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

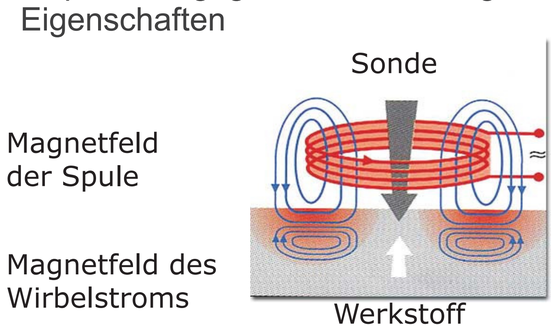
Motivation

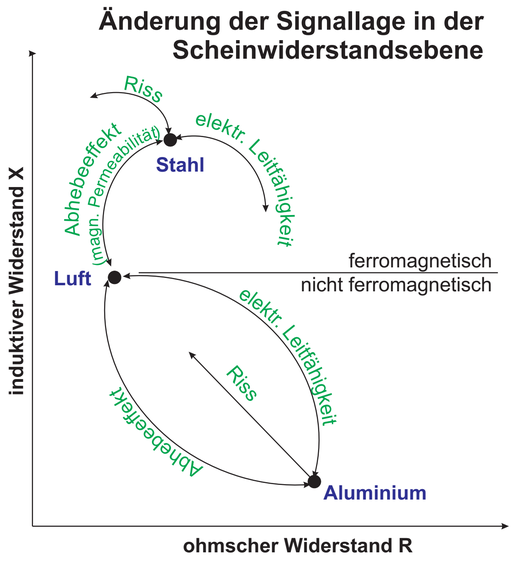
Für die erfolgreiche Realisierung einer Nullfehlerstrategie sind zerstörungsfreie Prüfverfahren, die direkt in die Fertigung integriert werden können, zunehmend von Bedeutung. Die Wirbelstromprüfung eignet sich auf Grund der hohen Prüfgeschwindigkeiten und des geringen Platzbedarfes für den automatisierten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

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.

Wirbelstromverfahren

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

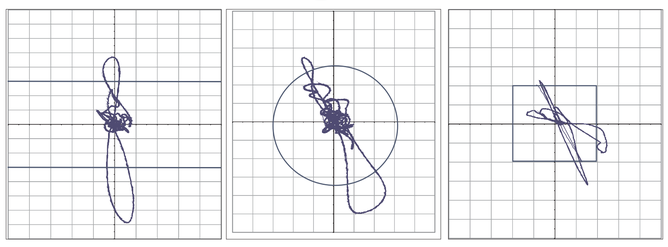




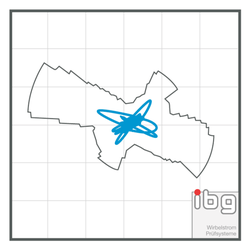
Durch die Rückwirkung des Magnetfeldes der Wirbelströme im Prüfkörper ändert sich die Impedanz der Prüfsonde und damit das Prüfsignal.

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

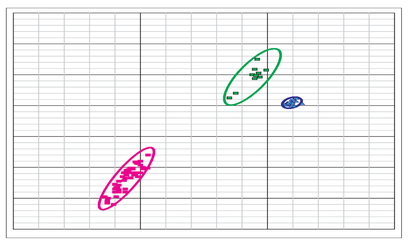
Möglichkeiten zur Analyse und Bewertung der Prüfsignale



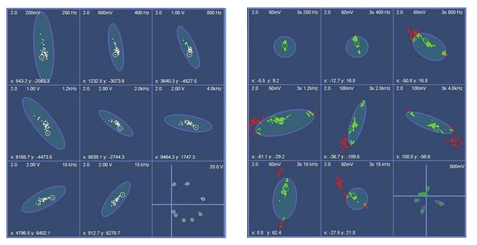
Bewertung des Prüfsignals pro Einzelfrequenz: Festlegung von Schwellwerten; Absolutwerte, Box, Kreis und Kombinationen zur Bewertung von Rissanzeigen



