Wenn der Sensor aus dem 3D-Drucker kommt …

Sensorintegration: Durchbruch in der Integration von Messtechnik

Beispiel aus der Mobilität: Ein 3D-gedruckter Dehnmessstreifen erfasst auf diesem additiv hergestellten PKW-Querlenker mechanische Belastung und kleinste Risse – lange bevor sie zum Versagen des Bauteils führen. alle Bilder © Fraunhofer ILT, Aachen

© Ralf Baumgarten

Autor:
Dipl.-Ing. Nikolaus Fecht
freier Technik- und Wissenschaftsjournalist
Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT
www.ilt.fraunhofer.de

Smarte Bauteile revolutionieren unsere Welt, indem sie durch integrierte Sensoren eine kontinuierliche Überwachung und Analyse ihrer eigenen „Gesundheit“ und ihrer Umgebung ermöglichen. Als unsichtbare Aufpasser helfen sie, das Verhalten von Bauteilen zu beurteilen und ermöglichen es, in Echtzeit Abweichungen vom Sollzustand zu registrieren – zum Beispiel im Kontext von Predictive Maintenance, der vorausschauenden Wartung von Anlagen. Aufwändig von Hand angebrachte Sensoren stoßen jedoch in vielen Anwendungen an ihre Grenzen. Hier kommt das Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT mit innovativen Druckverfahren ins Spiel, die das nahtlose Einbringen von Sensoren während der additiven Fertigung von Bauteilen erlauben.

Drucken und Funktionalisieren

Es klingt nach Zukunftsmusik, was das Fraunhofer ILT auf dem Gebiet der Sensorintegration vorhat. „Ideal wäre es natürlich, wenn wir alles, also Elektronik, Sensor und Stromversorgung, drucken und funktionalisieren könnten“, sagt Samuel Fink, Leiter der Gruppe Dünnschichtverfahren am Fraunhofer ILT. Doch bis zum Verwirklichen dieser Vision ist es noch ein weiter Weg. Die Aachener gingen nun mit Inkjet-Drucker und Laser den ersten Schritt.

Die Motivation zum Einstieg in die additive Fertigung von Sensoren in 3D-Bauteilen ist hoch. Bisher läuft die Integration von Sensoren manuell – zum Beispiel durch Aufkleben. Diese manuelle Applikation ist jedoch oft nicht präzise genug, um etwa Vibrationen, Beschleunigungen oder kleinste Verformungen im Mikrometerbereich exakt zu erfassen.

Anwenderwunsch: Automatisierbare Sensorintegration

Hinzu kommt: Der Prozess ist sehr zeitaufwendig. Dazu ein Blick auf eine typische Anwendung – das Aufkleben von Dehnmessstreifen. Solche Sensoren werden häufig eingesetzt, um die Verformung von mechanisch belasteten Bauteilen zu messen. Eine Fachkraft muss die Oberfläche vorbehandeln, Kleber auftragen, den Sensor exakt ausrichten und kontaktieren. Die Qualität hängt zudem stark davon ab, wie die Fachkraft den Sensor anbringt. Fink dazu: „Das manuelle Aufbringen von Sensoren ist in vielen Fällen zu ungenau und teilweise nicht reproduzierbar. Anwender verlangen zunehmend automatisierbare Prozesse.“ Ferner sind Bauteile und Sensoren oftmals nicht aufeinander abgestimmt. Das bedeutet, dass Sensoren nicht unbedingt dort aufgebracht werden, wo die beste Messstelle ist, sondern wo Platz ist.

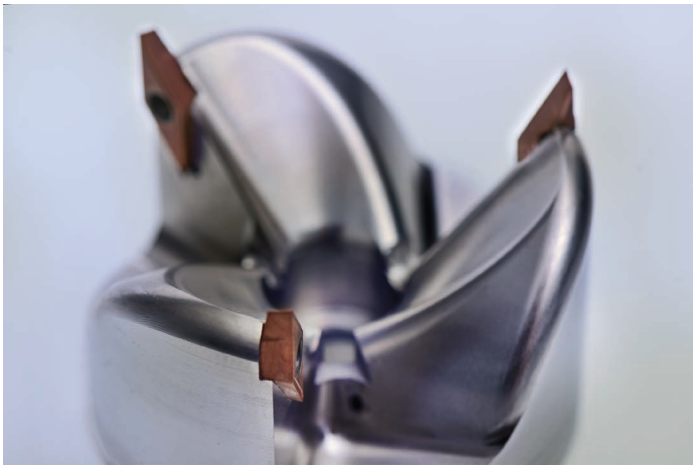
Innovative Druckverfahren

Hier kommen innovative Druckverfahren des Fraunhofer ILT ins Spiel, mit denen sich Sensoren direkt während des Fertigungsprozesses in Bauteile integrieren lassen. „Diese Technologien ermöglichen es uns, Sensoren direkt in mechanisch belastete Bauteile zu integrieren“, erklärt der Wissenschaftler. „Damit können wir genau überwachen, welche Kräfte und Vibrationen auf die Bauteile einwirken, um frühzeitig Anzeichen von Verschleiß oder Schäden zu erkennen, um rechtzeitig entsprechende Maßnahmen zu ergreifen.“ Gefragt ist aktuell die Sensorüberwachung von Metallbauteilen, die sehr hohen mechanischen Belastungen ausgesetzt sind, wie Umformwerkzeuge oder Fahrzeugbauteile.

