

Additive Fertigung

Herausforderungen bei der Bauteileprüfung und wie man ihnen begegnen kann

Chris Parker | Theta Technologies

Die additive Fertigung, die oft als die Zukunft der industriellen Fertigung angepriesen wird, hat die Produktionslandschaft in vielen Industriezweigen revolutioniert. Ihre Fähigkeit, komplexe Geometrien mit unübertroffener Präzision und Effizienz herstellen zu können, hat Hoffnungen geweckt, dass diese Technologie für den Einsatz in der Luft- und Raumfahrtindustrie, im Automobilbau, in der Öl- und Gasindustrie, im Verteidigungsbereich und in einer Vielzahl anderer Industriezweige geeignet ist. Ganz so weit sind wir heute allerdings noch nicht. Die zunehmende Verbreitung der additiven Fertigung stellt Ingenieure vor die gewaltige Aufgabe Qualität und Qualitätssicherheit der gefertigten Komponenten sicherzustellen. Ein zentraler Punkt dabei sind effektive Prüfverfahren, mit denen Mängel und Fehler in additiv gefertigten Teilen präzise erkannt werden.

Bis dato ist die Computertomographie (CT) die Methode der Wahl bei der Prüfung additiv gefertigter Metallteile. Trotz ihrer weiten Verbreitung ist die Computertomographie jedoch mit einer Reihe von Problemen verbunden, die ihre Effizienz im Bereich der additiven Fertigung beeinträchtigen. Wir möchten Ihnen helfen, diese Probleme bei der Prüfung von in additiver Fertigung hergestellten Bauteilen anzugehen. Erfahren Sie mehr über eine neue, alternative Methode der zerstörungsfreien Prüfung, die nichtlineare Resonanzprüfung. Sie ist ein spannender neuer Ansatz zur Überwindung der Grenzen herkömmlicher Prüfmethoden.

Die Bedeutung der Bauteileprüfung in der additiven Fertigung

Die Bauteileprüfung spielt eine entscheidende Rolle im additiven Fertigungsprozess und ist ein Eckpfeiler der Qualitätssicherung und Qualitätssicherheit. Während bei herkömmlichen Fertigungsverfahren Fehler oft an der Oberfläche sichtbar sind, ist die Sache bei additiver Fertigung komplexer. Hier sind aufwändigere Prüfverfahren nötig, um interne Mängel und Fehler erkennen zu können. Ungeeignete Teileprüfungsverfahren können erhebliche Auswirkungen auf Leistung, Zuverlässigkeit und Sicherheit von Produkten haben, besonders in sicherheitskritischen Branchen.

Einige haben versucht, den Herausforderungen, die sich aus der Einzigartigkeit der additiven Fertigungstechnik ergeben, mit prozessbegleitenden



Überwachungsmethoden zu begegnen. Dabei machen Kameras Fotos vom Aufbau jeder Schicht. Auch wenn dies auf den ersten Blick eine naheliegende und einfache Methode zur Erkennung von Mängeln zu sein scheint, kann sie Fehler nicht erkennen, sobald die nächste Schicht gedruckt ist. Dieses Prüfverfahren räumt Zweifel an der Integrität des fertigen Bauteils nicht aus. Haben sich zwei Schichten vollständig verbunden? Hatte das Aufschmelzen der nächsten Schicht Auswirkungen auf die darunter liegende Schicht? Sind die Risse erst nach dem Aufbauprozess entstanden?

Eine wirksame Bauteileprüfung ist unerlässlich für die Erkennung und den Umgang mit potenziellen Fehlern, die die strukturelle Integrität und die mechanischen Eigenschaften von additiv gefertigten Komponenten beeinträchtigen können. Mit sorgfältigen und effektiven Prüfverfahren können Hersteller eine Reihe potenziell schwerwiegender Mängel frühzeitig im Produktionsprozess erkennen. So kann rechtzeitig eingegriffen und korrigiert werden, um kostspielige Nacharbeiten oder den Ausfall von Komponenten zu einem späteren Zeitpunkt zu verhindern.

