

Die Online-Prepregtechnologie – Ein neuartiges, kostengünstiges und ressourcenschonendes Herstellungsverfahren zur Produktion von Faserverbundbauteilen

L. Hefft, G. Oehl, G. Ziegmann

Institut für Polymerwerkstoffe und Kunststofftechnik

Lars.Hefft@tu-clausthal.de

Abstract

Der Einsatz von Prepregs ist heute ein wesentlicher Bestandteil der Produktionsstrategie für eine Vielzahl von industriellen Hochleistungsanwendungen. Der primäre Fokus liegt dabei in einer hohen, gleichbleibenden Qualität, sowie einer bereits im Vorfeld erfolgten Zertifizierung der Materialien. Ebenso können die Kompetenzen für die Herstellung und Verarbeitung von faserverstärkten Werkstoffen voneinander getrennt werden.

Den Vorteilen dieser Werkstoffklasse steht jedoch auch eine Reihe von Nachteilen gegenüber. Zum Beispiel die energieintensive Kühlung und die vergleichsweise begrenzte Lagerkapazität. Auch die Entsorgung der Verschnitte ist problematisch, da die bereits imprägnierten Textilien nur schwer zu recyceln sind.

Das neu entwickelte innovative, ressourcenschonende Herstellungsverfahren für online imprägnierte textile Preforms kann die genannten Nachteile zielgerichtet adressieren. Das daraus resultierende Verfahren mündete in der Entwicklung und Produktion eines Prototypen einer Online-Prepregmaschine zur Herstellung von Bauteilen mit dem innovativen Prozess.

Das vorliegende Paper befasst sich mit der detaillierten Beschreibung der Prozesskette, beginnend mit dem automatisch optimierten verschachtelten Zuschnitt von trockenen Textilien nach Wahl, einer anschließenden infrarotüberwachten, thermischen Textiltrocknung, über die konturgenaue Direktimprägnierung ausgewählter Einzeltextillagen, bis hin zum optionalen „B-Staging“ des sich ergebenden Halbzeugs.

Mit diesem zukunftsweisenden, klimafreundlichen Verfahren, das sich hervorragend in das mittlerweile unverzichtbare, interdisziplinäre Forschungsfeld der Circular Economy einfügt, bietet die Technologie eine adaptierbare Schlüsseltechnologie für industrielle Hochleistungsanwendungen.

1 Prepregs nach Stand der Technik

1.1 *Prepregs und ihre Verwendung*

Klassische Prepregs haben sich in vielen heutigen Anwendungen und Industriezweigen zum Quasi-Standard etabliert und bilden die Basis vielzähliger Produkte mit hohen Anforderungen an Güte und Zuverlässigkeit. Insbesondere im Bereich der Luftfahrt, wo sie schon heute als wichtigste Materialklasse bezeichnet werden können, sind Prepregs nicht aus den Prozessketten wegzudenken. Am Beispiel des *Airbus A350* zeigt sich die Wichtigkeit der Prepregs in der Luftfahrt, sodass dieser bereits einen Anteil von 53 % Kohlenstofffaserverbundwerkstoffen in Rumpf, Tragflächen und Leitwerken aufweist. Ferner besteht der Rumpf der *A350-XWB* nahezu vollständig aus kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffen [1].

Doch auch in weiteren Bereichen, u.a. der Windenergieanlagen, des Motorsports oder von Sportgeräten zeigt sich in den letzten Jahren ein zunehmender Einsatz von Prepregs aufgrund ihrer spezifischen Vorteile, insbesondere der zertifizierten Materialqualität, aber auch der vergleichsweise einfachen Handhabbarkeit im Vergleich zu kompetierenden Infusionsverfahren. So zeigt sich in den letzten Jahren nicht nur ein kontinuierlicher Anstieg im globalen Markt für Faserverbunde im Allgemeinen, sondern explizit auch im Prepregmarkt [2].

Während Prepregs mit thermoplastischer Matrix in einigen Anwendungsgebieten langsam an Bedeutung zunehmen, dominieren Duroplastprepregs noch immer in vielen Bereichen und stehen im Fokus der neuartigen Online-Prepregtechnologie, welche nachfolgend genauer beschrieben wird, wenngleich der Einsatz von Reaktivmassen die zu Thermoplasten reagieren in begrenztem Umfang ebenfalls für die Online-Prepregtechnologie denkbar ist.

