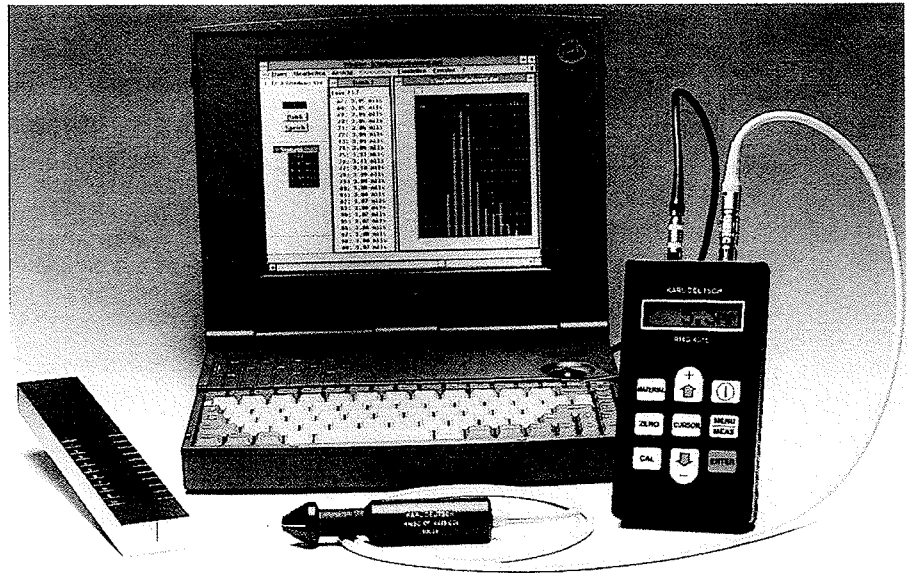


Mit grundsätzlich verbesserter Meß- und Sensortechnik sowie rechnergestützter Auswertung können die früher als verfahrensbedingt angesehenen Meßunsicherheiten bei der Rißtiefenmessung nach dem Potentialsondenverfahren erheblich reduziert werden. Durch Verkleinerung der Gerätegröße auf Taschenformat und verbesserte Handhabung der Sonden wird die Rißtiefenmessung zu einem einfachen und schnellen Kontrollinstrument bei der Magnetpulver- oder Farbeindringprüfung oder an belasteten Bauteilen.



Rißtiefenmeßgerät im Taschenformat mit Sonde, Notebook-PC und Kalibrierstab

Volker Deutsch,
Philipp Ettl,
Michael Platte,
Helmuth Cost,
Wuppertal

Rißtiefenmessung

Zeitgemäße Meßtechnik für ein bewährtes Verfahren

Crack Depth Determination.
A modern technique of an established method. Measuring crack depths by the potential drop method is a well known NDT method, which is often applied in addition to magnetic particle or penetrant inspection of workpieces in order to decide on their repair. It also monitors crack growth of mechanically loaded or chemically affected workpieces. The accuracy and handling has been improved by a new pocket size digital crack depth gage and newly designed electronics for signal preprocessing and memory. Crack depth calculations are carried out with respect to prestored data of various materials of different electrical and magnetic properties.

Rißtiefenmessung bisher

Geräte zur Rißtiefenmessung nach dem Potentialsondenverfahren werden bereits seit einigen Jahrzehnten überwiegend in Ergänzung der Magnetpulver-Rißprüfung an ferromagnetischen Werkstoffen eingesetzt [1]. Während mit der Magnetpulver-Rißprüfung ein Riß lediglich visuell festgestellt und seine Lage auf der Werkstückoberfläche lokalisiert wird, läßt sich mit dem Potentialsondenverfahren die Tiefe eines gefundenen Risses bestimmen. Dies ist dann von Interesse, wenn grundsätzlich über Nacharbeit oder Verwerfen des Werkstücks entschieden werden soll. Ist die Rißtiefe vorher bekannt, so können zeitaufwendige Nacharbeiten an solchen Werkstücken vermieden werden, bei denen der Riß ohnehin so tief in das Material reicht, daß der für eine Nacharbeit zulässige Materialabtrag überschritten würde. Die quantitative Analyse eines Risses, das heißt die Kenntnis der Rißtiefe, trägt oftmals auch zum besseren Verständnis der Einflüsse von Fertigungsparametern bei. Das Potentialsondenverfahren kann außerdem als präventive Werkstückprüfung zur Verfol-

gung eines Rißwachstums an Prüfteilen unter Last verwendet werden oder auch zu Zwecken der Materialanalyse [2].

