

SCHÄDIGUNGSARME VERARBEITUNG VON RECYCELTEN CARBONFASERN

Für die schonende Verarbeitung von recycelten Carbonfasern (rCF) im Fadenbildungsprozess wurde ein industrietaugliches Beschichtungsverfahren zur Erzielung einer definierten Oberflächenprofilierung von Streckwerkswalzen entwickelt und industriell erprobt. Darauf aufbauend werden Technologien, insbesondere die Verstrecktechnologie im Streckwerk, mit hoher Prozessstabilität zu hochwertigen Faserstrukturen (Faserband, Garn, Tape und Verbundwerkstoffe) für technische Anwendungen realisiert.



Im Kontext des von der Europäischen Union initiierten Programms zur Förderung der Kreislaufwirtschaft rückt die Entwicklung effizienter Recyclingmethoden für carbonfaserverstärkte Kunststoffe (CFK) im kommerziellen und industriellen Masstab in den Fokus der Forschung. Die heutige Herstellung von Vliesstoffen und Spritzgusswerkstoffen aus recycelten Fasern konnte nur mit zufälliger Faserorientierung durchgeführt werden. Diese Ansätze führten aufgrund starker Faserverkürzungen und geringer Faserorientierungsgrade zu deutlich reduzierten mechanischen Eigenschaften der Verbundwerkstoffe im Vergleich zu solchen auf Basis von primären Carbonfilamentgarnen. Im Vergleich zu Vliesstoffbildungs- und Spritzgussverfahren bietet das Verspinnen von rCF zu Garnkonstruktionen ein erhebliches Potenzial für deutlich verbesserte Kennwerte. Die auf der Garnstruktur mit erhöhter Faserorientierung basierenden Verbundwerkstoffe können nun für qualitativ höherwertige Produkte verarbeitet werden.

Herausforderungen

Die Garnherstellung selbst beinhaltet kritische Verzugsprozesse in den Streckwerken der Strecke sowie in den



MATTHIAS OVERBERG

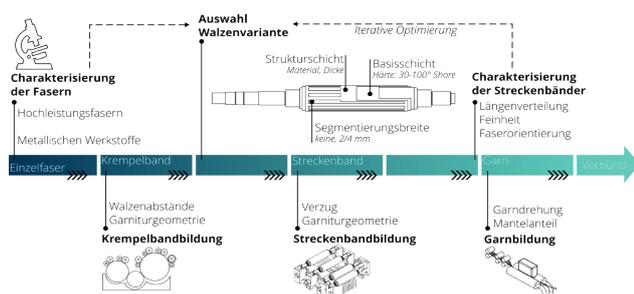
wissenschaftlicher Mitarbeiter
am ITM,
Technische Universität Dresden
matthias.overberg@tu-dresden.de



KARL MÜLL

Geschäftsführer
Topocrom Systems AG
k.muell@topocrom.com

Abb. 1: Schematische Darstellung der Integration beschichteter Streckwerkswalzen in den am ITM entwickelten Verarbeitungsprozess für recycelte Carbonfasern.



Spinn- und Tapeherstellungs-Maschinen. Da konventionelle Streckwerke in erster Linie für die Verarbeitung von Naturfasern und traditionellen Chemiefasern und nicht für die querkraftempfindlichen rCF entwickelt wurden, ergeben sich erhebliche Herausforderungen. Dazu gehören unkontrollierte Faserschädigungen während des Streckprozesses und daraus resultierende Variationen in der Faserlängenverteilung, die zu undefinierten Haft-Gleit-Mechanismen der Hochleistungsfasern zwischen den Walzen führen. Diese Probleme führen zu erheblichen Störungen im Verzugspro-

zess und resultieren in inhomogenen Faserband-, Garn- und Verbundstrukturen. Um diesen Herausforderungen zu begegnen und die Prozessstabilität, Produktivität sowie die Qualität der Endprodukte zu optimieren, hat das Institut für Textilmaschinen und Textile Hochleistungswerkstofftechnik (ITM) der Technischen Universität Dresden in Zusammenarbeit mit der Topocrom GmbH die Entwicklung eines innovativen Walzensystems vorangetrieben (Abb. 1).

Bewegungsverlauf im Verzugsprozess

Die Bewegung der Fasern im Verzugsfeld steht in direktem Zusammenhang mit den auf die Fasern wirkenden Kräften. Die Umfangsgeschwindigkeit der Walzenpaare im Streckwerk in Verbindung mit dem angelegten Anpressdruck und dem Reibungskoeffizienten der Walzenoberflächen sind die primären Variablen im Verzugsprozess. Der Reibungskoeffizient ist eine Funktion der Oberflächenbeschaffenheit, des Materials der Walzenoberflächen und der Größe der Kontaktfläche zwischen Faser und Walze. Um eine optimale Faserorientierung im Faserband zu gewährleisten und gleichzeitig Fehlverzüge und Wickelbildungen zu vermeiden, wurden Walzensysteme entwickelt, die sich durch eine auf die spezifischen Eigenschaften der Carbonfasern abgestimmte Beschichtung und Elastizität der Walzen auszeichnen (Abb. 2). Dieses System ermöglicht eine Anpassung der Oberflächenelastizität und -profilierung an die materialspezifischen Anforderungen.

