

1.1 Beschichtungen zur Funktionalisierung von Kunstfaserseilen für die Fördertechnik

Referent: Dipl.-Ing. Jens Mammitzsch
Dipl.-Ing. Thorsten Heinze
Dipl.-Ing. Markus Michael,
Dipl.-Ing. (FH) Markus Speck,
Technische Universität Chemnitz, Institut für Allgemeinen
Maschinenbau und Kunststofftechnik

1 Seile in der Fördertechnik

Seile dienen in fördertechnischen Anlagen und Geräten als Lastaufnahme- oder Zugmittel. Sie unterliegen dabei unterschiedlichsten statischen und dynamischen Belastungen, angefangen bei Zugbelastungen bis hin zu Biegebelastungen sowie Kombinationen aus diesen. Das Belastungskollektiv (z.B. Frequenz, Kraftmittelwert, Kraftmaximal- und Kraftminimalwerte) hat neben den Umgebungseinflüssen (z.B. aggressive Medien) einen entscheidenden Einfluss auf das Verschleiß und die Lebensdauer eines Seiles.

Faserseile aus Kunstfasern haben gegenüber Drahtseilen den Vorteil einer sehr geringen Dichte (etwa $1/7$ der Dichte von Stahl). Dadurch können größere Förderhöhen erreicht werden. Kunstfaserseile sind sie weniger anfällig gegen viele Chemikalien, flexibler und besser handhabbar.

Um Faserseile in der Fördertechnik vielfältiger einsetzen zu können, ist eine Anpassung an die im Einsatzfall vorliegenden Gegebenheiten (Umgebungsmedien/Klima, Belastungskollektiv, Möglichkeiten zur Wartung/Diagnose) und an die durch den Anwender vorgegebenen Anforderungen (Wiederholgenauigkeit/ Positioniergenauigkeit, Handhabung, Befestigung/ Endverbindung, Einsatzlänge...) nötig.

Aktuell werden Faserseile z.B. als Zug- oder Schleppseile, beim Mooring und in Offshore-Anwendungen eingesetzt.

2 Werkstoffe für Kunstfaserseile

Faserseilen können aus einer Vielzahl von Werkstoffen hergestellt werden. Meist kommen dabei hochfeste, technische Kunststoffe zum Einsatz. Nachfolgend sind einige Kunststoffe aufgeführt, die zur Herstellung von Faserseilen mit mittlerer und höherer Festigkeit verwendet werden. Die Festigkeiten der Fasern liegen dabei im Bereich der Festigkeit von Stahl oder darüber. Die Dichten liegen jedoch im Bereich von etwa $1/8$ - $1/7$ der Dichte von Stahl. Die Auswahl des Fasermaterials wird maßgeblich durch die Anforderungen an die Festigkeit und durch ökonomische Überlegungen beeinflusst. In Tabelle 1 sind einige Eigenschaften ausgewählter Faserwerkstoffe aufgeführt.

Tabelle 1: Eigenschaften ausgewählter Faserwerkstoffe

Werkstoff	Dichte [g/cm ³]	E-Modul [GPa]	Zugfestig- keit [MPa]	Schmelz- temperatur [°C]	Bruch- dehnung [%]	Wasser- aufnahme [%]
PA 6.6	1,14	8	960	258	20	5
PET	1,38	15	1130	258	12	<1
Vectran®	1,47	65	2900	330	3,3	<1
PE (hochfest)	0,95	106	2500 - 3000	135 - 140	3,5 - 6	0
PP (hochfest)	0,84 - 0,93	15 - 18	600 - 650	160 - 165	8	0
PPTA	1,44 - 1,45	90	2800 - 3200	Zersetzung bei 450°C	3 - 3,8	4 - 7
Technora®	1,39	73	2900 - 3500	Zersetzung bei 500°C	3,8 - 4,8	2

