

Blick fürs Essenzielle

Softwarebasiertes Tapelegen mit Kamera bereitet thermoplastischen Composites den Weg

Thermoplastischen Tapes wird Großes zugetraut. Sie sollen die nächste Generation der thermoplastischen Composites prägen. Dazu muss das Legen der Tapes hochgenau erfolgen. Allerdings darf die Tapeverarbeitung nicht zu aufwendig werden, damit die Wirtschaftlichkeitsrechnung aufgeht. Durch Kombination hochpräziser Steuerungssoftware mitameratechnik beim Tapelegen leistet Engel einen wichtigen Beitrag für den Durchbruch dieser Technologie.



Für eine hohe Fertigungseffizienz wird eine Tapelegezelle vorzugsweise mit zwei Robotern und einer Kamerastation ausgerüstet © Engel

Bei der konventionellen Regelung von Tapelegeprozessen beeinflussen viele unterschiedliche Eingangsparameter das Ergebnis. Vor allem die Qualität des Ausgangsmaterials, aber auch zum Beispiel die Genauigkeit, mit der die vorgegebene Tapebreite eingehalten wird, spielen eine Rolle. Sensorik und intelligente Softwarekonzepte haben das Potenzial, die Bauteilqualität beim Tapelegen maßgeblich zu verbessern. In bestimmten Bereichen sind schon heute Maschinen mit fortschrittlichen Softwarelösungen in der Lage, den Verarbeitungsprozess eigenständig zu optimieren.

Um zukünftig noch bessere Ergebnisse zu erzielen, müssen die Anlagen zum Tapelegen zusätzliche Informationen generieren, die unmittelbar für die Steuerung des laufenden Prozesses genutzt werden können. Das sensorische Wahrnehmungs-

vermögen der Anlagen wird damit zum entscheidenden Faktor für die weitere Marktdurchdringung thermoplastischer Composites.

Zukünftig müssen die Anlagen aus einer Vielzahl an sensorischen Daten die für den jeweiligen Legeprozess relevanten Informationen auswählen können. Ein zentrales Element wird dabei der Einsatz vonameratechnik sein. Bilddaten liefern Informationen, die mithilfe adaptierter Softwarelösungen in eine für jedes einzelne Bauteil abgestimmte Prozessführung einfließen können.

Höhere strukturmechanische Leistungsfähigkeit

In der Ausführung als Organobleche, bei denen ein Gewebe aus Glasfasern oder Carbonfasern in einer thermoplastischen

Matrix aus PP, PA, PC oder PEEK eingebettet ist, sind thermoplastische Composites bereits etabliert. Mit den Tapes kommt eine weitere Variante der thermoplastischen Composites hinzu. Diese unidirektional verstärkten Materialien haben den Vorteil, dass sie keine Faserondulation aufweisen, das Auf und Ab der Fasern, das typischerweise in Geweben vorzufinden ist. Die Fasern können optimal gestreckt im Bauteil vorliegen, woraus eine höhere strukturmechanische Performance resultiert.

Bei den Tapes entfällt zudem der Prozessschritt des Webens. Die Glasfaser- oder Carbonfaserrovings werden in einem kontinuierlichen Prozess direkt ins thermoplastische Matrixmaterial eingebettet. Darüber hinaus können die Materialien so verarbeitet werden, dass wenig Verschnitt anfällt. Die Tapes lassen sich entsprechend den erwarteten Belastungen gezielt anordnen und es ist möglich, mit unterschiedlichen Dicken innerhalb eines Bauteils zu arbeiten. Insgesamt gibt es also gute Gründe, die dafür sprechen, dass thermoplastische Composites auf Basis von Tapes Erfolg haben werden.