Nimm zwei: 3D-Druck in der Mobilität

In einer Designstudie haben die Wissenschaftler des Fraunhofer ILT einen 3D-gedruckten Querlenker, wie er in ähnlicher Form in Autos eingesetzt wird, mit einem gedruckten Sensor versehen: „Der Dehnungssensor, den wir auf den Querlenker gedruckt haben, ist weniger als 200 Mikrometer dick“, erklärt Fink. „Damit lassen sich die wirkenden Kräfte im Einsatz zu jedem beliebigen Zeitpunkt bestimmen.“ Der Kraftsensor registriert kleinste Risse, bevor sie zum Versagen des Bauteils führen.

„Der Querlenker entsteht durch Laser Powder Bed Fusion (LPBF), ein bewährtes 3D-Druckverfahren



Schrittweise zum intelligenten Fräskopf: Der 3D-Druckprozess (LPBF) des Bauteils wird unterbrochen, um Dehnmessstreifen einzupassen (links). Der Fräskopf wandert danach wieder in die LPBF-Anlage zum finalen 3D-Druck (rechts).

für Metallbauteile“, erklärt Fink. „Die Gestaltungsfreiheit bei LPBF erlaubte es uns, eine Struktur zu entwickeln, die hinsichtlich des Gewichts und der Stabilität optimiert ist.“ Nach der Entnahme und Reinigung des Bauteils aus der Druckanlage wurde ein Sensor additiv aufgebracht.

Wenn der Sensor funkt …

„Der Sensor wird unter anderem mit leitfähiger Spezialtinte per Inkjet-Druck aufgetragen, bevor er zum Schutz vor äußeren Einflüssen verkapselt wird“, ergänzt Fink. Der Sensor ist an einen Sender angeschlossen, der die gemessenen Daten vor Ort ausliest und drahtlos an eine Auswerteeinheit übermittelt.

Das Fraunhofer ILT bewies an einem ebenfalls per LPBF hergestellten Fräskopf, dass sich der Druck des Sensors nahtlos in das additive Herstellverfahren des Bauteils integrieren lässt. „In unserem Anwendungsbeispiel sitzen die Sensoren direkt im Fräskopf“, erklärt Fink. „Wir drucken das Bauteil bis zu einem gewissen Punkt, nehmen es aus der Prozesskammer, drucken einen Dehnungsmessstreifen auf und setzen es dann zum Finalisieren des 3D-Drucks wieder zurück in die LPBF-Anlage. So ist der Sensor in das Bauteil integriert – an genau der Stelle, wo die Messung stattfinden soll“, führt Dr. Christian Vedder, Leiter der Abteilung Oberflächentechnik am Fraunhofer ILT aus. „Momentan arbeiten wir daran, diese Prozesskette weiter zu automatisieren und alle Schritte in einer Anlage zu integrieren“.

„Die Sensorintegration wird in den nächsten Jahren sicherlich zunehmen, sowohl aus Sicherheitsgründen als auch zur Verbesserung der Überwachung von Bauteilen.“
Samuel Moritz Fink, Gruppenleiter Dünnschichtverfahren am Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT

Mehr Designfreiheit dank metallischem 3D-Druck

Schwächt die Sensorintegration nicht die Struktur des Fräskopfes? „BeimFräsen von Metallen wie Edelstahl und Aluminium treten hohe Belastungen auf. Das gilt es beim Design des Fräskopfes zu beachten“, erklärt der Experte. „Der 3D-Druckprozess bietet dabei viel Designfreiheit. Solche Anpassungen lassen sich in der verwendeten Software relativ einfach umsetzen.“

Blick in die 3D-Druck-Zukunft

Alles in allem zeigen die Verfahrensstudien des Querlenkers und des Fräskopfes auf, was heute bereits dank 3D-Druck und additiver Sensorintegration möglich ist. Doch das Potenzial ist noch lange nicht ausgeschöpft. Das Anwendungsspektrum des Verfahrens ist immens, vor allem, weil es geeignete Echtzeitdaten nicht nur für die vorausschauende Planung von Wartungsintervallen, sondern auch für die direkte Lastanpassung der Produktionsanlage, des Autos etc. liefert. Fink: „Mit integrierten Sensoren lassen sich unter anderem Batteriezellen in E-Autos überwachen, Wartungsintervalle bei Offshore-Windkraftanlagen optimieren oder Prozesse im Maschinen- und Anlagenbau verbessern.“

Die Vision

Ein voll gedrucktes System, das Elektronik, Sensor und Stromversorgung umfasst, ist zwar noch Zukunftsmusik, doch die Vision ist klar. Fink: „Unser nächstes Ziel ist, das Verfahren zu automatisieren und weitere Funktionsmaterialien zu erschließen, um nicht nur mechanische Belastungen, sondern auch Messgrößen wie Temperatur, Feuchtigkeit oder elektromagnetische Strahlung erfassen zu können. Die Sensorintegration wird in den nächsten Jahren sicherlich zunehmen, sowohl aus Sicherheitsgründen als auch zur Verbesserung der Überwachung von Bauteilen.“

Interessenten erhalten aktuelle Informationen zum Stand der Sensorintegration an den Fraunhofer-Ständen auf der Münchner electronica 2024 (12. bis 15. November 2024) und der Formnext Frankfurt (19. bis 22. November 2024). ◄

LPBF: Bewährt beim metallischen 3D-Druck

Das Laser Powder Bed Fusion (LPBF) hat sich unter anderem beim 3D-Druck metallischer Werkstücke bewährt. Damit lassen sich komplexe Bauteile Schicht für Schicht aus Metallpulver fertigen, die mit herkömmlichen Methoden schwer herstellbar wären: Ein Laserstrahl schmilzt das Metallpulver lokal auf und erzeugt so einen dichten Metallkörper. Besonders für Anwendungen in der Luft- und Raumfahrt, der Medizintechnik und dem Automobilbau, in denen maßgeschneiderte, leichte und robuste Bauteile gefragt sind, hat das Verfahren ein großes Potenzial.