

Digitale Entwicklung und automatisierte CFK-Verstärkung additiv gefertigter Teile

Cikoni hat ein Verfahren zur Verstärkung additiv gefertigter Strukturen mittels lastpfadgerechten räumlichen Endlosfasern entwickelt. Eine durchgängige digitale Auslegungskette und eine automatisierte Prozessführung ermöglicht zudem die kosteneffiziente Herstellung von Null- und Kleinstserien mit leichtbaugerechten mechanischen Eigenschaften.

Autoren



DR. FARBOD NEZAMI
ist Head of Process
Development bei
der Cikoni GmbH
in Stuttgart.



DR. JAN-PHILIPP FUHR
ist Head of Simulation
bei der Cikoni GmbH
in Stuttgart.

einer Fachveranstaltung zum Thema additive Fertigung fühlt man sich dabei schnell an die Anfangsjahre der Verbundwerkstoff-trends im Automobilbau versetzt. Automatisierung, Qualitätssicherung und Entwicklungsmethodiken nehmen einen entscheidenden Platz in der Branche ein. Der anforderungsgerechten Hybridisierung widmen sich dagegen bislang wenige, dabei bieten sich gerade hier entscheidende Kosten- und Gestaltungspotenziale.

Ziel einer Hybridisierung ist dabei stets die vorteilhafte Kombination von verschiedenen Werkstoffen und ihren Eigenschaften in technischen wie strategischen Aspekten. Die extreme gestalterische Freiheit der additiven Fertigung, die Möglichkeiten der Integration von Medienführungen und mechanischen Funktionen sowie das Fertigen ab Stückzahl Eins eröffnen Unternehmen die Chance zu

kundenspezifischer Massenproduktion (englisch: Mass-Customization) und auftragsgesteuerter Fertigung. Für den industriellen Einsatz von additiv gefertigten Bauteilen im Leichtbau und für Strukturanwendungen kommen polymere Systeme allerdings bisher an Ihre Leistungsgrenzen. Zwar werden gerade im Flugzeugbau auch hochwertige Leichtmetalle wie Aluminium und Titan additiv verarbeitet, die hohen Kosten metallisch additiv gefertigter Bauteile sind aber nur begrenzt auf kostensensiblere Branchen wie den Maschinenbau, den Automobilbau und die Medizintechnik übertragbar.

Unidirektionaler Kraftübertrag und Wickelwerkzeuge

Hier können Faserverbundwerkstoffe einen entscheidenden Beitrag leisten und durch

Werkstoffgerechte Hybridisierung

Vom Monocoque des BMW i3 zum intelligenten Materialmix des 7er-BMWs: Wer die Entwicklung des Kohlefasereinsatzes im Automobilbau verfolgt hat, bemerkt, dass sich der Fokus von einem Lernfeld für die automatisierte Fertigung zu einem intelligenten und anwendungsspezifischen Materialeinsatz gewandelt hat. Beim Besuch

Die additiv gefertigte Struktur übernimmt die Rolle einer Wickelvorrichtung und Druckstütze im Bauteil.

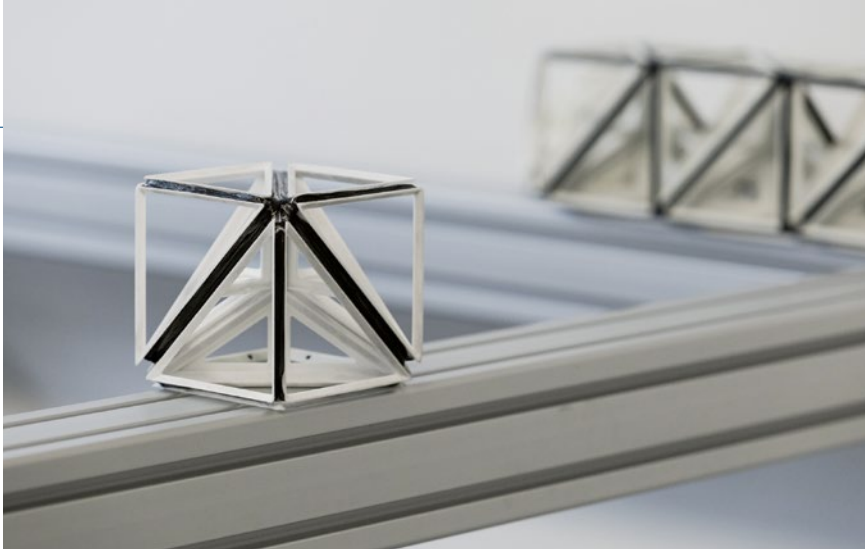


Bild 1 3-D-Hybridisierung an einem Knotenelement für den Betriebsmittelbau (© Cikoni)