1.2 *Prepregs und ihre spezifischen Nachteile*

Trotz der mittlerweile rund 60-jährigen Weiterentwicklung von Prepregs und der dabei stetig optimierten Vorteile, müssen einige prozessbedingte Nachteile auch noch heute als ungelöst benannt werden. Manche dieser Aspekte stehen im Widerspruch zu den zeitgemäßen Anforderungen an Sicherheit, Ressourceneinsatz und Nachhaltigkeit, die in den heutigen Tagen von immer zentralerer Bedeutung sind. Die wichtigsten dieser negativen Aspekte werden im Nachfolgenden detailliert beschrieben.

Zur Produktion von Duroplastprepregs haben sich nach dem Stand der Technik zwei Herstellungsverfahren durchgesetzt, die Lösungsmittelimpregnierung und die Schmelz-

harz imprägnierung [3]. Bei erstgenanntem Verfahren wird das vorgemischte Harz-Härtergemisch mit Lösungsmitteln versetzt, um so die Viskosität herunterzusetzen und somit eine vollständige Imprägnierung der Fasern zu vereinfachen. Die Fasern werden bei diesem Verfahren durch ein Tränkbad mit dem Harz-Härter-Lösungsmittelgemisch geführt und so imprägniert. Durch eine nachfolgende Trocknungsstrecke wird das Lösungsmittel verdampft und imprägnierte Fasern stehen als Halbzeug, zum Beispiel mit Folien getrennt, auf einer Rolle zur Verfügung. Das Verfahren ist dabei sowohl aufwändig als auch kostenintensiv. Die Verdampfung des Lösungsmittels ist energieintensiv, Lösungsmittelrückstände können die Bauteilqualität negativ beeinflussen und die Lösungsmittelreste sind unter Umweltgesichtspunkten kritisch.

Da alle Duroplastprepregs mit Harzsystemen getränkt sind, welche einer exothermen Reaktion unterliegen, erfolgt eine Abkühlung der Prepregs auf eine Lagerungstemperatur von rund -18°C [4]. Das Abkühlen führt zu einer stark verlangsamten Reaktion des Harz-Härtergemisches, wodurch erst die Lagerfähigkeit des Prepregs ermöglicht wird. Daher muss sowohl der Transport als auch die Lagerung des Materials bei konstant niedrigen Temperaturen erfolgen, um eine ungewünschte Aushärtung zu vermeiden. Da die Reaktion jedoch nicht vollständig gestoppt werden kann, unterliegen alle Prepregs einer begrenzten Lagerfähigkeit. Diese beträgt zwischen wenigen Monaten und einem Jahr bei luftdichter Lagerung und Temperaturen zwischen -40°C und -18°C [5]. Eine Unterbrechung der Kühlkette während der Lagerung ist dabei nicht vorgesehen und ein Wiedereinfrieren des Halbzeugs oft nicht gestattet. Diese Aspekte führen einerseits zu einem sehr hohen Energiebedarf zur Aufrechterhaltung der vorgeschriebenen Temperaturen und andererseits zu einem Unbrauchbarwerden von Halbzeugen durch Überlagerung oder durch nicht vollständige Nutzbarkeit und nichtzulässige Wiedereinfrierung von Restlängen bei der Herstellung von Bauteilen mit kleinen Stückzahlen.

Ferner ergibt sich aufgrund der anfallenden Zuschnittsreste ein weiteres Kosten- und Umweltproblem bei Verwendung klassischer Prepregs. Da Prepreghalbzeuge als Rollenware mit fester Breite verwendet werden, kann keine vollständige Materialausnutzung beim Zuschnitt der Einzellagen erreicht werden. Nach unterschiedlichen Schätzungen liegen die flächenbezogenen Abfallmengen trotz Schneidoptimierung bei 30 % bis 40 % [6]. Aufgrund der hohen Einkaufskosten für klassische Prepregs steigen somit auch die Bauteilkosten entsprechend an. Da die Zuschnittsreste bereits mit Harz imprägniert sind, ergibt sich ferner die Frage einer entsprechenden Weiterverarbeitung der Zuschnittsreste. Aufgrund der eingeschränkten Verarbeitungs- und Lagerzeiten kann ein Einsatz der Reste für anderweitige Bauteile meist nicht erfolgen und Zuschnittsreste müssen direkt entsorgt werden. Neben der Kostenfrage ergeben sich Probleme hinsicht-

lich einer ressourcensinnvollen Recyclierfähigkeit der Reste. Trotz einiger Entwicklungen diesbezüglich in der Vergangenheit [7, 8] handelt es sich hierbei meist um ein Downcycling und entstehende Produkte weisen deutlich schlechtere Eigenschaftsprofile als das Ausgangsmaterial auf. Somit erfolgt die Entsorgung meist noch immer durch Verbrennen oder durch Deponierung [9], was weder einer kostenschonenden noch ressourceneffektiven Entsorgung im Sinne der modernen Circular Economy entspricht.

