

Mikrofokus-Computertomografie

Die wunderbare Welt der kleinen Schnitte

Alles, was klein und verborgen ist, eignet sich für die Mikrofokus-Computertomografie (μ CT). Sie ist eine Kombination aus CT und einer Mikrofokus-Röntgenröhre, die eine Auflösung im Mikrometerbereich bereitstellt.

Wer das Innere zeigen will, muss schneiden – aber schneiden zerstört! Unser Obsthändler schneidet die Apfelsinen auf, um uns von der Qualität der danebenliegenden Apfelsinen zu überzeugen. Wir jedoch möchten ganze Apfelsinen kaufen und gleichzeitig wissen, wie es in jeder Apfelsine im Inneren wirklich aussieht. Schneiden ohne zu zerstören? Kein Problem mit der Computertomografie. Beim Obsthändler werden wir diese bildgebende Technik wohl auch in Zukunft nur selten finden. Aber in vielen industriellen Bereichen eröffnet diese 3-dimensionale Röntgenuntersuchungsmethode völlig neue und bislang nicht mögliche Einblicke in die innere Struktur eines Prüfteils, ohne dass es zerstört werden muss.

Klein und verborgen

Die Bandbreite der für die Mikrofokus-Computertomografie (μ CT) geeigneten Anwendungen mit einer Auflösung im Mikrometerbereich reicht von millimetergroßen Chipkondensatoren bis zu menschlichen Schädeln. Gussteile, seien sie aus Aluminium, Titan oder Plastik, Turbinenschaufeln, Schäume, Sensoren, Spulen, Brennlampen, elektronische Bauteile, Ventile, Stecker, Crimpungen, Zähne, archäologische Funde. Voraussetzung ist, dass das Prüfteil in sich steif ist und sich während einer Drehung nicht verändert. Darüber hinaus muss es in jeder Drehrichtung von den Röntgenstrahlen durchstrahlt werden können.

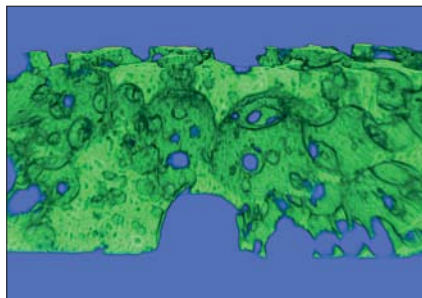


Bild 1: 3D-Visualisierung eines 4 mm dicken Stäbchens aus Gips Schaum (grün) mittels Mikrofokus-Computertomografie (μ CT). Die Lage der Poren unterschiedlicher Größe lässt sich genau zuordnen (Werksbild: Viscom)

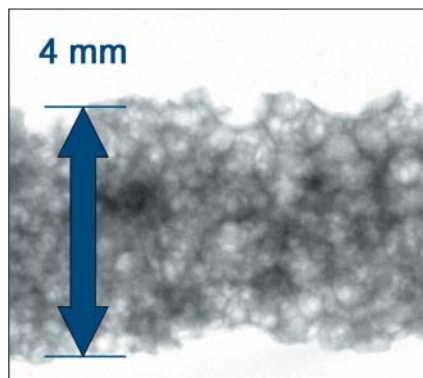


Bild 2: 2D-Röntgenbild eines 4 mm dicken Stäbchens aus Gips Schaum

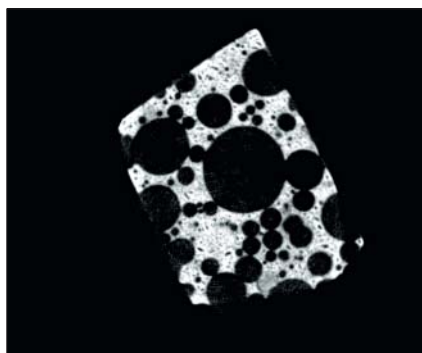


Bild 3: 3D-Schnittbild eines 4 mm dicken Stäbchens aus Gips Schaum. Die Durchmesser der Poren können genau bestimmt werden

Für einen kompletten Motorblock wäre z. B. ein Linearbeschleuniger nötig. Denn für ein so großes und stark absorbierendes Prüfteil wäre eine Mikrofokusröhre mit einer Beschleunigungsspannung von bis zu 225 kV nicht ausreichend.

