

Innovative Methoden zur multivariaten Auswertung von Wirbelstromprüfsignalen

Antje ZÖSCH *, Martin SEIDEL *, Thomas WIENER **

* imq-Ingenieurbetrieb für Materialprüfung, Qualitätssicherung
und Schweißtechnik GmbH

** Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik (IWU), Chemnitz

Kurzfassung

Zerstörungsfreie Prüfverfahren, die direkt in die Fertigung integriert werden können, spielen im Sinne einer Nullfehlerstrategie eine zunehmend große Rolle. Für die automatisierte Prüfung leitfähiger Materialien eignet sich das Wirbelstromverfahren, das sowohl Defekte (Risse, Ausdünnungen) als auch Änderungen der Werkstoffeigenschaften (Gefüge, Härte usw.) erkennen kann. Oftmals stellen jedoch Störeinflüsse durch die Umgebung oder durch das Prüfobjekt ein Problem dar. Innovative Prüfgeräte bieten daher die Möglichkeit, beispielsweise gleichzeitig bei mehreren Prüffrequenzen zu messen, um frequenzabhängige Effekte auszuschließen. Die Auswertung der Prüfsignale erfolgt derzeit meist durch Festlegung von Schwellwerten bzw. Toleranzgebieten für die Prüfsignale jeder einzelnen Frequenz. Zur Bewertung wird die maximale Überschreitung herangezogen.

Am Beispiel der zerstörungsfreien Ermittlung der mechanisch-technologischen Werkstoffeigenschaften von thermomechanisch gewalzten C-Stählen wurden innovative Methoden zur Auswertung von Wirbelstromdaten auf der Basis einer multivariaten Datenanalyse entwickelt und getestet. Die Wirbelstromprüfung erfolgte mit 3 verschiedenen Tastsonden im Frequenzbereich von 250 Hz bis 15 kHz und gleichzeitiger Erfassung der jeweils 3. und 5. Oberwelle. Für die Datenanalyse wurden Klassifikationsverfahren angewendet, die die Prüfsignale aller variierten Parameter kombinieren und gemeinsame Merkmale ableiten. Ein Manko von Klassifikationsverfahren in industriellen Anwendungen besteht im notwendigen Expertenwissen beim Anlernen derartiger Systeme. Um diese Prozedur zu vereinfachen, wurden strukturentdeckende Methoden zur Minimierung des Lernaufwandes integriert (Support Vector Machine). Diese berechnen die Klassifikation von Lernmengen auch in hochdimensionalen Merkmalsräumen äußerst effizient und finden eine optimale Trennung der Klassen nach dem „Maximum Margin-Prinzip“. Um die Suche nach optimalen Parametern zu vereinfachen, wurde ein Optimierungsverfahren integriert, das ausgewählte Parameter sukzessive ändert und für jeden neuen Parametersatz die Leistung des resultierenden Klassifikators anhand einer Zielfunktion bewertet. Mit dieser Vorgehensweise lässt sich der Aufwand beim Anlernen deutlich senken.

Von Blechproben aus unterschiedlichen Coillbereichen wurden zwei Klassen mit unterschiedlichen Eigenschaften gebildet. Zum Anlernen der Datenauswertung wurden jeweils 75% der Messungen benutzt und der resultierende Klassifikator an den verbleibenden 25 % getestet. Im Ergebnis wurde eine vollständige Übereinstimmung von Prüfergebnis und Vorgabe erreicht. Die beste Trennleistung erbrachten die Prüfsignale der 3. Oberwellen. Vergleichbare Analysen mit der Mehrfrequenzprüfung (Klassenzuordnung über das Signal mit der maximalen Überschreitung des Toleranzgebietes) lieferten ein Ergebnis mit 90% Fehlerentdeckung und 4 % Falschalarm. Im Vergleich zur Signalauswertung auf der Basis von Schwellen bzw. Toleranzgebieten werden das Verhältnis von Fehlererkennung zu Falschalarm und damit die Bewertungssicherheit signifikant verbessert.