Auch wenn Prepregs bereits von vielzähligen Herstellern angeboten werden, so zeigt sich aus Sicht der Autoren ein Mangel an individualisierbaren Prepregs hinsichtlich ihrer Form und Materialzusammensetzung. Gängige Herstellungsverfahren ermöglichen weder eine direkte Produktion von Prepregzuschnitten in Endkontur des zu erstellenden Bauteils, noch lassen sich individuelle Materialwünsche hinsichtlich eines bestimmten Harzsystems oder speziellen Textils ökonomisch sinnvoll herstellen. Erstere Problematik führt zu bereits imprägnierten Zuschnittsresten mit oben aufgeführten Nachteilen. Die zweitgenannte Problematik verhindert die Nutzung von Prepregs mitsamt ihren Vorteilen für Klein- und Mittelserien. Ebenso ist eine optimale Abstimmung spezieller Harz-Härter-Faser-Kombinationen für ein Bauteil mit klassischen Prepregs schlichtweg nicht umsetzbar, da nur auf wenige, am Markt verfügbare Prepregs zurückgegriffen werden kann und eine Individualisierung nicht vorgesehen ist.

Die Nachteile klassischer Prepregs können somit zusammengefasst werden zu:

- Problematische Herstellungsverfahren im ökologischen Sinn
- Starre Herstellungsverfahren mit wenig Materialvielfalt
- Kosten- und ressourcenaufwändige Lagerung
- Eingeschränkte Lagerfähigkeit
- Hoher Anteil an Zuschnittsresten
 - Kostenintensiv
 - Nicht ökonomisch und ökologisch sinnvoll recyclebar
- Individualisierbarkeit nicht gegeben

Werden alle hier aufgeführten Nachteile der klassischen Prepregtechnologie zusammengefasst, so zeigt sich, dass insgesamt ein erhebliches Verbesserungspotential vorliegt. Dabei müssen sowohl die herstellungsspezifischen negativen Aspekte, ein ressourcenschonender Materialeinsatz und die Steigerung der Recyclierfähigkeit berücksichtigt werden. Einige Aspekte lassen sich nur mit einem kompletten Umdenken in der gesamten Prozessstruktur anfassen.

1.3 Die Online-Prepregtechnologie und ihre spezifischen Vorteile

Ausgehend von den oben aufgeführten Nachteilen klassischer Prepregs, stellt sich zwingend die Frage einer sinnvollen Weiterentwicklung von Prepregs, was im Rahmen der Online-Prepregtechnologie erfolgt ist. Alle identifizierten Nachteile können durch diese neuartige Technologie aufgehoben werden, zusätzlich ermöglicht sie die einfache Integration der Prepregherstellung in bestehende Prozesse, sodass die Wertschöpfungskette entsprechend erhöht werden kann.

Vor der detaillierten Erläuterung der neuartigen Technologie im nachfolgenden Abschnitt, erfolgt hier eine kurze Darstellung der spezifischen Vorteile inklusive einer entsprechenden Erläuterung der Umsetzung.

1.3.1 Problematische Herstellungsverfahren

Klassische Prepregs werden mittels großindustrieller Herstellungsverfahren produziert, wobei die Komplexität meist so hoch ist, dass eine direkte Halbzeugherstellung in bestehenden Produktionsabläufen nicht sinnvoll umsetzbar ist. Weder die Herstellung von kleinen Materialmengen, noch die Einführung einer erweiterten Produktionstiefe für Klein- oder Mittelserien lassen sich daher in einer ökonomisch sinnvollen Weise mit klassischen Herstellungsverfahren realisieren. Die Online-Prepregtechnologie greift diese Problematik auf, indem einzelne Zuschnitte lagenweise mittels einer Kombination aus einem Mehrachsroboter und einer RTM-Injektionsanlage in Dickenrichtung imprägniert werden. Ein während des Herstellungsprozesses eines jedes Bauteils in-situ gemischtes Harzsystem wird dabei endkonturnah unter Applikation optimierter Auftragsdüsen auf jede Faserlage aufgetragen. Die Harzmenge pro Fläche kann dabei durch Anpassung der Verfahrensgeschwindigkeit des Roboters, der Harzfördermenge und des computergestützten Verfahrenswegs des Roboters zielgenau und präzise eingestellt werden. Die Mischgüte der Komponenten wird dabei über separate Volumenstrommesser ermittelt, wobei die Regelung über die Einstellung der fördernden Zahnradpumpen erfolgt. Die Komponenten treffen im Mischkopf aufeinander und werden dort mittels eines Rotationsmischers gemischt. Ansätze zur Online-Überwachung der Mischgüte werden aktuell ebenfalls integriert und in naher Zukunft untersucht. Die Kosten der Injektionsanlage und des Roboterarms liegen dabei deutlich unterhalb derer von Fertigungsanlagen für konventionelle Prepregs und eine kostensinnvolle Umsetzung kann auch bereits für Kleinserien erfolgen.

