

Metallentspannen mittels Schwingungsenergie Eine spannende Geschichte ...

Während und nach dem mechanischen Bearbeiten von gewalzten, gegossenen, geschmiedeten und vor allem geschweissten Werkstücken aus Stahl, Eisen und anderen Metallen zeigen sich oft starke Verzüge, Verwerfungen und andere Formabweichungen.

Diesen negativen Einflüssen kann durch Langzeitlagerung, Spannungsarmglühen oder durch Einkoppelung einer bestimmten Schwingungsenergie begegnet werden.

Franz J. Baldinger und Dr. Gustav Hans Weber von der Firma ICA beschäftigen sich mit dem Thema Dimensionsstabilisieren seit mehr als zehn Jahren und haben dieser Technologie durch konsequentes Forschen zu einem hohen Standard verholfen. ICA ist es erstmals gelungen, die erzielten Effekte mittels komplexer Messmethoden am PSI und am CERN anschaulich zu verdeutlichen.

*Franz Baldinger, Dr. G.H. Weber
Firma ICA*

Hersteller der Vibmatic 6000 Anlage, mit welcher alle Applikationsforschungsstätigkeiten gemacht wurden, ist die Firma VSR Industrietechnik, am alten Schacht 6, in D-47198 Duisburg. Während der jahrelangen Zusammenarbeit konnte so ein sehr grosses Wissen in Systemtechnik, Anlagenbau und Applikationstechnologie generiert werden. Wissen welches laufend in die F&E einfließt.

Spannungen im Metall und deren Relaxierung mittels Schwingungsenergie

Speziell Schweiss- und spanabhebende Bearbeitungen bauen im Metall um und in den Körnern mikroskopisch kleine Spannungskonzentrationen (2. und 3. Art) auf, welche das Werkstück als Ganzes in einen metastabilen Eigenspannungszustand (Spannung 1. Art) versetzen.

Beim Spannungsarmglühen bewirkt die hohe Temperatur ein «Fließen» des Materials – es stellt sich meist ein Materialverzug ein. Nicht so beim gesteuerten Dimensionsstabilisieren mittels Einkoppelung der automatisch ermittelten Schwingungsenergie, wo durch Platzwechsellvorgänge und Glättungen der Spannungskonzentrationen ein Lastenausgleich herbeigeführt wird. Die kontrollierte Energieeinkoppelung via dem Makrospannungsfeld 1. Art beeinflusst direkt die Spannungsfelder der 2. und 3. Art. Das Teil ist gesamthaft verzugsfrei und ohne jeden Festigkeitsverlust relaxiert.

Funktionsprinzip

Der Rechner ermittelt selbständig und aufgrund des Spannungszustandes des Bauteils alle in Frage kommenden Schwingungsamplituden und Frequenzen. Um Beschädigungen am Bauteil zu vermeiden, werden alle stabilen Resonanzfelder ausgeblendet. Das System arbeitet automatisch auf allen für die Relaxierung des Bauteils notwendigen Schwingungsfre-

quenzen. Vergleichsmessungen am Schluss der Bearbeitung zeigen auf einem Bearbeitungsprotokoll an in welcher Grössenordnung das Werkstück «DIMENSIONSSTABILISIERT» wurde.

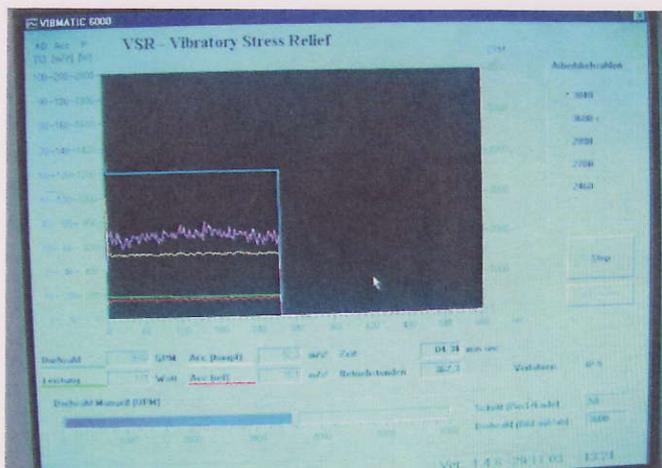


Abb. 1: Darstellung Bildschirm während Automatikbetrieb

Forschungstätigkeiten am PSI

Um die Vorgänge im Innern der Metalle und die Arbeitsweise des Systems zu veranschaulichen wurden am PSI mittels Neutronendiffraktometrie verschiedene Bauteile vor- und nach der VSR Behandlung vermessen. Dies gibt den Kunden von ICA eine klare Aussage wie das System arbeitet und am Bauteil wirkt.