Genauigkeit beim Ablegen entscheidet über Qualität

Um die geforderten mechanischen Kennwerte zu erreichen, reicht bei vielen Anwendungen ein einzelnes Tape allerdings nicht aus. Es müssen mehrere Tapes zu einem Stack verbunden und zu einem sogenannten Blank konsolidiert werden. Typische Tapedicken liegen zwischen 0,14 und 0,3 mm. Um auf eine Wanddicke von beispielsweise 1,5 mm zu kommen, sind fünf bis zehn Tapelagen erforderlich. Zudem werden pro Tapelage oft mehrere Zuschnitte benötigt, weil sich entweder

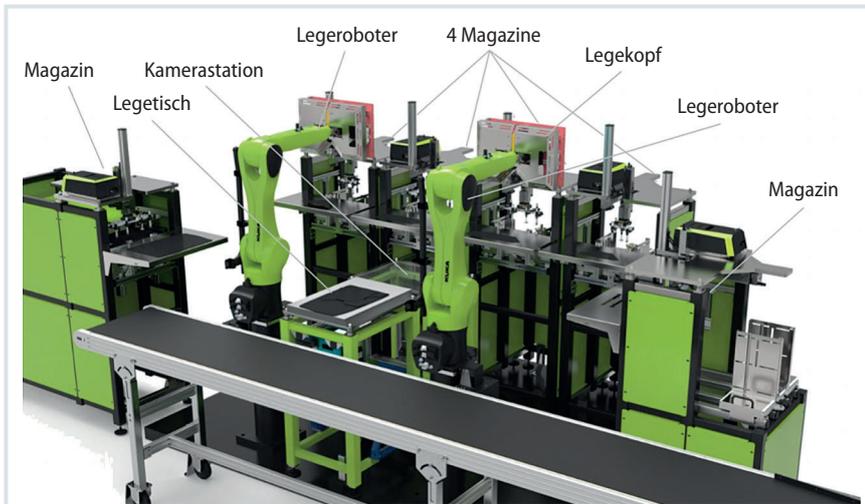


Bild 1. Die Laboranlage ist für Stack-Abmessungen bis 460 x 360 mm ausgelegt © Engel

die benötigte Breite nicht mit einem einzelnen Tapezuschnitt abdecken lässt oder das Zusammensetzen mehrerer Zuschnitte den Verschnitt minimieren hilft.

Beim Tapelegen werden die Zuschnitte punktuell miteinander verschweißt. Im nachfolgenden Prozessschritt wird der Tape-Stack dann zu einer soliden Platte konsolidiert. Dazu wird der gesamte Aufbau vorsichtig aufgeschmolzen, um die einzelnen Tapelagen vollflächig miteinander zu verschweißen und durch Abkühlen zu einem Blank zu verfestigen. Für die Bauteilproduktion wird das resultierende Halbzeug schließlich in einem Infrarotofen aufgeheizt und in einem Werkzeug umgeformt sowie gegebenenfalls durch Spritzgießen funktionalisiert.

Die Genauigkeit beim Ablegen der Tapezuschnitte ist entscheidend für die

Qualität des finalen Produkts. Nach dem Legeprozess lässt sich die Ausrichtung der Tapes zueinander nicht mehr ändern. Das Tapelegen ist somit die einzige und letzte Gelegenheit für Korrekturen.

Der Einfluss von Spalt und Überlappung

Wenn ein Abstand zwischen zwei Tapes bleibt, liegt eine Gasse vor, in der sich beim Konsolidieren Matrixmaterial ansammelt und in die die Fasern seitlich verdrängt werden können. Im ungünstigsten Fall bildet sich beim Konsolidieren sogar ein nadelförmiger Hohlraum. Auch wenn sich zwei Tapes an einer Stoßstelle überlappen, werden die Fasern beim Konsolidieren abgedrängt. In der Folge führen sowohl Hohlräume als auch Überlappungen zu Schwachpunkten im Bauteil.