So alt wie das Verfahren selbst sind auch die mit dieser Meßtechnik verbundenen Schwierigkeiten. Zum einen ergeben sich je nach Beschaffenheit der Werkstückoberfläche oder des verschleißbedingten Zustands der Sonden spitzen mehr oder minder starke Meßstreuungen. Zum anderen ist auch das richtige Aufsetzen der Sonden durch den Prüfer und insbesondere ein richtig ausgeführtes Kalibrieren auf dem Werkstück entscheidend für das Meßergebnis. Wegen der unterschiedlichen Materialeigenschaften müssen vor jeder Messung Gerät und Meßsonde sorgfältig auf dem jeweiligen Werkstück kalibriert werden.

Auch die sonstige Handhabung der bisher verwendeten vierpoligen oder dreipoligen Sonden mit separatem Strompol ist problematisch. Da an den Sondenkontakten nur sehr kleine Meßspannungen abfallen, kann sowohl beim Kalibrieren als auch beim eigentlichen Messen mitunter schon eine Lageveränderung des Sonden-Anschlußkabels Ursache für induzierte Fremdspannungen sein und stark

Tabelle 1. Für die Rißtiefenmessung wichtige Werte für einige typische Metalle

| Material | Leitfähigkeit $\frac{\sigma}{\mu\Omega\text{m}^{-1}}$ | spezifischer Widerstand $\frac{\rho}{\mu\Omega\text{m}}$ | relative Permeabilität μ | Skin Eindringtiefe $\frac{d\sqrt{f}}{\text{mm} \cdot \text{Hz}^{1/2}}$ | Oberflächenwiderstand $\frac{R_0/\sqrt{f}}{\mu\Omega/\text{Hz}^{1/2}}$ |
|------------------------------|--|---|---------------------------------|---|---|
| Grauguß | 1.25 | 0.8 | 250 | 28.4 | 28.1 |
| Magnetisierbare Stähle | 2.00 – 1.43 | 0.5 – 0.7 | 100 – 300 | 24.3 – 35.6 | 14.0 – 28.8 |
| Nicht magnetisierbare Stähle | 1.11 – 1.43 | 0.7 – 0.9 | ~ 1 | 420 – 480 | 1.66 – 1.89 |
| Edelstahl, rostfrei (1.4301) | 1.37 | 0.73 | ~ 1 | 430 | 1.69 |
| Messing | 14.2 | 0.070 | ~ 1 | 133 | 0.52 |
| Aluminium, Sandguß (3.1371) | 20.0 | 0.050 | ~ 1 | 112 | 0.44 |
| Reinaluminium | 37.7 | 0.026 | ~ 1 | 81.9 | 0.32 |
| Kupfer | 64.1 | 0.016 | ~ 1 | 62.9 | 0.25 |

streuende oder gänzlich falsche Meßergebnisse zur Folge haben. In älteren Ringversuchen mit verschiedenen Prüfteilen, Prüfgeräten und Prüfern wichen daher in 74% der Fälle die gemessenen Rißtiefen um mehr als 20% von den tatsächlichen Werten ab [3].

Im Folgenden wird ein neues digitales Meßsystem mit grundsätzlich verbesserter Meß- und Sondentechnik und rechnergestützter Auswertung beschrieben, das die früher als verfahrensbedingt angesehene Meßunsicherheit nunmehr auf ein Minimum reduziert. Gleichzeitig wurde die Baugröße des Gerätes auf Taschenformat verkleinert. Die Bedienung des Gerätes und Handhabung der Sonden sind daher nunmehr ähnlich einfach wie bei heute üblichen Schicht- oder Wanddickenmeßgeräten.

Physikalische Grundlagen

Bei der Rißtiefenmessung nach dem Potentialsondenverfahren wird der elektrische Widerstand zwischen zwei Meßpunkten auf der Oberfläche eines metallischen Werkstücks gemessen. Wie bei einem metallischen Draht, dessen Widerstand mit der Länge zunimmt, nimmt auch der längs der Oberfläche gemessene elektrische Widerstand mit zunehmendem Abstand der Meßpunkte zu. Das ist dann der Fall, wenn bei fehlerfreier Oberfläche der Abstand der Meßpunkte vergrößert wird, aber auch, wenn sich bei festem Abstand der Meßpunkte zwischen ihnen ein in das Innere des Materials verlaufender Riß befindet, der den für den elektrischen Stromfluß maßgeblichen Weg längs der metallischen Oberfläche um die zweifache Rißtiefe vergrößert. Die Erhöhung des elektrischen Widerstands zwischen Messungen an rißfreier und rißbehafteter Stelle ist daher ein Maß für die gesuchte Rißtiefe.

Wie für präzise Widerstandsmessungen üblich, wird auch bei der Rißtiefenmessung nach dem Potentialsondenverfahren eine Vierpol-Meßtechnik verwendet (Bild 1). Über zwei äußere Strompole S_1 und S_2 wird ein Konstantstrom in das Werkstück eingeleitet. Die an den beiden Meßpolen M_1 und M_2 hochohmig abgegriffene Spannung U ist dem elektrischen Widerstand zwischen den beiden Meßpolen proportional. Eine Messung der Spannung an den Strompolen liefert zusätzlich zum gesuchten Widerstand längs des Risses den Widerstand der Strompole und die Übergangswiderstände der Strompole zum Material. Sie wäre daher zur Ermittlung der Rißtiefe unbrauchbar.