intelligente Hybridisierung die Gestaltungsfreiheit der additiven Fertigung mit der hohen Lasttragfähigkeit und dem Leichtbaupotenzial von beispielsweise Kohlenstofffasern kombinieren. Ziel muss es auch hier sein, die Verbundwerkstoffe Ihrer höchsten Lasttragfähigkeit entsprechend entlang der Faserlängsachse zu belasten und gleichzeitig die größten Kostentreiber in kleinen bis mittleren Losgrößen zu eliminieren: Werkzeugkosten, manuelle Lege- und Laminierarbeiten, Verschnitt und ineffiziente Materialausnutzung.

Für diese Fragestellungen bietet das Verfahren „Additive Carbon“ ein neuartiges Hybridisierungskonzept mit digitaler Entwicklungskette, **Bild 1** und **Bild 2**. Funktional übernimmt die additiv gefertigte Struktur die Rolle einer Wickelvorrichtung und einer Druckstütze im Bauteil. Kohle- oder Glasfaserverstärkungen werden auf diese Grundstruktur robotergestützt dreidimensional appliziert. Durch die gestalterischen Möglichkeiten, die Faserverstärkung direkt von der Spule um Lasteinleitungspunkte und entlang der Lastpfade zu legen, wird die Faserverstärkung maximal effizient eingesetzt. Die additiv gefertigte Struktur dient dabei sowohl als Wickelbahn, kann aber auch eine Positionierhilfe für Stifte, Hülsen und Umlenkungspunkte beim Wickeln darstellen. Das kostenintensive Bauvolumen der additiven Fertigung wird hierdurch auf ein Minimum reduziert. Da im Nasswickelverfahren gearbeitet wird, entfallen für die Faserverstärkung neben den bereits genannten Punkten auch zusätzliche Halbzeugfertigungskosten und Infiltrations- oder Injektionsumfänge.

Aufgrund der nahezu unbeschränkten Freiheit, die Fasern räumlich zu wickeln,

übersteigt der Ansatz bei weitem die strukturellen Möglichkeiten heutiger Anlagen zu

additiven Fertigung mit integrierter Faserextrusion, die ausschließlich eine Faser-

verstärkung in der Ebene generieren können. Neuere Ansätze, den Extrusionskopf mit sechs Freiheitsgraden robotergestützt zum Aufbau dreidimensionaler Strukturen zu nutzen, werden aktuell entwickelt. Allerdings erreichen die Verfahren nicht die mechanischen Eigenschaften von infiltrierten Verstärkungsfasern. Die teure Verstärkungsfaser wird somit einerseits nicht vollständig in ihrem Eigenschaftsniveau ausgenutzt, andererseits ist mechanisch ohnehin eine höhere Materialeffizienz bei außenliegender Verstärkungsstruktur gegeben. Denkbar ist bei Verfügbarkeit solcher Sys-

Wesentlich ist die automatisierte Generierung und Größenoptimierung von Verstärkungspfaden.

teme jedoch der additive Aufbau der inneren Druckstruktur mittels verstärkter Extrusion



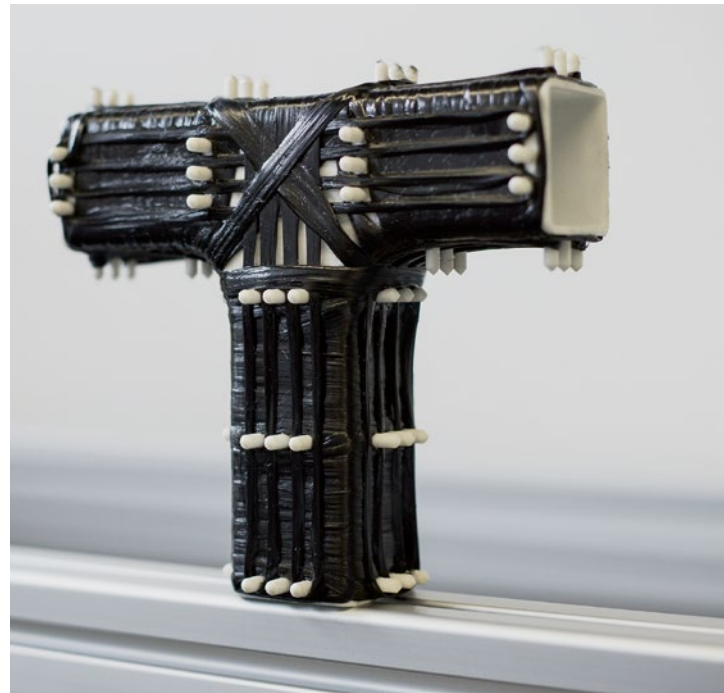
Bild 2 Robotergestützt eingewickelte metallische Lasteinleitungsstelle an einem Biegeträger für den Anlagenbau (© Cikoni)