Wann ist 3D sinnvoll?

Eine μ CT-Untersuchung ist immer dann sinnvoll, wenn sie Informationen liefert, die aus einem 2D-Bild nicht zu erhalten sind. Dies kann auftreten, wenn der innere Aufbau eines Prüfteils so komplex ist, dass die sich überlagernden Grauwertstrukturen des Projektionsbildes keine Rückschlüsse auf die dritte Dimension des Prüfteils zulassen.

Ein sehr schönes Beispiel ist in **Bild 1** zu sehen, in dem die 3-dimensionale Visualisierung eines nur 4 mm dicken Stäbchens aus Gips Schaum dargestellt ist. Poren unterschiedlicher Größe können gut erkannt werden, während in einem der zugrunde liegenden 2D-Bilder (**Bild 2**) nichts über die Porengröße und ihre Lage ausgesagt werden kann. Das rekonstruierte Volumen aus **Bild 1** kann an beliebiger Stelle und in beliebiger Richtung virtuell aufgeschnitten werden. **Bild 3** zeigt einen Schnitt quer zur Längsachse des Gipsstäbchens. Während im 2D-Bild von **Bild 2** kaum etwas erkennbar ist, erscheinen die Poren hier (**Bild 3**) in solch brillanter Schärfe, dass ihre Durchmesser analysiert werden können.

Ein weiteres Beispiel aus der Praxis beim Anlagenhersteller Viscom zeigt die Crimpverbindung in **Bild 4**. In diesem Mikrofokusröntgenbild sind die Drähte zwar scharf dargestellt. Es ist aber nicht erkennbar, ob an den vier Kontaktstellen die Kaltver-

AUTOR



Dr. Udo E. Frank, Leiter der Applikation XP bei Viscom in Hannover

KOMPAKT

Die Computertomografie – hier die Mikrofokus-Computertomografie – hilft dann weiter, wenn man den Dingen im Mikrometerbereich zerstörungsfrei auf den Grund gehen will. Dabei ist die 3D-Abbildung gegenüber der 2-dimensionalen Darstellung dann von Vorteil, wenn man mittels 2D nicht weiterkommt – vorausgesetzt der Prüfling lässt sich auch mittels Röntgenstrahlung durchleuchten.

schweißung mit dem umgebenden Messingblech gelungen ist. Für das menschliche Auge fehlt eine ausreichende Tiefeninformation senkrecht zum Bild. Sie ist aber durchaus vorhanden und liegt in den leicht unterschiedlichen Grauwerten des Bildes verborgen.

Die μ CT legt diese verdeckten Informationen frei und ermöglicht senkrechte Schnitte, wie sie in den 3D-Visualisierungen in Bild 5 dargestellt sind. In den beiden rechten Schnitten sind die Kaltverschweißungen gut ausgeprägt. Nur mit Hilfe dieser Ansichten kann beurteilt werden, ob die Verbindungsqualität zwischen den Drähten und der Ummantelung des Crimpsteckers ausreichend ist, um auch bei Zugbelastung einen zuverlässigen elektrischen Kontakt zu gewährleisten.

Bild 6 zeigt an Hand eines PLCCs, welche hohe Auflösungen mit der μ CT realisiert werden können. Die 25 μ m starken Bonddrähte sind ebenso gut zu erkennen wie der

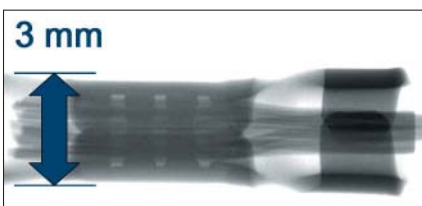


Bild 4: 2D-Röntgenbild einer Crimpverbindung

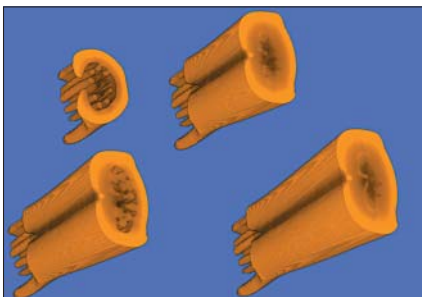


Bild 5: 3D-Visualisierung einer Crimpverbindung mit Mikrofokus-Computertomografie (μ CT). Die beiden Schnitte rechts zeigen gut ausgeprägte Kaltverschweißungen der Drähte mit dem umgebenden Messingblech

