

Quelle: TVP - Fachzeitschrift für Textilveredelung und Promotion / Ausgabe 05/2015, Seite 84 - 88

Hinweis: Bitte beachten Sie die Richtigstellung auf der letzten Seite dieses PDF. Vielen Dank.

Tailored Fibre Placement: Ein Stickverfahren für High-Tech-Bauteile

Ein Beitrag von Max Schwab, Melanie Hoerr, Thomas Gries und Stefan Jockenhövel

In der technischen Stickerei ist es möglich, über ein Verlege-Stickverfahren faserförmige Materialien mittels Ober- und Unterfaden auf dem Stickgrund zu fixieren. Dabei wird der Doppelsteppstich verwendet, der bereits in der TVP Ausgabe 04/2015 vorgestellt wurde. Somit stellt das Verlege-Stickverfahren ein 3-Faden-System dar (Abbildung 1). Für Faserverbundwerkstoffe wird dieses Stickverfahren als Tailored Fibre Placement (TFP) bezeichnet, da als zu verlegendes Material ein Faserbündel (Roving) aus Kohlenstoff, Glas oder Aramid verwendet wird und diese in Faserform vorliegen. Dabei können nahezu alle gängigen Rovinggrößen verarbeitet werden. Bei der Applikation von Drähten durch dieses Verfahren wird von der Tailored-Wire-

Placement-Methode (TWP) gesprochen, welche zum Beispiel für Heiz- oder Sensoranwendungen verwendet werden. Die Anwendungsgebiete der TWP-Methode werden in der nächsten Ausgabe vorgestellt.

Maschinentechologie

Der Roving wird von einer am Stickkopf angebrachten Spule abgerollt und durch ein Führungselement geführt (siehe Abbildung 2). Ober- und Unterfaden fixieren den abgelegten Roving mittels Zick-Zack-Stich auf dem Stickgrund.

Dabei folgen die Stickfäden einem Zick-Zack-Muster, um mit möglichst geringem Stickfadeneinsatz den Roving zu fixieren (siehe Abbildung 3). Aufgrund des unbeweglichen Stickkopfes wird die Legerichtung der Faser bzw.

das Stickmuster über die Bewegung des Stickrahmens in x- und y-Richtung realisiert. Die Roving-Spule am Stickkopf ist dabei um 360° frei rotierbar. Das Führungselement kann je nach Maschinentyp senkrecht zur Legerichtung ausschwenken, um damit ein sauberes Ablegen des Rovings zu gewährleisten. Die Stickparameter wie Stichabstand

und -breite (Hub) müssen an das ausgewählte Fasermaterial (etwa Rovingbreite) angepasst werden und sind in Abbildung 3 aufgezeigt.

Verlege-Stickmaschinen können mit einer zusätzlichen Schneideinheit bestückt werden, die den Roving automatisch nach Beenden des Stickmusters abschneidet. Es kann eine zweite Spule am