Darüber hinaus ist die Teileprüfung eine wichtige Kontrollmaßnahme, welche die Einhaltung von Industriestandards und Vorschriften gewährleistet. In sicherheitskritischen Branchen gelten strenge Anforderungen an die Zuverlässigkeit und Leistung von Komponenten, was sorgfältige Prüfverfahren unerlässlich macht. Durch Einhaltung strenger Prüfprotokolle und den Einsatz fortschrittlicher Prüftechnologien können Hersteller die Integrität und Qualität ihrer additiv gefertigten Komponenten nachweisen, was sowohl bei den Endbenutzern als auch bei Aufsichtsbehörden Vertrauen schafft. Nicht zuletzt geht es bei einer wirksamen Bauteileprüfung nicht nur um die Einhaltung von Qualitätsstandards, sondern auch um die Sicherstellung von Zuverlässigkeit, Sicherheit und dem guten Ruf von additiv gefertigten Produkten in einem zunehmend wettbewerbsorientierten und anspruchsvollen Markt.



Besondere Herausforderungen bei der Teileprüfung in der additiven Fertigung

Additive Fertigung stellt besondere Anforderungen an die Teileprüfung, welche sich von denen bei herkömmlichen Fertigungsverfahren unterscheiden. Die Komplexität und Variabilität additiv gefertigter Teile in Verbindung mit den inhärenten Eigenschaften additiver Fertigungstechniken tragen zur Entstehung neuartiger Mängel und Fehler bei, welche spezialisierte Prüfmethoden zur Erkennung und Charakterisierung solcher Fehler erforderlich machen.

Volumetrische Risse, fehlende Verschmelzung, Hohlräume, Porosität und Pulvereinschlüsse gehören zu den häufigsten Mängeln, die bei additiv gefertigten Teilen auftreten. Diese Mängel können die strukturelle Integrität und die mechanischen Eigenschaften von Bauteilen beeinträchtigen, was ein erhebliches Risiko für die Leistung und Zuverlässigkeit der Produkte darstellt. Besonders Risse können sowohl während des Fertigungsprozesses als auch hinterher entstehen – ein echtes Problem in der additiven Fertigung. Nachbearbeitungsschritte bringen meist potenziell Schäden verursachende Werkzeuge ins Spiel, wie Winkelschleifer oder Trennscheiben oder den Einsatz von Hitze. So können sich Risse im gedruckten Teil erst in dieser späten Phase bilden, selbst wenn der Aufbau selbst zunächst erfolgreich war. Hinzu kommen Faktoren wie Oberflächenbeschaffenheit, interne Netzbedingungen, Bauteil- und Materialdichte, das Druckbett und die Nachbearbeitungsoptimierung, welche Prüfverfahren in der additiven Fertigung zusätzlich erschweren.

Im Gegensatz zu herkömmlichen Fertigungsverfahren, bei denen Fehler primär an der Oberfläche auftreten und leicht zu erkennen sind, bringt die additive Fertigung inhärente Komplexitäten mit sich, die umfassende volumetrische Prüftechniken erfordern. Die komplexen internen Strukturen und der schichtweise Herstellungsprozess der additiven Fertigung machen den Einsatz fortschrittlicher zerstörungsfreier Methoden erforderlich, die das gesamte Volumen eines Bauteils durchdringen und verborgene Mängel und Fehler erkennen können.



Die Lösung: Nichtlineare zerstörungsfreie Resonanzprüfung

Die nichtlineare zerstörungsfreie Resonanzprüfung von Theta Technologies hat sich als Lösung für die Schwierigkeiten bei der Prüfung von Bauteilen aus additiver Fertigung herausgebildet. Gegenüber herkömmlichen Prüfmethoden wie Computertomographie (bis dato die einzig wirklich brauchbare Methode zur Prüfung von Teilen aus additiver Fertigung) ist die nichtlineare Resonanzprüfung ein schneller, kostengünstiger und hochempfindlicher Ansatz zur Erkennung von Mängeln und Fehlern in immer komplexeren additiv gefertigten Bauteilen, auch bei der dem 3D-Druck inhärenten Rauheit von Oberflächen.

Im Kern nutzt die nichtlineare Resonanzprüfung die Prinzipien der nichtlinearen akustischen Prüfung, um ein additiv gefertigtes Bauteil zur Resonanz anzuregen und dann das Verhalten mikroskopischer Fehler unter Prüfbedingungen zu beobachten. Diese Technik hat eine unübertroffene Empfindlichkeit, selbst für kleinste Fehler von weniger als 10 Mikrometern. Durch die Analyse der nichtlinearen Reaktion des Bauteils auf Anregung kann eine Vielzahl von Fehlern erkannt und charakterisiert werden, wie z. B. volumetrische Risse, fehlendes Verschmelzen, Hohlräume und Porosität.

