

V. Schmitz, H. Reiter, W. Gebhardt, H. Rieder, Fraunhofer Institut Zerstörungsfreie Prüfverfahren - Saarbrücken

Moderne Fehlerprüfverfahren für Bauteile und Produkte aus Aluminiumwerkstoffen

Einleitung

Zur Qualitätssicherung von Bauteilen aus Aluminium werden in der Praxis Prüfverfahren eingesetzt, die auf den klassischen Methoden der Sicht-, der Ultraschall-, der Röntgenprüfung oder der Thermographie beruhen. Im folgenden werden Möglichkeiten aufgezeigt, die auf unterschiedlichen Sensoren, Geräten und dem Einsatz tomographischer Rekonstruktionstechniken beruhen, um z.B. Poren oder Lunker nicht nur in ihren örtlichen Positionen sondern auch in ihren Größen quantitativ beschreiben zu können.

Ansätze zu einer quantitativen Fehlerbeschreibung finden sich sowohl bei der Ultraschallprüfung als auch beim Einsatz von Röntgenprüfverfahren. Über die Durchstrahlungsprüfung hinaus werden die Fähigkeiten der Röntgentomographie und der Computer-Laminographie mit ihren besonderen bildgebenden Eigenschaften im zweiten Teil des Beitrages an praktischen Einsatzfällen diskutiert.

Ultraschallprüfung

1.1 Fokustechnik

Zunächst möchten wir uns aber der Fehlerprüfung mit Ultraschall zuwenden. Eine der bekanntesten Fehlerprüfmethoden beruht auf der Amplitudenbewertung nach der AVG-Methode (Abstand-Verstärkung-Ersatzfehlergröße). Sie gestattet es, z.B. rißartige Fehler derart zu charakterisieren, daß der von einem Ultraschallprüfkopf empfangene Impuls auf dem Bildschirm die gleiche Höhe besitzt, wie ein kreisförmiger Fehler des Durchmessers D , der vom Schallstrahl senkrecht getroffen wird. In der Realität beeinflussen Fehlergrößen wie Schräglage, Rauigkeit, Anhäufungen wie sie z.B. in Porenestern vorkommen, ebenfalls die reflektierte Amplitude, d.h. die AVG-Bewertung setzt eine langjährige ingenieurmäßige Erfahrung voraus, um Fehleinschätzungen vermeiden zu können. Für sicherheitstechnisch relevante Bauteile liefert eine Ultraschallprüfung nach reiner Amplitudenbewertung keine ausreichenden Aussagen.

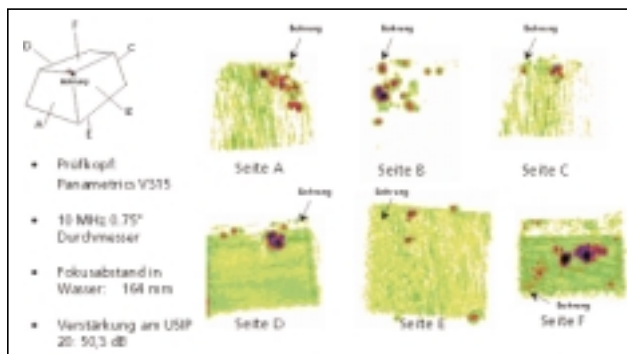


Bild 1: Ein Beispiel für eine hochauflösende Ultraschall-Fokusprüfung von Aluminiumeinschlüssen – Aufsichtsdarstellungen

Die Genauigkeit der Ergebnisse einer Fehlerprüfung hängt von der Schallbündeldivergenz, der Tiefenlage des Fehlers und dessen Eigenschaften ab. Liegen die Fehlerorientierungen vorwiegend parallel zur Oberfläche, wird mit Senkrechtprüfköpfen unter Verwendung von Longitudinalwellen eingeschallt, liegen sie vorwiegend senkrecht zur Oberfläche, wird man Schrägenschallung mit Transversalwellen verwenden.

Die Anforderungen an die Größenbestimmung auch kleinster Imperfektionen verlangt nach hohen Prüffrequenzen, z.B. 10 MHz und nach einer Fokussierung des Schallbündels. So ergeben sich an dem asymmetrischen Testkörper von ca. 4,5 cm x 5 cm die in Bild 1 dargestellte Fehlerverteilung über jeweils 50% der Wanddicke. Die Prüfung erfolgte jeweils von der mit A,B,C,... gekennzeichneten Prüfseite aus.