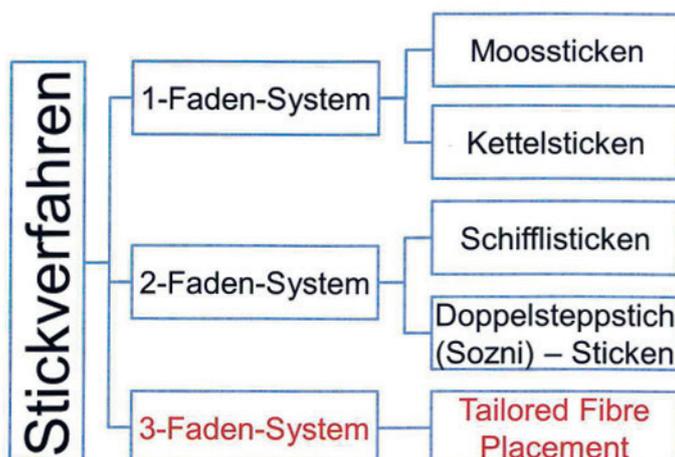


Abbildung 1: Einteilung der Stickverfahren nach Fadensystemen

Autoren

M.Sc. Max Schwab ist Wissenschaftlicher Mitarbeiter der Forschungsgruppe „Medical Smart Textiles“ am Institut für Textiltechnik der RWTH Aachen University, wo er sich mit dem Einsatz der Sticktechnologie für den Leichtbau beschäftigt. Das TFP-Verfahren ist dabei Teil des Forschungsvorhabens, Faserverbundwerkstoffe in der Medizin, wie z.B. der Orthetik oder der Prothetik, voranzutreiben.

Diplom-Ingenieurin Melanie Hoerr ist Abteilungsleiterin der Forschungsgruppe „Medical Smart Textiles“ am Institut für Textiltechnik der RWTH Aachen University.

Univ.-Prof. Prof. h.c. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. Thomas Gries ist Institutsleiter und Lehrstuhlinhaber des Instituts für Textiltechnik der RWTH Aachen University.

Univ.-Prof. Dr. med. Stefan Jockenhövel leitet das Lehr- und Forschungsgebiet „Tissue Engineering & Textile Implants“ im Rahmen seiner Brückenprofessur am Institut für Textiltechnik der RWTH Aachen University und am Institut für Angewandte Medizintechnik des Universitätsklinikum Aachen.

In der TVP 2/2015 haben die Autoren bereits die verschiedenen Fadensysteme, die in der technischen Stickerei eingesetzt werden, vorgestellt. In der TVP 3/2015 folgte ein Beitrag über textile Elektroden, die mittels Moos- und Kettelstickerei entstehen. Der Beitrag in der TVP 4/2015 widmete sich dem „Sticken zur Funktionalisierung von Textilien“. Die Artikelserie zur „Technischen Stickerei“ findet ihren Abschluss in der TVP 6/2015, wo das Verlegen von faserförmigen Materialien, die nicht zur Erzeugung von Leichtbauteilen verwendet werden, vorgestellt wird.

Prototypen der technischen Stickerei können auf der ITMA (12. bis 19. November in Mailand) in Halle 8, Stand A113-A114 (moosgestickte Elektroden) und in Halle 7, Stand A115 (TFP gestickte Carbonpreforms) betrachtet werden.

Quelle: TVP - Fachzeitschrift für Textilveredelung und Promotion / Ausgabe 05/2015, Seite 84 - 88

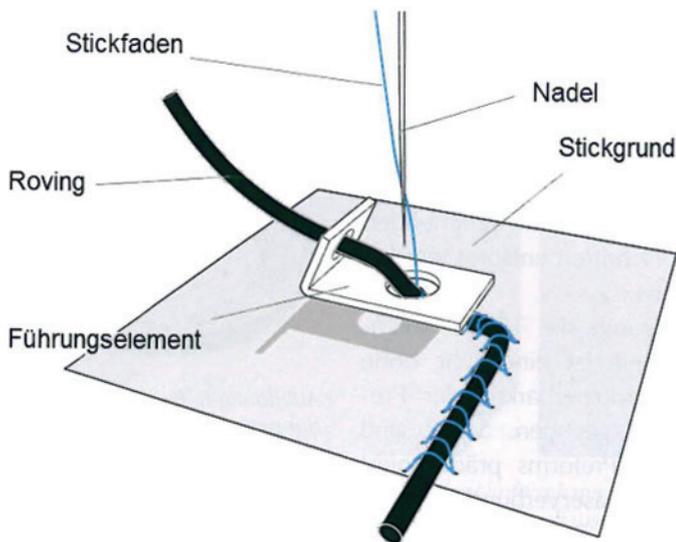


Abbildung 2: Prinzipskizze des TFP-Verfahrens für Verstärkungsfasern

Stickkopf angebracht werden, um einen Wechsel zwischen zwei Fasermaterialien zu ermöglichen. Dieses kann für gleiches Fasermaterial unterschiedlichen Titters (also Faserdicke) oder zur Zuführung von Edelstahlraht interessant sein. Für große Bauteile oder Serienbauteile werden große Faserspulen benötigt, die dezentral oberhalb des Stickkopfes angebracht werden können (Abbildung 4). Um bei voller Umdrehung (360°) der Roving-Spule eine

Verdrehung des Ablegematerials zu verhindern, findet eine automatische Ausdrehung der Roving-Spule statt, bevor der Stickprozess fortgesetzt wird.