Die an den Meßpolen abfallende Spannung U hängt in charakteristischer Weise mit der gesuchten Rißtiefe h , den bekannten Abständen der Meßpole $2a$ und der Strompole $2s$ zusammen. Bei allen natürlichen Rissen ist die Rißbreite $2b$ klein gegenüber der Rißtiefe und dem Abstand der Meßpole. In solchen Fällen ist der Einfluß der Rißbreite auf die Meßspannung U vernachlässigbar [1] und wird daher nicht weiter berücksichtigt. Entscheidenden Einfluß auf die Meßspannung U haben aber die elektrischen und, zumindest im Falle einer Wechselstrommessung, die magnetischen Eigenschaften des jeweiligen Materials.

Zunächst ist die elektrische Leitfähigkeit σ bei eingepprägtem Strom über das Ohmsche Gesetz der Meßspannung direkt proportional. Bei einem eingepprägten Wechselstrom werden die elektrischen Feldlinien aufgrund der Selbstinduktion des Leiters mit zunehmender Frequenz f aus dem Material heraus in Bereiche dicht unter der Oberfläche gedrängt, so daß die Stromdichte dort zunimmt. Diese Erscheinung ist als Skin-Effekt bekannt. Die Eindringtiefe δ , nach der die Stromdichte um 63% abgefallen

ist, ergibt sich mit der relativen Permeabilität μ aus:

$$\delta = \sqrt{1/\mu\mu_0 f \sigma \pi} \quad (1)$$

Mit steigender Frequenz folgt der Stromverlauf daher mehr und mehr der Kontur der Oberfläche, wie das anhand des in Bild 1 eingezeichneten Strompfades für ausgeprägten Skin-Effekt dargestellt ist. Gleichzeitig tritt wie bei einem stromdurchflossenen Draht, dessen Querschnitt verkleinert wird, eine Widerstandserhöhung auf. Als Flächenwiderstand R_0 bezeichnet man dabei den Skin-Effekt-bedingten Widerstand zwischen gegenüberliegenden Kanten eines quadratischen Stücks einer Leiterschicht, dessen Kanten von einem Wechselstrom durchflossen werden:

$$R_0 = \sqrt{(\mu\mu_0 f \pi)/\sigma} \quad (2)$$

Tabelle 1 faßt die für die Rißtiefenmessung wichtigen Werte für einige typische Metalle zusammen.

Bei Gleichstrom, das heißt ohne Wirkung des Skin-Effektes, folgt der Stromverlauf dem Weg des geringsten Widerstandes, was etwa der geometrisch kürzesten Wegstrecke gleichkommt. Die Verwendung von Wechselstrom hat daher zur Folge, daß die gemessene Spannung bei gleicher Stromstärke sowohl durch Verlängerung des effektiven Strompfades als auch durch Wirkung des Oberflächenwiderstandes gegenüber der Gleichstrommessung erheblich vergrößert wird. Dies kommt dem Auflösungsvermögen und der Meßgenauigkeit zugute. Auf diese Weise lassen sich mit geringen Stromstärken auch an elektrisch besonders gut leitenden Materialien wie Edelstahl oder Aluminium Rißtiefenmessungen durchführen. Kleine Ströme bewirken außerdem, daß Verbrennungen an den Kontaktstellen (Strompole und Werkstück) vermieden werden und die

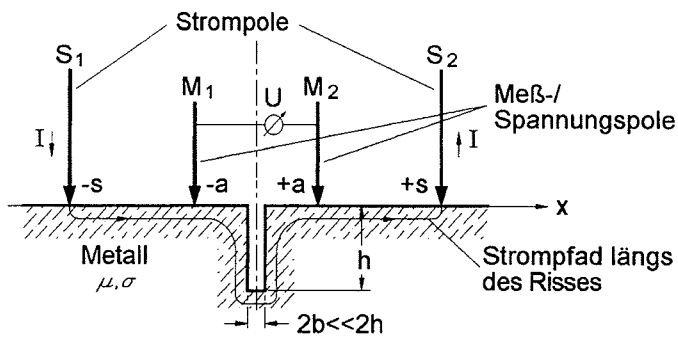


Bild 1. Prinzip der Ribftiefenmessung nach dem Potentialsondenverfahren

Strombelastung für batteriebetriebene Geräte reduziert wird.