1.3.2 Starre Herstellungsverfahren/Individualisierbarkeit

Das neuartige Imprägnierungsverfahren, welches in der Online-Prepregtechnologie erfolgreich umgesetzt wurde, bietet, in Kombination mit dem automatisierten Zuschnitt

von trockenen Textilien, ein hoch individualisierbares und flexibles Herstellungsverfahren. Alle gängigen textilen Halbzeuge, von Gelegen mit geringen Flächengewichten bis hin zu multiaxialen Gewebekonstruktionen, können als Rollenware auf der Anlage verarbeitet werden. Das Textil wird dabei automatisch in die Anlage eingezogen, im vortrockneten Zustand zugeschnitten und anschließend mittels eines Roboters imprägniert. Dieser Aufbau ermöglicht dabei ein flexibles Herstellungsverfahren mit dem eine Vielzahl an Kombinationsmöglichkeiten unterschiedlicher Materialien verarbeitet werden können. Die Kernaspekte liegen dabei in der Wahl von:

- Beliebiger Textilienwahl auch bei Kleinstmengen
- Verwendung von herkömmlichen Harzsystemen und schneller Wechsel zwischen unterschiedlichen Aufträgen
- Fasermaterialwechsel auch während des Prozesses möglich, was die Vielfältigkeit an Bauteilaufbauten und erhöht

1.3.3 Kosten- und ressourcenaufwändige Lagerung/Eingeschränkte Lagerfähigkeit

Da die Online-Prepregs während der Bauteilherstellung lagenweise in-situ produziert werden, ist eine Lagerung nicht notwendig und alle Kosten und Ressourceneinsätze, wie sie bei konventionellen Prepregs entstehen, entfallen gänzlich. Insbesondere hinsichtlich der Lagerung bei Temperaturen zwischen -40°C und -18°C kann somit ein erheblicher Kosten- und Umweltschönungsvorteil realisiert werden. Ebenso besteht keine Gefahr einer Überlagerung der Prepregs, da diese im Prozess direkt weiterverarbeitet werden.

1.3.4 Hoher Anteil an Zuschnittsresten

Zuschnittsreste, welche bei der konventionellen Verarbeitung von Prepregs entstehen, lassen sich in aller Regel nicht oder nur ansatzweise verwerten, da die Textilien bereits mit einem Harzsystem durchtränkt sind. Die Online-Prepregstechnologie ermöglicht hier bessere Ansätze zur sinnvollen Verwertung von Zuschnittsresten. Bereits durch das vollständig automatisierte Nesting der einzelnen Lagen, kann der Anteil an Zuschnittsresten reduziert werden und das Textil optimal ausgenutzt werden. Die Textilien werden für jedes herzustellende Bauteil lagenweise zugeschnitten, von den trockenen Zuschnittsresten getrennt und anschließend wird das Harzsystem präzise aufgetragen. Bei allen anfallenden Zuschnittsreste handelt es sich somit um unimprägnierte Textilien. Größere Zuschnittsreste werden entsprechend entnommen und können zeitlich unbegrenzt zwischengelagert werden und für den Zuschnitt kleinerer Bauteile verwendet werden. Flächenmäßig kleinere Zuschnittsreste werden gesammelt und können vereinfacht einem passenden Recyclingkonzept zugeführt werden. Beispielsweise der Zuführung als Lang- oder Kurzfasern für Spritzgussbauteile, der Herstellung von Fließ oder

nach Faserausrichtung zur Produktion von Organoblechen oder UD-Tapes. Ein entsprechendes Verfahren zur Herstellung von Organofolien ist bereits am Institut für Polymerwerkstoffe und Kunststofftechnik in Kooperation mit dem Faserinstitut Bremen e.V. entwickelt [10, 11] und die Prozesskette ist schematisch in Abbildung 1 dargestellt.

