

N26d

Inhomogenitäten in hochreinen Metallen und Legierungen: gefunden mit dem TEM-Verfahren

Michael Charpentier, Johann H. Hinken, Hochschule Magdeburg-Stendal (FH)

1. Einleitung

Materialinhomogenitäten in Metallen und ihren Legierungen können zu Bauteilversagen mit dramatischen Folgen führen, zum Beispiel **Fremdmaterialeinschlüsse** wie Tantal in Nioblechen supraleitender Teilchenbeschleuniger, **Seigerungen** in Nickel-Basis- und Titanlegierungen von Flugturbinenscheiben und auch Regionen mit **Materialermüdung** in der Aluminiumaußenhaut von Flugzeugen. Es ist lange bekannt, dass der thermoelektrische Seebeck-Effekt sich zum Aufspüren solcher Inhomogenitäten eignet, allerdings in der Vergangenheit zumeist durch kontaktierende Auslesung von Thermospannungen verwendet. Um Störeinflüsse wie Oberflächenverunreinigung zu umgehen, wurde ein kontaktfreies Verfahren über die Auslesung von Magnetfeldern entwickelt. Die zu detektierenden Magnetfelder sind schwach, und zunächst wurden dafür supraleitende SQUID-Magnetometer eingesetzt, siehe [1] und [2]. Die aufwändige Handhabung des supraleitenden Magnetometers behinderte den industriellen Einsatz. Inzwischen sind sehr rauscharme, normalleitende Magnetometer verfügbar, deren Einsatz einen erheblich reduzierten Handhabungsaufwand erwarten lässt. Der nachfolgende Bericht über das Thermoelektrische Prüfverfahren mit magnetischer Auslesung (TEM) bestätigt diese Erwartung.

2. Prüfverfahren

Aufgrund des Seebeck-Effektes tritt an den Enden eines Drahtes aus Material 1 eine elektrische Spannung auf, wenn ein Abschnitt des Drahtes durch ein Material 2 ersetzt wird und die beiden Verbindungsstellen auf unterschiedlicher Temperatur liegen. Wenn diese Situation in das Dreidimensionale erweitert wird, so ergibt sich ein Körper aus dem Metall 1, der an oder unter der Oberfläche einen Einschluss aus dem Metall 2 enthält. Bei Aufbringen eines Temperaturgradienten im Körper entstehen statt der Thermospannung im Körper

Thermoströme, deren Magnetfelder auch außerhalb des Körpers vorhanden sind. Daher kann ein solcher Einschluss im Sinne der zerstörungsfreien Prüfung gefunden werden, wenn dem Körper ein Temperaturgefälle eingeprägt und dann der Magnetfeldverlauf an seiner Oberfläche gemessen wird. Eine Ungleichmäßigkeit führt zum Nachweis der Inhomogenität. Für weitere Erläuterungen sehen Sie bitte unter [2] insbesondere die Arbeiten N5, N6 und N10.

In den hier beschriebenen Experimenten wurde der Temperaturgradient durch einen auf die Bauteiloberfläche gerichteten Heißluftstrahl eingebracht. Die Düse war fest am Sensor befestigt und mit ihm mäanderförmig über die Oberfläche des Bauteils bzw. der Probe geführt, siehe Bild 1.

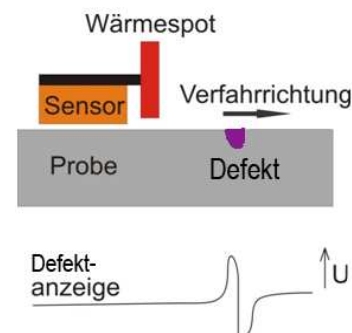


Bild 1: Schematischer Aufbau des Prüfverfahrens

Zum Ausblenden von Störfeldern wurden die Sensoren als Magnetfeldgradiometer ausgeführt. Es kamen Sensoren auf Fluxgate-Basis mit kleinerem Eigenrauschen und größerer Ortsauflösung sowie auf GMR (Giant-Magneto-Resistance)-Basis mit höherem Eigenrauschen und feinerer Ortsauflösung zum Einsatz. Bei letzteren konnte das höhere Eigenrauschen in seiner Auswirkung z.T. durch einen geringeren Abstand zwischen Sensor und Bauteiloberfläche ausgeglichen werden.

3. Prüfergebnisse

Im Folgenden ist eine Auswahl von Prüfergebnissen dargestellt.

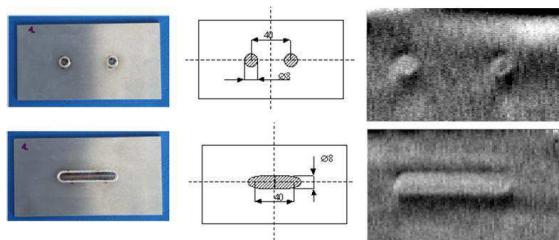


Bild 2: UDIMET-720[®]-Proben mit Waspaloy[®]-Auftragsschweißung. Links: Fotos der Proben nach der Auftragsschweißung. Die Proben wurden anschließend abgeschliffen, so dass die Aufträge visuell nicht mehr erkennbar waren. Mitte: technische Zeichnungen der Defekte. Rechts: im Scanverfahren aufgenommenes Magnetfeld in Schwarz-Weiß-Darstellung.