Unsere Inhouse-Prüflösung RD1-TT bietet schnelle Prüfkapazitäten. Tests sind in der Regel in weniger als einer Minute pro Bauteil abgeschlossen. Damit eignet sie sich in jeder Phase des Herstellungsprozesses hervorragend für die sofortige Einstufung in Bestanden/Nicht bestanden. Sie ist besonders gut geeignet für den Einsatz unmittelbar nach dem Druck und vor der Nachbearbeitung. Diese Effizienz beschleunigt nicht nur den Prüfprozess, sondern minimiert auch Standzeiten und erhöht den gesamten Durchsatz in der Produktion.

Wie funktioniert dieses Verfahren?

All dies klingt erstaunlich, aber wie funktioniert es in der Praxis? Der RD1-TT hat den Prozess erheblich vereinfacht. Hier eine Kurzzusammenfassung:

1. Zu prüfendes Bauteil ins Gehäuse legen.
2. Probe zur Resonanz anregen.
3. Eindeutige Signatur des Bauteils messen und warten bis der Algorithmus bei Variation der Anregungsamplitude Veränderungen in der Reaktion erfasst. Ist das Teil fehlerfrei, dann sollte keine Veränderung der Reaktion auftreten, außer skaliert mit der Anregungsamplitude. Ist das Teil fehlerbehaftet, dann treten andere Merkmale auf. Diese werden vom Algorithmus erfasst und zurückgemeldet.
4. RD1-TT meldet in weniger als einer Minute, ob die Prüfung bestanden oder nicht bestanden ist.



Anwendungsbeispiele und Einsatzbereich nichtlinearer zerstörungsfreier Resonanzprüfung

Die Einführung einer neuen Technologie in kritischen Branchen erfordert gründliche Validierung und den Nachweis ihrer Effizienz. Diese bahnbrechende Methode zur zerstörungsfreien Prüfung wurde strengen Tests und Validierungen für verschiedene Anwendungen und Materialien unterzogen, um ihre einzigartigen Fähigkeiten herauszuarbeiten.

Eine bemerkenswerte Anwendung war die Beurteilung des Kriechens in Turbinenblättern aus Nickel-Superlegierung für die Stromerzeugung. Turbinenblätter werden üblicherweise in bestimmten Abständen ausgetauscht. Werden sie allerdings zu früh getauscht, ist dies Ressourcenverschwendung und verursacht Kosten.

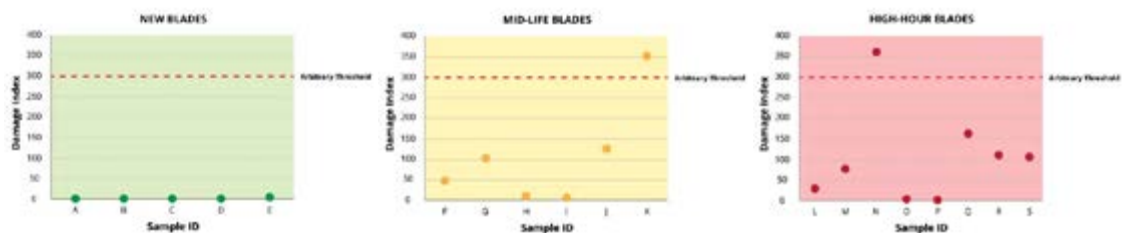
Mit nichtlinearer Resonanzprüfung während Routinewartungen wurden umfassend Daten gesammelt, um den Zustand der Turbinenblätter in ihrem Lebenszyklus genau zu beurteilen. Die Ergebnisse zeigten, dass einige Turbinenblätter mit vielen Betriebsstunden (mehr als 50 000 Stunden) in heißer Umgebung auch weiterhin für den Betrieb geeignet waren, während andere mit geringer oder mittlerer Betriebsdau-

er bereits Anzeichen von Kriechen aufwiesen und daher ersetzt werden mussten. Man erkennt, welche Vorteile nichtlineare Resonanzprüfung bei der Optimierung von Instandhaltungspraktiken haben kann, sowohl bezüglich Betriebssicherheit als auch zur Kosteneinsparung.



