

Ersatz für Ausgabe November 2011

Inhalt:

1. Zweck und Anwendung
2. Porosität
 - 2.1. Begriffsdefinition
 - 2.2. In der Praxis eingesetzte Messverfahren und -geräte
 - 2.3. Kalibrieren der Geräte
 - 2.4. Messen
 - 2.4.1. Allgemeines
 - 2.4.2. Wahl der Messpunkte
 - 2.4.3. Einflüsse, die zu Messfehlern führen oder die die Messgenauigkeit beeinflussen können
 - 2.4.4. Anzahl der Messungen
- 2.5. Auswertung
- 2.6. Abnahmeprüfung
3. Risse
 - 3.1. Begriffsdefinition
 - 3.2. Messverfahren und Messgeräte
 - 3.3. Kalibrieren der Geräte
 - 3.4. Messen
 - 3.5. Auswertung
 - 3.6. Abnahmeprüfung
4. Schrifttum
 - 4.1. Regelwerk

1. Zweck und Anwendung

Das Merkblatt gibt Hinweise für eine praktische und einheitliche Handhabung der Verfahren zum zerstörungsfreien Prüfen von Poren und Rissen in thermisch gespritzten Schichten und zeigt Grenzen der Anwendung auf.

2. Porosität**2.1. Begriffsdefinition**

Unter Poren im Sinne dieses Merkblattes werden Hohlräume innerhalb thermisch gespritzter Schichten verstanden, wobei diese vorrangig kreisförmig, elliptisch aber auch unregelmäßig ausgebildet sind.

2.2. In der Praxis eingesetzte Messverfahren und -geräte

In der Praxis werden hauptsächlich Verfahren und Geräte eingesetzt, die in der Tabelle 1 aufgelistet sind.

Optische Sichtkontrolle

Verfahren, bei denen das Bewerten thermisch gespritzter Schichten hinsichtlich Porosität durch optische Sichtkontrolle an der Oberfläche der Schichten erfolgt. Dabei können auch optische Geräte wie Lupen und Mikroskope zu Hilfe genommen werden.

Farbeindringprüfung

Verfahren, bei denen kapillaraktive Substanzen von der Oberfläche her in Poren der thermisch gespritzten Schichten eindringen und durch Kontrastanhebung (Farbgebung, Fluoreszenz) diese Poren sichtbar gemacht werden. Die Bewertung der Porosität erfolgt durch optische Sichtkontrolle.

Oberflächenabdrücke

Verfahren zur Abbildung der Oberfläche thermisch gespritzter Schichten mittels Folien, Lacken, Harzen und dergleichen. Das

Dieses Veröffentlichung wurde von einer Gruppe erfahrener Fachleute in ehrenamtlicher Gemeinschaftsarbeit erstellt und wird als eine wichtige Erkenntnisquelle zur Beachtung empfohlen. Der Anwender muss jeweils prüfen, wie weit der Inhalt auf seinen speziellen Fall anwendbar und ob die ihm vorliegende Fassung noch gültig ist. Eine Haftung des DVS und derjenigen, die an der Ausarbeitung beteiligt waren, ist ausgeschlossen.

Bewerten der Porosität erfolgt ausschließlich an den Oberflächenabdrücken (Replika). Die Auswertung wird in der Regel durch mikroskopische Verfahren unterstützt.

Rauheitsmessung

Rauheitsmessungen an reproduzierbar bearbeiteten thermisch gespritzten Beschichtungen liefern als Vergleichsmessungen bei gleichen Spritzverfahren, Beschichtungswerkstoffen und Teilgeometrien qualitative Aussagen hinsichtlich der Porosität, da auch angeschnittene Poren abgebildet werden. Voraussetzung für derartige Aussagen ist, dass zur Korrelation von Rauheitsmessung und Porosität von entsprechenden Probestücken metallographische Schläffe angefertigt werden, anhand derer die Porosität beurteilt wird.

Wirbelstromverfahren

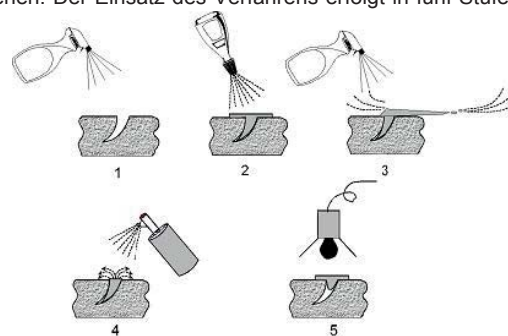
Verfahren, bei denen durch eine Sonde (Spule) Wirbelströme in elektrisch leitfähigen Beschichtungen erzeugt werden. Die Wirbelströme werden mittels einer Induktionsspule erfasst. Poren im oberflächennahen Bereich stören die Ausbreitung der Wirbelströme in der Beschichtung. Der Nachweis der Poren erfolgt durch Auswerten der in der Spule induzierten Spannung bzw. durch Impedanzmessung der Spule.