3 Vorbehandlung

Seile aus synthetischen Fasern müssen vor dem Beschichten vorbehandelt werden, da auf Fasern/Litzen/Garnen, die im Handel erhältlich sind, vom Hersteller ein Verarbeitungsfinish (Schlichte) aufgetragen wird, die das Handling während der Weiterverarbeitung erleichtert und die Faser vor mechanischen Schädigungen schützt. [6] Diese Schichten bestehen meist aus Silikonölgemischen oder enthalten zu einigen Volumenanteilen Silikonöle. Die meisten Silikone haben jedoch eine stark anti-adhäsive Wirkung, sodass die Haftung einer Beschichtung möglicherweise lokal oder vollständig behindert wird. [7], [8]

Das Entfernen der Schlichte ist auf verschiedenen Wegen möglich: Waschen in Lösungsmitteln bzw. Extraktion mit Lösungsmitteln, Reinigen in Ultraschallbädern, Vorbehandlung mit Niederdruckplasmen.

Beim Arbeiten mit Lösungsmitteln ist immer darauf zu achten, dass die Lösungsmittel das Fasermaterial nicht angreifen. In Ultraschallbädern mit Wasser (evtl. Reinigungsmittel oder enzymhaltige Hilfsstoffe) ist die Temperatur zu kontrollieren, um strukturelle Veränderungen in den Fasern auszuschließen. Außerdem ist eine gründliche Nachreinigung und Trocknung nötig, um zu verhindern, dass Wasser und/oder Reste des Reinigungsmittels im Seil verbleiben und dort die Festigkeit verringern oder die Anhaftung des Beschichtungswerkstoffes verhindern.

Beim Einsatz von Niederdruckplasmen ist der Prozess gründlich zu überwachen, da thermische Einflüsse hier auch lokal verschiedene Seileigenschaften (Festigkeitsverluste) herbeiführen können. Die Verwendung von Corona ist beim Seil als 3-dimensionales Gebilde nicht möglich, da der Gegenpol zum Erzeugen des starken elektrischen Feldes im Inneren des Seiles angebracht werden müsste.

4 Beschichten

Die Textiltechnik bietet eine große Anzahl an Verfahren zum Beschichten von textilen Flächengebilden. Einige dieser Verfahren sind auch zum Beschichten von Seilen geeignet. Die Auswahl des Verfahrens orientiert sich an der Funktion, die die Beschichtung später haben soll, und an den eingesetzten Werkstoffen.

4.1 Tauchverfahren

Das Seil wird über profilierte Walzen durch ein Becken mit dem Beschichtungswerkstoff geführt. Beim Verlassen des Beckens wird überschüssiges Material zwischen zwei Walzen abgequetscht oder mit einer Rakel abgestreift (vgl. Abb. 1). Abschließend wird das beschichtete Seil durch getrocknet und gekühlt. [6]

Der Beschichtungswerkstoff kann in Form von Lösungen, Dispersionen oder auch als Schmelze vorliegen. Auch die Verwendung von niedrigviskosen Pasten ist in Einzelfällen möglich. Bei der Verarbeitung von Lösungen und Dispersionen ist darauf zu achten, dass das Lösungs-/Dispergiermittel nicht mit dem Faserwerkstoff reagiert und im Trockner vollständig ausgetrocknet werden kann, da z.B. Wasser in einigen Fasern die Festigkeit negativ beeinflusst. Der Trockner darf dabei nicht zu viel Energie in das Seil eintragen, da thermische Schädigungen entstehen können.

Beim Verarbeiten einer Schmelze darf die Schmelztemperatur die maximal zulässige Einsatztemperatur des Seilmaterials nicht überschreiten, da das Seil während des Beschichtungsvorgangs gespannt ist und es bei zu hohen Temperaturen zu Strukturveränderungen im Seilwerkstoff kommen kann.

Für das Beschichten im Tauchverfahren ist es wichtig, die Viskosität des Beschichtungsmediums einstellen zu können, je nach dem, ob der Werkstoff bis ins Seil eindringen oder das Seil nur äußerlich ummanteln soll.

