

Modifikation der Festigkeit von Faserseilen aus ultra-hochmolekularem Polyethylen mittels Thermofixieren

Bitte Kurzzusammenfassung als Einleitung einfügen – Bitte Kurzzusammenfassung als Einleitung einfügen – Bitte Kurzzusammenfassung als Einleitung einfügen – Bitte Kurzzusammenfassung als Einleitung einfügen – Bitte Kurzzusammenfassung als Einleitung einfügen – Bitte Kurzzusammenfassung als Einleitung einfügen

Jens Mammitzsch, Andreas Felber

Technische Universität Chemnitz, Stiftungsprofessur Technische Textilien – Textile Maschinenelemente (InnoZug), Chemnitz

Thermofixieren ist ein bekannter Arbeitsgang in der Prozesskette der modernen Faserseilherstellung, der vorrangig zum Erhöhen der Festigkeit bei gleichzeitiger Reduzierung der Betriebsdehnung bei Faserseilen für technische Anwendungen (z.B. Windenseile, Schleppseile) angewendet wird. Obwohl viele Seilhersteller dieses Verfahren anwenden, gibt es kaum belastbare Daten, die die Parameter für optimales Thermofixieren hinsichtlich maximaler Festigkeitszuwächse beschreiben.

Beim Thermofixieren werden die Seile mit einer Zugkraft (Thermofixierlast) beaufschlagt und dann auf eine optimale Temperatur aufgeheizt, wobei die Last für eine bestimmte Zeitspanne konstant gehalten wird. Anschließend werden die Seile wieder unter eine kritische Temperatur abgekühlt, bevor sie entlastet werden. Temperatur, Thermofixierlast und Haltedauer gelten als relevante Parame-

ter zum Erzielen optimaler Ergebnisse.

Da die optimalen Parameter nicht für alle Fasern bekannt sind, wurden an der Stiftungsprofessur Technische Textilien – Textile Maschinenelemente, Chemnitz, Untersuchungen zur Ermittlung der optimalen Thermofixierparameter durchgeführt.

Thermofixieranlage

Die Thermofixierversuche wurden an einem RopeLiner I (Abb. 1) der Mageba Textilmaschinen GmbH & Co. KG, Bernkastel-Kues, durchgeführt. Diese Anlage ist eine für den Labor- und Kleinserienbetrieb abgewandelte Spezialanfertigung.

Die Anlage ist für die Veredlung von Faserseilen bis zu einem Seildurchmesser von 20 mm geeignet. Zum Thermofixieren werden die Seile zwischen einem Halte- und einem Reckwerk auf die vorgegebene Kraft vorge-spannt. Zwischen Halte- und Reckwerk befindet sich eine Heizzone, im Anschluss an das Reckwerk eine entsprechende Kühlzone. Die Thermofixierkraft wird während des Betriebs über eine Kraftmessdose permanent überwacht und konstant gehalten.

Die in der Maschine ebenfalls vorhandenen Einrichtungen zum Beschichten und Trocknen von Faserseilen wurden für die Versuche umgangen.

