

Zerstörungsfreie Materialprüfung in der Fertigung durch akustische Resonanzprüfung

Dipl.-Ing. G.Kraft
RTE Akustik + Prüftechnik GmbH, 76327 Pfinztal

1 Einleitung

Im Rahmen der zerstörungsfreien Materialprüfung werden schon seit langer Zeit akustische Verfahren zur Detektion von Defekten eingesetzt. Die Überprüfung eines Prüflings durch mechanische Anregung, „Abhören“ und Beurteilen der Güte aufgrund von Erfahrungswerten ist in vielen Industriezweigen vertreten. In den letzten Jahren wurde dieses Vorgehen industriegerecht umgesetzt. Leistungsfähige Rechner, meist DSP-basiert, ersetzen den Menschen durch eine entsprechende Sensorik und Auswerteeinheit. Verglichen wird das erfaßte Signal mit dem „Wissen“ des Computers.

Im weiteren Verlauf sollen akustische Standardverfahren, deren Aufbau und Methoden vorgestellt werden. Beispiele aus der Praxis sollen die fertigungsgerechte Umsetzung darlegen und die Vorteile und Grenzen aufzeigen.

2 Akustische Standardverfahren

Akustische Verfahren sind in zahlreichen Varianten vorhanden, wobei sie am weitesten in der Industrie verbreiteten auf Ultraschall basieren.

Das noch junge Verfahren der akustischen Resonanzanalyse nutzt den Effekt, daß nach Anregung eines Prüflings eindeutige Informationen über dessen Zustand in der Systemantwort liegen. Im wesentlichen unterscheiden sich die Verfahren durch:

- Anregungsart:
Diese erfolgt in der Regel mechanisch, kontinuierlich oder impulshaft, berührungslos oder berührend.
- Schallart:
Die Signalinformation kann im Luft- oder Körperschallbereich aufgenommen werden, wobei im Luftschallbereich zwischen hörbarem (20-20000 Hz) und nicht hörbarem Bereich (>20000 Hz) unterschieden wird.

Die Verfahren sind im allgemeinen vergleichende Verfahren. Es werden keine absoluten physikalischen Größen gemessen, sondern die Differenz eines Ist-Soll-Vergleiches. Für eine Klassifikation muß deshalb eine Referenz gebildet worden sein. Dies kann über selbstlernende oder wissensbasierte Systeme realisiert worden sein. Für die Klassifikation muß eine genügend große Basis an klassifizierten Prüflingen vorhanden sein, die die Streuung der Serie widerspiegeln.

Der prinzipielle Unterschied soll an zwei Beispielen erläutert werden.

2.1 Resonant-Inspection (RI)

Bei der RI wird der Prüfling kontinuierlich mit einer einstellbaren Frequenzauflösung über den gesamten Nutzfrequenzbereich mit jeder Frequenz angeregt und die Systemantwort zu jedem Frequenzwert aufgenommen. Die Lage der Maxima der Systemantwort bilden die Eigenresonanzen des Prüflings. Der Nutzfrequenzbereich liegt zwischen 200 Hz und ca. 1 MHz. Angeregt und aufgenommen wird über Piezoelemente, auf denen der Prüfling positioniert werden muß.

2.2 Klangprüfung

Bei der Klangprüfung wird der Prüfling mechanisch impulshaft angeregt. Die Eigenresonanzen bilden sich aufgrund der Energieeinbringung aus, die die umgebende Luft zu Schwingungen anregen. Das Signal wird im Luftschallbereich über ein Mikrofon aufgenommen. Anregung und Signalaufnahme erfolgen in wenigen 100 ms.

Die weiteren Kapitel beziehen sich im wesentlichen auf die Klangprüfung.

3 Meßprinzip und Klangeffekte

3.1 Meßprinzip

Für ein vergleichendes Verfahren sind reproduzierbare Meßergebnisse unabdingbar. Diese Bedingungen müssen bei der Prüflingsanregung und der Signalauswertung durch reproduzierbar eingestellte Positionen von Sensorik und Aktorik gewährleistet werden. Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Prüflingsentkopplung. Der Prüfling muß bei der Messung so gelagert werden, daß die informationstragenden Eigenresonanzen nicht zu stark gedämpft werden.