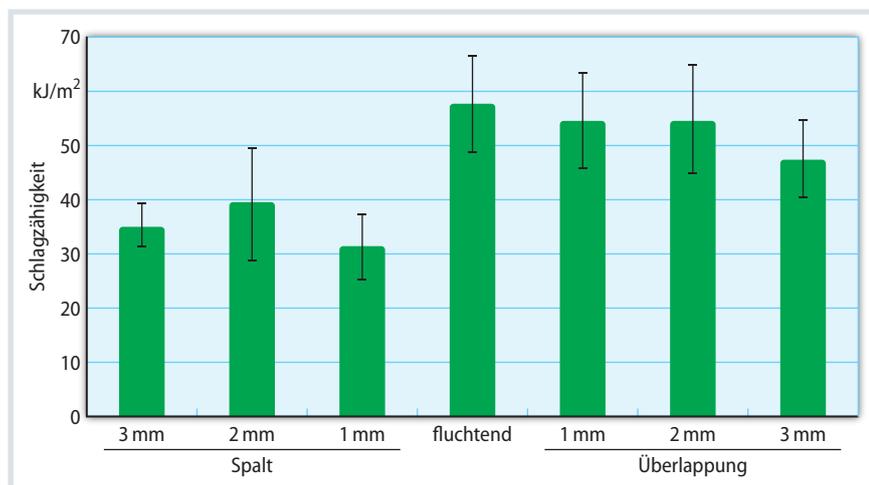


Bild 2. Schlagbiegeversuch mit Tape-Blanks mit gezielt eingebrachten Fehlern: Sowohl ein Spalt als auch eine Überlappung reduzieren die Schlagzähigkeit im Vergleich zum optimal auf Stoß fluchtend produzierten Blank Quelle: Engel; Grafik: © Hanser

Um diese Zusammenhänge genauer zu untersuchen, wurden vom Technologiezentrum für Leichtbau-Composites der Engel Austria GmbH, St. Valentin/Österreich Coupon-Proben gefertigt, aus denen Probekörper für Schlagbiegeversuche entnommen wurden. Die Coupon-Proben wurden auf einer Laboranlage (**Bild 1**) aus fünf Tapelagen (PA6-CF60) hergestellt. Es wurde ein Lagenaufbau mit 90°- und 0°-Lagen gewählt (90/0/0/0/90), wobei in der 0°-Mittellage Fehler mit verschiedenen Spalt- und Überlappungsbreiten eingebracht wurden. Dazu wurde die Mittellage geteilt und anschließend fluchtend (auf Stoß), überlappend sowie mit »

Effizienter Leichtbau

Schmelzen und Erstarren sind die zentralen physikalischen Vorgänge, die für die Thermoplastverarbeitung kennzeichnend sind. Diese Zustandsänderungen können in vergleichsweise kurzer Zeit erfolgen. Deshalb sind Verarbeitungsprozesse für Thermoplaste überdurchschnittlich produktiv. Charakteristisch für die Composites ist der Einsatz von langen Fasern, idealerweise Endlosfasern. Daraus resultieren ausgesprochen hohe Steifigkeits- und Festigkeitswerte bei einem geringen Bauteilgewicht. Die thermoplastischen Composites vereinen beides: eine hohe Prozesseffizienz und herausragende Leichtbaueigenschaften. Genau deshalb sind sie für den Großserienleichtbau so spannend.

Die Autoren

Dr. Norbert Müller leitet das Technologiezentrum für Leichtbau-Composites der Engel Austria GmbH in St. Valentin/Österreich; norbert.mueller@engel.at

Paul Zwicklhuber, MSc ist Entwicklungsingenieur im Technologiezentrum für Leichtbau-Composites; paul.zwicklhuber@engel.at

Service

Digitalversion

» Ein PDF des Artikels finden Sie unter www.kunststoffe.de/2020-08

English Version

» Read the English version of the article in our magazine *Kunststoffe international* or at www.kunststoffe-international.com

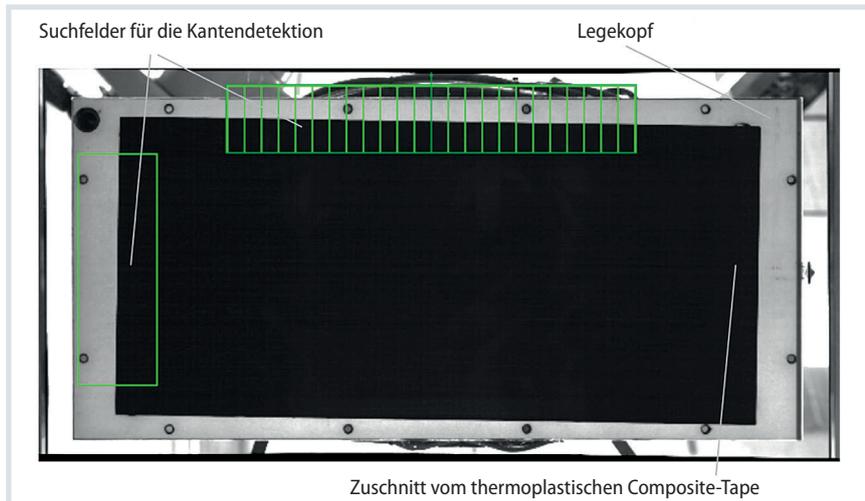


Bild 3. Suchfelder zur Ermittlung der Kantenverläufe: An 25 Positionen wird gemessen, um die Punkte mit einer Best-Fit-Geraden zu verbinden © Engel

