



3. Fachkolloquium InnoZug, 23.09.2009

Beschichten von Seilen aus Synthefasern

Inhalt

1. Anforderungen an Seile aus Synthefasern
2. Eigenschaften der Synthefasern
3. Vorbereiten der Seile
4. Beschichtungsverfahren
5. Werkstoffe für Beschichtungen
6. Ausblick

- Verwendung von Seilen im Maschinenbau als Lastaufnahme- und Anschlagmittel
- bisher meist Einsatz von Stahlseilen
- mechanische Belastungen am Seil:
 - schwellende, zyklische und / oder schlagartige Zugbelastungen
 - Biegebelastungen, Biegewechselbelastungen
 - Reibung / Abrasion
 - Kombination / Überlagerung mehrerer Belastungen



- Vorteile von Seilen aus hochfesten Kunstfasern
 - geringe Dichte (etwa $1/7$ der Dichte von Stahl), damit höhere Reißlängen (größere Förderwege realisierbar)
 - weniger anfällig gegen Chemikalien wie Säuren und Laugen, resistent gegen viele Lösungsmittel
 - höhere Flexibilität, damit einfachere Handhabung



- Einflüsse auf die Lebensdauer
 - Belastungskollektiv (Frequenz, Kraftmittelwert, Kraftmaximal- und Kraftminimalwert,...)
 - Einfluss der Umgebung (chemisch aggressive Medien, UV-Strahlung, Temperatur, Luftfeuchte, abrasive Medien wie Sand, Kies etc.)
 - Einfluss der Lagerung (Klima am Lagerort)
 - Einfluss der Geometrie der Aufspuleinrichtung



- Anforderungen
 - Ertragen des Belastungskollektivs des Einsatzfalles
 - Resistenz gegen Umgebungseinflüsse
 - Möglichkeiten zur Wartung / Diagnose
 - einfache Handhabung, Wiederhol- und Positioniergenauigkeit
 - Möglichkeit zum Verbinden / Befestigen



- Herstellung von Seilen aus einer Vielzahl von Kunststoffen möglich
 - Polyamide [z.B. PA 6.6, PA 6]
 - Polyester [z.B. PET, PTT, PBT, PEN, Vectran®,...]
 - Aramide [PPTA, Technora®,...]
 - Polyolefine [Polyethylen (Dyneema®, Spectra®), Polypropylen (Innegra S™)]
- Festigkeiten der Fasern ähnlich Stahl oder besser
- Fasern sind teilkristallin (bis 85% kristalline Anteile)
- Dichte etwa 1/8 – 1/7 der Dichte von Stahl



- Polyamide:
bekannteste Vertreter: PA6 und PA6.6
PA6 seltener verwendet, da hohe Feuchtigkeitsaufnahme → Festigkeitsverluste
- Polyester:
Polyester häufig als Synonym für PET verwendet; viele Handelsnamen bei Polyesterseilen sind Handelsnamen für höherfeste PET-Varianten
- Polyolefine:
zur Herstellung von Seilen nur hochfeste Varianten verwendet (Festigkeit über Herstellungsverfahren erzeugt)
- Aramide:
meist kommen Para-Aramide zum Einsatz, z.B. Polyparaphenylenterephthalamid (PPTA) oder das Para-Aramid-Copolymer Technora®



2 Eigenschaften der Synthefasern

8

Werkstoff	Dichte	E-Modul	Zugfestigkeit	Schmelztemperatur	Bruchdehnung	Wasseraufnahme
	[g/cm ³]	[GPa]	[MPa]	[°C]	[%]	[%]
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	1,45	90	2900	Zersetzung bei 500°C	3,5	1 - 7
Technora®	1,39	73	3400	Zersetzung bei 500°C	4,6	2

- während Faserherstellung wird Schlichte auf Fasern aufgetragen
→ bessere Handhabung; Schutz bei Weiterverarbeitung

- Schlichte behindert Haftung der Beschichtung an der Faser
→ Entfernen der Schlichte nötig