Innovative Methoden zur multivariaten Auswertung von Wirbelstromprüfsignalen

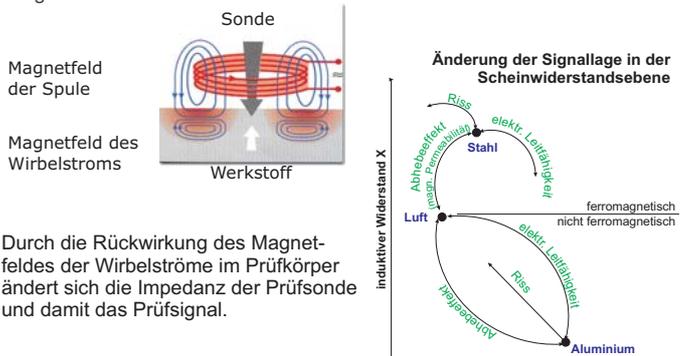
Antje ZÖSCH *, Martin SEIDEL *, Thomas WIENER **
 * imq-Ingenieurbetrieb für Materialprüfung, Qualitätssicherung und Schweißtechnik GmbH, Crimmitschau
 ** Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik (IWU), Chemnitz

Motivation

Für die erfolgreiche Realisierung einer Nullfehlerstrategie sind zerstörungsfreie Prüfverfahren, die direkt in die Fertigung integriert werden können, zunehmend von Bedeutung. Die Wirbelstromprüfung eignet sich auf Grund der hohen Prüfungsgeschwindigkeiten und des geringen Platzbedarfes für den automatisierten Einsatz.

Wirbelstromverfahren

- zerstörungsfreie Prüfung leitfähiger Materialien
- empfindlich gegenüber Änderungen der elektrischen und magnetischen Eigenschaften



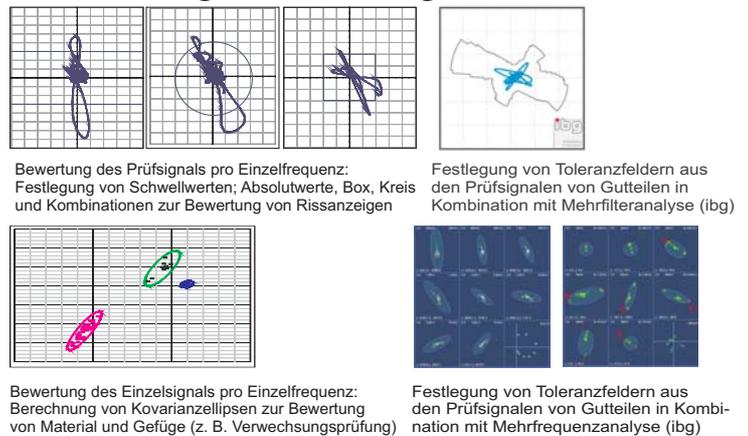
Durch die Rückwirkung des Magnetfeldes der Wirbelströme im Prüfkörper ändert sich die Impedanz der Prüfsonde und damit das Prüfsignal.

Detektierbare Unregelmäßigkeiten:

- Defekte (Risse, Ausdünnungen)
- Änderungen der Werkstoffeigenschaften (Gefüge, Härte usw.)

Die Auswertung der Prüfsignale erfolgt derzeit meist über die Festlegung von Schwellen bzw. Toleranzgebieten für jeden einzelnen Parametersatz (z. B. Prüffrequenz), deren Überschreitungen für ein Gesamtergebnis logisch verknüpft werden. Durch den Einsatz innovativer Methoden auf der Basis von multivariaten Datenanalysen wird eine ganzheitliche Datenauswertung mit höherer Bewertungssicherheit erzielt.

