



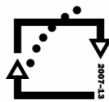
evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost



ZÁPADOČESKÁ
UNIVERZITA
V PLZNI

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Projekt CZ.1.07/2.2.00/15.0383
Inovace studijního oboru Dopravní a manipulační technika
s ohledem na potřeby trhu práce

Materiály nekovové

Část 1.10 - Vlákna

Doprovodný učební text k předmětu
KMM/MN – Materiály nekovové

doc.Ing.Petr Duchecký, CSc.

2013

Vlákna jako výztuž kompozitu

Přírodní pavučinové vlákno:

5x pevnější než ocel
Protažení o 30% - více než elastomery
Při odlehčení se „nezhoupnou“ na zpět

Požadavky na vlákna:

Vysoká pevnost
Vysoká tuhost
Vysoká hustota

Realizace:

- Vlákna orientovaná v požadovaném směru
- Minimalizace inherentních či vnesených chyb.

Průměr vláken:

- Skleněná 8 – 20 μm
- Uhlíková 5 – 8 μm
- Aramidová ~12 μm

Obsah poznámky k vláknům:

Použití krátkých a stříhaných vláken – rozdíl oproti dlouhým vláknům

Kontinuální tenká vlákna: Svazky (svazek = 500 – 48 000 vláken)

Označení svazků vláken: 0,5K, 1K ... 48K (K = 1000 jednotlivých vláken)

Orientace vláken: 2D, 3D, mD, multi

Preferovaný je směr namáhání.

Separace mezi vlákny Objemový podíl vláken

Při aplikaci krátkých vláken je možno objemový podíl vláken snížit.

Vláknové prostory → menší objem vláken, ekonomie

Prostory C- vláken: tkaním, pletací stroje.....

Paradoxon pevných materiálů (dle F. Zvicky):

Skutečná pevnost pevného materiálu je mnohonásobně nižší, nežli je vypočtená hodnota.

Paradoxon vláken (dle A. A. jfiha):

Materiál ve formě vlákna má mnohem větší pevnost, než v jiné formě. Čím je vlákno tenčí, tím roste jeho pevnost.

Paradoxon kompozitních materiálů (dle G. Slaytera):

Kompozit může zachytit jako celek napětím, které by porušilo slabší komponentu.

Umožňuje i užití pevnější komponenty při vyšších podílech jeho teoretické pevnosti.

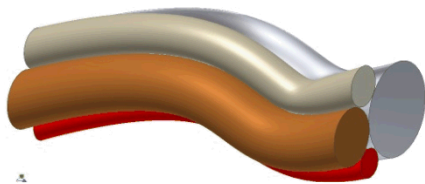
Definice vláken:

Je to taková materiálová formace, u které délka oproti jejímu největšímu průřezu přesahuje poměr 100:1.

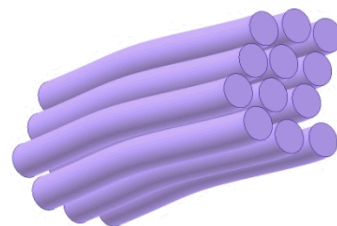
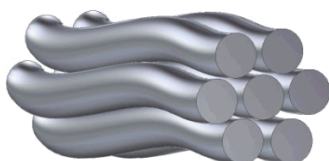
Průměr vlákna nepřesahuje 250 μm .

Vlastnosti:

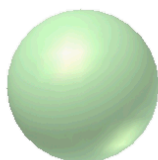
- Velikost (\emptyset)



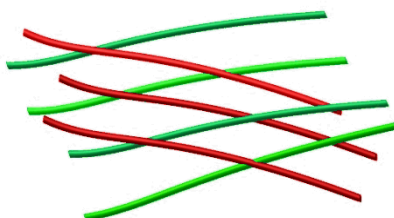
- Množství



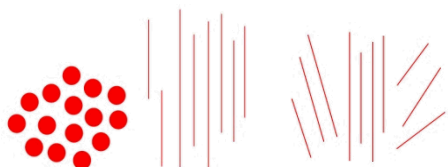
- Tvar (tvarový faktor)

