

Annular Phased Array für die Ablösung der Mehrzonenprüfung von Flugzeugturbinenscheiben

Martin BARTH¹, Toni BEGGEROW², Marek RJELKA¹, Wolfgang SPRUCH²,
Bernd KÖHLER¹

¹ Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme (IKTS), Dresden

² Büro für Technische Diagnostik GmbH & Co. KG BTB, Brandenburg

Kontakt E-Mail: Bernd.koehler@ikts.fraunhofer.de

Kurzfassung

Die Anforderungen an die Materialqualität in verschiedensten Bereichen nehmen stetig zu. Insbesondere müssen Turbinen für Luft- und Raumfahrtanwendungen enormer Beanspruchung (z.B. hohe Temperaturen, extreme Zentrifugalkräfte) widerstehen können, welche u.a. den Einsatz sogenannter Superlegierungen erfordern.

Da die Prüfalternativen entweder zu aufwendig sind, nicht die gewünschte Auflösung erreichen oder nur dünne Geometrien zulassen, ist die Standardmethode zum Auffinden kleiner Fehler in Turbinenscheiben die Ultraschallprüfung. Die höchste Auflösung erreicht man dabei im Fokus des Schallfelds, sodass der Prüfling meist mit einem fokussierten Prüfkopf abgetastet wird. Um nun noch eine gute Auflösung über die gesamte Tiefe zu erhalten, wird jede Scheibe mehrmals mit verschiedener Fokustiefe gescannt. Diese Technik wird als Multizonenprüfung bezeichnet. Des Weiteren wird der Schall in Medien mit grober Kornstruktur, wie etwa Titanlegierungen für den Bau von Turbinenscheiben, stark gestreut und verdeckt damit die Signale möglicher Defekte.

Ziele dieser Arbeit waren zum einen die Reduktion der Prüfzeit durch einen geeigneten Ersatz für die konventionelle Multizonenprüfung und zum anderen die Unterdrückung der Rückstreuung und Verbesserung der Auffindbarkeit kleiner Fehler bis zu 0,2 mm KSR.

Zur Lösung wurde hier ein gekrümmter Gruppenstrahler entwickelt. Die Krümmung fokussiert das Schallfeld in natürlicher Weise auf die Rotationsachse des Wändlers. Darüber hinaus kann die Fokustiefe durch gezielte Verzögerung der Schüsse der Einzelelemente variiert werden. Aufbauend auf EFIT-Rechnungen, wurden die optimale Krümmung der Wandlerfläche sowie Aufteilung der Einzelflächen dabei mit einem eigens für dieses Projekt entwickelten Simulationstool gefunden. Des Weiteren wurde ein Algorithmus implementiert, der durch die Anwendung eines Satzes an Verzögerungszeiten im Sendefall und mehrerer Focal Laws im Empfangsfall in verschiedene Tiefen fokussieren kann (Dynamic Depth Focusing) und somit eine verbesserte Tiefenauflösung und erhöhte Fehlerauffindwahrscheinlichkeit gegenüber konventioneller Prüfung bietet. Die entsprechenden Ergebnisse der Untersuchungen an Turbinenscheiben mit dem entwickelten Gruppenstrahler und der dynamischen Fokussierung werden hier dargestellt.



ANNULAR PHASED ARRAY FÜR DIE ABLÖSUNG DER MEHRZONEN-PRÜFUNG VON FLUGZEUGTURBINENSCHLEIBEN

Martin Barth¹, Toni Beggerow², Marek Rjelka¹, Wolfgang Spruch², Bernd Köhler¹

¹ Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS, Dresden; ² Büro für Technische Diagnostik, Brandenburg

KURZFASSUNG

Die Anforderungen an die Materialqualität in verschiedensten Bereichen nehmen stetig zu. Insbesondere müssen Turbinen für Luft- und Raumfahrtanwendungen enormer Beanspruchung (z. B. hohe Temperaturen, extreme Zentrifugalkräfte) widerstehen können, welche u. a. den Einsatz sogenannter Superlegierungen erfordern. Da die Prüfalternativen entweder zu aufwendig sind, nicht die gewünschte Auflösung erreichen oder nur dünne Geometrien zulassen, ist die Standardmethode zum Auffinden kleiner Fehler in Turbinenscheiben die Ultraschallprüfung. Die höchste Auflösung erreicht man dabei im Fokus des Schallfelds, sodass der Prüfling meist mit einem fokussierten Prüfkopf abgetastet wird. Um auch eine gute Auflösung über die gesamte Tiefe zu erhalten, wird jede Scheibe mehrmals mit verschiedener Fokustiefe gescannt. Diese Technik wird als Multizonenprüfung bezeichnet. Des Weiteren wird der Schall in Medien mit grober Kornstruktur, wie etwa Titanlegierungen für den Bau von Turbinenscheiben, stark gestreut und verdeckt damit die Signale möglicher Defekte.