Bei einem Stromfluß entlang der Oberfläche gemäß Bild 1 läßt sich die gesuchte Ribftiefe h anschaulich aus dem Abstand der Meßpole und den Meßspannungen U_0 an fehlerfreier Oberfläche und U_h über einem Rib ableiten: In beiden Fällen ist die Meßspannung dem zurückgelegten Stromweg proportional:

$$U_0 = k2a \quad (3a)$$

und

$$U_h = k(2a+2h) \quad (3b)$$

Dabei ist k eine Konstante. Daraus ergibt sich die gesuchte Ribftiefe h

$$h = a(U_h - U_0)/U_0 \quad (4)$$

Dieser Zusammenhang ist nur gültig, wenn der Skineffekt durch hohe Meßfrequenzen, hohe Leitfähigkeit und/oder hohe Permeabilität sehr ausgeprägt ist und der Stromfluß exakt der Oberfläche folgt. Zwischen dieser Bedingung und Gleichstrom gibt es beliebig viele Zwischenstadien, bei denen der Stromfluß in Werkstücken als dreidimensionaler Volumeneffekt betrachtet werden muß. Auch die Stromverteilung links und rechts der direkten Verbindungslinie der in Bild 1 dargestellten Strom- und Meßpole beeinflusst den gemessenen Spannungsabfall. Bei Gleichstrom ist daher der Zusammenhang in Gleichung (4) nur dann gültig, wenn der Abstand der Strompole $2s$ sehr viel größer als der Abstand $2a$ der beiden Spannungspole ist, und gleichzei-

tig die zu messende Ribftiefe nicht allzu groß ist [4].

In der Praxis kann man die Meßfrequenz wegen der zunehmenden Abschirmprobleme und der Frequenzabhängigkeit der Permeabilität nicht zu hoch wählen. Daher besteht unter realen Bedingungen ein komplizierter und nichtlinearer Zusammenhang zwischen Ribftiefe h und der gemessenen Spannung U_2 . Bild 2 zeigt dies bei einer typischen Frequenz von 3500 Hz für drei verschiedene Werkstoffe. Dieser Sachverhalt muß in einem Gerät zur Ribftiefenmessung berücksichtigt werden, will man die Meßgenauigkeit gegenüber herkömmlichen Geräten verbessern, bei denen zur Ermittlung der Ribftiefe unabhängig vom Material und den Meßbedingungen lineare Zusammenhänge angenommen werden.

Da bei diesen Frequenzen die Eindringtiefe des Stromes noch endlich ist, ist die Meßspannung U_h auch abhängig vom Abstand s der Strompole. Das kann genutzt werden, um Ribschräglagen festzustellen [1]. Dabei werden die unterschiedlichen Meßspannungen ausgewertet, die sich an einem schräg verlaufenden Rib ergeben, wenn man abwechselnd den Abstand s nur des linken Strompols und nur des rechten Strompols sehr groß macht.

Voraussetzung für eine auch unter realen Bedingungen genaue Messung ist aber in jedem Fall, daß die Sonden auch tatsächlich in der Lage sind, die Meßspannungen unverfälscht und stabil an der Oberfläche des Werkstücks abzugreifen.

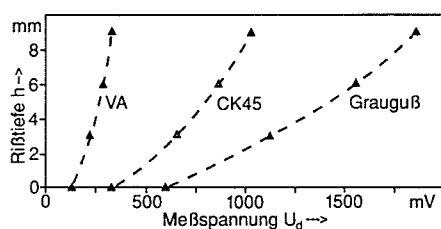


Bild 2. Abhängigkeit der Meßspannung U_d von der Ribftiefe h bei verschiedenen Werkstoffen

Neue Sonden für die Ribftiefenmessung

Bild 3 zeigt zwei neu entwickelte Sonden für die Ribftiefenmessung. Beide Sondentypen sind für eine manuelle Prüfung ausgelegt: An den Handgriff schließt sich der eigentliche Sondenkopf mit vier federnden Kontaktstiften an, von denen je zwei die Strompole und zwei die Meßbeziehungswise Spannungspole bilden. Bei

der Sonde in Bild 3a entspricht die Anordnung der Kontaktstifte genau der in Bild 1. Gegenüber dem Handgriff sind die Kontaktstifte um 90° abgewinkelt. Der Sondenkopf besteht außerdem aus einer prismatisch geformten Aufsatzfläche.

Zur Messung wird der Sondenkopf auf das Werkstück aufgesetzt und entsprechend der kleinen Rückfederkraft der Kontaktstifte mit nur sehr geringer Kraft so angedrückt, daß die Aufsatzfläche des Sondenkopfes flächig auf dem Werkstück aufliegt. Bei diesem Vorgang werden die rückfedernden Sondenstifte um etwa 2 mm in ihre mechanisch präzisen Führungen eingeschoben. Eine unsachgemäße Handhabung, zum Beispiel durch unnötig hoch ausgeübten Druck, ist praktisch unmöglich. Die prismatische Ausbildung der Aufsatzfläche ermöglicht auch ein sehr sicheres Aufsetzen auf zylindrisch gekrümmte Oberflächen, etwa Rohre. Durch die abgewinkelte Bauform kann der Sondenkopf aber auch auf Rohreninnenoberflächen oder sonst unzugängliche Werkstückbereiche aufgesetzt werden.