Bild 2 zeigt Prüfergebnisse von künstlichen Defekten. Es handelt sich um zwei Proben aus einer größeren Serie von Waspaloy[®]-Auftragsschweißungen auf UDIMET-720[®]-Platten. Es kamen GMR-Sensoren zum Einsatz. In der rechten Spalte sind die Magnetfeldverteilungen in Schwarz-Weiß-Darstellung zu sehen. Sie geben die Fremdmaterialeinschlüsse deutlich und plastisch wieder.

Bild 3 zeigt die untere der Proben aus Bild 2, wobei Sensor und Wärmespot auf der defektabgewandten Seite liegen. Die Probendicke beträgt 2,7 mm. Und auch hierbei ist der künstliche Defekt, weiterhin mit GMR-Sensoren aufgenommen, noch zu erkennen.

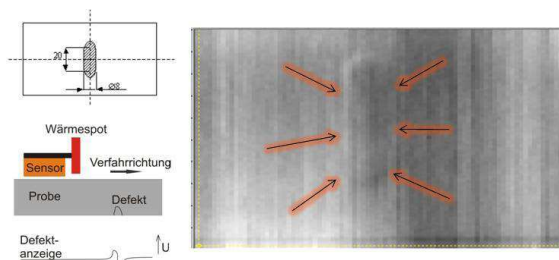


Bild 3: UDIMET-720[®]-Platte mit Waspaloy[®]-Auftragsschweißung auf der Unterseite. Links: technische Zeichnung des Defektes und schematische Darstellung der Prüfsituation. Rechts: gemessenes Magnetfeld in Schwarz-Weiß-Darstellung.

Außer den z. T. oben beschriebenen „künstlichen“ Proben wurden auch „natürliche“ Proben untersucht. Ein Beispiel ist in Bild 4 dargestellt.

Literatur:

- [1] J. H. Hinken and Y. Tavrın, „Detection of segregations in aero engine turbine discs with the thermoelectric SQUID method“, 1999 ASNT Fall Conference (Phoenix, Arizona, October 11-15, 1999).
 [2] www.hs-magdeburg.de/fachbereiche/f-iwid/ET/Personen/Hinken/forschung/

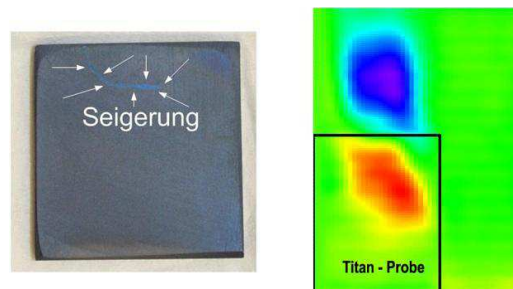


Bild 4: Seigerung in Ti6Al4V-Probe. Links: Foto der Probe mit angedeuteter Lage der Seigerung. Rechts: gemessene Magnetfeldverteilung in Farbdarstellung.

Bild 4 zeigt eine Ti6Al4V-Probe mit einer Seigerung, die zuvor über „Blue Etch Anodizing“ erkannt wurde. Diese Methode ist nur zur Erkennung von Seigerungen anwendbar, die an die Oberfläche ragen. Mit der TEM-Methode sind auch unter der Oberfläche liegende Materialinhomogenitäten erkennbar. Der rechte Teil in Bild 4 zeigt den aufgenommenen Magnetfeldscan in Farbdarstellung. Die Begrenzung der Probe ist angedeutet. Das rote Feld wurde an der Oberfläche der Probe gemessen, der blaue Bereich im wesentlichen neben der Probe, bedingt dadurch, dass die Seigerung nahe am Probenrand liegt. Diese positiven und negativen Magnetfelder deuten einen geschlossenen Feldlinienverlauf an.

4. Schluss

Das TEM-Verfahren ist geeignet, Materialinhomogenitäten wie Seigerungen, Fremdmaterialeinschlüsse sowie Bereiche mit ermüdungs- oder überhitzungsbedingten Materialphasenumwandlungen berührungslos nachzuweisen. Es wurde gezeigt, dass zur Anzeige früher verwendete supraleitende SQUID-Magnetometer durch rauscharme, einfacher zu handhabende normalleitende Magnetometer ersetzt werden können. Das TEM-Verfahren ist urheberrechtlich geschützt mit einer Patentfamilie basierend auf dem Patent DE 19846025C2.

Die Autoren danken den Herren Feist und Dr. Bamberg der MTU Aero Engines GmbH für die Bereitstellung von Proben sowie dem Bundesministerium für Forschung und Technologie für die finanzielle Förderung dieser Arbeiten unter dem Förderkennzeichen: 16SV3737