Eine weitere Anwendungsmöglichkeit, bei der mit Transversalwellen unter 45° und einer Prüffrequenz von 10 MHz geprüft wurde, ist in Bild 2 dargestellt. Es handelt sich hierbei um eine Laserschweißnaht

1.2 Berührungslose Anregung von Plattenwellen über Luft

Die Ultraschallfokusprüfung im Wasserbad ist sehr weit verbreitet, kann jedoch dann nicht eingesetzt werden, wenn die Oberfläche vor Wasser oder Öl geschützt werden muß. In diesem Falle bietet sich neben dem Einsatz von elektromagnetischen Prüfköpfen die Verwendung von Prüfköpfen an, die über Luft ankopplern. Der prinzipielle Nachteil der Ankopplung über Luft besteht in einem Signalverlust von mehr als 150 dB, der über unterschiedliche Verfahrenstechniken und Geräteauslegungen wieder ausgeglichen werden muß [1].

Eine besonders elegante Lösung ist die Verwendung von Plattenwellen, falls z.B. Delaminationen einer Deckschicht von dem Grundmaterial detektiert werden sollen. Wichtig ist hier, daß das Bauteil im allgemeinen nur von einer Seite zugänglich ist. Die Lösung ist die Erzeugung von Plattenwellen bei einer Frequenz von 270 kHz, wobei sich Sender und Empfänger gegenüberstehen.

Ändert sich die wirksame Dicke der Deckschicht

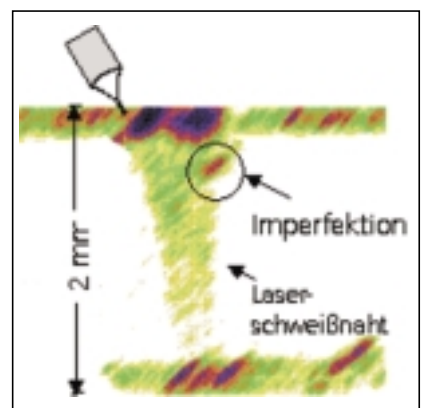


Bild 2: Hochauflösende Fokusprüfung einer Imperfektion in einer 2 mm dicken Laserschweißnaht – Seitenansicht

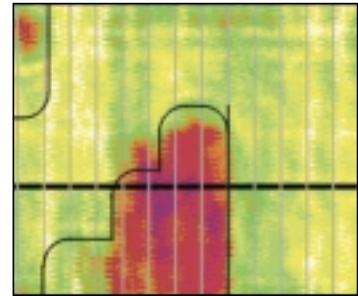
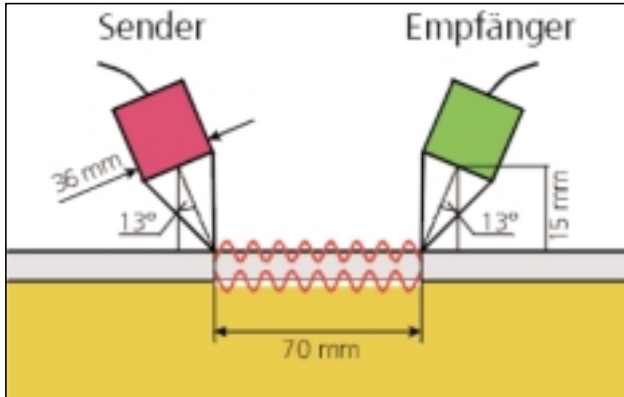


Bild 3: Berührungslose Prüfung von Haftungsfehlern mit Luftschall: Prinzip, Prüfkopfanordnung und C-Bild-Darstellung

über deren Länge sich die Plattenwelle ausbreitet, so ändert sich die Lage auf der Dispersionskurve, die sich wiederum in einer Änderung der Empfangsamplitude auswirkt. Befestigt man das Prüfkopfpaar an einem Manipulator, der das Bauteil rasterartig abtastet, so erhält man ein Abbild des fehlerhaften Bereiches - Bild 3.

1.3 Elektronisches Durchtakten eines Ringarrays zur Klebprüfung von Aluminiumbehältern

Bei der automatisierten Befüllung von Aluminiumbehältern mit Nahrungsmittel und der anschließenden Versiegelung mit einem Aluminiumdeckel ist die Dichtigkeit der Behälter in jedem Falle zu garantieren. Die 100% Prüfung der Siegelnaht mit Ultraschall im Prozeßtakt der Befüllung und Versiegelung ist mit einigen, den Prüfablauf erschwerenden Randbedingungen verbunden. Die Prüftaktzeit eines Behälters beträgt ca. 1 Sekunde, für die Ultraschallprüfanlage stehen ca. 250 ms zur Verfügung. Die Prüfung muß bis auf eine leichte Benetzung koppelmittelfrei durchgeführt werden

Vom physikalischen Prinzip wird die Ultraschalldurchschallungsprüfung eingesetzt. Hierbei werden zwei quadratische Ringarrays verwendet, zwischen denen der Aluminiumbehälter im Taktschritt eingelegt wird. Jedes Ringarray besteht aus 400 Einzelprüfköpfen, die aus vier geraden und vier gebogenen Prüfkopfsegmenten aufgebaut sind - Bild 4. In den hier gezeigten Empfangsteil des Arrays wird die zu prüfende Dose eingelegt. Die Prüffrequenz beträgt 7 MHz, die Elementgröße 2 x 0,63 mm². Im Sende- und Empfangsfall werden unterschiedliche Anzahlen von Einzelschwinger so miteinander parallel verbunden, daß die Anzahl der HF-Kabel von insgesamt 800 auf 180 reduziert werden können.