Die gerade Sondenbauform in Bild 3b ist für den universellen Einsatz an Außenoberflächen vorgesehen. Hier kommt es außerdem darauf an, die Kontaktstifte auf möglichst engem Raum zusammenzufassen, damit der Sondenkopf auch unter beengten Verhältnissen an den Rib herangeführt werden kann, zum Beispiel im Bodenbereich von Bohrungen. Zu diesem Zweck wird hier eine quadratische Anordnung der ebenfalls federnden Kontaktstifte gewählt. Gemäß Bild 4b sind dabei die beiden Strompole S_1 und S_2 , sowie die beiden Meßpole M_1 und M_2 jeweils parallel zueinander angeordnet. Die Sonde muß so aufgesetzt werden, daß der zu messende Rib senkrecht zur Verbindungslinie der Strombeziehungswise Spannungspole verläuft. Auf der Sonde ist zur Orientierung beim Aufsetzen eine entsprechende Markierung angebracht. Die Meßspannung wird daher praktisch um wenige Millimeter seitlich versetzt zum Hauptstromfluß abgegriffen.

Voraussetzung für das Auftreten einer auswertbaren Meßspannung ist, daß die Riblänge mindestens dem doppelten Polabstand entspricht. Gegenüber der Sonde aus Bild 3a mit einer linearen Anordnung der Polstifte (Bild 4) ist dies keine Einschränkung, da auch hier in etwa eine dem doppelten Abstand der Meßpole entsprechende Riblänge vorausgesetzt werden muß. In der Praxis ist diese Bedingung fast immer erfüllt.

Sollen kleinere Risse ausgemessen werden, müssen entsprechend kleinere Sondenbauformen verwendet werden,

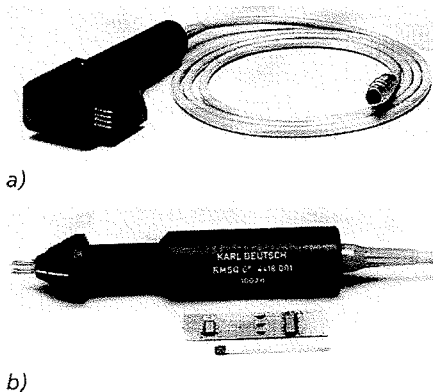


Bild 3. Sonden für die Rißtiefenmessung a) mit 90° Sondenkopf, b) mit 0° Sondenkopf

die als Sonderausführung möglich sind. Dasselbe gilt für komplizierte Werkstückgeometrien. So könnte bei den in Bild 3 gezeigten Sonden der Sondenkopf jeweils auch in beliebiger Winkellage, zum Beispiel 45°, angebracht werden. Denkbar sind auch Sonden mit verstellbarem Anstellwinkel des Sondenkopfes. Außerdem sind auch Sonderausführungen mit nur drei Kontaktstiften und einem separaten Strompol möglich, um Rißschräglagen festzustellen.

Die bei der Rißtiefenmessung auftretenden Spannungen an der Oberfläche der Werkstücke liegen im Bereich weniger μV bis maximal 0,1 mV. Diese Spannungen müssen exakt und positionsgenau abgegriffen werden. Daher benutzt man als Kontaktstifte federnde Tastspitzen, wie sie in der Elektronik und Mikroelektronik zum Kontaktieren und Prüfen von elektronischen Schaltkreisen heutzutage üblich sind (Bild 5).

Der angespitzte und gehärtete Kontaktstift ist federnd in einer zylindrischen Führung untergebracht. Um Kontaktspannungen und Übergangswiderstände auf ein Minimum zu reduzieren, ist er vergoldet. Im Falle des Verschleißes kann der Kontaktstift aus der Führungshülse herausgezogen und ohne spezielles Werkzeug ersetzt werden. Bei früheren Rißtiefensonden mußten in solchen Fällen die Sonden meist gänzlich verworfen werden.

Eine weiterer Vorteil der Tastspitzen liegt auch darin, daß verschiedene handelsübliche Bauformen eingesetzt werden können. So empfiehlt sich die in Bild 5 im rechten Teilbild gezeigte Tastspitze für verzünderte oder oxidierte Oberflächen: Beim Eindringen des Stiftes dreht sich dieser um seine Achse, so daß beim Aufsetzvorgang eine dünne, schlecht oder auch gar nicht leitende Schicht, die den eigentlichen Werkstoff bedeckt, durchbohrt wird, und dennoch Kontakt mit dem leitfähigen Untergrund

hergestellt wird. Bei solchen Oberflächen mußte bei bisherigen Sonden das Werkstück immer vor der Messung durch Schleifen oder Polieren sorgfältig präpariert werden.