- Schlichte
 - Vectran®: - Schlichte aus niedermolekularen Silikonölen und deren Monomeren
 - wasserlösliche Schlichte vorhanden
 - Schlichte aus Polyolefinwachsen vorhanden

 - Technora®: - Schlichte mit Silikonölanteilen

 - Dyneema®: - Schlichte mit Silikonölanteilen



- Entfernen der Schlichte
 - waschen in warmem Aceton → Explosionsgefahr!
 - Soxhlet-Extraktion mit Hexan → Explosionsgefahr, nervenschädigende Wirkung von Hexan!
 - waschen im Ultraschallbad mit warmem Wasser
 - Plasma / Corona



- Waschen im Ultraschallbad
 - nichtschäumende Reinigungshilfsmittel verwenden
 - Temperatur kontrollieren, da thermische Schädigungen möglich (vor Allem bei PE- und PP-Seilen recht niedrige Einsatztemperaturen!)
 - Nachreinigung der Seile, um Reinigungshilfsmittel aus dem Seil zu entfernen
 - effektives Trocknungsverfahren wählen, um Restfeuchte (Haftungsprobleme!) im Seil zu vermeiden; Temperatur entsprechend Seilwerkstoff wählen



- Haftung der Beschichtung

→ Haftung der Beschichtungsstoffe ist bei einigen Kunstfasern problematisch

Polyethylen/Polypropylen: unpolare Werkstoffe; Anhaftung von (meist polaren) Beschichtungswerkstoffen ohne Vorbehandlung nicht möglich

Aramide + Vectran®: sterische Hemmung durch hohe Orientierung der Moleküle entlang der Molekülachse



- Haftung der Beschichtung
 - Polyolefine: vorbehandeln in stark sauren Lösungen, reaktiven Plasmen oder stark fluorhaltigen Medien → erzeugen funktioneller Gruppen entlang der Molekülkette → geringe Polarität
 - Aramide / aromatische Polyester: Haftvermittler nötig

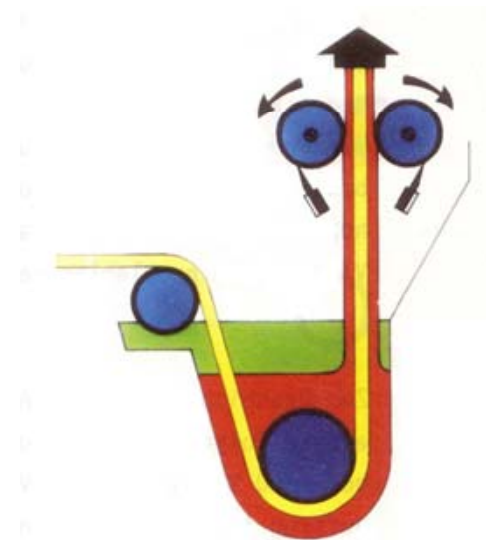


- Anforderungen an die Beschichtungsstoffe
 - geringe Adhäsions- und Blockneigung
 - hohe Haftfestigkeit der Beschichtung auf dem Faserwerkstoff
 - Beständigkeit gegen Öle, Fette, Chemikalien und Umwelteinflüsse (UV-Strahlung, H₂O,...)
 - hohe Elastizität
 - Haft- / Gleiteigenschaften entsprechend Anwendung
 - möglichst wasserabweisend



Beschichtung im Tauchverfahren

- **Ablauf**
 - “Werkstück“ wird durch Tauchbecken mit Lösung oder Dispersion geführt
 - Anhaften der Lösung / Dispersion am Werkstoff (ggf. Eindringen ins Seil)
 - Austrocknen des Lösungs-/ Dispergiermittels im Trockner



Schema einer Tauchbeschichtung
Quelle: Textilveredlung - Beschichten
Arbeitgeberkreis Gesamttextil, Eschborn
1992

Beschichtung im Tauchverfahren



Tauchbeschichtungsanlage
© 2009 Forschungsinstitut für Leder
und Kunststoffbahnen, Freiberg