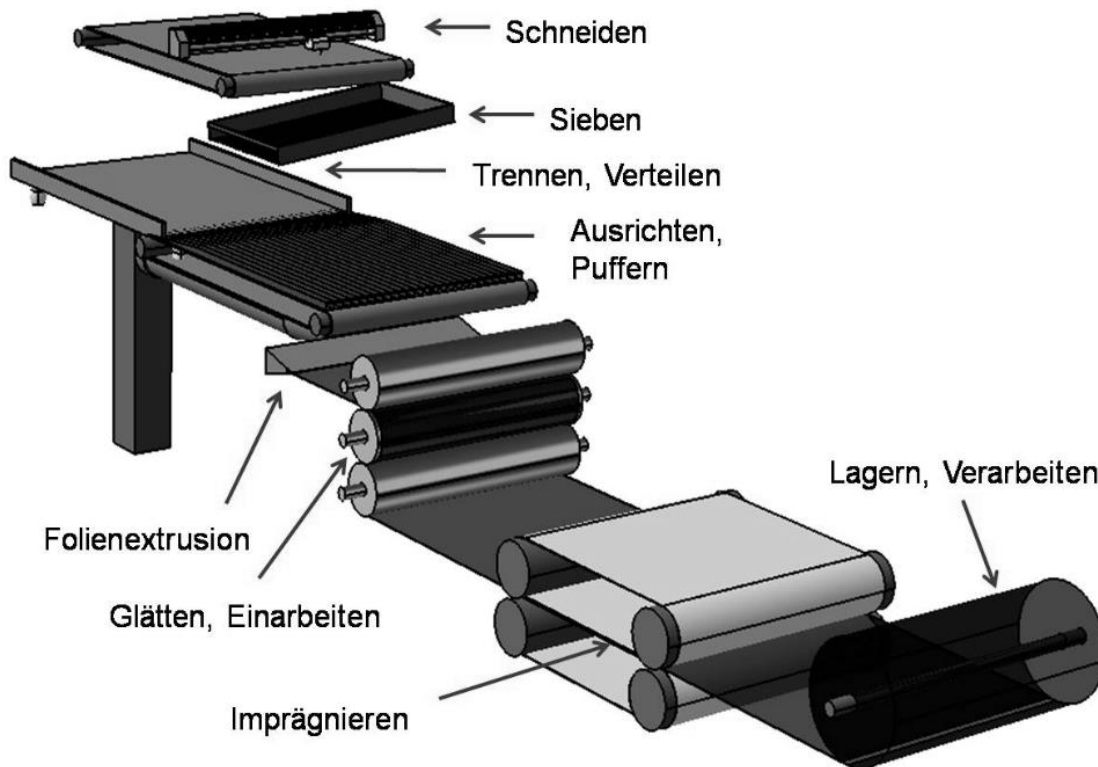


Abb. 1: Prozesskette zur Herstellung von Organofolien [10]

1.3.5 Zusammenfassung der Vorteile

Durch die Online-Prepregtechnologie können die gängigsten Probleme klassischer Prepregs behoben werden und der Ressourcenbedarf erheblich reduziert werden. Eine Lagerung der Prepregs bei niedrigen Temperaturen entfällt, was die Bauteilkosten entsprechend senkt. Da es sich bei den Zuschnittsresten um unimprägnierte Textilien handelt, können diese verwertet werden und die kritische Entsorgung, wie bei konventionellen Prepregs, entfällt. Der Prozess bietet dabei einen hohen Grad an Individualisierbarkeit und nahezu beliebige Kombinationen von Textilien und Harzsystemen lassen sich mit dieser Technologie umsetzen.

2 Die Online-Prepregtechnologie

Die Funktionsweise der Online-Prepregtechnologie wird nachfolgend entlang der Prozesskette, beginnend beim trockenen Textil bis zum fertigen Bauteil, schrittweise erläutert. Die Unterteilung erfolgt dabei anhand der einzelnen Stationen. Die Hauptstationen sind dabei das Materiallager, der Zuschnitt, die Trocknung, die Imprägnierung und das B-staging. Abbildung 2 illustriert den Aufbau der Anlage mit ihren einzelnen Stationen sowohl schematisch, als auch mit Bildern vom bereits aufgebauten Prototypen.