Beschichtungsverfahren für die Streckwerkwalzen

Die Applikation spezifischer Beschichtungen auf Walzensysteme erfolgt durch ein Verfahren, das die Auftragung einer Basisschicht, einer Strukturschicht sowie einer abschliessenden Deckschicht umfasst. Diese Schichten, die durch halbkugelförmige Strukturelemente gekennzeichnet sind, ermöglichen Variationen in der Härte und wahlweise

Abb. 2: Exemplarische Darstellung einer Streckwerkwalze mit detailliertem Aufbau und den variierbaren Parametern.

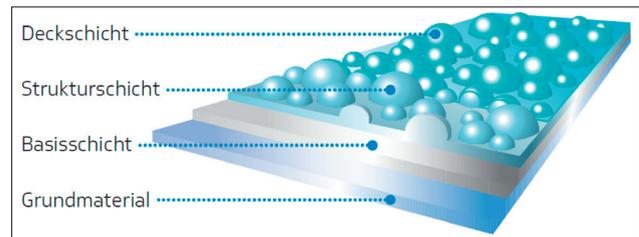
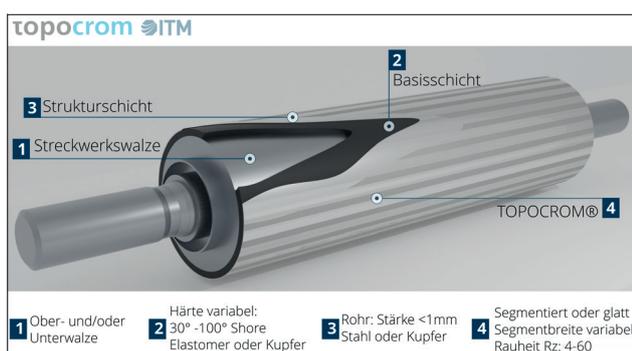


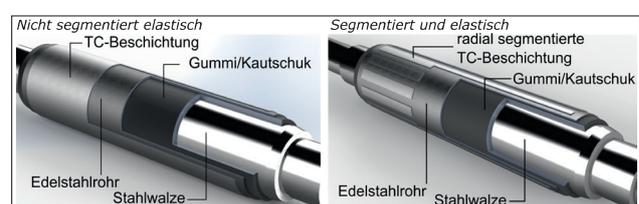
Abb. 3: Struktureller, lagenweiser Aufbau der Topocrom-Schichtstruktur.

offene oder geschlossene Strukturen (Abb. 3). Der Beschichtungsprozess findet in einem geschlossenen Reaktor mit kontinuierlicher Rotation des Werkstücks statt. Dieses Verfahren ermöglicht die Herstellung der Schichten in einem kontinuierlichen Arbeitsgang, wodurch eine exakte Reproduzierbarkeit des gewünschten Schichtaufbaus gewährleistet ist. Darüber hinaus zeichnet sich das Verfahren durch seine Umweltverträglichkeit aus, die durch das geschlossene System den aktuellen ökologischen Anforderungen entspricht. Die Verfahrenstechnik erlaubt eine gezielte Definition der Schichtdicken, der Oberflächenrauheit sowie der Profilierung in Abhängigkeit von den spezifischen Materialeigenschaften.

Segmentierung der Streckwerkwalzen

Es wurde ein neues Verfahren entwickelt, das die axiale Segmentierung von Walzenoberflächen ermöglicht, um die Verzugsstörung und die Wickelbildung zu reduzieren (Abb. 4). Diese Technik basiert auf einer segmentierten Profilierung der Walzenoberfläche, wobei gezielt Bereiche ohne Beschichtung vorgesehen werden, um die Adhäsion zwischen der Walzenoberfläche und den Fasern zu minimieren. Dadurch wird das Anhaften der Fasern an der Walze und somit die Bildung von Walzenwicklungen wirksam verhindert. Um diese Segmentierung zu erreichen, wird ein spezielles Verfahren angewendet: Vor dem Beschichtungsprozess werden ausgewählte Bereiche mit speziellen Masken abgedeckt, die durch Abschirmung der nicht zu beschichtenden Teile der Walzenoberfläche die definierten

Abb. 4: Exemplarische Darstellung der entwickelten Streckwerkwalzen mit detailliertem Aufbau in zwei Varianten: nicht-segmentiert elastisch und segmentiert elastisch.



Segmente bilden. Nach dem Beschichtungsprozess entstehen auf den freigelegten Flächen beschichtete Bereiche, während die durch die Spezialmasken geschützten Bereiche unbeschichtet bleiben und die Topologie des Grundmaterials beibehalten.

Durch die gezielte Einstellung der Elastizität und die segmentierte Profilierung der Walzenoberflächen kann die Haftung zwischen den Streckwerkswalzen und den Fasern genau eingestellt werden. Dies führt zu einem optimierten Verzugsprozess, der die Ungleichmässigkeiten in der Faserstruktur und die Faserschädigung deutlich reduziert und die Bildung von Walzenwicklungen verhindert. Zusätzlich werden überlange Fasern, die zwischen den Walzen eingeklemmt sind, durch einen definierten Gleitmechanismus geführt und nicht zwangsweise zerrissen, was die Faserschädigung weiter reduziert.