Das Tauchverfahren kann an Fasern, Garnen, Litzen und Seilen angewendet werden. So kann jede Fertigungsstufe auf dem Weg zum fertigen Seil getrennt behandelt und mit den entsprechenden Oberflächeneigenschaften ausgestattet werden. Als Werkstoffe kommen alle Thermoplaste, thermoplastische Elastomere, alle in Lösungsmittel löslichen Kunststoffe und alle in Wasser dispergierbaren Polymere in Frage.



Abb. 1: Schema einer Tauchbeschichtung

Quelle: Textilveredlung - Beschichten

Arbeitgeberkreis Gesamttextil, 2005

4.2 Thermisches Spritzen

Beim thermischen Spritzen wird der Beschichtungswerkstoff pulverförmig dem Brenner zugeführt, aufgeschmolzen und mit einem Trägergas auf die Seiloberfläche aufgetragen (vgl. Abb. 2). Beim Abkühlen auf der Seiloberfläche kommt es zur Überlagerung mehrerer Haftungsmechanismen (Adhäsion, mechanische Verklammerung, evtl. chemische Reaktionen). [9], [10]

Geeignete thermische Spritzverfahren zur Verarbeitung von Kunststoffen sind das Pulverflammspritzen und das atmosphärische Plasmaspritzen. Als Werkstoffe können alle Thermoplaste, thermoplastische Elastomere, und reaktive HotMelt-Kunststoffe verwendet werden.

Mit dem thermischen Spritzen kann eine Ummantelung auf dem Seil hergestellt werden. Eine Behandlung von Fasern und Garnen ist wegen der kleinen Durchmesser unwirtschaftlich, das Beschichten dickerer Litzen möglich.

Die Parameter beim thermischen Spritzen müssen so angepasst werden, dass thermische Schädigungen und daraus resultierende Festigkeitsverluste nicht auftreten.

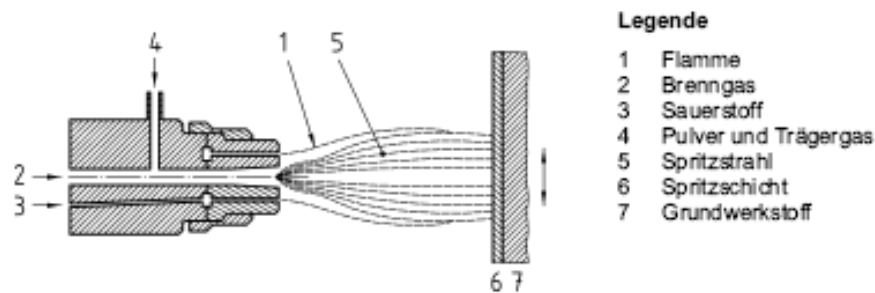


Abb. 2: Schema eines Brenners zum Pulverflammspritzen

Quelle: DIN EN 657

4.3 Extrusion

Der Beschichtungswerkstoff wird im Extruder aufgeschmolzen, plastifiziert [11] und über ein spezielles Ummantelungswerkzeug (Querspritzkopf, vgl. Abb. 3) auf das Seil aufgetragen. Anschließend wird das Seil gekühlt.

Das Beschichten per Extrusion eignet sich lediglich zum Ummanteln von fertigen Seilen. Es können Thermoplaste, thermoplastische Elastomere, und reaktive HotMelt-Kunststoffe verarbeitet werden. Der Beschichtungswerkstoff muss so gewählt werden, dass seine Schmelztemperatur niedriger als die zulässige Einsatztemperatur des Seilwerkstoffes ist.



Abb. 3: Querspritzkopf zur Extrusion von Ummantelungen

Quelle: EXTRUDEX Kunststoffmaschinen

www.extrudex.de

5 Werkstoffe zum Beschichten

Als Beschichtungswerkstoffe werden preiswerte Massenkunststoffe oder technische Kunststoffe eingesetzt, um die Oberflächen der Seile an spezielle Einsatzbedingungen anzupassen.