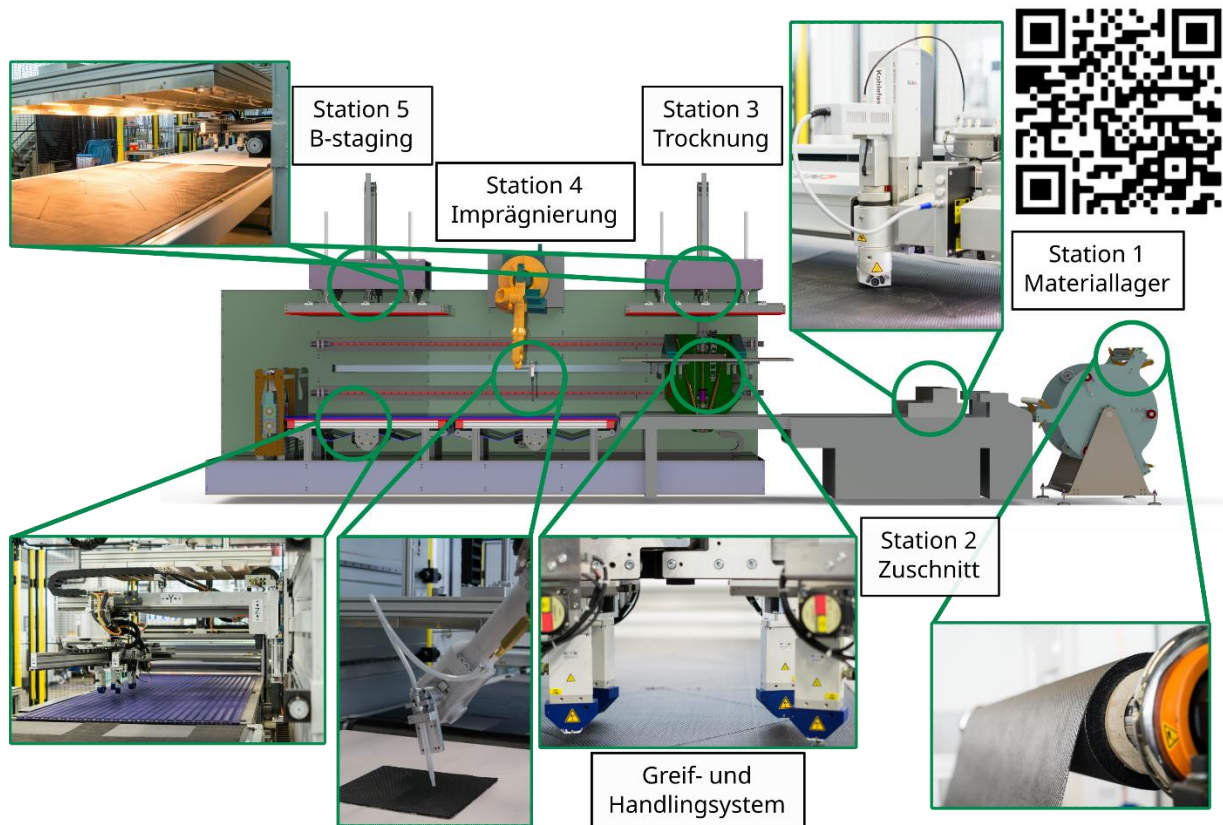


Abb. 2: Übersicht der Online-Prepreganlage mit den wichtigsten Stationen

2.1 Das Materiallager

Die zu verarbeitenden Textilien werden als Rollenware auf einen angetriebenen Dorn aufgezogen. Das Material wird dabei unter leichter Vorspannung in die Maschine eingezogen und automatisch nachgeführt. Der Dorn wird dabei aktiv angetrieben und ist mit der Einzugsgeschwindigkeit in die Anlage synchronisiert, somit ist ein verzugsfreier Einzug der Textilien möglich. Mehrere Textilien können dabei auf der Anlage vorbereitet werden und mittels Schnellspanner kann ein Materialwechsel während des Prozesses erfolgen. Folglich sind Bauteile aus unterschiedlichen Textilien je Lage herstellbar und die Einführung lokaler Verstärkungen, beziehungsweise lastenoptimierter Bereiche unterschiedlicher Elastizität und Duktilität umsetzbar.

2.2 *Der Zuschnitt*

Das eingezogene Material wird auf einem Cutter verarbeitet und die Einzellagen des herzustellenden Bauteils aus dem Textil ausgeschnitten. Der Schnitt erfolgt mittels eines angetriebenen Rotationsmessers mit einer Drehzahl von bis zu 16000 U/min, wobei die Drehzahl stufenweise eingestellt werden kann. Somit können alle gängigen Fasertypen von Glasfasern bis hin zu Aramidfasern materialgerecht verarbeitet werden. Die Einzellagen werden zwecks optimaler Materialausnutzung auf dem verfügbaren Textil verteilt, verschachtelt und entsprechend ausgeschnitten, wobei die Griff- und Ablagereihenfolge stets beachtet wird.