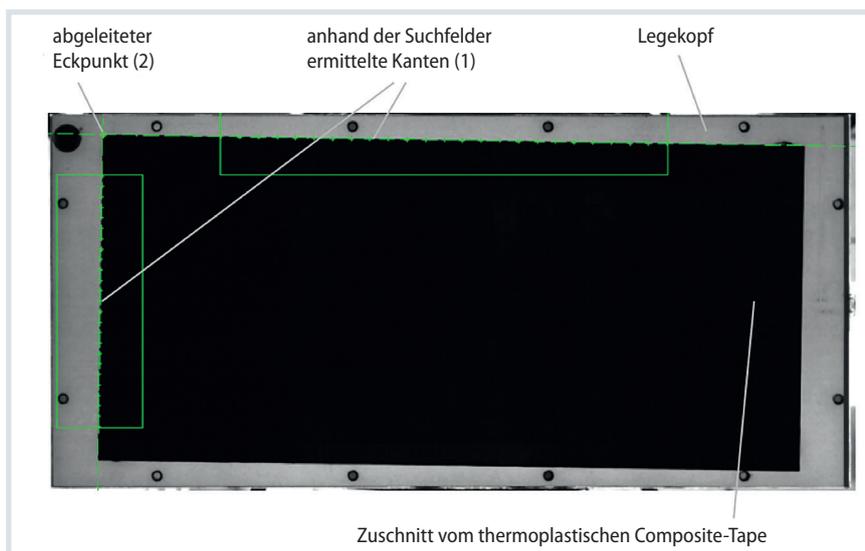


Bild 4. Aus den ermittelten Kantenverläufen ergibt sich die Eckposition. Dieses Verfahren ist genauer als die direkt optische Messung, weil die Tapes nicht immer scharfe Eckpunkte aufweisen © Engel

einem Spalt von bis zu 3 mm abgelegt. Es zeigte sich, dass sowohl ein Spalt als auch eine Überlappung die Schlagzähigkeit verringert, wobei ein Spalt zu einem ausgeprägteren Schlagzähigkeitsabfall führt als eine Überlappung (**Bild 2**).

Das Ziel beim Tapelegen muss also eine sehr hohe Genauigkeit sein, um dem Ideal, die Kanten exakt auf Stoß zu legen, möglichst nahe zu kommen. Typische technische Anforderungen für den zulässigen Abstand oder die zulässige Überlappung liegen bei $\pm 1,0$ mm, bei manchen Anwendungen sogar bei $\pm 0,5$ mm.

Verfahren, bei denen beschnittene Tapes mit konstanter Breite zum Einsatz kommen, sind in Bezug auf die Legegenauigkeit von einer exakten Einhaltung der nominalen Tapebreite abhängig.

Schwankungen in der Tapebreite führen automatisch auch dazu, dass sich die Genauigkeit des Legeprozesses ändert. Die Herausforderung besteht nun darin, diese Abhängigkeit durch softwarebasierte Lösungen zu überwinden. Im „Pick and Place“-Verfahren ist das möglich.

Bei jeder Ablageposition Korrekturwerte berücksichtigen

Ausgangspunkt beim Tapelegen nach dem Pick-and-Place-Prinzip ist, möglichst große Zuschnitte aus breiten Tapebahnen zu verwenden. Einfach geformte Zuschnitte können direkt von der Rolle abgeschnitten werden. Komplexere Formen werden gestanzt. Im Vordergrund stehen zwei Aspekte: einerseits den Verschnitt-

abfall zu minimieren, andererseits die Austragsleistung der Anlage zu maximieren. Der Tape-Stack wird idealerweise schon beim Bauteilentwurf so gestaltet, dass das Material die Taperolle möglichst gut ausnutzt und mit einer möglichst geringen Anzahl an Legeoperationen zu den Stacks verarbeitet werden kann.

