

Schichtdickenmessung von Chrom auf Edelstahl unter Verwendung des Thermoelektrischen Prüfverfahrens mit Magnetischer Auslesung (TEM)

Johann H. Hinken¹⁾, Bastian Barenthin¹⁾, Josef Halfpaap¹⁾, Michael Hekli²⁾, Christoph Moebes¹⁾, Herbert Wrobel¹⁾ und Christian Ziep¹⁾

¹⁾Hochschule Magdeburg-Stendal (FH), Magdeburg, Deutschland, ²⁾Hartchrom AG, Steinach, Schweiz

Kurzfassung

Die Schichtdickenmessung von dicken Chromschichten auf Edelstahl mit Standardmethoden wie dem Wirbelstromverfahren oder der Röntgenfluoreszenzmethode ist schwierig.

Deshalb wird ein neues Verfahren entwickelt, das das Thermoelektrische Prüfverfahren mit Magnetischer Auslesung (TEM) nutzt. Erste Messungen, durchgeführt an einem zylindrischen Edelstahlstab mit rundem Querschnitt, beschichtet mit Chrom, werden beschrieben.

1. Einleitung

Wenn Dicken von Metallbeschichtungen auf Metallsubstraten zu messen sind, kann dies unter Verwendung von verschiedenen physikalischen Prinzipien geschehen.

In dem Fall, dass nur das Substratmetall ferromagnetisch ist, kann das magnetische Haftkraftverfahren angewendet werden. Unterscheiden sich die elektrischen Leitfähigkeiten, so kann das Wirbelstromverfahren verwendet werden. Wenn die Schicht nicht zu dick ist, ist die Röntgenfluoreszenzmethode anwendbar.

Im Fall von Chromschichten auf Edelstahl sind die elektrischen Leitfähigkeiten jedoch ähnlich. Das schließt das Wirbelstromverfahren aus. Weiterhin ist das Substratmetall nicht ferromagnetisch genug. Damit ist die magnetische Haftkraft-Methode ausgeschlossen.

Außerdem ist die Röntgenfluoreszenzmethode nicht anwendbar bei Chromschichten, die dicker als ca. zehn Mikrometer sind.

Deshalb war es notwendig, herauszufinden, ob das Thermoelektrische Prüfverfahren mit Magnetischer Auslesung, das allgemein für Schichtdickenmessungen anwendbar ist [1], auch in diesem speziellen Fall verwendet werden kann.

Das Thermoelektrische Prüfverfahren mit Magnetischer Auslesung arbeitet wie folgt. Durch externe Mittel wird im zu prüfenden Bauteil ein geeigneter Temperaturgradient eingebracht. Dadurch werden an den Grenzen zwischen Regionen mit unterschiedlichen thermoelektrischen Seebeck-Koeffizienten Quellen elektrischer Spannungen und Ströme erzeugt. Die daraus resultierenden Ströme im metallischen Prüfstück erzeugen wiederum magnetische Felder außerhalb des Prüfstücks. Im allgemeinen sind solche magnetischen Felder sehr klein, und sie können nur durch sehr spezielle Sensoren gemessen werden. Die Stromstärke und das magnetische Feld sind proportional zu den Leitwerten der metallischen Teile. Deshalb kann im Fall von metallischen Schichten eine starke Abhängigkeit der magnetischen Feldamplitude von der Schichtdicke erwartet werden.

Weitere Informationen zum Thermoelektrischen Prüfverfahren mit Magnetischer Auslesung können unter [2] gefunden werden.

Die erwähnten Spannungen, Stromstärken und magnetischen Felder sind auch proportional zur Differenz des absoluten differentiellen Thermokoeffizienten. Im Fall von Chrom (e : etwa $16\mu\text{V}/\text{K}$) auf Edelstahl (e : nur wenige $\mu\text{V}/\text{K}$) [3] hat dieser Koeffizient einen signifikanten Wert.