2.3. Kalibrieren der Geräte**Optische Sichtkontrolle**

Beim Sicht- oder Tastvergleich wird das Prüfteil entweder mit Oberflächenvergleichsnormen oder in Einzelfällen auch mit aus der Fertigung entnommenen Musterstücken bekannter Rauheit, Porosität nach der so genannten „Fingernagelprobe“ tastend und betrachtend verglichen.

Farbeindringprüfung

Das Farbeindringverfahren wird zum zerstörungsfreien Nachweis von Fehlstellen, wie Poren, Risse und ähnliches, eingesetzt. Voraussetzung hierbei ist, dass die Fehlstellen von der Oberfläche der Prüfstücke ausgehen oder mit ihr unmittelbar in Verbindung stehen. Der Einsatz des Verfahrens erfolgt in fünf Stufen, Bild 1.

**Bild 1.** Prinzip des Farbeindringverfahrens

- 1 Reinigung der Oberfläche
- 2 Penetriermittel aufsprühen
- 3 Waschen/Entfernen des überschüssigen Penetriermittels
- 4 Auftragen des Entwicklers
- 5 Betrachten der Fehlstelle mittels (UV-)Lampe

In der ersten Stufe (1) wird die Bauteiloberfläche gründlich gereinigt (z. B. mit Aceton), um Fett- und Ölrückstände sowie Rost, Zunder und Schmutz zu entfernen. In der zweiten Stufe (2) wird das Farbeindringmittel (Signalfarbe, häufig fluoreszierend) auf die Oberfläche gesprüht. Die Flüssigkeit dringt langsam in die feinen Öffnungen der Risse, Poren usw. ein. Im nächsten Arbeitsgang (3) wird das überschüssige Farbeindringmittel durch Waschen der Oberfläche entfernt. Zum Schluss erfolgt die Entwicklung der Fehleranzeige. Mit Hilfe eines Kontrastmittels von meist weißer Farbe wird die Oberfläche benetzt (4). Dieses Kontrastmittel saugt die eingedrungene Flüssigkeit aus den Hohlräumen der Fehlstellen (Kapillarwirkung) und breitet sie seitlich der Fehlstelle aus. Die Breite der Anzeige richtet sich nach der Menge der eingedrungenen Flüssigkeit und ist damit ein Maß für die Größe der Fehlstelle (bei Rissen z. B. Rissvolumen). Der Nachweis der Fehlstelle erfolgt unter Zuhilfenahme einer zusätzlichen Lichtquelle, wobei meistens eine UV-Lampe eingesetzt wird (5).

Oberflächenabdrücke

Das Abdruckverfahren (Replikatechnik) beruht darauf, dass die Oberfläche eines Bauteils mit Hilfe einer aufgetragenen Lack- oder Kunststoffschicht nachgezeichnet wird. In dieser Lack- bzw. Kunststoffschicht wird der Abdruck des Oberflächenzustands wie Gestalt, Gefüge, Inhomogenitäten, Rauheiten usw. erfasst. Hierzu wird zunächst die Oberfläche sorgfältig gereinigt, geschliffen und poliert. Auf die derart vorbereitete Oberfläche wird entweder ein Lack, der auf Nitrozellulose oder Kunstharzbasis aufgebaut ist, oder eine geeignete Kunststoffolie (Mindestdicke von 0,06 mm) mittels eines geeigneten Lösungsmittels gegeben. Nach einer vorgeschriebenen Zeit wird der getrocknete Lack bzw. die ausgehärtete Kunststoffolie vorsichtig von der Prüfteiloberfläche entfernt und unter einem Auflichtmikroskop betrachtet und ausgewertet, Bild 2.

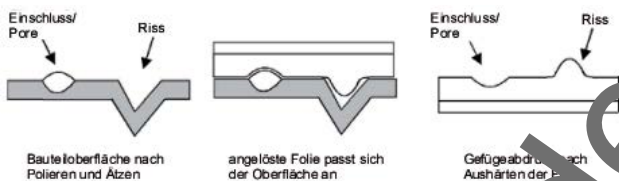


Bild 2. Abdruckverfahren / Replikatechnik

Rauheitsmessung

Zur Erfassung der Rauheit und der damit verbundene Porosität steht eine Anzahl verschiedener Mess- und Prüfverfahren zur Verfügung, welche nach ihren Prinzip in drei Gruppen eingeteilt werden. Mit Hilfe von Vergleichskörpern erfolgt mit einer Sicht- und/oder Tastprüfung die Bestimmung der Rauheit. Tastschnittverfahren ermitteln mit Hilfe einer Tastspitze die Topografie des Bauteils und können so Rauheitskennzahlen wie R_a und R_z ermitteln, welche in Korrelation mit der Porosität stehen können. Optische Verfahren bilden die dritte Gruppe und vermessen die Oberfläche entweder mit dem Streulichtverfahren oder Fokus-Detektor-Verfahren.