Durch eine pneumatische Spannvorrichtung wird das Trägermaterial automatisch nachgespannt und auf eine Rolle aufgewickelt, wodurch eine Rolle-zu-Rolle Produktion ermöglicht wird. So können auf einem Trägermaterial mehrere Textilhalbzeuge, so genannte Preforms, in Serie

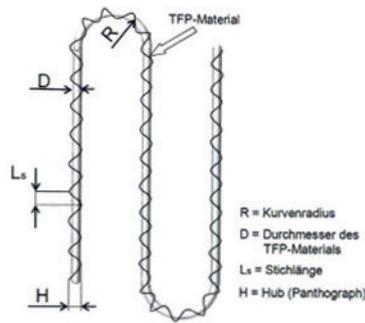


Abbildung 3: Geometrische Größen des TFP-Verfahrens in Abhängigkeit des Rovings für den Zick-Zack-Stich

hergestellt werden oder einzelne Preforms mit Längenmaßen, die über die Stickfeldlänge hinausgehen.

Vorteile der Technologie

Faserverbundwerkstoffe (FVW) sind neue Werkstoffe, die für Hochleistungsanwendungen in den letzten Jahren verstärkt zum Einsatz kommen. Dabei werden Fasern (vor allem Kohlefasern oder Glasfasern) in eine Matrix (meistens Harzsysteme wie Epoxidharz) eingebettet und können somit das volle Potenzial ihrer mechanischen Eigenschaften ausspielen: sehr hohe Festigkeiten und Steifigkeiten in Faserrichtung.

Senkrecht zur Faserrichtung sind die mechanischen Eigenschaften jedoch um einen Bruchteil geringer, womit die Auslegung der FVW-Bauteile, dies bedeutet die Berechnung der Faserablenkung und Fasermenge, essentiell wird.

Auf Grund der freibeweglichen Rovingsspule ist es mit dem TFP-Verfahren möglich, den Roving in einer frei wählbaren Geometrie abzulegen. Damit können Textilhalbzeuge hergestellt werden, deren Faserverlauf lastgerecht angepasst werden kann. Durch zusätzliche Optimierungstools wie die CAIO-Methode (Computer Aided Optimization) kann die Bauteilgeometrie auf lasttragende Strukturen oder Pfade reduziert und dadurch Gewicht eingespart werden. Durch das TFP-Verfahren ist es möglich, die damit berechneten teilweise sehr dünnen Strukturen zu realisieren und dadurch sehr hohe spe-

Quelle: TVP - Fachzeitschrift für Textilveredelung und Promotion / Ausgabe 05/2015, Seite 84 - 88



Abbildung 4: TFP-Stickmaschine des Typs SGW der Firma ZSK Stickmaschinen GmbH [Bildquelle: ZSK Stickmaschinen GmbH, Krefeld]

zifische mechanische Eigenschaften zu erreichen. Das Verfahren bietet somit ein sehr hohes Leichtbau-Potenzial und ist auch für hochbelastete Bauteile geeignet, bei denen die Gewichtsersparnis im Vordergrund steht, z.B. in der Luft- und Raumfahrt.