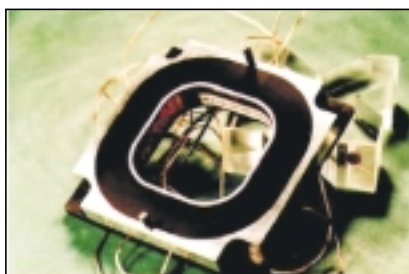


Bild 4: 400 Kanal Ringarray; der hellere innere Kranz beherbergt die piezoelektrischen Sensoren, unter dem dunklen Teil befindet sich die Verkabelung

Das Prüfsystem ist modular aufgebaut und als dezentrales, vernetztes Prüfsystem realisiert, dessen Subeinheiten unterein-

ander Daten über schnelle, serielle Schnittstellen austauschen. Die Digitalisierungs- und Verarbeitungsmodule basieren auf Digitalen Signal Prozessoren (DSP), die für höchste Rechenleistungen optimiert sind.

Das Menuesystem erlaubt die Parametrisierung des Prüfsystems, die Verwaltung und Bewertung der Prüfdaten und die Darstellung der Ergebnisse. Eine automatische Kalibrierfunktion ermöglicht die Harmonisierung der Amplituden-Empfindlichkeit der 400 Empfangsprüfköpfe. Mit Hilfe von Cursorfunktionen können die Signale vermessen werden. Die Durchschallungsamplituden und die korrespondierenden statistischen Werte können z.B. von Excel eingelesen werden.

Sowohl im Labor als auch in einer Abfüllanlage wurden umfangreiche Untersuchungen durchgeführt. Neben der Reproduzierbarkeit der Ankoppelbedingungen, der Empfindlichkeit der Sensorik und der mechanischen Belastbarkeit wurden insbesondere der Einfluß unterschiedlicher Fehlersituationen wie z.B. Verschmutzung der Siegelnaht, unzureichende Prozeßtemperaturen bei der Versiegelung und Deckeversatz auf die Relevanz der Prüfergebnisse untersucht.

Die Abb. 5 zeigt exemplarisch den Verlauf der 400 Durchschallungsamplituden einer unbeschädigten Siegelnaht zusammen mit dem Verlauf des Signales falls eine Verletzung der Siegelnaht zu einer Öffnung geführt hat und damit das unerwünschte Eindringen von Keimen ermöglichen würde. Nur durch die Entwicklung eines Multikanal-Ultraschallprüfsystems [2] war es möglich, die notwendigen kurzen Taktzeiten einzuhalten.

1.4 Ultraschall- Tomographie mit CAD-Darstellung von Rohrleitungssegmenten

AUTOSKETCH, AUTOCAD und andere Programme gestatten es, auf der Personal Computer Ebene die unter-



Bild 5: Typische Signalverläufe der 400 Einzelelemente bei der Prüfung von Aluminiumbehältern auf Undichtigkeiten

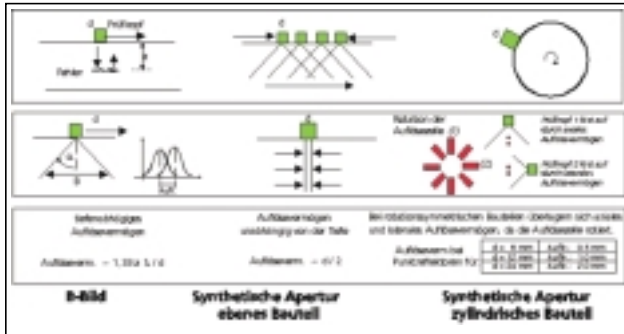


Bild 6 : Gewinn an Bildqualität durch Verbesserung des lateralen Auflösungsvermögens mittels Synthetischer Aperturverfahren