2. Messungen

Bild 1 zeigt das Messobjekt. Es handelt sich um einen Prüfmessstab mit rundem Querschnitt von ungefähr 10 mm Durchmesser aus Edelstahl, der elektrolytisch mit Chrom überzogen wurde.

Der Stab hat 6 Zonen mit unterschiedlichen Chromschichtdicken, von $0\mu\text{m}$ bis $200\mu\text{m}$.

Unter Verwendung einer halbautomatisierten Messeinrichtung lief die Prüfung folgendermaßen ab. Es wird ein unmagnetischer kurzer Messingzylinder (Durchmesser ca. 4 mm, Höhe ca. 6 mm) als Heizelement auf ca. 100°C erwärmt und dann auf dem Prüfmessstab platziert.

Im benachbarten Magnetfeld-Gradiometer, bestehend aus zwei Magnetfeldsensoren, wird der sich dann ergebende Feldverlauf in Abhängigkeit von der Zeit registriert.

Das spezielle Magnetfeld-Gradiometer ist ähnlich dem unter [4] beschriebenen, jedoch handelt es sich um eine Version, die für die bestehende Messaufgabe spezialisiert wurde.

Dieses spezielle Magnetfeld-Gradiometer schließt zum Beispiel starke magnetische Hintergrundfelder, wie das Erdmagnetfeld oder vom Menschen verursachte Magnetfelder (man made magnetic noise) aus.



Bild 1: Teilansicht des Prüfmessstabes

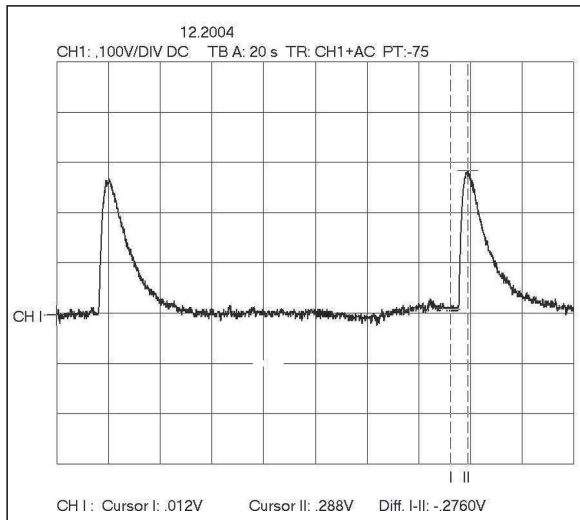


Bild 2: Typischer Spannungs- bzw. Feldstärkeverlauf zweier Einzelmessungen

Bild 2 zeigt beispielhaft den Spannungs- bzw. Feldstärkeverlauf zweier aufeinander folgender Einzelmessungen.

Die Messkurven zeigen in Abhängigkeit von der Zeit einen relativ steilen Anstieg nach Aufsetzen des Heizelements mit einem nachfolgenden allmählicheren Ausklingen.

Die Höhe der Spannungsimpulse am Verstärkerausgang, bzw. die daraus abgeleitete magnetischen Flussdichte wurde als charakteristisches Signal verwendet.

Bild 3 zeigt die Höhe der Impulse in Abhängigkeit von der Schichtdicke. Die Schichtdicken wurden durch Messung mit einer Mikrometerschraube ermittelt.

Die eingetragenen Flussdichtewerte sind die Mittelwerte aus jeweils fünf Einzelmessungen. Der Streubereich (min/max) ist ebenfalls eingezeichnet. Er liegt maximal bei etwa +/- 10% und kann durch weitere Verbesserungen des Systems reduziert werden.

Ein leichter Offset, der besonders bei der Schichtdicke 0 µm sichtbar wird, kann zukünftig leicht behoben werden.

Die Messwerte sind in guter Näherung proportional zur Schichtdicke. Dieser Zusammenhang entspricht dem theoretischen Verständnis.

3. Schluss

Das Thermoelektrische Prüfverfahren mit Magnetischer Auslesung (TEM) wurde dazu verwendet, Schichtdicken von Chrom auf Edelstahl zu messen.