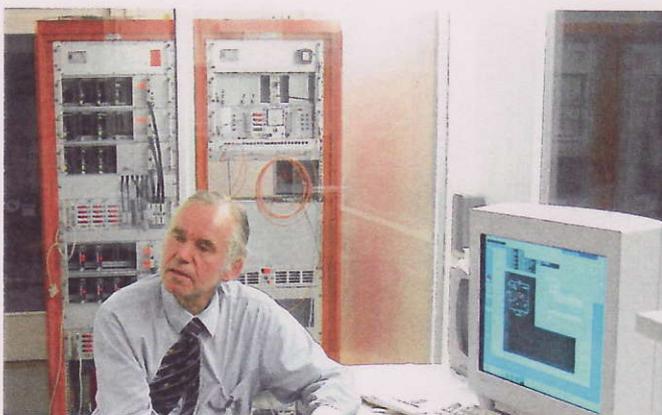


Abb. 2: Computerraum (Dr. Weber) PSI – Neutronendiffraktionsmessung

Diffractionsmessungen an Stahlplatte

Problemstellung: Die in grosser Anzahl hergestellten Stahlplatten (Mat 45CrMo4) verwerfen sich nach dem Aufsägen bis zu 0,2mm (=Ausschuss!) und können aus Festigkeitsgründen nicht Spannungsarm gegläht werden. Die einzige Lösung die sich anbietet ist das VSR Dimensionsstabilisieren. Das Bauteil wurde als Probe für den Relaxierungsnachweis ausgewählt (siehe Abb. 3 und 4)

Diffractionsmessverfahren mittels Neutronen

Mit dem Neutronendiffraktometrie Messverfahren konnte an der Stahlplatte und anderen Bauteilen erstmals der Nachweis erbracht werden, dass Werkstücke mittels gesteuertem Schwingungsprozess (Regelkreis) dimensionsstabilisiert werden können.

Das Messsystem misst direkt die Linien-Position der Bragg-Reflexe und die Linienbreiten nach der Flugzeitmethode der Neutronen bei festem Winkel. Herr Dr. Weber von der Firma ICA hat die für die Auswertung notwendigen mathematischen Grundlagen dazu entwickelt.

Bei allen aufgeführten Diagrammen verschiedenster Berechnungsarten ist eine deutliche Glättung aller 3 Spannungsarten zu erkennen. Das Teil ist verzugsfrei und ohne jeglichen Festigkeitsverlust relaxiert.

(siehe Abb. 5 bis 7)

Berechnungsgrundlagen aus Neutronendiffraktionsmessdaten

Die Spannung ist ein Tensor, welcher über das Hook'sche Gesetz mit dem Dehnungstensor linear zusammenhängt. Die Koeffizienten dieses Gesetzes sind Schubmodul und Poissonzahl, welche die Querkontraktion bei Zug berücksichtigt. Das Neutronendiffraktionsmesssystem misst direkt die Linien-Position der Bragg-Reflexe und die Linienbreiten nach der Flugzeitmethode der Neutronen bei festem Winkel. Aus diesen werden die Netzebenen-Abstände für drei verschiedene Miller-Indices (Richtungsvektoren der Netzebenen) und daraus die Gitterkonstanten berechnet. Aus den Gitterkonstanten erhält man die Spannungen erster Art, welche sich über den ganzen Körper erstrecken. Aus den Linienbreiten erhält man die Spannungen zweiter und dritter Art. Sie erstrecken sich nur über Bereiche der Größenordnung der Körner oder stellen gar Schwankungen der Spannungen innerhalb eines Kornes dar.

(siehe Abb. 5 bis 7 «Ausschnitt einer Reihe von verschiedenen Auswertungsergebnissen»)

Forschungstätigkeiten am CERN

Physiker des CERN Forschungszentrums haben während der VSR Behandlung an einem Super Magneten (Gewicht 30t) des LHC's mit eigenen Sonden und Messmitteln die gleichen Resultate wie das VSR Team festgestellt, was die PSI Auswertungsergebnisse vollumfänglich stützt.

(siehe Abb. 8)

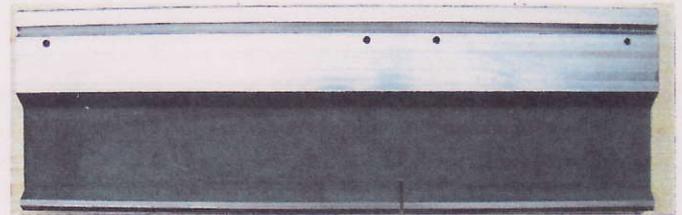


Abb. 3: Hochlegierte Stahlplatte (eingeschliffen) 500x200x30 Die Hersteller dieses Bauteils stellen pro Jahr mehr als 1000 Stck her – alle VSR dimensionsstabilisiert – Ausschussquote = 0