5.1 Polyolefine (Polyethylen, Polypropylen)

Polyolefine sind thermoplastische Kunststoffe mit niedrigen Schmelzpunkten und Einsatztemperaturen zwischen 80°C und etwa 110°C. Sie zählen zu den preiswerteren Massenkunststoffen und sind gut beständig gegen Säuren, Laugen und Basen. Polyolefine haben gute Gleiteigenschaften, die durch Wachse und Additive weiter verbessert werden können. Festigkeit und Elastizität sind durch Weichmacher und Füllstoffe in gewissen Grenzen regulierbar.

Polyolefine können als Schmelze, Lösung (nur wenige Lösungsmittel, hochgiftig!) und wässrige Dispersion zum Beschichten im Tauchbadverfahren verwendet werden. Auch zum thermischen Spritzen und Auftrag als Extrusionsummantelung sind sie geeignet. [1], [2]

5.2 Polyurethane

Polyurethane haben (je nach Rezeptur) gute Treibfähigkeitseigenschaften auf Stahl. Sie sind bei Temperaturen zwischen -40°C und 125°C einsetzbar. Eine Verarbeitung im Extruder oder mittels thermischem Spritzen ist bei thermoplastischen Polyurethanen möglich. Einige Polyurethane sind in Wasser dispergierbar, andere sind in Lösungsmitteln lösbar, wodurch diese auch eine Beschichtung im Tauchbad ermöglichen. PURs sind weiterhin als Lacke einsetzbar. Sowohl als Lack als auch als Dispersion sind die Viskositäten in einem breiten Spektrum variierbar. Die Festigkeit und die Elastizität können über die Zusammensetzung, Kettenlänge der Ausgangsstoffe und Vernetzungsreaktionen (Vernetzungsart, Vernetzungsdichte,...) eingestellt werden. [12]

5.3 Polysiloxane (Silikone)

Silikone sind durch konsequent hydrophobes Verhalten gekennzeichnet. Einige sind sogar stark anti-adhäsiv, was Haftungsprobleme mit sich führen kann. Silikone sind ungiftig und können in Form von Lacken oder Ölen, einige in Form von Wasserdispersionen verarbeitet werden. Die Einsatztemperaturen liegen zwischen 150°C und 200°C. Die Viskosität von Silikonölen ist stark von deren Kettenlänge abhängig. Silikonlacke müssen bei Temperaturen um 200°C nachvernetzt und eingebrannt werden. [7], [8]

6 Haftung der Beschichtung

Um mit der Beschichtung die gewünschten Eigenschaftsveränderungen an der Seiloberfläche auch über einen längeren Einsatzzeitraum gewährleisten zu können, ist eine optimale Haftung wichtig. Problematisch dabei wirken vor Allem die Seilmaterialien selbst.

Polyolefine (z.B. Dyneema → PE) sind unpolare Polymere, weshalb es schwierig ist, an ihren Oberflächen andere Kunststoffe zum Haften zu bringen. Es ist eine entsprechende Vorbehandlung nötig. Polyolefine werden mit stark sauren Lösungen geätzt oder in reaktiven Plasmen bzw. in stark fluorhaltigen Atmosphären oder Lösungen vorbehandelt. [6] Ziel ist, an einigen Stellen der Makromoleküle funktionelle Gruppen anzulagern, wodurch sich eine gewisse Polarität der Moleküle einstellt, welche die Haftung polarer Polymere fördert.

Bei Aramiden und dem aromatischen Polyester Vectran wird eine Anhaftung der Beschichtungswerkstoffe durch sterische Hinderung verursacht. Durch die hohe Ausrichtung der Moleküle entlang der Faserachse und den hohen Anteil an aromatischen Molekülgruppen (Ausbildung von Wasserstoffbrücken) können sich Beschichtungswerkstoffe oft nicht an die Moleküle anlagern. Hier ist der Einsatz eines Haftvermittlers nötig.