Eine weitere Verbesserung der Meßtechnik liegt darin, bereits im Sondengehäuse mit der elektronischen Auswertung zu beginnen. Die in Bild 3b abgebildete SMD-Leiterplatte enthält sowohl analoge als auch digitale Bauelemente. Auf ihr ist zum einen ein 60-dB-Instrumentierverstärker untergebracht, um die mit den Sondenspitzen abgegriffene Spannung zunächst um einen Faktor 1000 zu verstärken, ehe das Signal über das Verbindungskabel dem eigentlichen Auswertegerät zugeleitet wird. Durch diesen vergleichsweise hohen Pegel ist das Signal sehr unempfindlich gegen elektromagnetische Beeinflussungen. Bei älteren Sonden ohne Vorverstärker hatte dagegen schon eine Lageveränderung des Zuleitungskabels Meßwertschwankungen zur Folge.

Desweiteren befindet sich ein Speicherelement auf der Leiterplatte, wie auch in Sonden für andere Meßverfahren, zum Beispiel zur Schichtdickenmessung, bereits üblich [5]: Um produktionsbedingte Unterschiede der Sonden zu kompensieren, zum Beispiel kleinste mechanische Toleranzen im Polabstand der Kontaktstifte, wird die Sonde werkseitig kalibriert, indem die individuelle Abhängigkeit der Meßspannung von der Rißtiefe (Bild 2) in Tabellenform im Speicherelement der Sonde abgelegt wird.

Auf dem bei jedem Gerät mitgelieferten Kalibrierstab aus dem Werkstoff CK45, der durch einen schräg verlaufenden Sägeschnitt Risse in verschiedenen Tiefen nachbildet (Anfangsbild, links), kann der Anwender so jederzeit kontrollieren, ob die Sonde noch hinreichend genaue Meßwerte liefert. Gegebenenfalls kann der Anwender auch selbst ein Nachkalibrieren durchführen. Dabei gehen die werkseitigen Kalibrierdaten jedoch nicht verloren, es werden vielmehr zusätzliche Korrekturwerte ermittelt und in der Sonde gespeichert, die den geänderten Meßbedingungen, zum Beispiel durch Abnutzung des Sondenstiftes oder

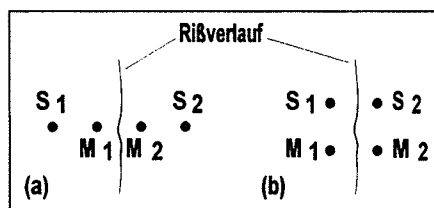


Bild 4. Anordnung der Meß- (M1 und M2) und Strompole (S1 und S2); a) lineare Anordnung, b) quadratische Anordnung

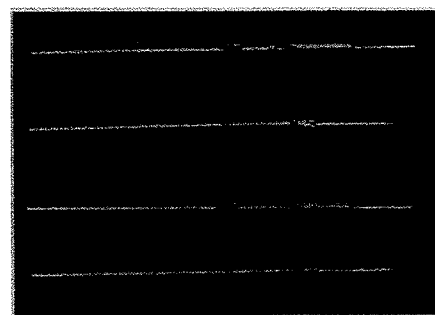


Bild 5. Auswechselbare Kontaktstifte für die Rißtiefensonden

starke Temperaturänderungen Rechnung tragen.

Über die Grundkennlinie der Sonde hinaus werden im Kennlinienspeicher der Sonde werkseitig auch Kennlinien für weitere Werkstoffe gespeichert. Diese sind so ausgewählt, daß praktisch das gesamte Spektrum der bekannten Werkstoffe hinsichtlich der dabei vorkommenden Kombinationen elektrischer und magnetischer Eigenschaften hinreichend abgedeckt ist. Auf diese Weise wird der oben erwähnten Tatsache Rechnung getragen, daß der Zusammenhang zwischen Meßspannung und Rißtiefe praktisch bei jeder Werkstoffvariante verschieden (Bild 2) und nur in Sonderfällen durch einen mathematischen Zusammenhang darstellbar ist. Eine derartige Problemlösung, die einer Vielzahl von verschiedenen Einflußparametern Rechnung trägt, kann im weiteren Sinne auch als eine Art Expertensystem bezeichnet werden.

Gerätetechnik und Auswertung

Das Anfangsbild zeigt rechts das neu entwickelte Rißtiefenmeßgerät mit Notebook-PC. Es verfügt über eine kontrastreiche LCD-Punktmatrixanzeige, die die Rißtiefen digital anzeigt. Die Folientastatur umfaßt nur wenige Tastenelemente, über die die grundlegenden Meßfunktionen des Gerätes direkt zugänglich sind. Die Bedienung ist daher so einfach wie bei herkömmlichen Wanddicken- oder Schichtdickenmeßgeräten. Weitere Funktionen, wie zum Beispiel Datenlogger oder Druckerausgabe über die Schnittstelle, sind über eine Menü-Taste anwählbar. Die jeweilige Funktion erscheint im Klartext und als Auswahl im Anzeigefenster und kann durch die Enter-Taste aktiviert werden.