Beschichtung im Tauchverfahren

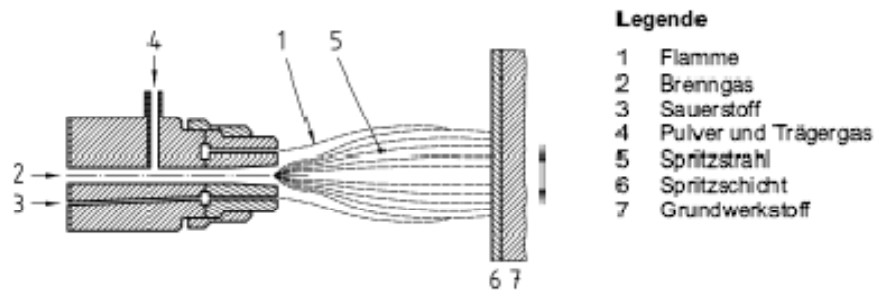
- **Risiken**
 - Lösungsmittel für Beschichtungswerkstoff kann Faserwerkstoff angreifen → Auswahl geeigneter Lösungsmittel
 - Viskosität muss genau eingestellt werden
 - Gefahr thermischer Schädigung bei falschen Trocknerparametern
- **Anwendungsbereiche**
 - zur Anwendung bei Fasern, Litzen und Seilen geeignet
 - Beschichtung mit allen in Lösemittel löslichen oder in Wasser dispergierbaren Kunststoffen sowie mit Kunststoffschmelzen möglich



Thermisches Spritzen:

- **Ablauf**

- Beschichtungswerkstoff (pulverförmig) in Brenner angeschmolzen und auf Werkstück geschleudert; Erstarren auf Oberfläche des “Werkstücks”
- Anhaftung durch Adhäsion und mechanische Verklammerung
- geeignete Verfahren: Pulverflammspritzen, Plasmaspritzen



Schema eines Brenners zum Pulverflammspritzen
Quelle: DIN EN 657

Thermisches Spritzen:

- **Risiken**
 - Überhitzung der Kunststoffpartikel → Verfahrensparameter
 - Thermische Schädigung der Fasern/Litzen → Verfahrensparameter
- **Anwendungsbereiche**
 - nur zum Erzeugen von Ummantelungen bei Seilen geeignet
 - Beschichtung mit Thermoplasten (PE, PP, PVC, ...) und thermoplastischen Elastomeren (TPU-/TPE-Polyurethane)



Extrusion

- **Ablauf**
 - Beschichtungswerkstoff wird im Extruder aufgeschmolzen und plastifiziert
 - Extruderschnecke presst Werkstoff durch Düse in spezielles Werkzeug
 - “Werkstück mit Beschichtung durch Kühlstrecke geführt



Querspritzkopf zur Extrusion von Ummantelungen
Quelle: EXTRUDEX Kunststoffmaschinen
www.extrudex.de

Extrusion

- **Risiken**

- bei korrekter Auswahl des Schichtwerkstoffes und entsprechender Parameterführung kaum Risiken

- **Anwendungsbereiche**

- nur zum Erzeugen von Ummantelungen bei Seilen geeignet
- Beschichtung mit Thermoplasten (PE, PP, PVC, ...) und thermoplastischen Elastomeren (TPU-/TPE-Polyurethane, Einsatz nur für große Längen rentabel, da Werkzeuge sehr teuer



- Anforderungen an die Beschichtungswerkstoffe
 - kleine Gleitreibungskoeffizienten, geringe Adhäsions- und Blockneigung
 - gute Haftung der Beschichtung auf dem Faserwerkstoff
 - Beständigkeit gegen Öle, Fette, Chemikalien und Umwelteinflüsse (UV-Strahlung, H₂O, Temperatur,...)
 - hohe Elastizität
 - gute Haftreibungseigenschaften auf Stahl
 - möglichst wasserabweisend



- Probleme
 - Anforderungen widersprechen sich teilweise
(niedriger Gleitreibwert ↔ hoher Haftreibwert)
(gute Haftung ↔ geringe Adhäsions- und Blockneigung)

