



WIAP®

MEMV®



Metall entspannen mit Vibration

BERICHT WM 886 SPANNUNGEN MESSEN

G Verschiebungs Methode

1 G VERSCHIEBUNGS METHODE

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 Testmasse, 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.

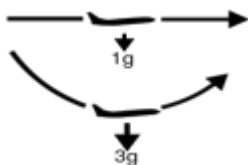
Nun wird die Vorrichtung zur Vibrationsentspannung eingeschaltet und damit die Vibration des Werkstücks 1 hochgefahren. Die Vibration wird so lange verstärkt, bis die Eigenresonanz des Werkstücks 1 nahezu erreicht ist. Das heisst, es erfolgt ein Antasten an den G-Wert. Dieser ist aufgrund der Formstabilität 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.

2 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.

2.1 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.

2.2 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 abbremst.

2.3 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 abgebremst

3 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.%20Ingalt%2000/Inhalt%2000.htm>

Wikipedia NDE

<http://stressvision.com/>

Ende Bericht WM 886, Spannungen messen

Hpw

07_11_2018