Die mechanische Anregung erfolgt zur Gewährleistung exakter Meßbedingungen pneumatisch oder elektromagnetisch geregelt. Auch bei der Auswahl der Sensorik muß die Fertigungsumgebung, in der in der Regel im Luftschallbereich hohe Störpegel vorhanden sind, mit bedacht werden. Zur Signaloptimierung werden deshalb Richtmikrofone eingesetzt, die einen prüfling- und umgebungssabhängigen Frequenzgang besitzen. Weitere analoge oder digitale Filter- und Verstärkungselemente bringen das aufgenommene Signal in die gewünschte Form. Ein A/D-Wandler digitalisiert das Signal, das in einem Signalprozessor ausgewertet wird. Die abschließende Klassifikation erfolgt durch erlernte oder wissensbasiert extrahierte Merkmale. Merkmale sind sowohl im Zeitbereich als auch im Frequenzbereich festzulegen.

3.2 Klangeffekte

Das Eigenresonanzverhalten ändert sich abhängig vom Fehlerbild. Die Eigenresonanz kann sich sowohl in der Frequenzlage als auch im Energiegehalt ändern. Abhängig vom Defekt ändern sich auch mehrere Eigenresonanzen gleichzeitig oder werden Resonanzfrequenzen aufgesplittet. Ändern sich Eigenresonanzen vom Energiegehalt, so ist der Effekt oft auch im Zeitsignal ersichtlich.

4 Beispiele für Klangprüfsysteme aus der Praxis

Im der Industrie sind inzwischen zahlreiche Realisierungen dieser Technik vorhanden. Exemplarisch werden hier zwei Beispiele vorgestellt.

Serienprüfung von Synchronringen:

- Aufgabenstellung: Reißprüfung von geschmiedeten Synchronringen
- Lösungskonzept: Anregung, Aufnahme und Analyse von Luftschall (Klangprüfung) am Rundtaktisch in der Fertigung
- Prüfkriterien: Merkmale aus Zeit- und Frequenzbereich

Serienprüfung von Sphärogußteilen:

- Aufgabenstellung: Detektion von Riß- und Strukturfehler von Sicherheitsteilen aus Sphäroguß für Automobilbremsen
- Lösungskonzept: Anregung, Aufnahme und Analyse von Luftschall (Klangprüfung) am Rundtaktisch in der Fertigung, online Parametrierung, 100% Serienprüfung, selbstlernendes Verfahren ("Referenzfahrt", "Kontrollfahrt")
- Prüfkriterien: Merkmale aus Zeit- und Frequenzbereich
- Ergebnisse: Kosteneinsparung durch schnelle Prozeßoptimierung, Rückgang der Kundenreklamationen durch Sicherstellung des Qualitätsstandards, (Sicherheitsaspekt!), hohe Prozeßsicherheit (Erkennung von Strukturfehlern und Aussageschärfe bei Rißfehlern bisher mit anderen Verfahren nicht möglich)

5 Vorgehensweise zur Einführung akustischer Resonanzverfahren

Zur Beschaffung der notwendigen Informationen für die Umsetzung in eine Fertigungsumgebung wird meist gestuft vorgegangen.

- Schritt 1: Machbarkeitsuntersuchung: Detektion von trennwirksamen Merkmalen
- Schritt 2: Serienuntersuchung: Festlegung von i.O.-Streuung und n.i.O.-Streuung
- Schritt 3: Einbindung in die Fertigung: Anpassung an Fertigungsumgebung

6 Vorteile und Grenzen des Verfahrens

Zur Abschätzung der Tauglichkeit eines solchen Verfahrens für eine eventuelle Anwendung sind folgende Punkte entscheidend.

6.1 Vorteile

- zerstörungsfrei
- Detektierung unterschiedlicher Fehler
- geeignet für verschiedene Materialien
- schnelles Verfahren
- automatisierbar
- Aussage über "Gesamtsystem Prüfling"

6.2 Grenzen

- Prüfling muß hörbar schwingen
- Ort des Defektes / Fehlers muß schwingen
- relatives Verfahren: Prüfmerkmale sind keine meßbaren physikalischen Größen, keine absoluten Grenzwerte
- ausreichende Prüflingsentkopplung zwingend
- Reproduzierbarkeit: Einfluß von Meßtechnik + Mechanik
- Prüfzeit: Zeit für Anregen, Messen, Verarbeiten = einige 100 ms, Taktzeit hängt von Mechanik / Handling ab