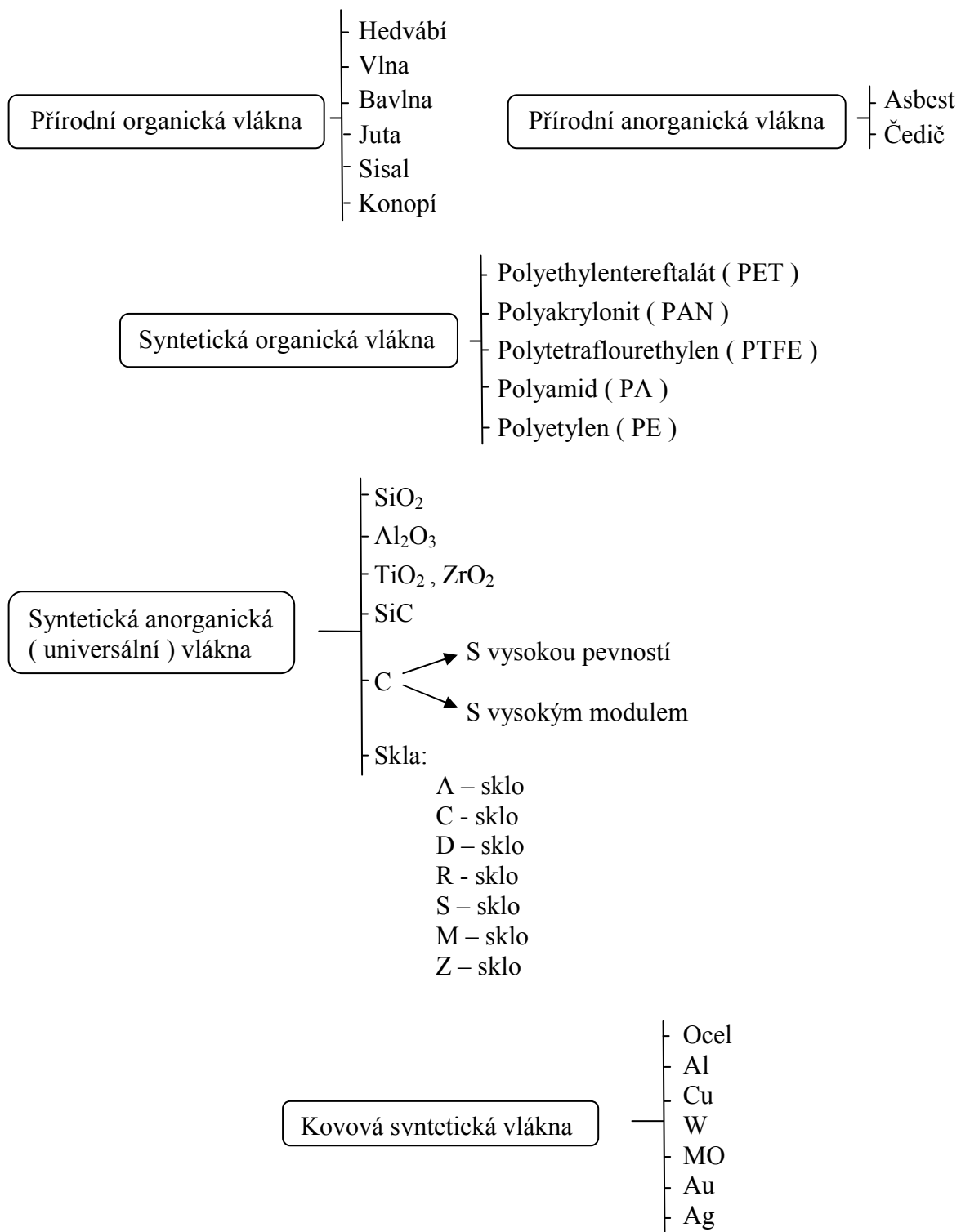


- Orientace (uspořádání)