überschüssige Die-Artach-Kleber an den Rändern des Chips. In diesem Bild wurden zwei Isograuwertflächen aus den Volumendaten extrahiert und farblich voneinander abgesetzt. Ein Vergleich mit einem zugehörigen 2D-Bild in Bild 7 zeigt, dass bereits aus dem Projektionsbild alle wichtigen Informationen gewonnen werden können, da der PLCC flach gebaut ist und durch die gut kontrastierenden Bauteilstrukturen keine Tiefeninformation verborgen ist.

2D-Untersuchungen sind also in vielen Fällen durchaus genügend. Wenn aber 3D-Untersuchungen notwendig werden, sollte beides vereint in einem Inspektionssystem möglich sein. Bild 8 zeigt ein solches System von Viscom, in dem 2D- und 3D-Röntgeninspektionen kombiniert möglich sind, ohne dass das System umgerüstet werden muss. Alle für die μ CT notwendigen Daten werden vom System vollautomatisch erfasst und ausgewertet.

Virtuelles Volumen

Die μ CT ist eine Volumenmethode. Aus einer Serie von 2-dimensionalen Projektionsbildern, die in mehreren Drehpositionen verteilt auf 360° aufgenommen werden, wird die 3-dimensionale Struktur des Prüfteils anhand seiner Röntgenabsorption errechnet. In Bild 9 ist dieses Prinzip erklärt. Von einer fast punktförmigen Strahlenquelle (Brennfleck der Mikrofokus-Röntgenröhre) geht ein Strahlenkegel aus, der vom Echtzeitdetektor aufgefangen und ausgewertet wird. Dazwischen befindet sich das Prüfteil auf einem Drehgestell, dessen Achse senkrecht zur zentralen Verbindungslinie zwischen Strahlenquelle und Detektor angeordnet ist. Ein Rechner wertet die 2D-Bilder und die Geometriedaten aus und erzeugt daraus ein virtuelles Volumenabbild.

Je höher die Dynamik des Detektors ist, umso feiner wird das Volumenabbild. Heutige Flachbilddetektoren bieten eine Grauwertauflösung von 16 bit = 65 536 Grau-

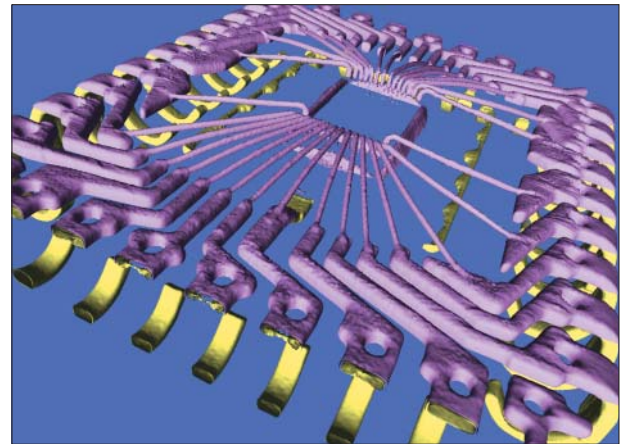


Bild 6: 3D-Visualisierung eines PLCCs mit μ CT. Zwei Isograuwertflächen sind extrahiert und farblich voneinander abgesetzt

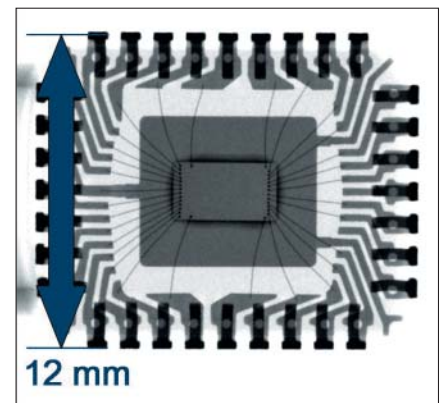


Bild 7: 2D-Röntgenbild eines PLCCs



Bild 8: 2D/3D-Röntgensystem X8011 von Viscom

werten. Das Volumenabbild setzt sich aus so genannten Voxeln (Volumenelementen) zusammen, deren Größe genau bekannt ist, so dass innerhalb dieses virtuellen Volumens auch genaue Messungen durchgeführt werden können. Ein typischer Kubus eines solchen virtuellen Volumens besteht aus 512^3 Voxeln.