Ein weiterer Vorteil ist die endkonturnahe Faserablage der Rovings, wodurch Bauteile mit minimalem Ver-

schnitt hergestellt werden können, während andere (zweidimensionale) Preforms für eine komplexe Bauteilgeometrie hohen Verschnitt aufweisen. Aufgrund hoher Materialkosten (z.B. Kohlenstofffasern) der Halbzeuge, hat auch der Verschnitt einen Einfluss auf die Herstellungskosten des Bauteils. Auch die Entsorgung des Verschnittmaterials ist nicht unkritisch,

da es laut EU-Abfallrichtlinien nach entsprechenden Vorschriften entsorgt werden muss.

Durch die TFP-Sticktechnologie ist eine sehr hohe Reproduzierbarkeit der Preforms gegeben. Somit sind diese Preforms prädestiniert für Faserverbund-Strukturbauteile. Zusätzlich geschieht die Faserablage komplett automatisiert und ist durch die Integration weiterer Stickköpfe in die Anlage für Serienbauteile hervorragend geeignet (siehe Abbildung 5). Dabei werden mehrere Preforms parallel auf einer Stickmaschine hergestellt.

Je nach Anwendung ist durch die Einbringung von Sensorfasern auch eine Funktionalisierung des Bauteils



Abbildung 6: Beispielanwendungen – Fensterrahmen für den Airbus A350 XWB [Bildquelle: Hightex Verstärkungsstrukturen GmbH, Klipphausen]

z.B. zum Structural Health Monitoring in nur einem Prozessschritt möglich.

Materialien (Möglichkeiten)

Es gibt eine große Auswahl an möglichen Materialien für das TFP-Verfahren für Faserverbund-Anwendungen. Es können im Prinzip alle derzeit verfügbaren Verstärkungsfasern aus Kohlenstoff, Glas oder Aramid für die Faserablage verarbeitet werden. Auch die verfügbaren Rovingausführungen von 1-24k (für Kohlenstofffasern) sind für die Technologie verarbeitbar. Die k-Zahl entspricht dabei der Anzahl der Filamente im Roving und bestimmt darüber die Rovingbreite, die wiederum die Stickparameter beeinflusst. Durch die Zuführung einer weiteren Faser sind sehr viele unterschiedliche Materialkombinationen für hybride Strukturen denkbar. Eine Variante ist die Zuführung einer thermoplastischen Faser, die durch Pressen unter Temperatureinwirkung zu fertigen Bauteilen geformt werden können. Die



Abbildung 5: TFP-Stickmaschine des Typs ZCW der Firma ZSK Stickmaschinen GmbH mit acht Stickköpfen und einem Stickfeld von vier Quadratmetern [Bildquelle: ZSK Stickmaschinen GmbH, Krefeld]

Quelle: TVP - Fachzeitschrift für Textilveredelung und Promotion / Ausgabe 05/2015, Seite 84 - 88

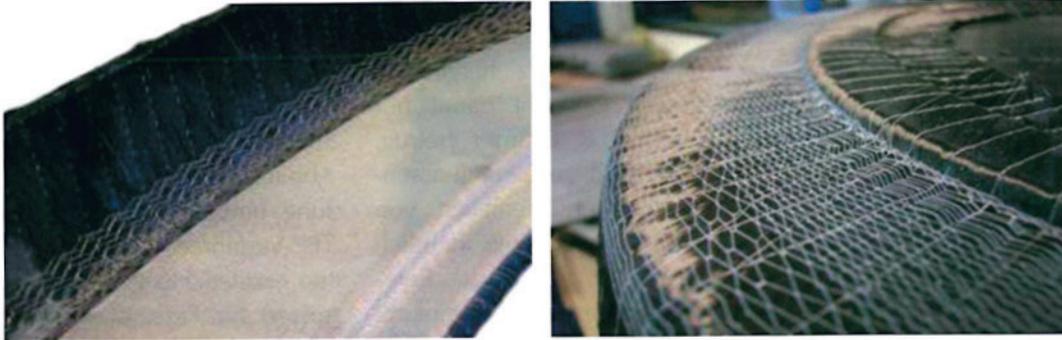


Abbildung 7: Anpassung des Stickmusters an der Umformkante (links) und an der Radialverstärkung (rechts)
[Bildquelle: Hightex Verstärkungsstrukturen GmbH, Klipphausen]

Möglichkeit der zusätzlichen Einarbeitung von Metalldrähten für smarte Anwendungen ist eine weitere Möglichkeit. Solche Anwendungen werden in der TVP 06/2015 aufgezeigt.