Festlegung von Toleranzfeldern aus den Prüfsignalen von Gutteilen in Kombination mit Mehrfilteranalyse (ibg)



Bewertung des Einzelsignals pro Einzelfrequenz: Berechnung von Kovarianzellipsen zur Bewertung von Material und Gefüge (z. B. Verwechsungsprüfung)



Festlegung von Toleranzfeldern aus den Prüfsignalen von Gutteilen in Kombination mit Mehrfrequenzanalyse (ibg)

Praxisbeispiel: zerstörungsfreie Prüfung technologischer Werkstoffeigenschaften

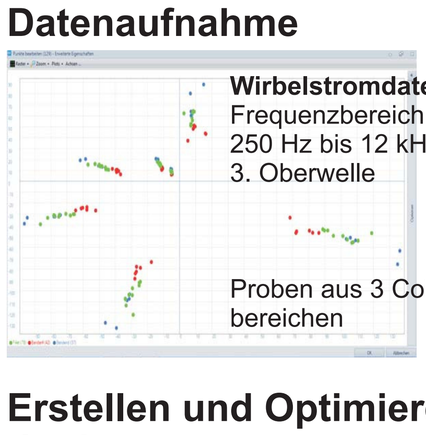
Für einen Umformprozess an warmgewalzten Blechen wurde ein Verfahren zur zerstörungsfreien Kontrolle der Werkstoffeigenschaften entwickelt.

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

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

Datenanalyse
- Entwicklung von Klassifikationsverfahren, die die Prüfsignale aller variierten Parameter kombinieren und daraus gemeinsame Merkmale ableiten
- Integration strukturentdeckender 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 (Clusterung), Etablierung von Klassen und Bildung optimaler Klassifikatoren

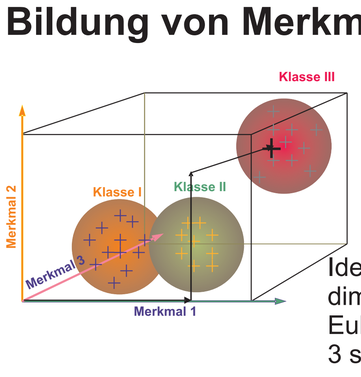
Datenaufnahme



Wirbelstromdaten
Frequenzbereich
250 Hz bis 12 kHz
3. Oberwelle

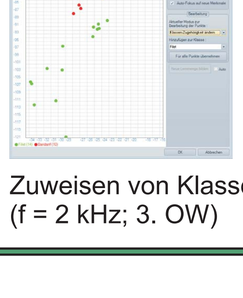
Proben aus 3 Coilbereichen

Bildung von Merkmalen



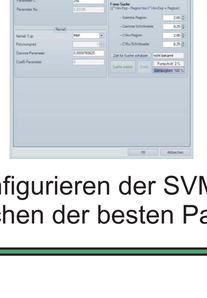
Idealisierter dreidimensionaler Euklidischer Raum mit 3 separierbaren Klassen

Erstellen und Optimieren der Lernmenge

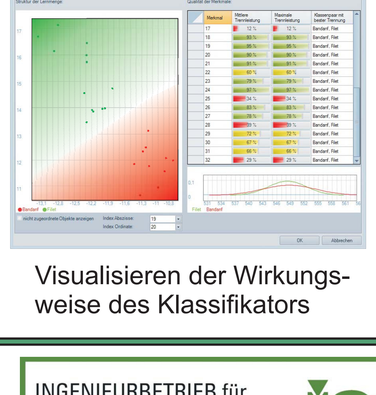


Zuweisen von Klassen (f = 2 kHz; 3. OW)

Bilden optimaler Klassifikatoren



Konfigurieren der SVM
Suchen der besten Parameter



Visualisieren der Wirkungsweise des Klassifikators

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.

INGENIEURBETRIEB für MATERIALPRÜFUNG, QUALITÄTSSICHERUNG und SCHWEISSTECHNIK GmbH

Fraunhofer IWU