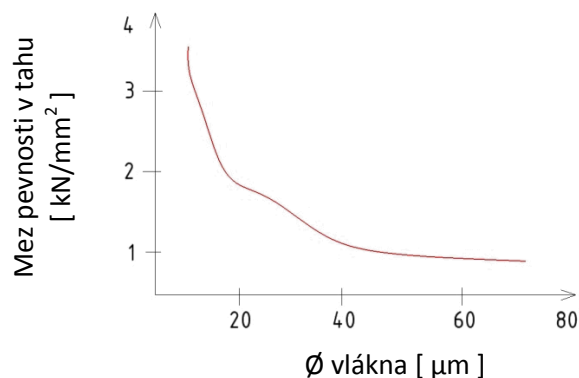


- rozptyl (seřazení, homogenita)





Vliv ϕ vlákna na pevnost skleněných vláken:



Jednotka vlákna (dle DIN 609 05-1, ISO 1 144):

TEX

Tex:

Hmotnost v g na 1000m délky (1 tex = 1g/km)

Čím větší je toto číslo, tím hrubší je příze

Denier (den):

Hmotnost v g na 9000m

Skleněná vlákna

Typ	SiO ₂	Al ₂ O ₃	B ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O
Křemenné	98 ÷ 100	0 ÷ 2					
A – sklo	68	4	2	6	3	12	4
C – sklo	65	4	3	6	55	15	2
E – sklo (bez alkálií)	53 ÷ 55	14 ÷ 15	6 ÷ 8	17 ÷ 22	< 5	< 1	~ 1

Fyzikální vlastnosti:

	Jednotka	E – sklo	R/S - sklo	C – sklo
Hustota	g/cm ³	2,6	2,49	2,45
Pevnost v tahu	MPa	3 400	4 700	3 100
E – modul	GPa	73	88	71
Mez tažnosti	%	3,5 ÷ 4	5	3,5
Specifický odpor	Ω/cm ² (20°C)	10 ¹⁵		
Dielektrická konstanta	10 ⁶ Hz	5,8 ÷ 6,7		
Koeficient tepelné roztažnosti	10 ⁻⁶ K ⁻¹	5	4	7,2

Různé textilní formy pro skelná vlákna:

Rohože, krátká vlákna, lisované rohože, stříhaná vlákna, provazce...

Aramidová vlákna:

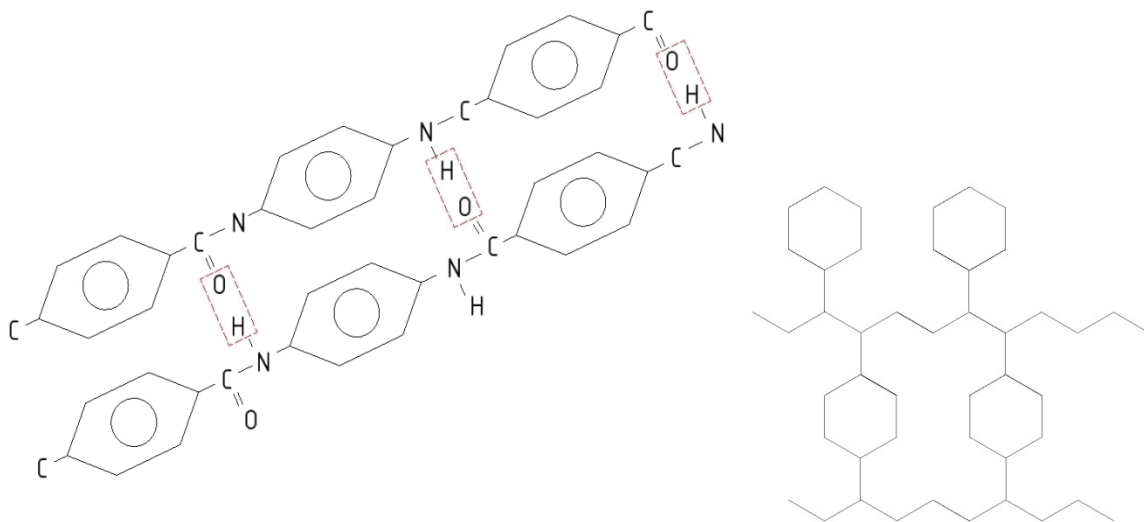
(*Aromatický polyamid AKZO chemie . TWARON*)