7 Ausblick

7.1 Plasma-Beschichtung

Die Plasmatechnik (vor Allem Niederdruckplasma) gewinnt immer mehr an Bedeutung als Verfahren zur Herstellung hochbelastbarer Beschichtungen. Es können Antihaft- oder kratzfeste Beschichtungen auf kratzempfindlichen Kunststoffen ebenso erzeugt werden, wie die Beschichtung von Kabelummantelungen oder das Aufbringen von SiO_x-Systemen auf Kunststoffen möglich ist. Die große Vielfalt an verarbeitbaren Werkstoffen eröffnet neue Möglichkeiten zur Beschichtung von Seilen. Durch geschickte Anordnung der Brenner kann quasi jede Geometrie beschichtet werden. [13], [14]

7.2 Gießen

Beschichtungen, die durch Gießen in geschlossener Form erzeugt werden, dienen weniger zum Schutz oder zum Modifizieren der Eigenschaften der Seiloberfläche, als vielmehr zum Fixieren der Lage mehrerer, parallel liegender Seile zueinander. An Stellen, wo der Bauraum für Seile mit großen Seildurchmessern und die zugehörigen Seiltriebe nicht vorhanden ist, können, durch Parallelanordnung dünner Seile mit anschließendem Vergießen, textile Tragmittel eingesetzt und damit die Vorteile von Kunstfaserseilen nutzbar gemacht werden.

Vor dem Gießen sind ähnliche Reinigungsmaßnahmen wie bei den anderen Beschichtungsverfahren durchzuführen. Wichtig ist dabei, dass der Gießwerkstoff eine ausreichend niedrige Viskosität besitzt, damit sie in das Seilinnere eindringen können, um eine ausreichende Dimensionsstabilität zu gewährleisten. Der Gießwerkstoff muss außerdem eine ausreichende elastische Dehnung aufweisen, da er sonst vor dem Seil versagt und seine fixierende Wirkung verloren geht. Als Werkstoffe eignen sich z.B. 2-Komponenten-Gießpolyurethane.

Literatur

- [1] Saechtling, Hansjürgen: Kunststoffaschenbuch, 25. Ausgabe, München, Carl Hanser Verlag, 1992

- [2] Carlowitz, Bodo: Kunststofftabellen, 4. Auflage, München, Carl Hanser Verlag, 1995

- [3] Product data sheet Dyneema, DSM Dyneema, 2007

- [4] Fette, R.B.; Sovinsky, M.F.: Vectran Fiber Time-Dependent Behavior and Additional Static Loading Properties, NASA, 2004

- [5] Properties of Technora, Teijin Aramids

- [6] Gesamttextil e.V.: Textilveredlung - Beschichten, Eschborn, 2005

- [7] Tomanek, Andreas: Silikone und Technik, München, Carl Hanser Verlag, 1990

- [8] Reuther, Hellmut: Silikone - Ihre Eigenschaften und Anwendungsmöglichkeiten, 2. Auflage, Dresden, Verlag Theodor Steinkopf, 1969

- [9] Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN EN 657: Thermisches Spritzen - Begriffe, Einteilung; Berlin, Beuth Verlag, 2005

- [10] Lugscheider, Erwin: Handbuch der thermischen Spritztechnik, Düsseldorf, DVS Media Verlag, 2002

- [11] VDI-Gesellschaft Kunststofftechnik: Spritzgießen und Extrudieren von Elastomeren, Düsseldorf, VDI-Verlag, 1996

- [12] Uhlig, Konrad: Polyurethan Taschenbuch, 3. Auflage, München, Carl Hanser Verlag, 2006

- [13] Moosheimer, Ulrich: Plasmavorbehandlung und Beschichtung von Kunststofffolien (Diss.), Universität Regensburg, 1997

- [14] D'Agostino, R, Favia, P., Oehr, C., Wertheimer, M.R.: Plasma Processes and Polymers, Weinheim, WILEY-VCH Verlag, 2005