Ein klassisch gesteuerter Prozess nach dem Pick-and-Place-Verfahren wäre auf hochgenaue Tapezuschnitte und präzise Führungen in den Magazinen sowie zusätzliche Ausricht- und Zentriermodule angewiesen. An dieser Stelle eröffnet die optische Messtechnik neue Möglichkeiten. Mit ihrer Hilfe lässt sich eine solche Anlage zu einem präzisen und geregelten Aneinanderlegen befähigen (**Titelbild**). Die Zuschnitte werden mit einem End-of-Arm-Tool (EOAT) aufgenommen, wobei weder die Genauigkeit des Zuschnitts noch die Position am EOAT entscheidend ist. Erst an einer Kamera-Messstation wird die Position des Tapezuschnitts in Bezug auf Referenzmerkmale am EOAT ermittelt. Diese Information dient dazu, die Roboter-Zielposition beim Ablegen des Tapezuschnitts auf dem Legetisch zu beeinflussen.

Entlang der Kante eines Tapezuschnitts wird ein Bereich definiert, in dem an zahlreichen Positionen – im gezeigten Beispiel sind es 25 – der Übergang vom Tape zum Hintergrund ermittelt wird (**Bild 3**). Diese Punkte werden mit einer Best-Fit-Geraden verbunden, die über das Suchfenster hinaus verlängert wird. Gleiches wird an einer zweiten Kante gemacht. Es ergibt sich ein Eckpunkt, der aus der Verlängerung der beiden Geraden resultiert (**Bild 4**). Diese Eckenposition kann anhand der Zuschnittkanten wesentlich genauer ermittelt werden als durch die direkte optische Messung, weil beim Stanzen bzw. Schneiden oft keine exakten und scharfen Eckpunkte entstehen.

Die Informationen zur Position und Winkellage des Tapes auf dem EOAT fließen in die Positionierung beim Ablegen auf dem Legetisch ein. Die Punkte entlang der Kante des Tapes können innerhalb drei Pixel ermittelt werden. Auf der Laboranlage gelang es in mehreren Messreihen, eine Legegenauigkeit von unter $\pm 0,5$ mm zu erzielen. Das heißt, der Abstand bzw. die Überlappung der Tapes betrug weniger als 0,5 mm. Die erzielbare Legegenauigkeit hängt jedoch auch davon ab, wie gerade die geschnittenen

oder gestanzten Kanten sind. Zudem hat die Farbe der Tapes bzw. der Kontrast zum Hintergrund Einfluss auf die Ermittlung der Kanten.

Die Genauigkeit beim Tapelegen ist der Messwert, auf den die gesamte Prozessoptimierung ausgerichtet ist. Im Vordergrund steht jedoch das Konzept, mit dem diese hohe Legegenauigkeit erreicht wird. Durch den Einsatz der Kamertechnik lassen sich Informationen gewinnen, die ein aktives softwarebasiertes Nachjustieren zur Optimierung der Legegenauigkeit ermöglichen. Die Software arbeitet unablässig daran, ein optimales Ergebnis, das heißt: eine möglichst hohe Legegenauigkeit, zu erzielen.

Hohe Echtzeit-Leistungsfähigkeit

Auf mittlere Sicht werden die softwarebasierten bzw. softwaredominierten Prozesstechnologien in vielen Bereichen die konventionellen Lösungen weit hinter sich lassen. Selbst wenn auf konventionelle Weise durch genaues Prüfen, Justieren und Validieren eine vergleichbare Güte erzielt werden kann, bleibt eine hohe Abhängigkeit von mechanischen Elementen und der Qualität des Ausgangsmaterials. Dieser Weg stößt naturgemäß an Grenzen.

Viel effizienter ist es, die Anlage in die Lage zu versetzen, die Charakteristika des vorliegenden Materials zu erkennen, zu bewerten und darauf abgestimmt zu handeln. Ein Mehrwert ergibt sich, wenn die Sensorik zusätzlich dafür verwendet wird, die Tapes auf Risse, ungleichmäßige Faserverläufe oder fehlende Ecken zu überprüfen, und dabei deutlich feinere Abweichungen detektiert, als sie einem aufmerksamen Maschinenbediener auffallen würden.