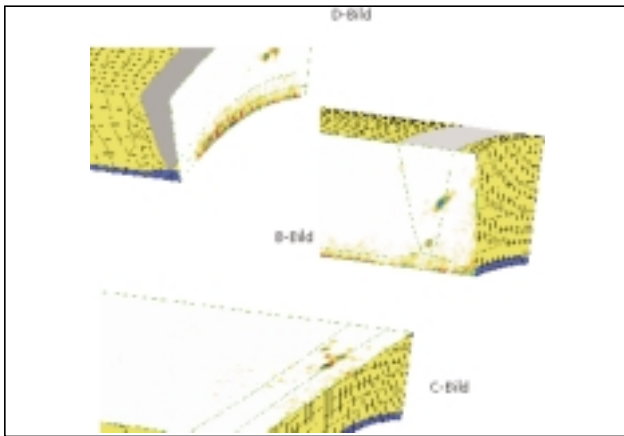


Bild 7: Darstellung von mittels SAFT erhaltenen Rekonstruktionsergebnissen in zwei Seitenansichten und einer Aufsicht zur exakten Bestimmung der Position und Größen vorhandener Schlacken in einer Schweißnaht

suchten Bauteile zwei- bzw. dreidimensional zu generieren, um das Bauteil in Bezug auf wichtige Schnittebenen darstellen zu können. Es fehlt jedoch die Möglichkeit, zwei- bzw. dreidimensionale Datensätze, die als Ergebnis einer Thermographie-, Röntgen- oder Ultraschallprüfung vorliegen, entsprechend einzubinden und darzustellen.

Das mäanderförmige Abtasten eines Bauteiles mit einem Ultraschallprüfkopf gestattet es, Seitenansichtsbilder (B-, D-) bzw. Aufsichtsdarstellungen (C-Bilder) wiederzugeben. Ohne weitere Signalverarbeitung verringert sich jedoch die Bildqualität - hier insbesondere aufgrund des lateralen Auflösungsvermögens - da das Schallbündel divergent ist und mit zunehmender Tiefe zwei benachbarte Fehler immer schlechter auflösen kann. Wendet man das Prinzip der „Synthetischen Apertur= SAFT“ an, so kann man nach der Datenaufnahme im PC den Einfluß des Divergenzwinkels wieder herausrechnen.

Es ergibt sich ein von der Tiefenlage unabhängiges Auflösungsvermögen, das mit der Größe des Prüfkopfes verknüpft ist und für einen praktischen Einsatz besser ist als der halbe Prüfkopfdurchmesser. Für rotationssymmetrische Bauteile ergeben sich entsprechend Bild 6 noch günstigere Werte. Die Vorteile einer tiefenunabhängigen Abbildungsqualität kommen insbesondere bei dickwandigeren Bauteilen zu tragen.

Im IZFP wurde ein „3D-Ray-SAFT“ Programm unter Windows NT geschrieben, das es gestattet Ultraschallprüfdaten nach dem Algorithmus der Synthetischen Apertur zu rekonstruieren, diese Daten in die CAD-Umgebung einzulesen und entsprechend zu visualisieren [3]. Im allgemeinen wird die Visualisierung den Koordinatenebenen folgen, um die Fehlerausdehnungen parallel zur Oberfläche (C-Bild für $z = 466$ mm) oder in den beiden Seitenansichtsdarstellungen (B-Bild $y = 48$ mm und D-Bild für $x = 34$ mm) positionieren und in Orientierung und Größe vermaßen zu können. Entsprechende Tools der Bildverarbeitung stehen zur Verfügung. In Abb. 7 handelt es sich um einzelne Schlacken, die sich in der Schweißnahtflanke aber auch im Schweißgut befinden.

2. Zum Röntgenprüfverfahren

Zum Nachweis von Fehlern und zur Charakterisierung von Materialeigenschaften steht eine Palette von Röntgenverfahren zur Verfügung. Die Röntgenverfahren sind bildgebende, zerstörungsfreie Prüfverfahren, die in der Industrie insbesondere für die Prüfung von sicherheitsrelevanten Bauteilen eingesetzt werden. Je nach Anwendungsbereich und Fragestellung (Bauteil, Größe und Geometrie, Fehlerart, Fehlergröße und Fehlerlage, Anwendung im Entwicklungsprozeß oder Herstellungsprozeß) sind unterschiedliche Verfahrensvarianten einzusetzen.

2.1 Durchstrahlungsprüfung

Die einfachste Variante ist die Durchstrahlungsprüfung, bei der die dreidimensionale Objektstruktur als Schattenbild auf das zweidimensionale Detektormedium (Film oder Bildwandler) abgebildet wird. Fehler werden durch ihre gegenüber dem Basismaterial unterschiedliche Absorption nachgewiesen. Durch ein nachgeschaltetes digitales Bildverarbeitungssystem können im Bedarf Fehler automatisiert ausgewertet werden. Bild 8 zeigt ein Beispiel für die Untersuchung eines komplex geformten Bauteiles mit dem Nachweis einer Reihe von Poren und Lunkern.

Bei der Durchstrahlungsprüfung wird das dreidimensionale Objekt auf das zweidimensionale Aufnahmemedium projiziert, mit der Folge, daß sich die Objektstrukturen in Durchstrahlungsrichtung überlagern. Daher sind flächenartige Fehlstellen (Risse) senkrecht zur Durchstrahlungsrichtung nur schwer zu erkennen. Darüber hinaus ist es nicht möglich, aus einer Aufnahme die Position und die Geometrie eines Fehlers oder eines Bauteildetails in Durchstrahlungsrichtung zu ermitteln. Abhilfe schafft die Tomographie, die zerstörungsfrei Schnittbilder erstellt, die überlagerungsfrei die innere Struktur des untersuchten Bauteils wiedergeben.