2.3 *Die Textiltrocknung*

Da einige Textilien, beispielsweise Aramidfasern, Naturfasern und die Schlichte von Glasfasern, zur Feuchtigkeitsaufnahme neigen, können die Zuschnitte optional vor der weiteren Verarbeitung getrocknet werden. Dazu wird ein IR-Strahlerfeld automatisch über dem Textil platziert. Als Prozessparameter stehen der Abstand zwischen dem Textil und den IR-Strahlern, die gewünschte Trocknungstemperatur, die Haltedauer und die maximale Leistung der Strahler zur Verfügung. Dadurch können sowohl schnelle Heizrampen mit mehreren Kelvin pro Sekunde, als auch langsamere, materialschonendere Heizrampen gefahren werden. Die Temperatur der Textilien wird permanent mittels einer Wärmebildkamera flächig erfasst und die Strahlerleistung entsprechend der gewünschten Zieltemperatur geregelt.

2.4 *Das Greif- und Handlingsystem*

Die Imprägnierung der Zuschnitte erfolgt auf einem vom Zuschnitt getrennten Förderband. Für den Transport der Zuschnitte und somit dem lagenweisen Aufbau des Bauteils, verfügt die Anlage über ein komplexes Greif- und Handlingsystem. Vier Nadelgreifer, welche auf zwei Achsen befestigt sind, stellen den Kern dieses Systems dar. Der Winkel zwischen den Achsen ist im Bereich von 0° bis 90° einstellbar und die Nadelgreifer frei auf den Achsen linearer verfahrbar. Somit lassen Zuschnitte verschiedenster Größen flexibel aufnehmen. Die kleinsten zu bewegendenden Zuschnitte müssen dabei eine Kantenlänge von rund 200 mm aufweisen, wohingegen die größten Zuschnitte eine maximale Kantenlänge von 1300 mm nicht überschreiten dürfen. Damit einzelne Zuschnitte rotiert werden können und somit rotationsvariable Lagenaufbauten realisiert werden können, verfügt die Greifeinheit über zwei lineare Freiheitsgrade und einen rotatorischen Freiheitsgrad. Mehrere Einzellagen können somit übereinandergestapelt

werden, wobei Verschiebungen in der Ebene möglich sind und Lagenaufbauten von -90° bis $+90^\circ$ umsetzbar sind.

2.5 *Die Imprägnierung*

Mittels einer Kombination aus einer RTM-Mischanlage und einem Mehrachsroboterarm erfolgt eine in-situ Imprägnierung der Einzellagen. Eine Auftragsdüse wird dazu senkrecht zur Textilebene über den Zuschnitt geführt und entsprechend eines vorgegebenen Verfahrensweges mit konstanter Geschwindigkeit bewegt. Das Harzsystem kann somit präzise auf dem Zuschnitt verteilt werden. Durch Wahl der Verfahrensgeschwindigkeit des Roboters, der Förderleistung der Injektionsanlage und der Geometrie des Verfahrensweges kann die Imprägnierung gesteuert werden. Nach Platzierung einer Einzellage erfolgt die Imprägnierung dieser Lage, anschließend wird die kommende Einzellage auf dem Stackup platziert und imprägniert. Jede Lage kann dabei mit individuellen Imprägnierparametern verarbeitet werden, was die Flexibilität des Prozesses erhöht.

In Bezug auf das Harzsystem werden für gewöhnlich Zweikomponentensysteme verwendet, wobei der Viskositätsbereich der Harz-Komponente zwischen 200 mPas bis 12000 mPas und der Bereich der Härter-Komponente zwischen 10 mPas und 1500 mPas liegen sollte. Gängige Epoxidharzsysteme lassen sich somit auf der Anlage problemfrei einsetzen und verarbeiten. Die Erwärmung der Einzelkomponenten kann separat bis 80°C erfolgen, um ein gewünschtes Viskositätsprofil einzustellen. Beide Komponenten können frei im Verhältnis zueinander gemischt und verarbeitet werden, was den Einsatzbereich weiter vergrößert.