und das 3-D-Umwickeln der nassimprägnierten Fasern.

Bild 3 3-D-Hybridisierung eines additiv gefertigten Moduls (© Cikoni)

Digitale Entwicklungskette und Automatisierung

Um das Kosten- und Leichtbaupotenzial der Technologie voll auszuschöpfen, ist eine konsequent umgesetzte digitale Prozesskette zwingend erforderlich. Diese muss die enge Verzahnung zwischen Bauteilanforderungen, Formgebung der Grundstruktur,



Im Automobilbau liegt der Fokus auf der Hybridisierung von Blechbauteilen.

Struktureigenschaften der Faserverstärkung und den prozessbedingten Fertigungsrandbedingungen abbilden. Einen wesentlichen Bestandteil des Toolsets bildet

daher die automatisierte Generierung und anschließende Größenoptimierung von Verstärkungspfaden, um Materialkosten und Gewicht minimal zu halten. Auch die

für den Prozess erforderlichen Hilfselemente können teilautomatisiert, basierend auf einem Modulbaukasten integriert werden.

Den letzten Schritt der digitalen Prozesskette stellt die Generierung der Steuerparameter für eine automatisiert operierende Produktionszelle über eine CAD-CAM-Schnittstelle dar. Dadurch wird der hohe manuelle Aufwand der Roboterprogrammierung eliminiert und die kosteneffiziente Fertigung auch von Nullserien ermöglicht. Gleichzeitig wird durch eine integrierte Bahnplanung von Beginn an sichergestellt, dass die generierte Struktur einerseits wickeltechnisch umsetzbar ist und andererseits mit den richtigen Prozessparametern hergestellt wird, ohne dass der Anwender das entsprechende Tiefenverständnis der Fertigungstechnologie mitbringen muss.

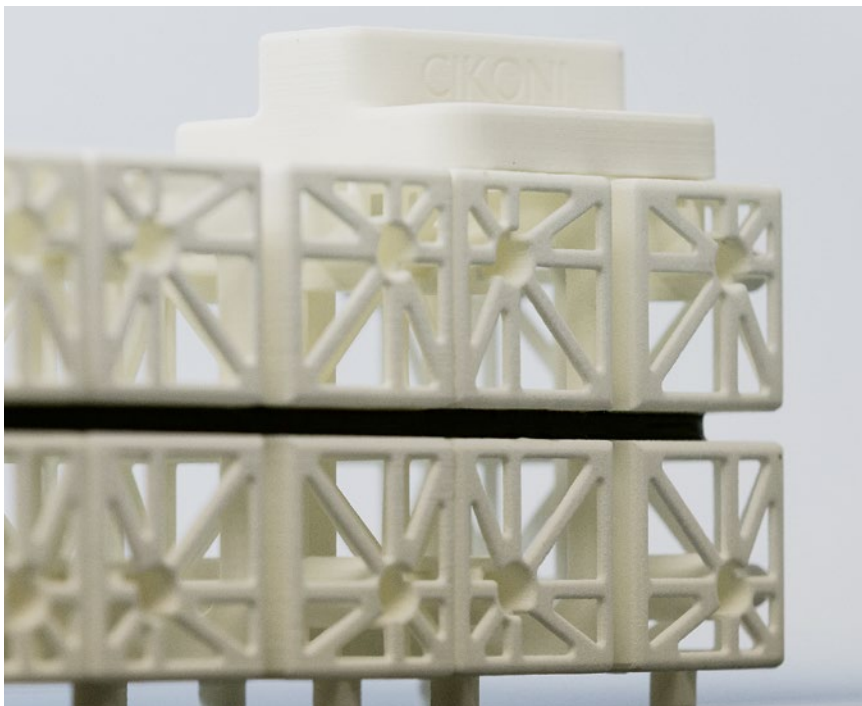


Bild 4 Integrative Fügeverbindung durch Hybridisierung mit Kohlefaserverstärkung (© Cikoni)

