubend, energieaufwendig und teuer. Es ist aber auch bezüglich des Werkstücks nicht unproblematisch, denn sowohl das Erwärmen als auch das Abkühlen können leicht dessen dimensionale Stabilität verändern und das Werkstück verziehen.

Flammgerichtete Werkstücke weisen lokal einen Spannungszustand auf, der mit der Umgebung im Gleichgewicht steht. Wird dieses Werkstück gegläht, stellt sich durch Deformation ein neuer Spannungszustand ein und das Werkstück ist dann krumm. Eine nachträgliche Bearbeitung wird dann keinen grossen Einfluss auf die Geradlinigkeit haben. Zudem bildet sich während des Glühens Zunder, der in einem weiteren Arbeitsschritt wieder von der Werkstückoberfläche zu entfernen ist. Beispielsweise durch Sandstrahlen, was zu

neuen Spannungen im Werkstück führen kann.

Bereits vor Jahrzehnten wurde vorgeschlagen, die im Metall durch die Bearbeitung verursachten Eigenspannungen durch Rütteln oder Vibration des Werkstücks wieder abzubauen. Hierzu wird das Werkstück auf einem Schwingungstisch oder mittels einer angesetzten Vibrationsvorrichtung gerüttelt oder in Vibrationen versetzt. Das kann über 5 bis 30 Minuten sein. Bei grösseren und schwereren Werkstücken wurden auch wesentlich längere Vibrationszeiten bekannt, was allerdings aus verschiedenen Gründen zu vermeiden ist. Beim Vibrieren werden die Eigenspannungen über das ganze Werkstück in ein Gleichgewicht gebracht, also nicht nur an der Oberfläche. Das Werkstück kann weiter bearbeitet werden.

Der Eigenspannungsabbau ist zu Beginn der Vibration am stärksten, die Wirksamkeit flacht danach aber recht schnell ab. Dieses Verfahren ist häufig mit mehreren Unbekannten verbunden und bedarf einiger Werkstoff- und Sachkenntnis oder entsprechender Anleitung. Obwohl es gegenüber dem Wärmeentspannen zahlreiche Vorteile aufweist, nämlich geringer Zeit- und Energieaufwand, Vermeidung des Wärmeverzugs und von Zunderverunreinigungen des Werkstücks, wird der Einsatz des Vibrationsentspannens häufig gescheut.

Auf der Grundlage dieser Erkenntnisse setzt sich die Aufgabe, ein Verfahren zur Messung der Eigenspannung von Werkstücken zu schaffen, das beim Vibrationsentspannen einsetzbar ist, für metallverarbeitende Betriebe praxistauglich ist und zu zuverlässigen Messergebnissen führt. Dank der durch das Verfahren gewonnen Werte hinsichtlich der Eigenspannung von Werkstücken, lässt sich die darauf folgenden

Entspannung, das heisst, der Spannungsabbau und die Formstabilisierung der Werkstücke besser und zielgerichteter durchführen.

Dies gilt insbesondere für die Vibrationsentspannung. Hauptsächlich zu Prüfzwecken, ist dieses Mess-Verfahren aber auch allgemein zur Feststellung von Eigenspannungen einsetzbar, selbstredend auch bei Werkstücken, die auf anderem Weg entspannt wurden. Man hat immer gedacht, ein Werkstück vibriere dabei gleichmässig, das heisst, an jeder Stelle seiner Fläche und seines Volumens annähernd gleich. Durch viele Versuche mit dem vorliegenden Verfahren wurde jedoch erkannt, dass dem gar nicht so ist. Tatsächlich ergeben sich bei der Vibrationsentspannung Bereiche, in denen der Werkstoff des Werkstücks anders auf die induzierte Vibration reagiert. Der G-Wert, wobei $1G = 9,81 \text{ m/s}^2$ entspricht, ist nicht überall gleich. Vielmehr verschiebt und verändert sich dieser G-Wert über die Vibrationsachse unterschiedlich, entsprechend den dort jeweils herrschenden, unterschiedlichen Eigenspannungen des jeweiligen Werkstücks. Durch das Verfahren wird dies exakt erkannt, was zu deutlich besseren Entspannungsergebnissen durch die Vibrationsentspannung genutzt werden kann. Durch gezieltes Arbeiten können zudem sowohl der Zeit- als auch der Energieaufwand verringert werden.

Zum eigentlichen Mess-Verfahren: An den genannten Messpunkten 2 – 13 wird jeweils ein Sensor angesetzt, genauer gesagt ein Beschleunigungssensor. Solche Beschleunigungssensoren sind technisch unter verschiedenen Bezeichnungen bekannt, auch als Accelerometer oder G-Sensoren.

Gemessen wird die Beschleunigung. Dies erfolgt meistens indem die auf eine Test-

masse, hier das Werkstück 1, wirkende Trägheitskraft bestimmt wird. Damit kann gemessen werden, ob eine Verschiebung des G Wertes stattfindet.

Aufgezeichnete Messwerte werden als Akzelerogramm bezeichnet. In der vorliegenden Beschreibung wird vorzugsweise mittels jeweils mit einer Kontrolleinrichtung verbundenen Beschleunigungssensoren gleichzeitig an allen Messpunkten gemessen. Es wäre aber auch möglich, manuell einen stiftartigen Beschleunigungssensor nacheinander an diesen Messpunkten 2 - 13 anzusetzen, wobei natürlich keine ununterbrochene, durchgehende Kontrolle stattfindet.