Seilmuster

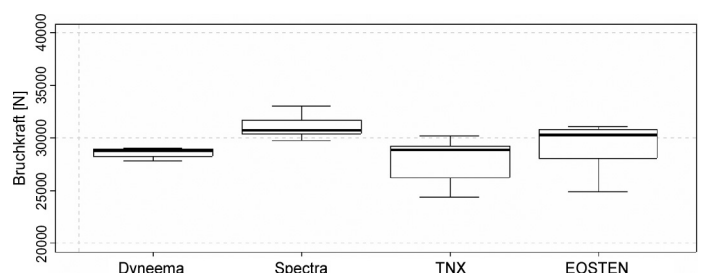
Die Thermofixierparameter für Seile aus der ultrahochmolekularen Polyethylenfaser Dyneema SK75 der DSM Dyneema BV, Urmond/Holland, wurden bereits ausgiebig untersucht, weshalb ausreichend Literatur zu diesem Werkstoff vorhanden ist (vgl. [1, 2]). Auf Basis der bekannten Daten wurde ein Vergleich zwischen der genannten Dyneema SK75-Faser und den am Markt ebenfalls verfügbaren ultrahochmolekularen Polyethylenfasern Spectra S1000 (Honeywell International, USA), Eosten FT093 (EOS 3 s.r.l., Mailand/Italien) und TNX (unbekannter Hersteller, China) durchgeführt, um zu untersuchen, ob die für Dyneema SK75 bekannten Daten auch für andere ultrahochmolekulare Polyethylenfasern Anwendung finden können oder ob andere Thermofixierparameter zu einer höheren Festigkeitssteigerung führen. Aus den genannten Fasern wurden Seile mit einer identischen Seilkonstruktion gefertigt, um Einflüsse durch die Machart ausschließen zu können. Zur Herstellung der Seile wurden 7 Garne mit einer Zwirnrate von 25/m zu Litzen gezwirnt, je 6 in S- und 6 in Z-Richtung. Aus diesen Litzen wurden 12-litzige Faserseile mit einem Nenndurchmesser von 6 mm geflochten.

Unmittelbar nach dem Flechten wurde die Bruchkraft der Seile nach DIN EN ISO 2307 bestimmt. Die Ergebnisse der Zugversuche sind in Abb. 2 dargestellt. Die Bruchkräfte der



Abb. 1
Thermofixieranlage an der TU Chemnitz

Abb. 2
Bruchkraft der Faserseile vor dem Thermofixieren



Seile auf einem vergleichbaren Level, jedoch zeigen die Fasern TNX und Eosten eine deutlich größere Streuung der Werte, als das bei den anderen Fasern der Fall ist. Die Fasern aus Dyneema SK75 zeigen die niedrigste Streuung der Werte.

Um sicherzustellen, dass die Schwankungen in den Werten der Bruchkräfte nicht durch die Seilfertigung entstanden sind, wurden die Garne im Lieferzustand auf ihre Bruchkraft untersucht. Dabei wurde festgestellt, dass sich die Verteilung der Bruchkräfte der Garne exakt so verhielt, wie die der Seile. Damit konnten Schwankungen in der Fertigungsqualität ausgeschlossen werden.

Zum Thermofixieren wurden für jeden Fasertyp Seilmuster mit einer Länge von 25 m entnommen und unter verschiedenen Temperaturen thermofixiert.

Thermofixierparameter und Ergebnisse

Um geeignete Thermofixierparameter zu entwickeln, wurden folgende Fakten berücksichtigt:

Eine Haltezeit von 3 Minuten nach dem vollständigen Durchwärmen des Seils führt zu optimalen Ergebnissen [1, 2]. Wie aus Laborversuchen ermittelt wurde, beträgt die Aufheizzeit eines geflochtenen Faserseiles, mit

einem Nenndurchmesser von 6 mm und einer vergleichbaren Konstruktion, auf eine Temperatur von 140 °C inklusive vollständigem Durchwärmen ca. 2 Minuten. Das bedeutet, dass das Seil insgesamt für 5 Minuten in der Heizzone verweilen muss. Bei einem Wareninhalt von 12,5 m in der Heizzone ergibt sich eine Maschinengeschwindigkeit von 2,5 m/min. Aus der Literatur ist weiterhin bekannt, dass die optimale Fixierspannung zum Erreichen einer maximalen Festigkeitssteigerung für Dyneema SK75 bei 12 % der Bruchspannung liegt [1, 2]. Da alle untersuchten Fasern aus ultrahochmolekularem Polyethylen bestehen, wurden alle Seile bei 12 % der jeweiligen Bruchkraft thermofixiert. Die Thermofixiertemperaturen wurden zwischen 130 °C und 150 °C variiert. Nach dem Thermofixieren wurden die Bruchkräfte nach DIN EN ISO 2307 sowie die längenspezifische Masse der Seile bestimmt, um eine spezifische Festigkeit in N/(g/m) zu ermitteln, da die Seile nach dem Thermofixierprozess einen geringeren Querschnitt aufwiesen.