Nichtlineare Resonanzprüfung hat sich auch bei der Prüfung von additiv gefertigten Wärmetauschern aus Aluminium und Inconel bewährt. Diese sind wegen ihrer komplizierten Geometrien und Eigenschaften eine Herausforderung für herkömmliche zerstörungsfreie Prüfmethoden wie z. B. Röntgen-Computertomographie. Dadurch, dass sie Fehler selbst in komplexen Komponenten erkennen kann und Tests noch auf der Bauplatte direkt nach dem Druck durchgeführt werden können, hat die nichtlineare Resonanzprüfung ihre Anpassungsfähigkeit und Effektivität bei der Sicherstellung von Qualität und Integrität kritischer Komponenten unter Beweis gestellt. In einer ähnlichen Fallstudie und im Vergleich mit einer traditionellen zerstörenden Prüfmethode wie der Zugprüfung konnte die nichtlineare Resonanzprüfung präzise die Wahrscheinlichkeit des Ausfalls eines Teils unter Belastung vorhersagen, was die Überlegenheit dieser Methode bei der Beurteilung von Komponenten für den Gebrauch hervorhebt. Diese Studie verdeutlichte die Ineffizienz und verschwenderische Natur zerstörender Prüfmethoden und unterstrich die unverzichtbare Rolle der nichtlinearen Resonanzprüfung bei der Revolutionierung von Prüfverfahren.

Wo ist also der Haken? Auch die nichtlineare Resonanzprüfung hat ihre Grenzen und ist angesichts der Vielzahl potenzieller Fehlerquellen in der additiven Fertigung nicht in allen Fällen geeignet. Als Ganzkörper-Resonanztechnik ist RD1-TT derzeit nicht in der Lage, volumetrische Defekte in nichtlinearen Metriken zu erkennen, da diese sich wie Merkmale der Teile verhalten. Löcher und Porosität würden sich jedoch in den linearen Resonanzmetriken zeigen, ein weiterer Vorteil der Prüfung auf Nichtlinearität.



Schlussfolgerung

Die additive Fertigung stellt einzigartige Herausforderungen an die Teileprüfung, welche zunehmend innovative Lösungen erfordern. Herkömmliche Prüfverfahren wie Computertomographie haben sich zwar bei der Qualitätskontrolle bewährt, sind aber nicht uneingeschränkt einsetzbar. Die nichtlineare Resonanzprüfung von Theta Technologies bietet eine überzeugende Alternative, die bezüglich der Unzulänglichkeiten herkömmlicher Prüfverfahren Vorteile bietet und ein schnelles, empfindliches und kostengünstiges Prüfverfahren für additiv gefertigte Teile darstellt.

Der Einsatz fortschrittlicher zerstörungsfreier Prüfmethoden wie der nichtlinearen Resonanzprüfung kann den Qualitätssicherungsprozess verbessern, Produktionsrisiken minimieren und das volle Potenzial der additiven Fertigung in sicherheitskritischen Anwendungen ausschöpfen. Mit der stetigen Weiterentwicklung der additiven Fertigung kann die Bedeutung effektiver Teileprüfung nicht hoch genug bewertet werden. Um die Zuverlässigkeit und Integrität von additiv gefertigten Komponenten in einer zunehmend anspruchsvollen Fertigungslandschaft zu gewährleisten, ist es für Hersteller unumgänglich, innovative Prüfverfahren einzusetzen und strenge Qualitätsstandards einzuhalten.

Mit der Verlagerung des Schwerpunkts der additiven Fertigung von der Prototypenherstellung und der Erforschung der Möglichkeiten dieser Technologie im akademischen Umfeld hin zu einem kommerziell ausgerichteten, anspruchsvollen Produktionsverfahren, hat die nichtlineare Resonanzprüfung das Potenzial, die Prüfung komplexer Bauteile in großem Maßstab zu ermöglichen, ohne die Durchlaufzeiten zu beeinträchtigen.



Wenn Sie die nichtlineare Resonanzprüfung selbst erleben möchten, haben Sie bald die Gelegenheit dazu. Der RD1-TT wird auf der Control, der Internationalen Fachmesse für Qualitätssicherung vom 23. bis 26. April in Stuttgart, auf dem Stand der Astute GmbH (Halle 10 / 1711) zu sehen sein.

Die Astute Group ist der offizielle Distributor der Theta Technologies.

Im Anschluss zur Messe bieten wir Ihnen ergänzend die Möglichkeit Ihre eigenen, adaptive gefertigten Produkte, in den Räumlichkeiten der Astute GmbH zu testen.

Bei Interesse kontaktieren Sie bitte unseren Partner aus der Region München (salesgermany@astutegroup.com). ■