2.6 *Das B-staging*

Vor einer weiteren Verarbeitung des imprägnierten Stackups kann eine zweite Heizstation verwendet werden, um beispielsweise das Harzsystem zu aktivieren oder einen gewünschten Vernetzungsgrad einzustellen. Die Anlage verfügt dazu über ein weiteres IR-Strahlerfeld, vergleichbar zur Trocknungsstation der Textilien. Auch hier kann sowohl der Abstand zwischen den Strahlern und dem Bauteil, als auch die gewünschte Temperatur und eine Haltedauer eingestellt werden. Die Temperatur des Bauteils wird ebenfalls mittels einer Wärmebildkamera erfasst und die Leistung der Heizstrahler entsprechend geregelt.

3 Zusammenfassung

Mit Hilfe der neuartigen Online-Prepregtechnologie kann ein Meilenstein der Prepregherstellung gesetzt werden. Sowohl hinsichtlich der Kosten als auch der Umweltverträglichkeit und des Ressourceneinsatzes können die Grenzen mit dieser innovativen Technologie verschoben werden und die Herstellung von Prepregs revolutioniert werden. Der Prozess ist dabei flexibler hinsichtlich der verwendbaren Materialien und derer Kombinationen, verglichen zu konventionellen Herstellungsverfahren. Auch ist die Produktion von Kleinstmengen kostengünstig möglich und bietet somit einen weiteren Vorteil verglichen zu bestehenden Verfahren. Das Gesamtkonzept ist dabei so ausgelegt, dass es einfach in bestehende Prozesse integriert werden kann und die maximale Flexibilität hinsichtlich der herstellbaren Bauteile ermöglicht.

Literatur

- [1] Fette, M.: Die Airbus A350-XWB-Familie im Überblick. Sonderprojekte ATZ/MTZ , Vol. 24, No. S2 Springer Science and Business Media LLC, S. 40-41. 2019.
- [2] Lengsfeld, H.; Lacalle, J.; Neumeyer, T.; Altstädt, V.: Composite Technology: Prepregs and Monolithic Part Fabrication Technologies. Carl Hanser Verlag GmbH & Company KG. 2021.
- [3] A.V.K. Industrievereinigung Verstärkte Kunststoffe e.V.: Handbuch Faserverbundkunststoffe/Composites. Westdeutscher Verlag GmbH. 2013.
- [4] Lengsfeld, H.; Wolff-Fabris, F.; Krämer, J.; Lacalle, J.; Altstädt, V.: Faserverbundwerkstoffe - Prepregs und ihre Verarbeitung. Carl Hanser Verlag GmbH & Company KG. 2015.
- [5] Amare, C.; Mantaux, O.; Gillet, A.; Pedros, M.; Lacoste, E.: Innovative test methodology for shelf life extension of carbon fibre prepregs. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Vol. 1226, No. 1. 2022.
- [6] Pannkoke, K.; Oethe, M.; Busse, J.: Efficient prepreg recycling at low temperatures. Cryogenics, Vol. 38, No. 1, S. 155-159. 1998.
- [7] Oliveux, G.; Dandy, L. O.; Leeke, G. A.: Current status of recycling of fibre reinforced polymers: Review of technologies, reuse and resulting properties. Progress in Materials Science, Vol. 72 Elsevier BV, S. 61-99. 2015.
- [8] Witte, T.: Entwicklung eines Verfahrens zur Weiterverwertung von Produktionsverschnitt aus unausgehärtetem Epoxidharz-Prepreg. Logos Verlag Berlin. 2022.

- [9] Wu, M. S.; Centea, T.; Nutt, S. R.: Compression molding of reused in-process waste – effects of material and process factors. *Advanced Manufacturing: Polymer & Composites Science*, Vol. 4, No. 1, S. 1-12. 2018.
- [10] Niemeyer, S.; Dommers, H.: Organofolien auf Basis rezyklierter Kohlenstofffasern (Organofolien): 2008 - 2010. Abschlussbericht. 2010.
- [11] Ziegmann, G.; Niemeyer, S.; Dommers, H.: Organofolien – ein hochwertiges Recyclingprodukt aus textilen Kohlenstofffaserabfällen. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Goldmann, D. (Hrsg.). *Recycling und Rohstoffe*, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 393-398.

Autorenanschriften

Dr.-Ing. Lars Thorsten Hefft

Technische Universität Clausthal

Institut für Polymerwerkstoffe und Kunststofftechnik

Agricolastraße 6

38678 Clausthal-Zellerfeld

Telefon: 05323-723368

E-Mail: Lars.Hefft@tu-clausthal.de