

KLANGANALYSE ALS INTEGRALES PRÜFVERFAHREN FÜR KERAMISCHE BAUTEILE

Dipl.-Ing. Martin Barth, Dr. Frank Duckhorn, Dr. Bernd Köhler, Dipl.-Math. Kilian Tschöke, Dr. Constanze Tschöpe, Dipl.-Ing. Thomas Windisch

Motivation

Der wachsende Einsatz von Funktionskeramiken, Hochleistungskeramiken und Keramiken in Werkstoffverbänden stellt hohe Anforderungen an Materialeigenschaften und Fehlerfreiheit. Kleinste Defekte, insbesondere Risse, können zu völligem Bauteilversagen führen. Sehr häufig stellt sich die Aufgabe, große Stückzahlen mit moderatem technischen und finanziellen Aufwand qualitativ zu prüfen.

Die Klanganalyse ist ein zerstörungsfreies Verfahren, das Bauteile anhand ihrer Schwingungseigenschaften bewertet. Die Schwingungen werden durch innere und oberflächenverbundene Fehler beeinflusst. Ist die Klanganalyse einsetzbar, dann liefert sie schnell und damit kostengünstig die geforderten Aussagen. Das Fraunhofer IKTS transferiert derzeit seine umfangreichen Erfahrungen der Klangprüfung für Metalle und Papierprodukte auf die Klangprüfung keramischer Bauteile.

Besonderheiten und Herausforderungen

Das Bauteil wird in der Regel pulsformig angeregt und schwingt möglichst frei aus. Ort und Art der Lagerung sollten so optimiert werden, dass diese freien Schwingungen nicht signifikant gestört werden. Eine gewisse Beeinflussung kann toleriert werden, wenn sie sich auf Moden beschränkt, die zur Einschätzung der Bauteilqualität nicht benötigt werden. Zudem muss die Messung der Schwingung nahezu rückwirkungsfrei erfolgen.

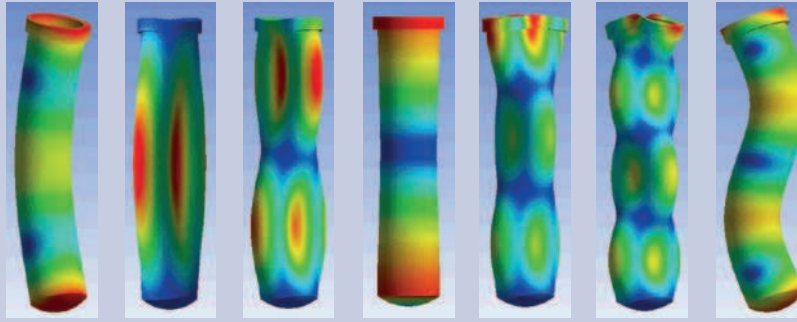
Als integrales Prüfverfahren liefert die Klanganalyse eine Vielzahl von globalen Messparametern, wie die Resonanzfrequenzen

und das Dämpfungsverhalten verschiedener Schwingungsmoden. Die Beeinflussung dieser Größen erfolgt durch als fehlerhaft einzustufende Bauteilabweichungen, aber auch durch »normale«, als tolerabel einzustufende Variationen, wie geringe Geometrieabweichungen und Massevariationen. Für eine zuverlässige Fehlerdetektion ist die Extraktion geeigneter Merkmale oder Merkmalskombinationen deshalb von Bedeutung.

Beispiel 1: Elektrolytbecher (Vorstudie)

Für die im Rahmen einer internen Entwicklung vorliegenden Elektrolytbecher aus Na- β -Aluminat (Bild 1) wurden relevante Resonanzfrequenzen zwischen 10 und 100 kHz identifiziert (Bild 3), so dass hochwertige konventionelle Audiomikrofone zur Datenaufnahme verwendet werden können. Die Anregung erfolgt mit einem automatisierten mechanischen Stoß. In einem ersten Experiment konnte anhand von fünf Bechern (drei Gutteile, ein Becher mit erhöhter Leckrate und ein Becher mit Riss) nachgewiesen werden, dass eine Wiedererkennung der Becher unabhängig von der Anschlagposition möglich ist (Erkennungsrate: 99 %). In einem weiteren Experiment wurde untersucht, ob eine Gut-/Schlecht-Erkennung unbekannter Becher möglich ist. Ein statistisches Modell auf Basis zweier Gutteile diente als Referenz. Die restlichen drei Teile (Gut3, Leck, Riss) wurden in zwei Anschlagpositionen (P1, P2) mit diesem Modell verglichen. Die folgende Tabelle zeigt die Erkennungsrate, die mit Ausnahme der Anschlagposition P1 beim Risteil mehr als 90 % beträgt. Daraus lässt sich ableiten, dass eine Gut-/Schlecht-Erkennung möglich ist. Zudem stellte sich heraus, dass bei Teilen mit Rissen unbedingt mehrere Anschlagpositionen untersucht werden müssen.