Analog herrscht eine große Auswahl für den Stickgrund. Während hier klassische Stickvliese (Ausreißvliese, wasserlösliche Vliese) oder Abreißgewebe zum Einsatz kommen, kann auch direkt auf FVW-Textilhalbzeuge gestickt werden. Dabei handelt es sich vor allem um Gewebe und Gelege. Durch multiaxialen Lagenaufbau eines Preforms kann dieser direkt (ohne zusätzliche Fixierung) bestickt werden. Dadurch wird sowohl die Fixierung der Preformlagen gewährleistet, als auch die Delaminationsneigung des späteren Bauteils wesentlich reduziert. Das Besticken solcher Preforms eignet sich besonders für das Applizieren von lokalen Verstärkungen, wie z.B. Lochverstärkungen.

Die Materialauswahl für das Ober- und Unterfaden-

system hängt stark von der Anwendung des Faserverbundbauteils ab. Generell ist jedoch der Volumenanteil des Fadensystems im späteren Bauteil mit unter 5% meist vernachlässigbar klein. Für Bauteile mit thermoplastischer Matrix liegt der Einsatz thermoplastischer Stickgarne sehr nahe, da sich diese beim Erhitzen in der (gleichartigen) Matrix auflösen und somit keinen Einfluss auf die mechanischen Eigenschaften des Bauteils haben.

Die Firma Hightex Verstärkungsstrukturen GmbH aus Klipphausen stellt mit dem TFP-Verfahren seit 2010 die Fensterrahmen des Airbus A350 XWB in Serie her. Der Preform aus Kohlenstoff- und Glasfasern wird dabei durch unterschiedliche Stickmuster zusammengehalten. Die Glasfaserschicht auf der Innenseite des Fensterrahmens soll die Korrosion von Aluminiumbauteilen und Kohlenstofffasern verhindern (siehe Abbildung 6). Der 2D-Preform wird faltenfrei in ein L-Profil umgeformt und

anschließend mit Harz getränkt. Das angepasste Stickmuster an der Umformkante des Ovals erlaubt ein Um-

lenken der Fasern an dieser Stelle ohne Faserschädigung bei gleichzeitigem Formert-halt (siehe Abbildung 7). Der TFP-Preform wird dadurch flexibel. Die restlichen TFP-Strukturen des Fensterrahmens sind entsprechend der vorherrschenden Kräfte (Radialkräfte) angepasst und ausgelegt. Der Preform ist auch perfekt an die Bauteilgeometrie angepasst und reduziert damit enorm den Verschnitt, der beim Einsatz üblicher Verstärkungsgewebe bei einer Bauteilgröße von ca. 2m x 1m beträchtlich wäre.

Quelle: TVP - Fachzeitschrift für Textilveredelung und Promotion / Ausgabe 05/2015, Seite 84 - 88



Abbildung 8: Verbaute Brake-Booster aus Aluminium an einer Cantilever-Bremse [Bildquelle: Spickenbauer]

Brake-Booster für eine Fahrrad-Bremse

Anhand dieses klassischen Beispiels für das TFP-Verfahren wird das enorme Leichtbaupotenzial deutlich. Der Brake-Booster einer Cantilever-Fahrradbremse (siehe Abbildung 8) funktioniert – wie der Name schon sagt – als Bremsverstärkung beim Bremsvorgang. Bisherige Brake-Booster werden aus Aluminium gefertigt und haben ein Gewicht zwischen 50-70 Gramm, was einer massenspezifischen Steifigkeit von 2,3-3,3 N/mm/g entspricht.