Die Stromversorgung des Gerätes erfolgt über zwei Standard AA-Monozellen oder Akkus. Der Meßstrom beträgt wie bei herkömmlichen Geräten 500 mA. Er fließt jedoch nicht kontinu-

ierlich, solange die Sonde aufgesetzt ist, sondern jeweils nur einige Millisekunden gepulst. Im kontinuierlichen Betrieb wird pro Sekunde ein Meßwert gebildet und in der Anzeige dargestellt. Daher kann das Gerät bis zu 12 Stunden bei aufgesetzter Sonde kontinuierlich messen. Die Baugröße des Gerätes wurde auf Taschenformat (83 x 151 x 35 mm) reduziert.

Die eigentliche Umsetzung der Meßspannungen in Rißtiefen erfolgt im Mikroprozessor des Gerätes durch Vergleich mit den in der Sonde abgelegten werkseitigen Kalibriertabellen. Vor Beginn jeder Messung empfiehlt sich eine Kontrolle mit Hilfe des Kalibrierstabes. Ist etwa wegen Abnutzung der Sondenstifte ein Nachkalibrieren erforderlich, so können über die Zero- und Cal-Taste eine Null- und Endpunktkorrektur vorgenommen werden, indem die Sonde jeweils auf eine rißfreie Stelle und eine Stelle vorgegebener Rißtiefe des Kalibrierstabes aufgesetzt wird.

Geht man zur eigentlichen Messung über, so wird die Sonde zunächst nach Drücken der Material-Taste auf eine rißfreie Stelle des zu prüfenden Werkstücks aufgesetzt. Die dort auftretende Meßspannung wird mit den Daten der Materialien verglichen, die im Kennlinienspeicher abgelegt sind. Dadurch kann die für den Werkstoff passende Kennlinie automatisch aufgefunden und vom Mikroprozessor benutzt werden, wenn in der nachfolgenden Messung am Riß dessen Tiefe ermittelt werden soll.

Zusätzlich wird die Messung vom Mikroprozessor des Gerätes überwacht, um die durch den Bediener verursachte Meßunsicherheit, zum Beispiel Fehlbedienung, unsachgemäßes Aufsetzen oder Verwackeln der Sonde, nahezu auszuschließen. Solche Maßnahmen sind in [6] beschrieben und bestehen unter anderem in Plausibilitätsabfragen bei der Meßwertaufnahme. Meßwerte, die außerhalb eines plausiblen Erwartungsbereiches liegen, werden dabei vom Mikroprozessor nicht akzeptiert.

Da das Gerät intern unmittelbar nach Aufsetzen der Sonde fortlaufend etwa 20 Spannungsmessungen pro Sekunde ausführt, kann das Aufsetzen der Sonde durch eine statistische Entstörung überwacht werden, wie sie auch bei der Ultraschallprüfung zur Unterdrückung von Meßwertschwankungen eingesetzt wird. Nur wenn innerhalb eines im Gerät vorgegebenen Zeitintervalls eine vorgegebene Anzahl gemessener Werte innerhalb eines ebenfalls vorgegebenen Toleranzbandes liegt, wird der aus diesen Messungen gebildete Mittelwert

als Meßwert angezeigt. Eine Fehlbedienung durch verwackeltes Aufsetzen der Sonde ist dadurch ausgeschlossen.

Außerdem können auch die Mittelwerte mehrerer Meßwerte gebildet werden, indem die Sonde an ein und derselben Meßstelle mehrfach aufgesetzt wird. Dieses Verfahren ist auch bei Schichtdickenmeßgeräten zur Reduzierung der Meßunsicherheit üblich, teilweise sogar in Prüfvorschriften und Normen verbindlich festgelegt.

Mit diesem Gerät läßt sich daher auf ferromagnetischen Stählen im gesamten Meßbereich bis 100 mm Rißtiefe eine Reproduzierbarkeit der Meßergebnisse von $\pm 0,1$ mm erreichen. Die Meßunsicherheit liegt dabei je nach Material zwischen 1% und 13%: Stähle mit hoher elektrischer Leitfähigkeit und kleinerer Permeabilität tendieren wegen der geringeren Meßspannungen zu größerer Meßunsicherheit als Stähle mit geringerer Leitfähigkeit und höherer Permeabilität. Aber auch bei Nichteisenmetallen wie Aluminium oder Messing lassen sich mit dem neuen Gerät Rißtiefen messen, was bei Meßströmen unter 1 A bislang nur mit unzureichender Genauigkeit möglich war.