2.2 Computertomographie

Die Röntgen-Computer-Tomographie (CT) bildet zerstörungsfrei und berührungslos den inneren und äußeren Aufbau von Bauteilen dreidimensional ab. Das System ermöglicht die Detektion von Dichteänderungen

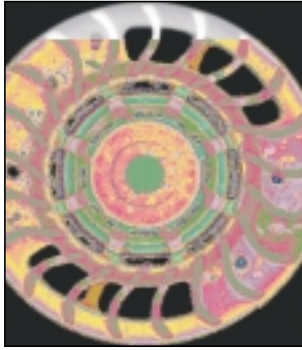


Bild 8: Durchstrahlungsbild eines komplexen Aluminiumbauteils

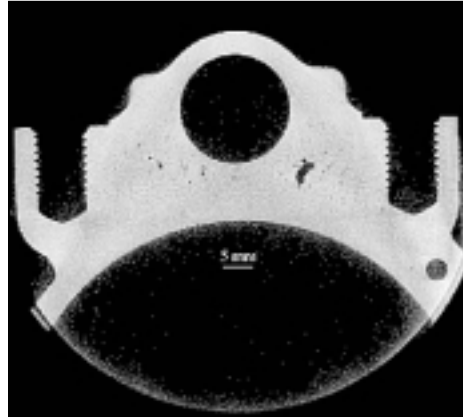


Bild 10: Rekonstruierter Querschnitt eines Aluminiumgußteiles mit einem porösen Gebiet und einem großen Lunker

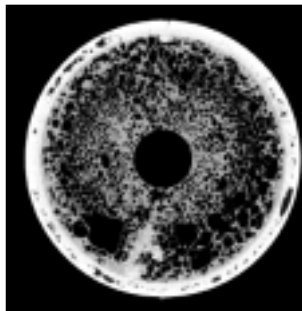
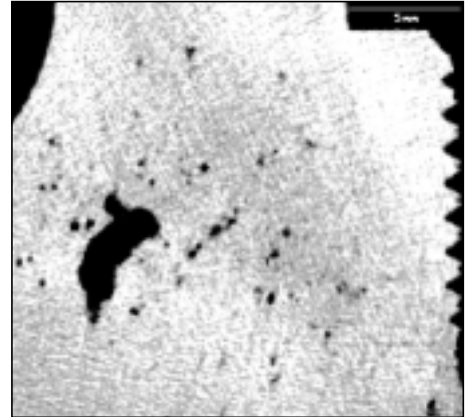


Bild 9: Rekonstruierter Querschnitt eines Aluminiumschaumes, große Unterschiede in der Material- und Porenverteilung

und Fehlern sowie eine Charakterisierung bzgl. ihrer Art, Geometrie und Lage im Bauteil. Darüber hinaus lassen sich innenliegende, verdeckte Strukturen vermessen.

Softwaremodule gestatten die Darstellung beliebiger Ebenen aus den komplett rekonstruierten Volumendaten sowie eine räumliche Abbildung auch einzelner Volumenbereiche.

Die Computertomographie (CT) /4/ basiert auf der Rekonstruktion von Projektionen (Durchstrahlungsaufnahmen), die aus vielen Richtungen aufgenommen werden. Bei der Messdatenerfassung wird das Objekt um insgesamt 360° gedreht. Aus eindimensionalen Projektionsdaten, gewonnen mittels einer Detektorzeile, wird ein Querschnitt (2D-CT), aus zweidimensionalen Projektionen (Bilder eines Röntgenbildwandlers) das Volumen des Objektes (3D-CT) rekonstruiert.

Die CT stellt hohe Anforderungen an die Röntgendetektoren und die Rechentechnik. Da der untersuchte Objektquerschnitt während der Messung immer vollständig auf den Detektor abgebildet werden muß, "sehen" die Randbereiche des Detektors immer die ungeschwächte Intensität der Röntgenquelle. Insbesondere bei stark absorbierenden Objekten sind daher Detektoren mit großem Dynamikbereich und Linearität erforderlich. Bei der dreidimensionalen CT fallen sehr große Datenmengen an (bis zu mehreren hundert Mbyte), die nach der Rekonstruktion ausgewertet werden müssen.

Die hochauflösende 2D-CT kann als zerstörungsfreie Schnittbildmikroskopie betrachtet werden. Sie ist ein Hilfsmittel bei der Entwicklung neuer Materialien, der Optimierung von Produktionsprozessen und bei der Fehleranalyse. Aus den rekonstruierten Querschnitten kann die Größe und Lage der abgebildeten Imperfektionen ermittelt werden.