Mithilfe einer Topologieoptimierung ist es möglich, das Bauteil-Volumen auf die lasttragenden Strukturen zu reduzieren. Durch die Verwendung eines eigens dafür entwickelten Softwaretools wie z.B. AOPS (Advanced Optimization for Principal

Stress) wird eine Simulation und Optimierung der Kreuzungspunkte von Faserrovings ermöglicht. Damit kann ein geeignetes Stickmuster (Punchmuster) für einen optimierten Brake-Booster erstellt werden, der aus Kohlefasern mittels TFP-Verfahren hergestellt werden kann.



Abbildung 9: Fertigung des Brake-Boosters im TFP-Verfahren (links) und fertiges Bauteil (rechts) [Bildquelle: Spickenbauer]



Der topologieoptimierte Brake-Booster wurde aus einem 12k-Kohlefaserroving und Epoxidharz hergestellt, dessen Gewicht damit nur noch 19,8 Gramm betrug. Dies führt zu einer massenspezifischen Steifigkeit von 11,5 N/mm/g, die deutlich größer ist als die des Referenz-Bauteils aus Aluminium.

Zusammenfassung

Das Aufsticken von Verstärkungsfasern für Hochleistungs-Bauteile mag zunächst widersprüchlich klingen, doch durch enorm viele Freiheitsgrade der TFP-Technologie ist dieses Verfahren gerade für Faserverbundwerkstoffe prädestiniert. Die lastgerechte und konturnahe Fertigung von Preforms reduziert nicht nur das Bauteilgewicht, sondern auch den Faserabfall. Durch die Möglichkeit der Verarbeitung und Integration vieler verschiedener Fasern bzw. Faserhalbzeuge ist die Vielseitigkeit dieses Verfahrens enorm.

Durch die hohe Automation und hohe Reproduzierbarkeit des Legeverfahrens lassen sich auf Mehrkopf-Stickanlagen Serienbauteile in großer Stückzahl herstellen (siehe Abbildung 5). Je nach Abmessung und Stückzahl ist das TFP-Verfahren damit anderen textilen Herstellungsprozessen für Faserverbundwerkstoffe überlegen. Aufgrund des stetig wachsenden Faserverbund-Marktes ist die TFP-Technologie weiterhin hoch interessant und zukunftssträftig.

Im letzten Beitrag der kommenden Ausgabe wird das Verlegen von faserförmigen Materialien, die nicht zur Erzeugung von Leichtbauteilen verwendet werden, vorgestellt. Hierunter fällt u.a. das Tailored Wire Placement Verfahren und dessen Anwendungsgebiete, welches analog zum TFP-Verfahren für das Verlegen von Drähten eingesetzt wird.

Richtigstellung

In dem vorliegenden Beitrag (Original: „In der letzten Ausgabe (TVP 5/2015) dieser Reihe“) mit dem Titel „Tailored Fibre Placement: Ein Stickverfahren für High-Tech-Bauteile“ wird auf Arbeiten und Bilder mit der Quellenangabe SPICKENBAUER verwiesen. Sämtliche erwähnten Ergebnisse und Bilder des Absatzes „Brake-Booster für eine Fahrrad-Bremse“ wurden ohne Kenntlichmachung der richtigen Quelle angeführt.

Die Arbeiten wurden der Dissertation von Dr. Axel Spickenheuer: „Zur fertigungsgerechten Auslegung von Faser-Verbundbauteilen für den extremen Leichtbau auf Basis des variabelaxialen Fadenablageverfahrens Tailored Fibre Placement“, TU Dresden, 2013 entnommen.

Herr Dr. Spickenheuer ist am Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden e.V. tätig und beschäftigt sich mit seiner Arbeitsgruppe mit der Entwicklung von Methoden zur Auslegung und Optimierung von beanspruchungsgerechten TFP-Strukturen.

Die Richtigstellung wurde im Original in der TVP Ausgabe 6/2015 abgedruckt.