Die Voxelauflösung hängt von der geometrischen Vergrößerung und der Pixelauflösung des Detektors ab. Das Prüf- ►

teil (bzw. der interessierende Bereich) muss in den Strahlenkegel passen und es darf während der Drehung weder an die Röntgenröhre noch an den Detektor stoßen. Je kleiner ein Prüfteil ist, umso größer kann seine geometrische Vergrößerung gewählt werden und umso größer ist die Voxelauflösung.

Eine 10 mm breite Spule lässt sich in einem typischen μ CT-System mit einer Voxelauflösung von 20 μ m rekonstruieren. Mit kleineren Bauteilen und größeren und höher auflösenden Detektoren lassen sich sogar Voxelaufösungen von wenigen Mikrometern erreichen.

Schlussbemerkung

Die rasante Entwicklung der Rechnerleistung hat die μ CT heute zu einer zerstörungsfreien Untersuchungsmethode heranreifen lassen, die sich bereits an vielen Stellen in der Industrie ausgezeichnet bewährt. Bildaufnahme und Bildauswertung

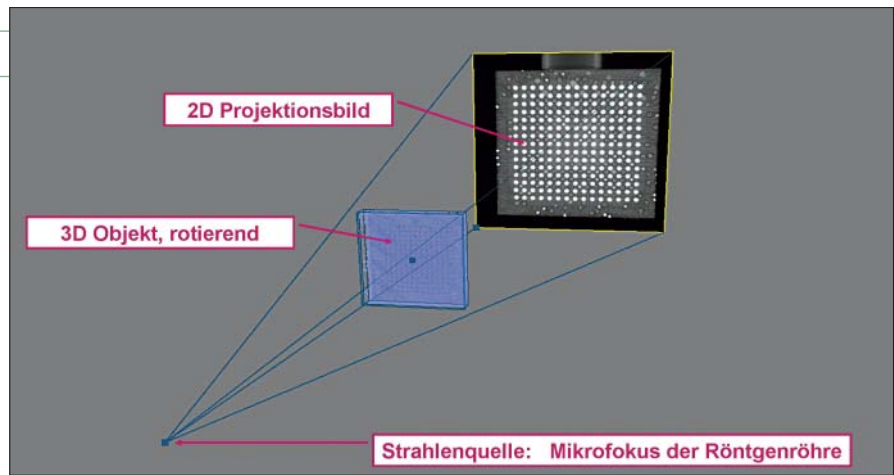


Bild 9: Prinzipieller Aufbau eines Mikrofokus-Computertomografie-Systems

sind in kurzer Zeit möglich. Während noch vor Jahren Nachtläufe am Computer notwendig waren, stehen Ergebnisse heute schon in deutlich weniger als einer Stunde zur Verfügung – je nach Qualitätsanforderung. Die μ CT steht als ausgereifte und praxiserprobte Technik vor einem großen Aufschwung und kann vielen Anwendern in kurzer Zeit Informationen liefern, die man früher oft erst nach langwierigen und zerstörenden Maßnahmen erhalten hat. Diese Vorteile haben sich herumgesprochen.

Leider kann nur über einen Teil der Anwendungen aus der Dienstleistungspraxis berichtet werden, weil die Auftraggeber oft um Vertraulichkeit bitten, sobald erkennbar wird, wie aufschlussreich die Resultate sind. Die wunderbare Welt der kleinen Schnitte wird dennoch immer mehr Freunde finden.

	infoDIRECT	425pro506
www.all-electronics.de		
▶ Link zu Viscom		