In Bild 9 ist der rekonstruierte Querschnitt eines Aluminiumschaumes wiedergegeben. Hierbei handelt es sich um neuere Materialentwicklungen aus dem Bereich Leichtbau. Von Interesse ist der Aufbau, die Material- und Porenverteilung sowie Porengröße.

Bild 10 zeigt ein Beispiel für die Untersuchung eines Aluminiumgußteiles. In diesem Querschnitt konnten ein großer Lunker sowie viele kleine Poren nachgewiesen werden. In der Ausschnittsvergrößerung erscheint das poröse Gebiet schwammartig. Es kann vermutet werden, daß viele Poren miteinander in Verbindung stehen.

Für die volumetrische Prüfung eines Bauteils ist die 2D-CT nur bedingt geeignet, da die Dicke der untersuchten Schicht nur in etwa der Pixelbreite entspricht. Für eine vollständige Prüfung eines Objektes sind daher viele Schnitte erforderlich. Hieraus resultieren lange Untersuchungszeiten.

Bei der dreidimensionalen CT wird mittels eines zweidimensionalen Detektors der untersuchte Volumenbereich aufgenommen. Dabei wird das Objekt nur einmal um 360° gedreht. Es ist nur eine einzige Messung erforderlich. Das untersuchte Volumen wird anschließend mit Hilfe spezieller Algorithmen rekonstruiert.

Die industrielle 3D-CT ermöglicht der Industrie schneller neue Produkte und Produktionsverfahren zu entwickeln sowie die Qualität ihrer Produkte zu überprüfen und zu optimieren. Die 3D-CT ist ein sehr schnelles Meßverfahren im Vergleich zur konventionellen 2D-CT, die pro Messung nur ein Schnittbild erstellt. Sie kann für spezielle Anwendungen bis hin zur prozeßintegrierten Prüftechnik optimiert werden. Durch den Einsatz von hochauflösenden Detektoren und Quellen können Auflösungen bis in den µm Bereich erreicht werden.

Bild 11 zeigt das Ergebnis der Untersuchung eines Magnesiumschaumes, in welchen Aluminiumoxidhohlkugeln eingelagert wurden. Abgebildet sind drei orthogonal zueinander stehende Ebenen, die aus dem rekonstruierten Volumen entnommen wurden. Die Aluminiumoxidhohlkugeln sind hell abgebildet. Das Material wurde einer Druckbelastung unterzogen, hierdurch ent-

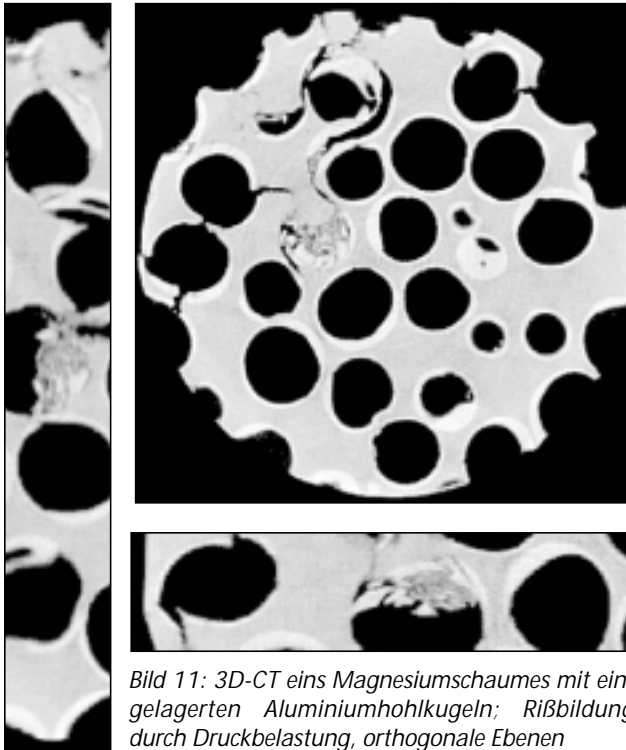


Bild 11: 3D-CT eines Magnesiumschaumes mit eingelagerten Aluminiumhohlkugeln; Rißbildung durch Druckbelastung, orthogonale Ebenen

standen Risse, insbesondere im Aluminiumoxid, die deutlich in den rekonstruierten Ebenen abgebildet sind. In Bild 12 ist die Volumendarstellung eines Aluminiumgußteiles wiedergegeben. Per Software wurde ein Teil herausgeschnitten, so daß ein poröser Bereich mit einem großen Lunker im Volumen des Gußteiles sichtbar wird.