Es handelte sich dabei um eine Machbarkeitsstudie.

Die Ergebnisse ermutigen dazu, die Entwicklung im Hinblick auf industrietaugliche Messsysteme fortzuführen. Dieses schließt die Anwendbarkeit für Prüfobjekte mit anderen Geometrien und Materialien ein.

Man kann erwarten, dass sich mit dieser Messmethode einige offene Nischen im Bereich der zerstörungsfreien Schichtdickenmessung metallischer Schichten schließen lassen.

Literaturhinweise

- [1] Patent DE 102004021450.6, angemeldet 30.04.04
- [2] <http://www.finoag.com/fitm/n6.html>
- [3] W. Morgner: Introduction to Thermoelectric Nondestructive Testing. Materials Evaluation, Sept. 1991, 1081-1087
- [4] www.elektrotechnik.hs-magdeburg.de/Mitarbeiter/hinken/news/n12.htm

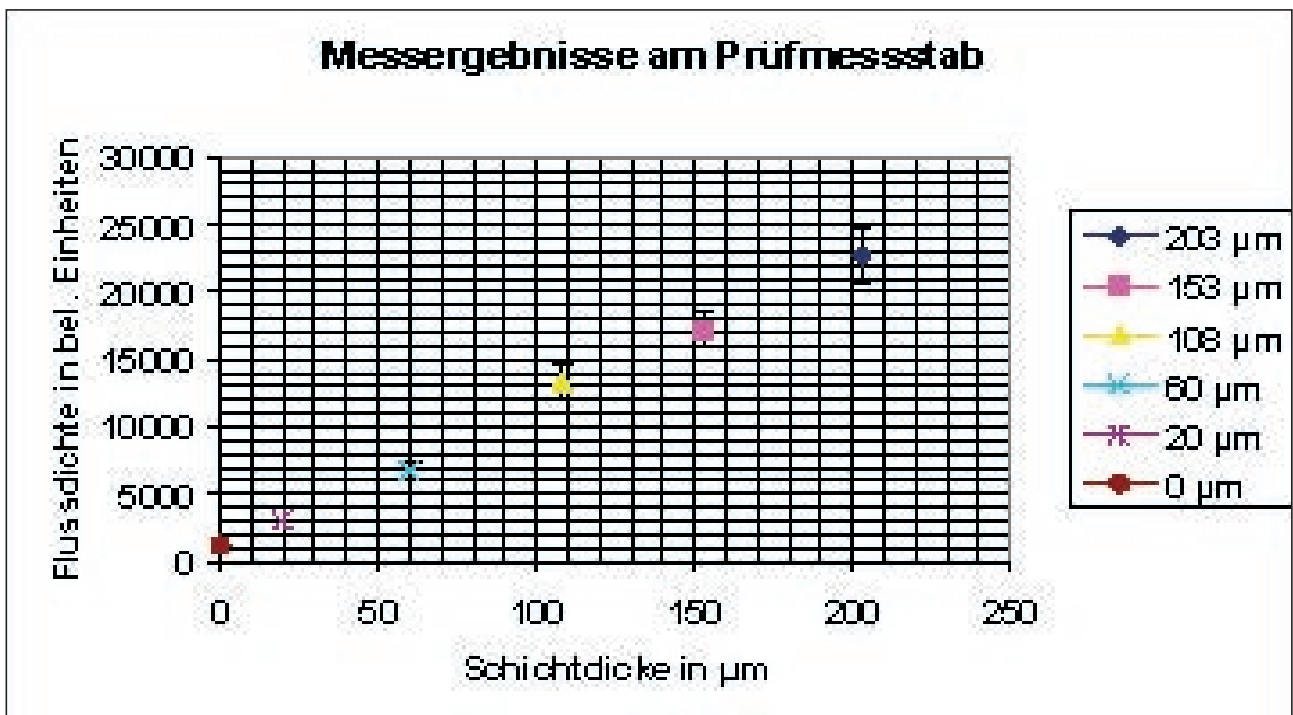


Bild 3: Messergebnisse