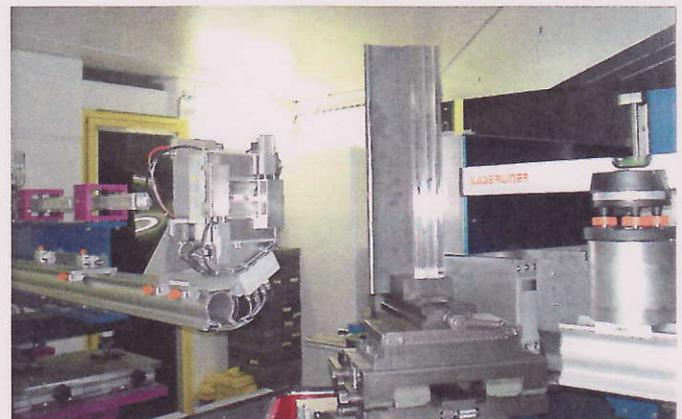


Abb. 4: PSI Neutronendiffraktionsmessraum mit aufgespannter Probe (Platte)

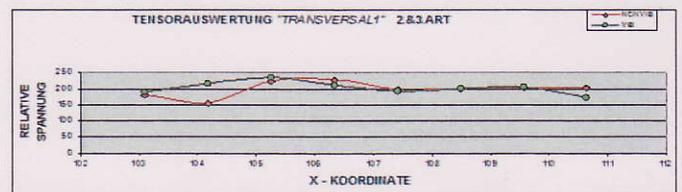


Abb. 5: Tensorauswertung

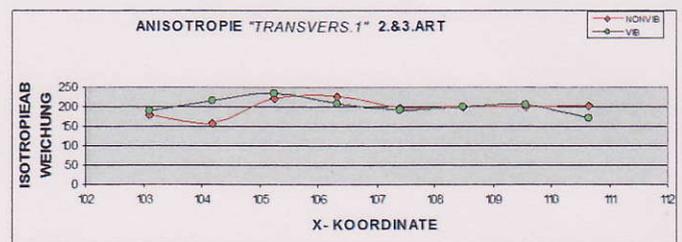


Abb. 6: Anisotropie

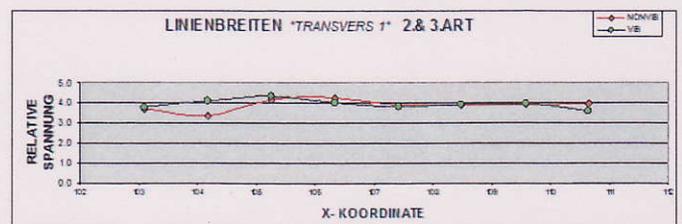


Abb. 7: Linienbreiten



Abb. 8: Dimensionsstabilisieren eines Super Conducting Magnetes (Coldmass) des LHC am CERN Länge 15m, Gewicht 30 Tonnen



Abb. 9: Schweißen während dem die für die fortlaufende Relaxierung des Bauteils errechnete Schwingungsenergie anliegt



Abb. 10: Entspannen eines Werkzeuges für eine LKW Dach-Fertigung

Die Vorteile des VSR Dimensionsstabilisierens sprechen für sich

- Dann, wenn das Bauteil vor Ort für das Entspannen bereit ist, kann dieses innerhalb sehr kurzer Zeit und auf Dauer verzugfrei relaxiert werden, d.h. keine Logistikkosten – Umweltfreundlich – keine Schäden am Bauteil (Verzunderung, Festigkeitsverlust) – kostengünstig
- Auch hochlegierte Metallteile (z.B. Behälter) erleiden keinerlei Festigkeitsverluste, d.h. es ist meist die einzige Möglichkeit einer Relaxierung überhaupt
- VSR Applikationsvorgang während des Schweißens, d.h. bessere und tiefere Diffundierung des Schweißmaterials – gute Randzonedurchmischung – keine Rissbildung – höhere Duktilität
- Für Werkstückgewichte von 50 gr bis über 200 t, d.h. Schweißkonstruktionen – Maschinengusskörper – Hochlegierte Stähle für Chemie und Medizin, verzugsgefährdete und präzise Teile im allgemeinen Maschinen- und Formwerkzeugbau, Stahlbaukonstruktionen wo speziell auf Rissbildung zu achten ist
- Über hundert Referenzkunden – tausende von Anwendungen, und zwar bei Herstellern von Schweißkonstruktionen, Firmen im Maschinenbau, Flugzeugbau, Werkzeug- und Formenbau, etc.
- Behandlung von Bauteilen vor Ort im Lohnauftrag, d.h. «Just – in – Time»

(siehe Abb. 9 sowie weitere Beispiele aus der Praxis in Abb. 10 bis 14)