Eigen-
formen



f in kHz 11,1 13,2 15,6 18,9 19,3 24,9 25,0

3

Gut-/Schlecht-Erkennungsrate der Becher Gut3, Leck und Riss in den Anschlagpositionen P1 und P2

Bezeichnung	Position	Erkennungsrate
Gut3	P1	96 %
	P2	98 %
Leck	P1	98 %
	P2	100 %
Riss	P1	16 %
	P2	92 %

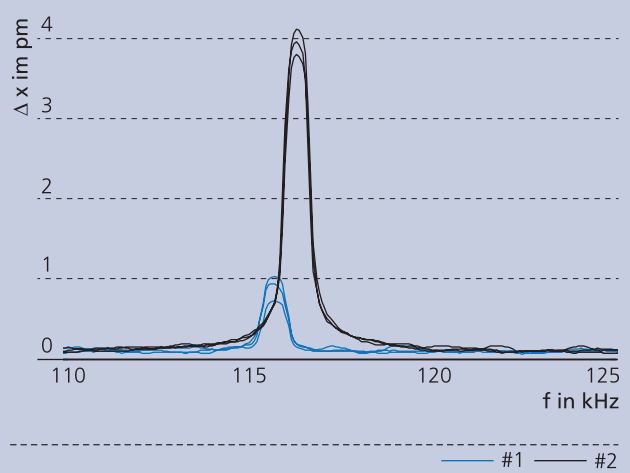
Beispiel 2: Zylindrisches keramisches Hohlbauteil

FEM-Simulationen des nur wenige Millimeter großen Bauteils (Bild 2) zeigten erwartungsgemäß erst bei relativ hohen Frequenzen, d. h. einige 100 kHz und oberhalb von einem MHz, signifikante Resonanzen. Die bei der Klanganalyse übliche mechanische Anregung und die Schwingungsaufnahme mit dem Mikrofon sind deshalb hier nicht zielführend. Geeigneter erscheint die Anregung mit Laserpuls und die Detektion mit Laservibrometer. Nach Optimierung der Positionen von Anregung und Messung konnten signifikante Eigenschwingungen identifiziert und ausgewertet werden. Der Übersichtlichkeit halber wird aus dem gesamten Schwingungsspektrum nur ein Peak gezeigt. Der Messzyklus einschließlich Neupositionierung des Bauteils in der Apparatur wurde jeweils dreifach wiederholt. Die betrachtete Resonanz jedes Teils ist im Rahmen der Messgenauigkeit vollkommen frequenzstabil, aber das »Gutteil« und das »Schlechtteil« unterscheiden sich signifikant. Weitere Untersuchungen müssen zeigen, inwieweit Fehler von anderen (zulässigen) Variationen in den Teilen unterschieden werden können.

Zusammenfassung

Die Klanganalyse ist ein Verfahren, das für jede Komponente und jedes Fehlerbild in der Komponente spezifisch angepasst werden muss. Diese Anpassung reicht von der Auswahl der geeigneten Anregung und Signaldetektion über die Signalverarbeitung, die Kompensation von tolerierten Produktschwan-

Resonanzpeak eines zylindrischen keramischen Hohlbauteils



kungen, wie etwa Masse- und Geometrieabweichungen, bis zur automatisierten Auswertung der Signale und die Sortierung in »Gutteile« und »Schlechtteile«.

Kooperationsangebot

In einem mehrstufigen Vorgehen wird zunächst die Analyse kundenspezifischer Komponenten hinsichtlich der Anwendbarkeit der Klangprüfung angeboten. Bei positivem Ausgang kann der Kunde die Konzeption, den Aufbau, die Installation und das Einfahren einer Prüfanlage vor Ort beauftragen. Dies schließt die Installation einer automatisierten Auswertung und das Anlernen ein.

- 1 *Keramischer Becher mit Anschlagmechanik und Aufnahmemikrofon.*
- 2 *Zylindrische Probe mit anregendem Laser (grün) und Detektionslaser (rot).*
- 3 *FEM-Simulation der Eigenschwingformen und zugehörige Eigenfrequenzen in kHz.*