Der Vollständigkeit halber sei erwähnt, daß der Datenlogger des Gerätes bis zu 3850 Meßwerte speichert, die in bis zu 300 Gruppen aufgeteilt werden können. Eine eingebaute Echtzeituhr protokolliert dabei automatisch auch das Datum einer Meßreihe. Über die RS-232-Schnittstelle können Meßprotokolle direkt über einen Kleindrucker ausgegeben werden. Über dieselbe Schnittstelle kann das Gerät mit einem PC kommunizieren. Dafür steht das unter Windows lauffähige PC-Programm „STATUS Windows“ zur Verfügung, mit dem die Meßwerte nicht nur übernommen, sondern auch verwaltet und grafisch dargestellt werden können (siehe Anfangsbild). Außerdem lassen sich damit Prüfberichte und sonstige Dokumentationen anfertigen.

Grundsätzlich ist das Gerät auch vom PC aus bedienbar, zum Beispiel wenn in Ermüdungsversuchen ein Rißwachstum verfolgt werden soll und die Meßwertbildung von einem PC ausgelöst werden soll. Für eine Betriebsüberwachung von Werkstücken unter Last kann das Gerät auch mit einer Automatiksteuerung ausgestattet werden, bei der in vorgebbaren Zeitintervallen Messungen ausgeführt und die jeweiligen Meßwerte als Meßreihe gespeichert werden. Vorgesehen ist auch eine Meßfunktion zur Ermittlung von Rißschräglagen mit speziell ausgelegten Sonden.

Zusammenfassung

Die Rißtiefenmessung nach dem Potentialsondenverfahren, bislang ein mit großer Meßunsicherheit behaftetes Verfahren, wurde mit der vorgestellten neuen Geräte- und Sensortechnik zu einem zuverlässigen und komfortablen Meßverfahren weiterentwickelt. Ermöglicht wurde das durch eine grundsätzlich verbesserte Elektronik mit digitaler Umsetzung der Meßwerte, durch rechnergestützte Auswertung und ein neues Sondenkonzept. Nicht zuletzt aber die Verkleinerung des Gerätes auf Taschenformat und die einfache Handhabung der Sonden machen die Rißtiefenmessung damit zu einem kostengünstigen und schnellen Kontrollinstrument, das in Zukunft eine weit aus breitere Akzeptanz erfahren dürfte als bisher.

Literatur

- 1 Matting, A.; Deutsch, V.: Die Möglichkeiten genauer Rißtiefenmessungen. *Materialprüfung* 3 (1961) S. 218 – 224
- 2 Brocks, W.; Fuhlrott, H.; Keller, H. P.; Munz, D.; Schulze H.-D.: *Bruchmechanik druckbeanspruchter Bauteile*. Carl Hanser Verlag München Wien, Verlag TÜV Rheinland Köln (1990)
- 3 Ergebnisse eines Ringversuchs der Deutschen Bundesbahn, Versuchsanstalt Minden, 1988
- 4 Muzhitskii, V. F.; Shubaev, S. N.: Problems of Theory of the Electropotential Method of Nondestructive Inspection. *Spekt. Scientific and Production Association*, S. 823 – 827, übersetzt aus *Defektoskopiya* 11 (1991), S. 72 – 76
- 5 Deutsch, V.; Ettl, P.; Platte, M.: Schichtdickenmessung: Erhöhte Genauigkeit durch programmierbare Sensoren. *Metalloberfläche* 47 (1993) S. 113 – 117
- 6 Deutsch, V.: Verfahren und Vorrichtung zur Rißtiefenmessung. Patentschrift DE3828552C2 (1994)

Die Autoren diese Beiträge

Professor Dr.-Ing. Volker Deutsch, Jahrgang 1932, studierte Maschinenbau an der RWTH Aachen, promovierte an der TU Hannover und ist Honorarprofessor an der Universität Dortmund. Seit 1961 leitet er als geschäftsführender Gesellschafter die Karl Deutsch, Prüf- und Meßgerätebau GmbH & Co. KG, Wuppertal.

Dipl.-Ing. Philipp Ettl, Jahrgang 1961, studierte physikalische Technik an der FH Aachen in Jülich. Seit 1989 ist er als Entwicklungs-Ingenieur für Geräte- und Sensortechnik bei der Firma Karl Deutsch, Wuppertal, tätig.

Dr. rer. nat. Michael Platte, Jahrgang 1953, studierte Physik an der RWTH Aachen und promovierte dort am Institut für Technische Akustik. Er ist seit 1985 für die Firma Karl Deutsch, Wuppertal tätig. Seit 1994 ist er technischer Geschäftsführer im vorgenannten Unternehmen.

Dipl.-Ing. Helmuth Cost, Jahrgang 1937, studierte Maschinenbau an der Fachhochschule Frankfurt. Er trat 1973 in die Firma Karl Deutsch ein und ist seit 1980 Verkaufsleiter im genannten Unternehmen. (100119)