Lineární organické polymery s vysokou pevností a tuhostí

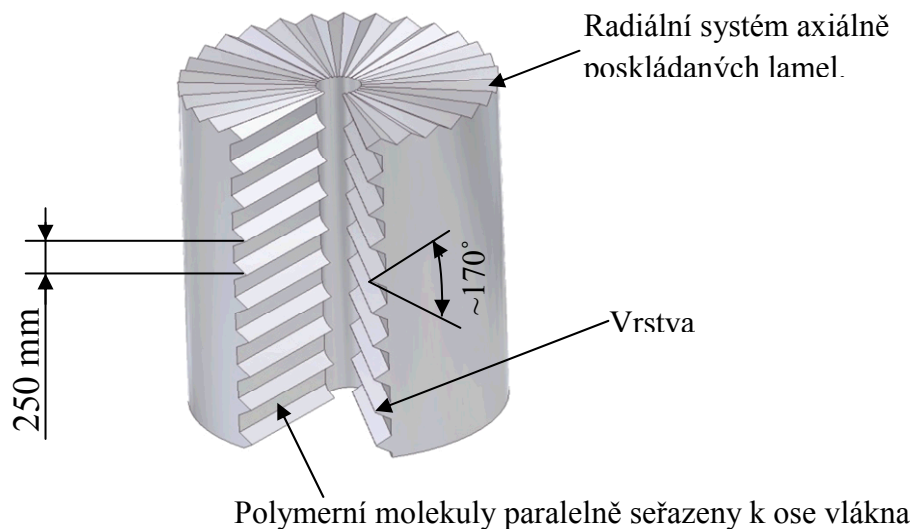
Kovalentní vazby jsou orientovány podél osy vláken při běžné blízkosti molekul

- Spojení (vodíkové můstky)
- Teoretická pevnost (200 000 MPa)
- Povrch hladký
- Vlákna téměř kruhového průřezu

Struktura:



Výstavba aramidového vlákna:



Vlastnosti:

	Jednotka	Typ kevlaru			Typ tvaru		
		29	49	149	SM	IM	HM
	Hustota						
	Ø vlákna						
	Pevnost v tahu						
	g/cm ³	1,44	1,44	1,47	1,44	1,44	1,45
	µm	12	12	12	12	12	12
	GPa	3,62	3,62	3,44	2,8	3,15	3,15
	GPa	83	124	186	65	100	121
	GPa	V jednosměrném kompozitu 30% pevnosti v tahu					

Uhlíková vlákna:

Patří k materiálům s vysokou tepelnou stabilitou za neoxidačních podmínek.
Sublimace < 3000°C

C: diamant, **grafit**, fulleren →

C v grafitu vykazuje silnou anizotropii →

Silné kovalentní vazby v jednotlivých vrstvách

Slabé vazbové interakce mezi vrstvami

Vlákna mají vrstvenou strukturu (lamelární)

Typy uhlíkových vláken:

PAN

Typ vlákna

Strukturní rysy

HT- Vysoko pevnostní (High tencity)

Roviny vrstviček většinou kolmé na osu vlákna

HM- s vysokým modulem (high modulus)