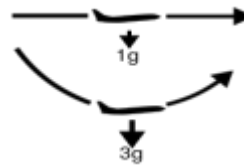
Nun wird die Vorrichtung zur Vibrationsentspannung eingeschaltet und damit die Vibration des Werkstücks 1 hochgefahren. Die Vibration wird so lange verstärkt, bis die Eigenresonanz des Werkstücks 1 nahezu erreicht ist. Das heisst, es erfolgt ein Antasten an den G-Wert. Dieser ist aufgrund der Formstabilität werkstückabhängig. Dieser G-Wert kann bei einem als Vollkörper ausgebildeten Werkstück wie folgt definiert sein: $1G = 9,81 \text{ m/s}^2$. Der G-Wert darf bei dieser Messung an keinem der diversen Messpunkte 2 - 13 überschritten werden.

Dank der Messung in mehreren Messachsen und mit mehreren Beschleunigungssensoren kann zudem erkannt werden, wo Spannungen abgebaut wurden und wo nicht.

14 G ERKLÄRUNG

Die Wiap hat mit der Spannungs Messmethode der G-Verschiebung eine Methode die vielversprechend ist.

G-Kraft



Beispiel: Verdreifachung der g-Kraft in einem Flugzeug durch Flug in einer aufwärts gekrümmten Bahn

g-Kräfte werden Belastungen genannt, die aufgrund starker Änderung von Größe und/oder Richtung der Geschwindigkeit auf den menschlichen Körper, einen Gebrauchsgegenstand oder ein Fahrzeug einwirken. Bei Belastungen technischer Geräte wie Flugzeugen oder der Angabe von Belastungsgrenzen wird auch der Begriff Lastvielfache verwendet. Es handelt sich bei der g-Kraft um eine „Kraft pro Masse“, sie hat daher die Dimension einer Beschleunigung und wird als Vielfaches der Fall-beschleunigung g angegeben. Hohe g-Kräfte treten beispielsweise bei Fahrten mit einer Achterbahn, bei Raketenstarts oder bei Zusammenstößen von Gegenständen auf.

14.1 Physikalische Grundlagen

Ein Formel-1-Rennfahrer spürt beim Start eine Kraft, die ihn – entgegen der Beschleunigungsrichtung – nach hinten in seinen Sitz presst. Diese Kraft kommt dadurch zustande, dass der Rennwagen nach vorne beschleunigt wird. Der Körper des Fahrers würde wegen seiner Trägheit gegenüber dieser Beschleunigung zurückbleiben, wenn er nicht durch den Sitz mitgerissen würde. Was der Fahrer also fühlt, ist keine tatsächliche äußere Kraft, die ihn stärker nach hinten in den Sitz drückt, sondern seine eigene Trägheit, die sich hier in Form einer Trägheitskraft bemerkbar macht. Der Fahrer wird vom Sitz nach vorne beschleunigt.

Nach der Grundgleichung der Mechanik erfährt der Körper des Fahrers (Masse m) die Beschleunigung $a = F/m$, wenn auf ihn eine Kraft F wirkt. Dabei kann der physikalische Begriff Beschleunigung je nach Richtung der Kraft umgangssprachlich auch Abbremsung oder Richtungsänderung bedeuten. Der Fahrer ist relativ zu seinem Fahrzeug in Ruhe. In der Physik spricht man von einem beschleunigten Bezugssystem. Für ihn herrscht ein Kräftegleichgewicht zwischen der beschleunigenden Kraft F und der Trägheitskraft F^* . Die Trägheitskraft ist also entgegengesetzt gleich groß wie die äußere Kraft. Daher eignet sich die Beschleunigung a dazu, die auf die Masse bezogene Trägheitskraft zu quantifizieren. Hierbei wird dann die Beschleunigung oft als Vielfaches der Erdbeschleunigung $g \approx 9,81 \text{ m/s}^2$ angegeben, weil dies mit der Alltagserfahrung leicht zu vergleichen ist: „1 g “ bedeutet also, dass die erfahrene Beschleunigung gleich groß wie die Erdbeschleunigung ist und dass folglich die Trägheitskraft gleich groß wie die Gewichtskraft (auf der Erde) ist.

14.2 Spezialfälle Gleichmäßige geradlinige Beschleunigung

Wenn ein Körper auf der Strecke s von der Ruhe auf die Geschwindigkeit v beschleunigt wird, dann beträgt seine Beschleunigung:

$$a = \frac{v^2}{2s}$$

Dies folgt durch Umstellung aus den Weg-Zeit- und Geschwindigkeits-Zeit-Gesetzen der gleichmäßig beschleunigten Bewegung:

$$s = \frac{1}{2}at^2$$

bzw.

$$v = at$$

Dieselbe Formel ergibt sich für den Betrag der Beschleunigung bei einem Körper, der auf der Strecke s von der Geschwindigkeit v bis auf Null abbremsst.

14.3 Beispiele

Ein Auto fährt mit 30 km/h gegen eine feste Wand, dabei wird die Knautschzone um 50 cm gestaucht. Die g -Kraft beträgt 7 g . Bereits bei 50 km/h beträgt die g -Kraft fast 20 g .

Ein Körper fällt aus 1 m Höhe auf den Boden. Je starrer Körper und Boden sind, desto höher ist die g -Kraft. Gibt der Boden nicht nach und der Körper verformt sich um 0,1 mm und bleibt dann liegen, dann wurde er mit im Mittel 10.000 g abgebremsst

15 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/eigenstressungen.html>

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

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

Wikipedia NDE

<http://stressvision.com/>

Ende Bericht WM 886, Spannungen messen

Hpw

07_11_2018