Wirbelstromverfahren

Das Wirbelstromverfahren beruht auf dem elektromagnetischen Induktionsprinzip. Als Messinstrument dient dabei eine Spule, die mit einem Wechselstrom angeregt wird. In das hierdurch erzeugte magnetische Wechselfeld der Spule wird das zu prüfende Bauteil gebracht. Grundvoraussetzung ist hierbei, dass das Prüfteil elektrisch leitfähig ist. Das Prüfteil selbst sowie alle sich auf die Permeabilität μ und die Leitfähigkeit σ auswirkenden Werkstoffeigenschaften wirken über die Anregung von Wirbelströmen nach der Lenzschen Regel zu einer Änderung des induzierten Magnetfeldes und damit zu einer messbaren Impedanzänderung der Spule, Bild 3. Aus der Messung der Spulenimpedanz oder, bei Einspeisung eines konstanten Wechselstroms, der Messung der in einer zweiten Spule (Sekundärspule) induzierten Spannung

lässt sich dann auf die Eigenschaften des vorliegenden Prüfteils schließen. Hierzu gehören bei beschichteten Bauteilen die Messung der Schichtdicke, der Nachweis von Materialinhomogenitäten (Risse, Grenzschichtfehler, Poren usw.) sowie der Nachweis betriebsbedingter Schäden (Oxidation, Sulfidation). Zur Steigerung des Nachweisvermögens für Materialinhomogenitäten können sich die Sekundärspule dabei aus zwei oder mehr Windungen, die gegeneinander geschaltet sind, zusammensetzen.

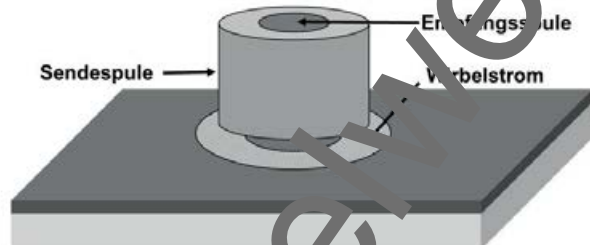


Bild 3. Einsatz einer Tastspule zum Nachweis von Materialinhomogenitäten beim Wirbelstromverfahren

Konventionelle, monofrequente Prüfgeräte nutzen als Messeffekt die Impedanzänderung der Messspule, indem sie deren Signalverlauf nach Amplitudenwert und Phasenlage analysieren. Sie schicken hierzu in der Regel einen monofrequenten Wechselstrom auf die Prüfspule und messen die in der Sekundärspule induzierte Ausgangsspannung ab, bezogen auf die Leerlaufspannung der Spule ohne Prüfteil, als charakteristische Scheinspannung in der komplexen Ebene dargestellt werden kann. Durch Einsatz höherer Frequenzen oder Impulsen können Störgrößen erkannt und unterdrückt werden.

2.4. Messen

2.4.1. Allgemeines

Mit dem in der Praxis eingesetzten erfassten Verfahren kann die Porosität thermisch gespritzter Beschichtungen nur an der Oberfläche erfasst werden. Die Verfahren liefern weitgehend nur qualitative Ergebnisse (niedrige Porosität, hohe Porosität), quantitative Aussagen sind nur beschränkt und in Einzelfällen (z.B. Replikatechnik) möglich. Werden mehrere Bauteile in gleicher Weise beschichtet, können vergleichende Aussagen zwischen den einzelnen Beschichtungen getroffen werden. Aussagen über die Porosität im Inneren thermisch gespritzter Beschichtungen sind gegenwärtig nur mit zerstörenden Prüfverfahren (metallographische Schlitte) möglich.

2.4.2. Wahl der Messpunkte

Die Genauigkeit der Porositätsbestimmung im Rahmen des gewählten Messverfahrens hängt von der Wahl der Messpunkte und deren Anzahl ab. Bei der Wahl der Messpunkte muss nach einem Systemverfahren werden, das ein repräsentatives Erfassen der zu bewertenden Messpunkte bzw. des zu bewertenden Objektes ermöglicht. Dabei ist darauf zu achten, dass kein Messpunkt wiederholt erfasst wird.

2.4.3. Einflüsse, die zu Messfehlern führen oder die die Messgenauigkeit beeinflussen können

Störgrößen, die die Fehlernachweisempfindlichkeit der unterschiedlichen Verfahren beeinflussen können, sind in der Tabelle 1 zusammengefasst. Darüber hinaus wird die Messgenauigkeit maßgeblich beeinflusst durch:

- den Oberflächenzustand (z.B. Rauheit, Sauberkeit usw.)
- die Bauteilgeometrie (z.B. Kanten, Bohrungen usw.)
- die Prüfumgebung (z.B. Beleuchtung, EMV)
- die Handhabung der Geräte (Beachtung von Bedienungsanweisungen und Herstellerangaben usw.).