Analyseverfahren zur Ermittlung des Bewegungsverlaufs der Fasern

Um das Verzugsverhalten und die Walzenwickelbildung sowie die sichere Faserführung in den Verzugsfeldern im Verzugsprozess zu ermitteln, wurde eine neuartige Analyse unter Verwendung eines neu entwickelten Messaufbaus und eines eigens dafür entwickelten Algorithmus durchgeführt. Diese Analyse basierte auf optischer Bewegungsmessung mittels Industriekameras aufgenommener Videodaten im Verzugsbereich der Strecke. Die Notwendigkeit von Referenzmarkern ergab sich aufgrund der spezifischen Oberflächeneigenschaften der rCF-, die ungleichmässige Reflexionen verursachen und somit die kontinuierliche Erfassung der Fasern erschweren. Aus diesem Grund wurden optische Referenzmarker zu Beginn des Versuchs auf das Faserband aufgebracht. Im Anschluss konnten die aufgebrauchten Marker mithilfe des entwickelten Algorithmus erkannt werden. Der Verlauf der Fasern wurde indirekt anhand der Bewegung der Marker beschrieben und sowohl visuell dargestellt als auch zahlentechnisch ausgewertet. Unter Variation der Oberflächenprofilierung und der Elastizität der beschichteten Walzen konnten Feldweite und Belastungsdruck umfassend untersucht und analysiert werden. Daraus konnten spezifische Vorzugsparameter für die neue Walzenoberfläche ermittelt werden.

Ergebnisse

Durch die implementierten Anpassungen der Streckwerkswalzen (Abb. 5) konnte eine signifikante Minimierung von Faserschäden sowie eine effektive Eliminierung von Wickel- und Verzugsstörungen erreicht werden. Die Analyse des Bewegungsverlaufs zeigt, dass die elastischen, segmentier-

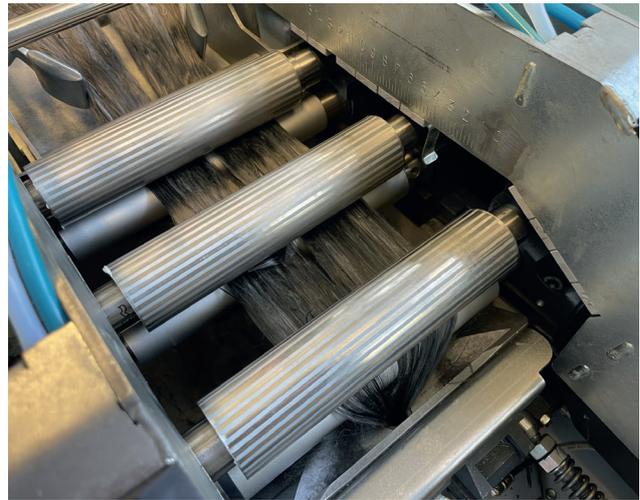


Abb. 5: Darstellung von in das Streckwerk integrierten, beschichteten Streckwerkswalzen mit elastischer Basischicht und segmentierter Oberfläche, verwendet bei der Verarbeitung eines hybriden Krempelbands aus recycelten Carbonfasern und thermoplastischen Fasern.

ten Walzen im Vergleich zu den unbeschichteten Varianten einen gleichmässigeren Geschwindigkeitsverlauf im Verzugsfeld sowohl in Faserlängs- als auch in Faserquerrichtung aufweisen. Dies zeigt eine gleichmässige Ver Streckung der Fasern. Daraus resultieren Faserbänder mit reduzierten Feinheitsschwankungen, einer erhöhten Faserorientierung im Band sowie einer Erhöhung der mittleren Faserlänge. Die Zugfestigkeit der aus diesen Faserbändern hergestellten Verbundwerkstoffe zeigt eine Verbesserung der Festigkeit, was auf die reduzierte Faserschädigung und die erhöhte Gleichmässigkeit des Faserbandes zurückgeführt werden kann. Die reduzierte Faserschädigung ist das Ergebnis einer erhöhten elastischen Verformung der Walzenoberflächen, die zu einer Vergrösserung der Kontaktfläche mit den Fasern führt. Dadurch verteilen sich die einwirkenden Kräfte auf eine grössere Fläche, wodurch lokale Belastungsspitzen an den Fasern reduziert werden. Dies begünstigt auch eine bessere Verzahnung der Fasern, wodurch die tangentialen Rotationskräfte effizienter auf die Fasern übertragen werden.

Zusammenfassend konnte im Ergebnis der Projektarbeit mit der Entwicklung von Beschichtungen für Streckwerkswalzen die Verarbeitung von recycelten Carbonfasern (rCF) zu hochleistungsfähigeren Faserbändern erfolgreich realisiert werden. Dies ist ein signifikanter Beitrag zu einer effizienten Kreislaufwirtschaft. ■