Verfahrensablauf

- Automatiksoftware ermittelt Arbeitsfrequenz und Werkstückverhalten
- Mittels «Finite Elemente Berechnung» werden am Computer die im Werkstück vorhandenen Basisresonanzfrequenzen und Eigenschwingungsformen ermittelt.
- Anbringen des Motors und der Beschleunigungsmesser gemäss der vorgängig am Computer ermittelten Positionen
- Die Anlage sucht sich im Scanmode die zu behandelnden Schwingfrequenzen und arbeitet diese vollautomatisch ab.
- Das Bearbeitungsprotokoll zeigt mittels KD Wert die Entspannung des Teils

Finite Elemente Anwendungen als Unterstützung bei komplexen Bauteilen

Eine FE Anwendung ist bei Werkstücken mit komplexer Formgebungen sinnvoll.

Sie gibt Aufschluss über:

- Lage der Schwingungsknoten (Eigenformen)
- Eigenfrequenzen
- Bereiche mit grossen Amplituden und dient als Entscheidungsgrundlage für:
- Lagerung des Bauteils

- Position des Schwingungserregers
- Position des Beschleunigungsaufnehmers

Schlusspunkt:

Dank den heute vorliegenden Erkenntnissen, welche ICA während vieler Jahre Forschung und Entwicklung erarbeitet hat ist es möglich geworden, dass:

Auf das Spannungsarmglühen weitgehend verzichtet werden kann

Ohne Wartezeiten – innert kürzester Zeit (max Applikationszeit pro Bauteil = 2 Std) minimalste Logistikkosten – just in Time – kein Verzug der Teile – kein Nachbearbeiten (Verzunderung) – mit minimalstem Stromaufwand – klare Aussage über Relaxation mittels computer erstelltem Protokoll – sehr umweltfreundlich (kein Rauch, keine Gerüche, keine Sandstrahlemissionen, keine Chemie von Farben, etc.)



Abb. 12: Entspannen einer Maschinengrundkonstruktion 4,5t

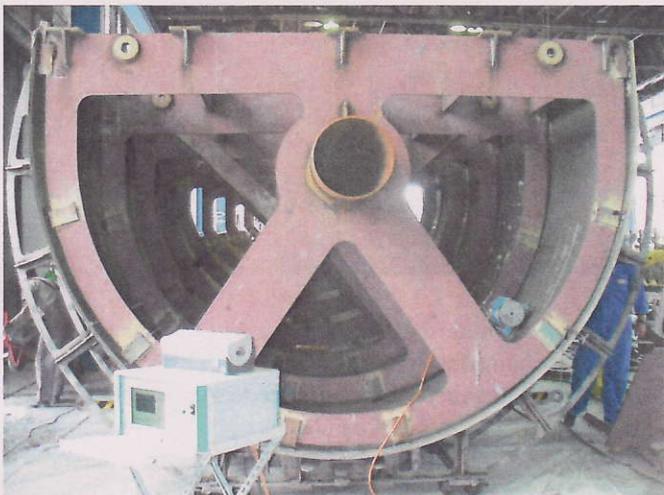


Abb. 11: Entspannen einer Klebevorrichtung für die Flugzeugrumpfsktion eines Flugzeugherstellers



Abb. 13: Entspannen einer Schweisskonstruktion 6,5t

Fortschritt durch Forschung:

Eine vollautomatische Anlage zur Aufnahme einer grossen Anzahl von kleineren Teilen ist in Arbeit.

ICA bietet das Verfahren im Lohnauftrag an und verkauft Systeme, zugeschnitten auf die individuellen Bedürfnisse des Kunden.

Lesenswert:

https://edms.cern.ch/file/687265/0.2/Vibration_final_v0.2.pdf

ica.industrial@bluewin.ch

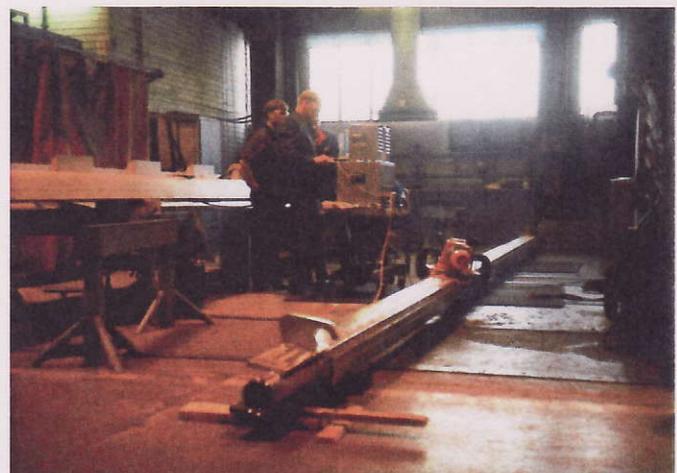


Abb. 14: Entspannen eines Papierabstreifers 1 t, 6,5m