Hybridisierung konventionell gefertigter Metallbauteile

Umsetzen lässt sich das Verfahren nicht nur zur Hybridisierung von additiv gefertigten Bauteilen, sondern auch bei der lokalen Verstärkung von gekanteten und umge-

formten Blechbauteilen, Fräsbaugruppen oder (Spritz-)Gussbauteilen. Es ist also folgerichtig von einer werkstoff- und kostengerechten Hybridisierungsstrategie zu sprechen. Die hierfür notwendigen Konstruktions- und Auslegungsprämissen sowie die prozesseitigen Vorzüge sind allgemein gültig.

Wie in den Abbildungen gezeigt, lässt sich der Wickelprozess auch unmittelbar für das Fügen von einzelnen Modulen zueinander nutzen. Die relative Orientierung der Einzelmodule zueinander erfolgt wie-

Je nach Integrationszeitpunkt können somit klassische Fügeoperationen der Metallverarbeitung beibehalten und der Einfluss auf die Rohbaufertigung minimal gehalten werden.

Umsetzbar sind auch vollintegrale 3-D-Wickelstrukturen, wobei diese nur in sehr begrenzten Anwendungsfeldern Sinn machen. Der besondere Reiz liegt in diesem Fall in der Integrationsmöglichkeit von zahlreichen Anbindungspunkten, die über traditionelle Fertigungsverfahren nur schwierig abgebildet werden können.

Gleichzeitig wird von Beginn an sichergestellt, dass die Struktur wickeltechnisch umsetzbar ist.

derrum durch formschlüssige Gestaltung der additiv gefertigten Strukturen. Der Kraftübertrag zwischen den einzelnen Elementen erfolgt jedoch abgesehen von einer Druckabstützung ausschließlich über die unidirektionale Faserverstärkung.

Variantenvielfalt bei hohem Automatisierungsgrad

Angewendet wird die 3-D-Hybridisierung von Bauteilen aktuell vor allem im Betriebsmittelbau, Bild 3, in der Medizintechnik und im Maschinenbau, Bild 4. In diesen Branchen paaren sich die Leichtbauanforderungen mit hohen Bauteilvarianten und hoher Preissensibilität, womit sich die Vorzüge besonders bemerkbar machen. Schnell bewegte und hochgenaue Achsen im Maschinenbau, individualisierbare Prothesen und Robotergriffe sind bereits digital entwickelt und umgesetzt worden. Erfahrungen konnten auch im Bereich des Automobilbaus gesammelt werden, wobei der Fokus auf der Hybridisierung von Blechbauteilen liegt. Denn auch hier lassen sich durch Tiefziehooperationen und das Aufschweißen von Bolzen die notwendigen Hilfsmittel für das lastpfadgerechte Faserwickeln umsetzen.

Zusammenfassung

Die Möglichkeiten der additiven Fertigung revolutionieren derzeit die Art und Weise der Entwicklung und Herstellung von Bauteilen durch alle Branchen hinweg. Für strukturell hochbeanspruchte Komponenten stoßen die eingesetzten Kunststoffe jedoch schnell an ihre Grenzen, gleichzeitig sind additive Fertigungsverfahren für Metall für viele Anwendungen zu teuer oder zu schwer.

Die gezielte Hybridisierung einer additiv gefertigten Grundstruktur mittels automatisiert applizierter Endlosfaserverstärkung eröffnet neue Möglichkeiten, kosteneffiziente und mechanisch hochbelastbare Bauteile in Null- und Kleinstserie umzusetzen. Die Vor- und Nachteile beider Technologien können dabei gegenseitig aufgehoben werden: Die Faserverstärkung reduziert das notwendige Bauvolumen und die additiv gefertigte Grundstruktur macht ein separates Fertigungswerkzeug beim roboterassistierten 3-D-Wickeln überflüssig.

Eingebettet in eine durchgängige digitale Prozesskette ermöglicht Additive Carbon neuartige leichtbaugerechte Ansätze im Betriebsmittelbau, dem Prototypenbau, der Medizintechnik und zahlreichen anderen Anwendungsfeldern. ◀