Eine Tapelegezelle wird vorzugsweise mit zwei Robotern und einer Kamerastation ausgelegt. Am Ablagetisch wird das erste Tape mittels Unterdruck festgehalten. Alle weiteren Lagen werden durch Punktschweißen mit den darunterliegenden Lagen verbunden.

Die Tapezuschnitte werden an den Stapelmagazinen vereinzelt und auf Abholtischen bereitgelegt und in Position gehalten, sodass die Roboter die Abholtische mit hoher Geschwindigkeit anfahren können (Bild 5). Am EOAT befinden sich Vakuumsauger, um die Zuschnitte aufzunehmen. Die Anordnung erlaubt in



Bild 5. Die Tapezuschnitte werden an den Stapelmagazinen vereinzelt und auf Abholtischen für die Roboter auf Position gehalten

© Engel

jedem Ablaufschritt einen hochdynamischen Legeprozess. Bei mehreren Versuchsreihen und alternierender Arbeitsweise der Roboter wurde mit der Versuchsanlage eine Ablegezeit von 3,4 s pro Tapezuschnitt erzielt.

Um bei der optischen Messung das Tape am EOAT gut erkennen zu können, wird die gesamte Aufnahmefläche mit einer Elektrolumineszenz-Folie beleuchtet und das EOAT mitsamt dem Tape gegen eine Glasplatte gedrückt. Es werden die Kanten detektiert, die Eckpunkte des Tapezuschnitts ermittelt und die Ergebnisse mit dem Tool-Center-Point des EOAT in Beziehung gesetzt. Die daraus abgeleiteten Informationen werden an die Robotersteuerung übermittelt, um die Position und Winkellage des Tapes zu korrigieren.

Auf diese Weise kann das Tape punktgenau und fluchtend zu einer vorhandenen Legekante abgelegt werden. Die Algorithmen zur Ermittlung der genauen Ablageposition werden auf das digitale Bildmaterial angewendet, während das Tape bereits auf dem Weg zum Ablagetisch ist. Damit stellt dieses Vorgehen sehr hohe Anforderungen an das Echtzeit-Leistungsvermögen der Anlage.

„Pick and Place“ auch für hybride Stacks

Mit einer Pick-and-Place-Tapelegezelle können Tape-Stacks innerhalb kürzester Zeit und mit hoher Genauigkeit hergestellt werden. Um hohe Ablageraten zu erreichen und die benötigten Korrekturdaten rechtzeitig bereitzustellen, werden bei der optischen Messung nur ausgewählte Kanten und Eckpunkte ermittelt. Die Kameradaten können jedoch für die Qualitätsbeurteilung des Stacks gespei-

chert und auch im Nachgang analysiert werden. Abhängig von der geforderten Produktqualität wird entschieden, welche Dateien zusammen mit den Prozessdaten automatisch abgelegt werden. Für sicherheitskritische Teile werden alle Bilddaten aufbewahrt, ansonsten ist es zielführend, nur jene Bilder zu speichern, die mit Ablauffehlern und Ausschuss in Verbindung zu bringen sind.

Ein großer Vorteil des Pick-and-Place-Konzepts ist die Möglichkeit, hybride Stacks herstellen zu können. Da in die Stapelmagazine nicht nur Tapes, sondern auch Organobleche mit mehreren Gewebelagen, bereits konsolidierte Tape-Blanks mit konstanter Wanddicke oder andere thermoplastische Halbzeuge eingelegt werden können, lassen sich als Vormaterial kostengünstige, bereits mehrlagige Halbzeuge einsetzen, die nur noch lokal verstärkt werden.

Glas- und Carbonfasern für unterschiedliche Lastbereiche

Für den kosteneffizienten Leichtbau ist das Tapelegen eine Schlüsseltechnologie. Durch das lokale und lastpfadgerechte Verstärken von Bauteilen lässt sich die Grundwanddicke oftmals reduzieren. Folglich können mit hybriden Materialaufbauten nicht nur das Gewicht, sondern oftmals auch die Kosten deutlich gesenkt werden. So kommen mit sinkender Grundwanddicke des Bauteils auch teure Carbonfasern für die Großserie in Frage. Bauteilbereiche, die geringere Lasten tragen, lassen sich mit günstigen Glasfasern verstärken, während Bereiche, die höheren Belastungen standhalten müssen, mit Carbonfasern verstärkt werden. ■