2.3 Computerlaminographie

Mit der Computertomographie können jedoch nur Objekte untersucht werden, die aus allen Richtungen durchstrahlt werden können; dies ist jedoch bei flächigen Bauteilen und bei beschränkter Zugänglichkeit meist nicht der Fall. Diese Lücke kann durch die Laminographie geschlossen werden. Die klassische Laminographie beruht auf einer koordinierten Bewegung von zwei der drei Komponenten Quelle, Detektor und Objekt. Die Bewegungen der Komponenten werden derart gesteuert, daß nur eine bestimmte Schicht - die Fokusebene - immer auf die selbe Stelle des Aufnahmemediums projiziert wird. Andere Objektbereiche in den Ebenen ober- oder unterhalb der Fokusebene werden bei unterschiedlichen Positionen der Relativbewegung auf verschiedene Stellen des Aufnahmemediums abgebildet.

Der aufwendige und komplizierte Aufbau des Meßsystems und der Umstand, daß bei jeder Aufnahme nur eine Schicht scharf abgebildet wird, schränken den Einsatz der konventionellen Laminographie für die Untersuchung von technischen Komponenten ein.

Für die Untersuchung von flächigen Bauteilen wurde ein Laminographieverfahren - die Computerlaminographie - entwickelt, das einen einfachen Abtastalgorithmus benutzt. Das Objekt befindet sich auf einem Manipulator

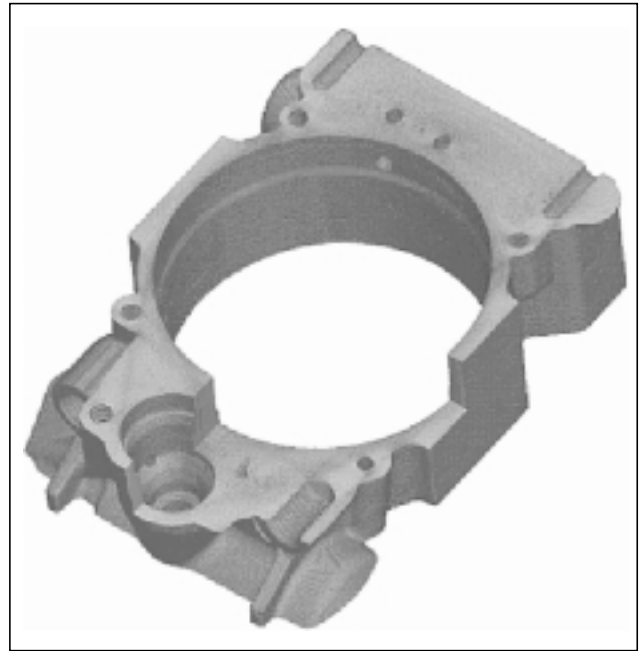


Bild 12: 3D-CT eines Aluminiumgußteiles

im Kegelstrahl einer Röntgenröhre; es wird senkrecht zur Durchstrahlungsrichtung parallel zum Detektor in einer Richtung linear bewegt. Die Röntgenröhre und der Detektor bleiben ortsfest. Bei ortsfesten Objekten können Quelle und Detektor linear in eine Richtung bewegt werden. Die Durchstrahlungsbilder werden bei diskreten Positionen des Manipulators erfaßt und digital auf einem Rechner gespeichert.

Im Anschluß an die Messung werden die Projektionsdaten mit einem Algorithmus rekonstruiert, der auf die spezielle Abtastgeometrie optimiert ist. Durch Einbinden von a-priori Information in den Rekonstruktionsalgorithmus kann die Qualität der Rekonstruktionen der Computerlaminographie verbessert werden. Ein Beispiel zeigt Bild 13.

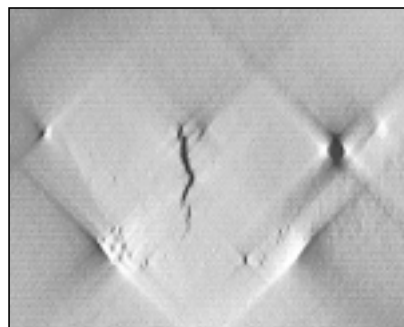
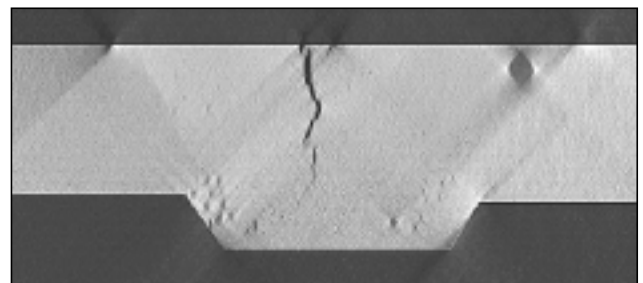


Bild 13: Rekonstruktion einer Schweißnaht mit Computerlaminographie

a.) ohne a-priori-Information

b.) mit a-priori-Information



Eine Al-Schweißnaht mit Poren und Rissen wurde mit der Computerlaminographie untersucht, einmal ohne a-priori-Information und einmal mit dem Umriß als a-priori Information rekonstruiert.