Dyneema SK75

Die Werte der erzielten spezifischen Festigkeit für die Seile aus Dyneema SK75 sind in Abb. 3 dargestellt. Es ist erkennbar, dass das

Thermofixieren bei 145 °C die höchste spezifische Festigkeit erzeugt, die ca. 30 % über den Werten der unbehandelten Seile liegt.

Spectra S1000

Das Thermofixieren von Spectra S1000-Seilen zeigt bei einer Fixiertemperatur von 150 °C maximale spezifische Festigkeiten (Abb. 4), die mit den Werten der Dyneema SK75-Seile (bei 145 °C) übereinstimmen. Die erzielte Steigerung der Festigkeit ist mit ca. 25 % etwas niedriger, da die Seile aus Spectra S1000 im Rohzustand höhere Festigkeiten aufweisen als Seile aus Dyneema SK75. Zusätzlich wurde eine Verringerung der Streuung der Festigkeitswerte festgestellt.

TNX

Die optimale Thermofixiertemperatur liegt für TNX-Seile bei 145 °C (vgl. Abb. 5), die Steigerung der spez. Festigkeit beträgt ca. 23 %. Die spez. Festigkeit von unbehandelten TNX-Seilen ist niedriger als bei den anderen Fasern, weshalb die spez. Festigkeit nach dem Thermofixieren nur leicht oberhalb der Werte für unbehandelte Seile aus Spectra liegt. Eine Reduzierung der Streuung der Festigkeitswerte konnte auch hier beobachtet werden.

Abb. 3 Spezifische Festigkeit von Dyneema SK75-Seilen vor und nach dem Thermofixieren

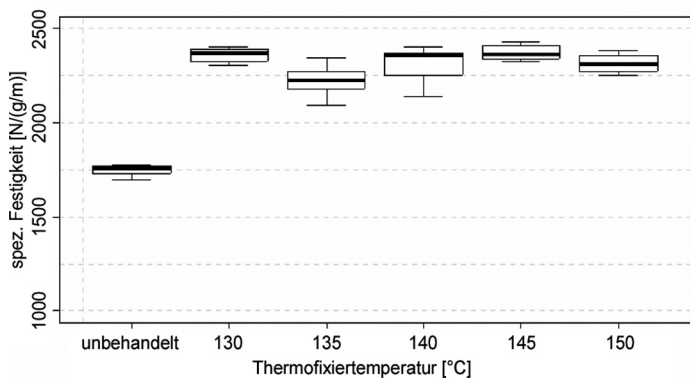


Abb. 4 Spezifische Festigkeit von Spectra S1000-Seilen vor und nach dem Thermofixieren