 - Beschichtung einiger Faserwerkstoffe erfordert Haftvermittler

Polyolefine:

- **Polyethylen**

- thermoplastisch; Schmelzpunkt 105-125°C; Gebrauchstemperatur ca. 70°C
- gute Beständigkeit gegen Säuren, Basen und Öle
- gute Gleiteigenschaften; mit Wachsen und Additiven weiter zu verbessern
- Dichte 0,89 g/cm³ bis 0,97 g/cm³
- Festigkeit/Elastizität durch Weichmacher steuerbar



Polyolefine:

- **Polypropylen**

- thermoplastisch; Schmelzpunkt ca. 160°C; Gebrauchstemperatur ca. 110°C
- gute Beständigkeit gegen Säuren, Basen, Öle
- gute Gleiteigenschaften; durch Additive weiter zu verbessern
- Dichte 0,89 g/cm³ bis 0,92 g/cm³
- Festigkeit/Elastizität durch Weichmacher steuerbar

Polyolefine:

- können als Schmelze oder Lösung im Tauchbadverfahren aufgetragen werden
- können als Extrusionsmantel aufgetragen werden
- sind durch thermisches Spritzen verarbeitbar

Polyurethane:

- Dichte ca. 0,9 – 1,3 g/cm³
- gute Treibfähigkeit
- Einsatztemperaturen von -40°C bis 125°C
- Verarbeitung durch Extrusion in Einzelfällen möglich (TPU)
- einige in Wasser dispergierbar; einige in Lösungsmitteln lösbar
- als Lack einsetzbar; breites Viskositätsspektrum möglich
- Festigkeit/Elastizität/Shore-Härte über Zusammensetzung steuerbar



Polysiloxane (Silikone):

- stark hydrophob, einige konsequent anti-adhäsiv (Haftungsprobleme!)
- ungiftig, nicht carcinogen, nicht mutagen, nicht teratogen
- als Lacke oder Öle zum Beschichten geeignet
- Einsatztemperaturen zwischen 150°C und 200°C möglich
- teilweise in Wasser dispergierbar
- Viskosität von Kettenlänge abhängig



Auswahl des Beschichtungswerkstoffes nach:

- Anforderungen der Anwendung (Haft- / Gleiteigenschaften, Umgebungsmedien, Temperatur, etc.)
- Verarbeitungsparameter des Beschichtungswerkstoffes (Dispersion / Lösung / Schmelze, Trocknerparameter, ...) unter Berücksichtigung der max. Einsatztemperatur des Seiles
- Kosten-Nutzen-Verhältnis (Aufwand für Beschichten → Verlängerung der Lebensdauer bzw. Verbesserung der gewünschten Eigenschaften)



- Plasmabeschichtung
 - wachsende Bedeutung der Plasmatechnik zum Erzeugen hochbelastbarer Beschichtungen
 - viele Werkstoffe verarbeitbar, da Energiezufuhr über Plasma steuerbar
 - Antihafbeschichtungen, kratzfeste Beschichtung auf kratzempfindlichen Werkstoffen, Modifikation von Kabelummantelungen, SiO_x auf Kunststoffe,.....
 - mit geeigneter Brenneranordnung nahezu jede Geometrie möglich



- Gießen
 - Gießen in geschlossener Form zum Fixieren der Lage mehrerer Seile zueinander ermöglicht Nutzung textiler Zugmittel mit “großem Querschnitt“ auch in Bereichen mit geringem Bauraum
 - Vorreinigung ähnlich den anderen Beschichtungsverfahren nötig
 - Viskosität des Gießwerkstoffes so einstellen, dass er ins Seil eindringen kann
 - Gießwerkstoff muss ausreichende elastische Dehnung haben → Seildehnung unter Last!
 - evtl. Trennmittel zum einfacheren Entformen nötig



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.

www.innozug.de

www.tu-chemnitz.de/projekt/InnoZug/