Die Rekonstruktion ohne Zusatzinformation zeigt Artefakte - Bild 13 a, die durch die Zusatzinformation (Kontur der Naht) deutlich reduziert werden - Bild 13 b. In der Rekonstruktion sind einige kleine Poren, ein großer Lunker und der Verlauf des Risses sichtbar.

3. Ausblick

Es wurden Möglichkeiten der zerstörungsfreien Prüfung unter Einsatz von Ultraschallwellen bzw. Röntgenstrahlen aufgezeigt. Sie beruhen auf unterschiedlichen Sensor- und Gerätetechniken und der Implementierung tomographischer Algorithmen.

Die hier gezeigten Beispiele aus den unterschiedlichsten Anwendungsbereichen sollten dem Leser ein Gefühl für ihre Einsatzbreite vermitteln.

4. Literatur

- [1] W. Hillger, W. Gebhardt, M. Dietz, B. May: „Ultraschallprüfungen berührungslos mit Ankopplung über Luft - Illusion oder schon bald Realität?“; DGZFP Jahrestagung 1998, Bamberg, 7.-9. Sept. 1998, Berichtsband 63.1, S. 241
- [2] H. Rieder, K.H. Bolwien, W. Lattner: „Mehrkanal-Ultraschallprüfsystem für die Klebungsprüfung von Aluminiumbehältern“ in : DGZFP-Jahrestagung 1997 „Zerstörungsfreie Materialprüfung“, DGZFP-Berichtsband 59.2, Berlin, 1997, S. 671
- [3] V. Schmitz, S. Chakhlov, W. Müller: „QZFP an Schweißverbindungen mittels 3D-CAD-SAFT“; DGZFP-Jahrestagung, Bamberg, 07.-09. Sept 1998 Berichtsband 63.1, S. 223
- [4] M. Maisl, J. Zhou, J. Buck, H. Reiter; Non-destructive Testing of Ceramics, Composites and PCB by X-ray Tomographic Methods; International Symposium on Computerized Tomography for Industrial Applications, June 8-10, 1994, Berlin, DGZFP-Berichtsband 44, 1995, 226-233
- [5] H. Reiter, M. Maisl, J. Zhou, S. Gondrom: „Methodische Ansätze zur Lösung von speziellen Prüfproblemen“; DGZFP Querschnittseminar, 25. - 26. November 1996, Berlin; Vortrag 10, DGZFP Berichtsband 56, S. 109

Die Autoren:



Dr. rer. nat. Volker Schmitz, Jahrgang 1942, Studium der Physik an der Universität des Saarlandes, Fachgebiet Angewandte Physik; Promotion 1974, seit 1974 wissenschaftlicher Mitarbeiter am IZFP; Arbeitsgebiet: Automatisierte Ultraschallprüfung zur Fehleranalyse; Tomographie, Mathematisch-Numerische Simulation der Wechselwirkung von Ultraschallwellen mit Fehlern, Fehlercharakterisierung.

Dr. rer. nat. Holger Reiter, Jahrgang 1945; Studium der Physik an der Universität des Saarlandes, Fachgebiet Werkstoffwissenschaften; Promotion 1977; seit 1977 wissenschaftlicher Mitarbeiter am IZFP; Arbeitsgebiete: ZfP von Keramik, röntgenographische Verfahren zur Abbildung von Imperfektionen in technischen Bauteilen.



Dr. rer. nat. Wolfgang Gebhardt, Jahrgang 1948; Abteilung Grundlagen, Physik-Studium am Lehrstuhl für Angewandte Physik und Elektrotechnik der Universität des Saarlandes, 1976 Promotion, seit 1976 wissenschaftlicher Mitarbeiter im IZFP, Arbeitsgebiet: Sensorik, 1983 Berthold-Preis der Deutschen Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung (DGZFP) zusammen mit Frank Bonitz und Helmut Woll für die Einführung der Gruppenstrahlertechnik in die Ultraschallwerkstoffprüfung, 1989 Joseph-von-Fraunhofer-Preis der Fraunhofer Gesellschaft zusammen mit Friedhelm Walte für die Entwicklung der LLT-Technik.

Dipl.-Ing. Hans Rieder, Jahrgang 1954; Abitur, Studium der Elektrotechnik mit Schwerpunkt Systemtheorie und Mikroprozessortechnik an der Universität des Saarlandes; seit 1982 wissenschaftlicher Mitarbeiter im IZFP, Arbeitsgebiet: Verfahrensentwicklung (Hardware und Software) im Bereich der Ultraschallverfahren, Entwicklung von Algorithmen zur Signalverarbeitung von Ultraschallsignalen mit Schwerpunkt in Multikanal-Applikationen mit verteilten Prozessorsystemen. Seit 1998 Abteilungsleiter im Fachgebiet Daten-, Informations- und Signalverarbeitung.