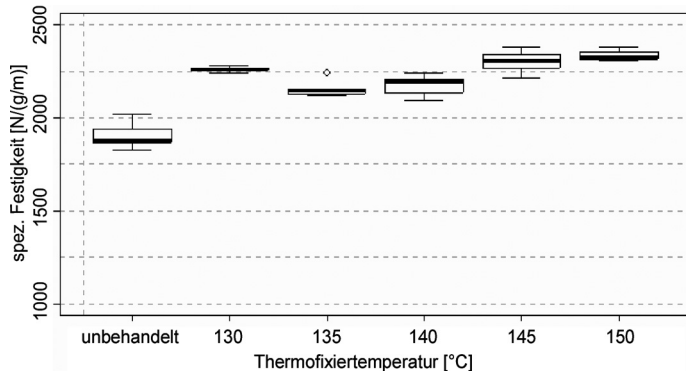


Abb. 5 Spezifische Festigkeit von TNX-Seilen vor und nach dem Thermofixieren

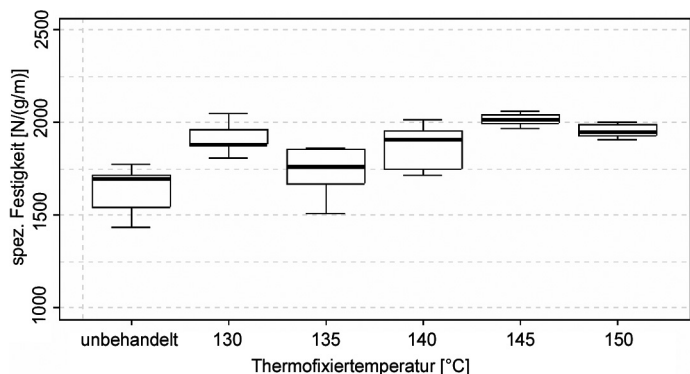
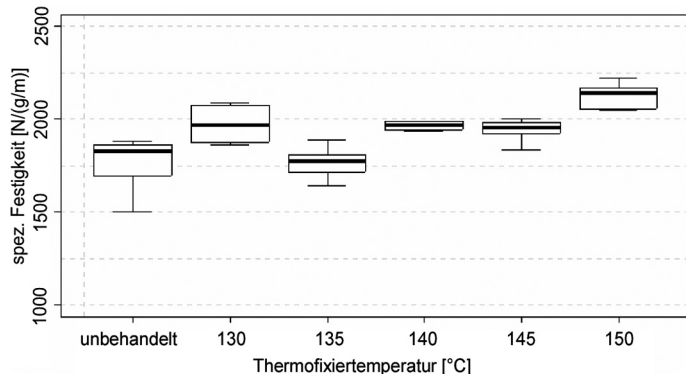


Abb. 6 Spezifische Festigkeit von Eosten FT093-Seilen vor und nach dem Thermofixieren



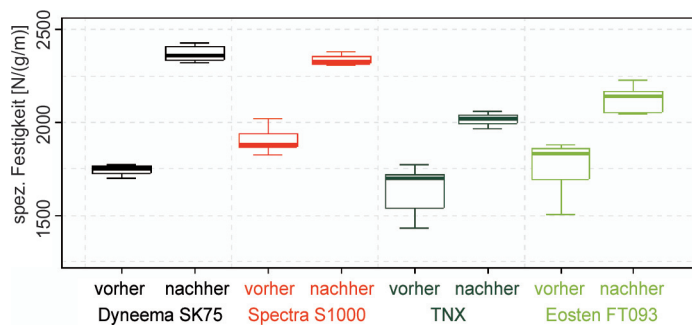


Abb. 7
Thermofixieren von Seilen aus ultrahochmolekularem Polyethylen

ten Festigkeitssteigerungen variieren zwischen den ultrahochmolekularen Polyethylen-Fasern (Abb. 7). Es ist also zu empfehlen, beim Einsatz einer Faser, die hier nicht untersucht wurde, entsprechende Versuchsreihen zum Ermitteln der optimalen Parameter zum Thermofixieren durchzuführen.

Literatur

- [1] Heinze, T.; Mammitzsch, J.: Thermofixieren von Seilen aus hochfesten Synthesefasern, ISSN 1860-5923, Logistics Journal, WGTL, Stuttgart, 2011
- [2] Heinze, T.: Zug- und biegewechselbeanspruchte Seilgeflechte aus hochfesten Polymerfasern; Dissertation, Technische Universität Chemnitz; 2013

Dyneema, Spectra, Eosten, TNX = eingetragene Warenzeichen

Eosten FT093

Bei den Seilen aus den Eosten FT093-Fasern stellte sich die höchste spezifische Festigkeit nach dem Thermofixieren bei 150 °C ein. Die Festigkeitssteigerung liegt bei ca. 25 %. Auch bei den Eosten-Fasern konnte eine erhebliche Reduzierung der Streuung der Festigkeitswerte beobachtet werden.

Zusammenfassung

Vergleicht man die Ergebnisse mit Angaben in der Literatur (z.B. [2]), so stellt man fest, dass das Thermofixieren bei 130 °C zu guten Ergebnissen führt. Bei höheren Temperaturen sind jedoch höhere Festigkeitssteigerungen (bei verringertem Querschnitt) möglich. Die optimalen Temperaturen und die erziel-