Roviny vrstviček jsou do značné míry kolmé na osu vlákna

Smola- Nižší pevnost v tahu než PAN, vyšší E-modul

Vlastnosti C- vláken

- Fyzikální a mechanické (• Vysoká pevnost v tahu +E • nízká ρ • Vysoko teplotní odolnost • Plně elastické protažení)
- Teplotní (• Veličiny nízké λ (či záporné) ve směru osy vlákna)
- Elektrické (• Elektrická vodivost • Nemagneticky procházejí X-paprsky)
- Chemické (• Vysoká odolnost, nenasákavost H₂O)

Veličiny ve směru osy vlákna

Nemagnetické procházejí X-paprsky

Elektrická vodivost

Vysoká odolnost, nenasákavost H₂O

C – vlákna na bázi PAN

Technologie:

- Stabilizační krok:

(spřádání vláken za oxidických podmínek + mechanické napětí při 200 – 300°C)

- Karbonizační krok:

(karbonizaci při ~ 1 000°C, výtěžek C ~ 55% PAN)

- Grafitizace (~ 3 000°C):

C – vlákna na bázi smoly

Levnější než-lki PAN (suroviny: frakce z rafinérie, pvc, odpady)

Zpracovávají se při vyšším talku + termicky se tvoří kapalně krystalické anizotropní struktury (mezofáze)

- Stabilizace 250 ~ 400°C
- Karbonizace ~1 000°C, výtěžek 45%
- Grafitizace >1 700°C

Vlastnosti C – vláken:

	Jednotka	Báze PAN			Báze smola	
		HT	IM	UHM	SM	IM
Hustota	g/cm ³	1,78	1,44	1,47	2,12	2,09
Pevnost v tahu	MPa	3 400	12	12	2 600	2 600
E - modul	GPa	235	3,62	3,44	640	640
Cena	Eur/kg	25 ÷ 30	70 ÷ 100	300 ÷ 450	96	72

Keramická vlákna:

Důvody pro vývoj:

Malá odolnost proti oxidaci
Reaktivita s kovy (karbidy)

Vyznačujícím se:

Vynikající odolnost proti oxidaci + vysoká tepelná odolnost
Bez problémů v kovové matici

Mnoho typů, např:

- SiC + nit W d = 100 ÷ 150μm
- SiC + nit C d = 140μm
- Al₂O₃ d = 3 ÷ 20 μm
- SiC Bez jádra, d = 8 ÷ 15μm

Vlastnosti vláken

	SiC/W	SiC/C	Al ₂ O ₃
--	-------	-------	--------------------------------

<p>Ø</p> <p>Pevnost v tahu [MPa]</p> <p>Hustota</p>	<p>100/150µm</p>	<p>140µm</p> <p>2 965</p> <p>3 g/cm³</p>	<p>2 ÷ 20</p> <p>1 500 ÷ 2 000</p> <p>3,3 ÷ 3,95</p>
---	------------------	---	--

KERAMICKÁ VLÁKNA

- Většinou polykrystalická

Všeobecně:

Pro oxidy platí špatná tepelná a elektrická vodivost + vyšší koeficient teplotní roztažnosti než pro neoxidická

Polymerní vlákna na bázi SiC nejpevnější známé keramické vlákno
(NICALON, TYRANNO)

Malá zrna β – SiC + velký obsah C či amorfní fáze



Nízký modul elasticity




Vysoká hodnota napětí vedoucí k porušení (trhliny) (>1%)

Zvětšování zrn β – SiC snižování obsahu amorfní fáze roste obsah C
(HI-NICALON, TYRANNO LUXE)



Pokles pevnosti, vzrůst modulu, snížení hodnoty napětí vedoucí k porušení.

Tohoto lze dosáhnout  Tvřením během zpracovávání vlákna (“curing“)
Pyrolýza při vyšších teplotách

TYRANNO

Přidáním Ti při zpracování se dosáhne velmi jemného β – SiC

TYRANNO 2 M fiber

Přídavek Zr zlepši vysokoteplotní vlastnosti + odolnost proti korozi NaCl

Zpracování keramických vláken:

Využití:

Zejména do CMC výztuž tvoří mnoho vláknové struktury

Příze ~ cca 500 – 1 000 vláken o \varnothing 10 – 15 μ m

Flexibilní lze z něj tvořit tkaninu.