Möglichkeiten zur Analyse und Bewertung der Prüfsignale



Praxisbeispiel: zerstörungsfreie Prüfung technologischer Werkstoffeigenschaften

Für einen Umformprozess an warmgewalzten Blechen wurde ein Verfahren zur zerstörungsfreien Kontrolle der Werkstoffeigenschaften entwickelt.

Experimentelle Bedingungen

- Werkstoff: thermomechanisch gewalzte C-Stähle mit Streckgrenzen von ca. 350 MPa bis 600 MPa; Materialstärken 5 mm bis 25 mm
- Entnahme von jeweils 9 Teilstücken über die gesamte Coillänge verteilt, aus 3 verschiedenen Coils
- Wirbelstromprüfung mittels 3 verschiedener Tastsonden im Frequenzbereich 250 Hz bis 15 kHz und gleichzeitiger Erfassung der jeweils 3. und 5. Oberwelle (Prüfgerät eddyliner, ibg)
- Referenzierung der Prüfdaten mittels Zugversuch

Die Analyse der Prüfsignale erfolgte auf der Basis einer multivariaten Datenanalyse (Xeidana®, IWU Chemnitz).

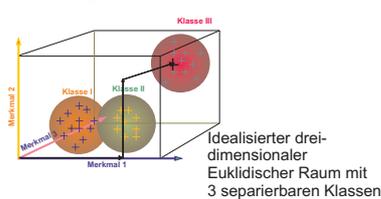
Datenanalyse

- Entwicklung von Klassifikationsverfahren, die die Prüfsignale aller variierten Parameter kombinieren und daraus gemeinsame Merkmale ableiten
- Integration strukturreichender Methoden zur Minimierung des Lernaufwandes unter Verwendung einer Support Vector Machine (SVM)
- Trennung auch von nicht-linear-separierbaren Klassen nach dem „Maximum Margin-Prinzip“ bei Wahl geeigneter Kernelfunktionen
- Optimierung der SVM-Parameter durch sukzessive Modifikation und Bewertung der Leistung des resultierenden Klassifikators anhand einer Zielfunktion (Gittersuche)
- Verwendung eines Kreuzvalidierungsschemas für die Formulierung der Zielfunktion zur Optimierung der Generalisierungsfähigkeit des Klassifikators
- Entwicklung von Algorithmen zur Bestimmung der Merkmalsverteilung bzgl. des Merkmalsraums (Clustering), Etablierung von Klassen und Bildung optimaler Klassifikatoren

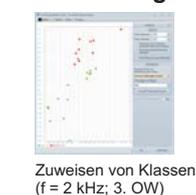
Datenaufnahme



Bildung von Merkmalen



Erstellen und Optimieren der Lernmenge



Bilden optimaler Klassifikatoren



Ergebnisse / Zusammenfassung

Bei der Bewertung von 2 Blechzuständen (iO; niO = außerhalb der Toleranz von 10% Streckgrenze) durch 800 Messungen wurde eine vollständige Übereinstimmung von Prüfergebnis und Vorgabe erreicht. Dabei wurden aus den vorliegenden Proben jeweils 75% zum Anlernen benutzt und der resultierende Klassifikator an den verbleibenden 25 % getestet. Die beste Trennleistung erbrachten die Prüfsignale der 3. Oberwellen.

Vergleichbare Analysen mit der Mehrfrequenzprüfung (Klassenzuordnung über das Signal mit der maximalen Überschreitung des Toleranzgebietes) lieferten ein Ergebnis mit 90% Fehlerentdeckung und 4% Falschalarm.

Im Vergleich zur Signalauswertung auf der Basis von Schwellen bzw. Toleranzgebieten wurde das Verhältnis von Fehlererkennung zu Falschalarm und damit die Bewertungssicherheit signifikant verbessert. Durch die Verwendung einer Support Vector Machine und die automatische Suche der besten Parameter wurde der Aufwand beim Anlernen deutlich gesenkt.