Ziele dieser Arbeit waren zum einen die Reduktion der Prüfzeit durch einen geeigneten Ersatz für die konventionelle Multizonenprüfung und zum anderen die Unterdrückung der Rückstreuung und Verbesserung der Auffindbarkeit kleiner Fehler bis zu 0,2 mm KSR. Zur Lösung wurde hier ein asphärisch gekrümmter Gruppenstrahler (Annular Phased Array) entwickelt. Die Krümmung fokussiert die Schallenergie in geringerem Abstand auf die Symmetrieachse (Z-Achse). Darüber hinaus kann die Fokustiefe durch gezielte Impulsverzögerung der Einzelelemente variiert werden. Aufbauend auf EFIT-Rechnungen, wurden die optimale Krümmung der Wandlerfläche sowie die Aufteilung der Einzelelemente dabei mit einem eigens für dieses Projekt entwickelten Simulationstool gefunden. Des Weiteren wurde ein Algorithmus implementiert, der durch die Anwendung eines Satzes an Verzögerungszeiten im Sendefall und dynamischer Empfangsverzögerung einen großen Tiefenbereich auf einmal scharf fokussieren kann (Dynamic Depth Focusing). Somit bietet sich eine verbesserte Tiefenauflösung und erhöhte Fehlerauffindwahrscheinlichkeit gegenüber konventioneller Prüfung. Ausgewählte Ergebnisse der Untersuchungen an Turbinenscheiben mit dem entwickelten Gruppenstrahler und der dynamischen Fokussierung werden hier dargestellt.



Bild 1: Stahltestkörper (125 mm hoch) mit Querbohrungen in unterschiedlichen Tiefen. Der Durchmesser der Bohrungen beträgt etwa 2 mm.



Bild 2: B-Bilder des Stahlkörpers mit Querbohrungen (Bild 1) für verschiedene Fokussierungsmodi. Bei der klassischen Variante (links) wurde auf eine Tiefe von 75 mm fokussiert, mit denselben Verzögerungszeiten sowohl für die Sende- als auch für die Empfangssignale. Im mittleren Bild wurde mit einem »Besselstrahl« gesendet und empfangsseitig auf eine Tiefe von 75 mm fokussiert. Im rechten Bild wurde mit einem »Besselstrahl« gesendet und die empfangenen Signale dynamisch tiefenfokussiert (DDF).



Bild 3: Ausschnitt einer geschmiedeten Laufscheibe aus Ti6246 zur Evaluation möglicher Ultraschallprüfverfahren. Dieser Testkörper enthält mehrere Sacklochbohrungen, von denen sich zwei in einem stark umgeformten Bereich der Scheibe befinden. Die kleinere dieser Bohrungen hat einen Durchmesser von 192 µm.



Bild 4: Test des Annular Phased Arrays-Prüfkopfs am Turbinenscheiben-Testkörper im Wasserbad.

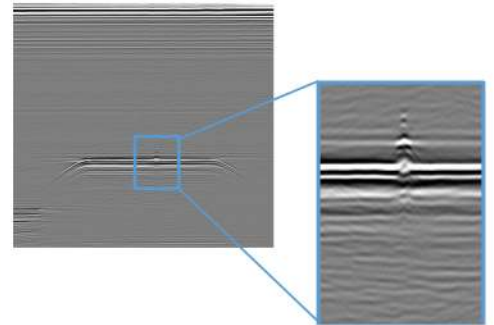


Bild 5: B-Bild des Prüflings an einer stark texturierten Stelle (links) mit kleinem Testfehler (KSR 0,2 mm, Spitze der Stufenbohrung) und entsprechende Vergrößerung des oben markierten Ausschnitts.

ERGEBNISSE

Als optimale Geometrie für das APA ergab sich eine speziell gekrümmte Wandlerfläche mit 16 gleichflächigen Elementen, wobei das innerste Element ebenfalls ein Ringelement ist. Durch die Krümmung wird u. a. die Empfindlichkeit erhöht. Es können Besselstrahlen erzeugt werden, sodass das Maximum des Schallfelds auf der Symmetrieachse des Wandlers liegt und dieses sich auch unterhalb einer Störung wieder einstellt. Mithilfe dieser Eigenschaft und der dynamischen Tiefenfokussierung konnten sogar untereinander angeordnete Querbohrungen scharf abgebildet werden (hier nicht gezeigt).

Die B-Bilder von einem Stahlklotz mit diagonal angeordneten Querbohrungen (Bild 1) zeigen die überragenden Eigenschaften der entwickelten Wandlerstruktur in Verbindung mit der Tiefenfokussierung (Bild 2, rechts) gegenüber der klassischen Variante mit Fokussierung im Sende- und Empfangsfall (Bild 2, links), sowie dem Senden mit Besselstrahl und Fokussierung auf eine Tiefe (Bild 2, Mitte).

Außerdem konnten in einem stark umgeformten Teil einer Laufscheibe, in der mit hoher Mehrfachstreuung und damit verbundenen Verdeckung der Fehlersignale zu rechnen ist, Testfehler mit KSR 0,2 mm nachgewiesen werden (Bild 5). Damit ist das hier vorgestellte Verfahren in Verbindung mit dem neuen Prüfkopfdesign auch den zukünftig steigenden Anforderungen der Luft- und Raumfahrtindustrie hinsichtlich Materialreinheit und Fehlerfreiheit gewachsen.

DANKSAGUNG

Diese Arbeit wurde durch das ZIM-Programm des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) im Projekt PAM (KF2455308AB3) und das COMET-Programm der Österreichischen Bundesregierung, unterstützt durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft (FFG), das Land Oberösterreich und das Land Steiermark, gefördert. Die Autoren danken außerdem der MTU München für hilfreiche Diskussionen und die Bereitstellung des Scheibentestkörpers.