Monovlákna

(Monofilament)

Využívají se také, i když je méně velký průměr (>75 μ m)

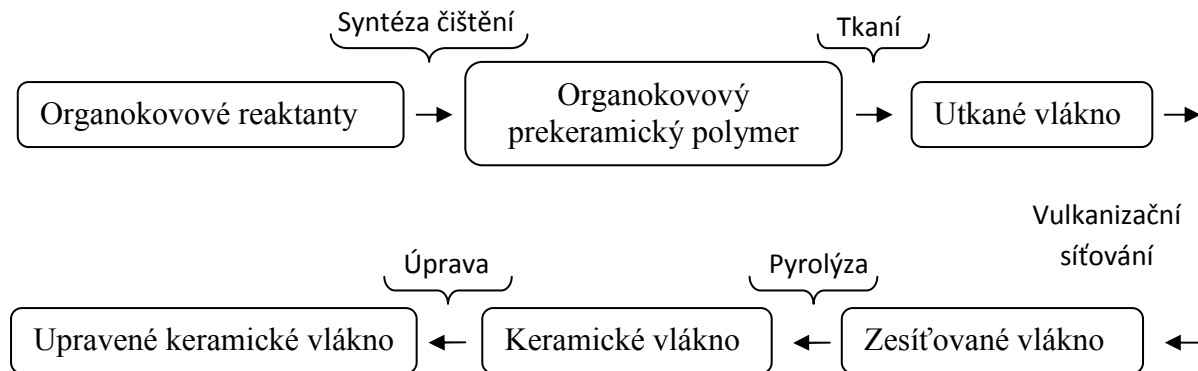
a) Neoxidická vlákna

Hlavně: SiC (Krystalický, amorfní, směsný)

Si₃N₄

BN, B, HfC (Méně)

Nejstarší proces je CVD → CVD SiC keramická matrice
 Na zahřáté vlákno (C, W-drát)
 Využití do MMC + IMC (*Intermetallic composites*)



Zdravotní rizika:

Ročně se vyrobí > 5 mil. tun uměle vyrobených minerálních vláken více než ve 100 závodech v celém světě. ~50% je výroba skleněných vláken.

Hygienické limity:

Počet vdechnutých vláken/cm³

Skelná vlna (vata)

Ø vlákna < 0,3µm

Minerální vlna (čedičová)

Lepší vlastnosti než skleněná

Keramická vlákna

Skleněná vlákna nejsou klasifikována jako lidské karcinogeny

Ø vlákna > 0,3µm

Zákaz v EU (direktiva 2001/41/EC, ze dne 18.7.2001)

Pro žárovzdorná keramická vlákna-silikátová

Polymerní vlákna :

Zvlákňování z roztoku taveniny z plastikovatelného polymeru

a) Z roztoku:

Pro polymery s velkým intervalem mezi teplotou plasticity a táním spolu s nízkým intervalem mezi teplotou tání a rozkladu

Deriváty celulózy

Polyvinylalkohol

Kopolymery akrylo-mihil vinylchlorid

1. Mokrý způsob

Protlačování roztoku vláknotvorného polymeru zvlákňovací tryskou do srážecí lázně.

2. Suchý způsob

Podobné zvlákňování z taveniny, ale ke zpevňování vlákna dochází odpařením rozpouštědla.

b) Z taveniny:

Nepracuje s rozpouštědly

Zvlákňuje při vyšších teplotách ($> 200^{\circ}\text{C}$) v neoxidické atmosféře

PA, PES, tepelně stálé deriváty celulózy

Netkané textilie:

Roztavený polymer je strháván účinkem horkého plynu z ejektoru proudícího kolem trysek umístěných v husté řadě.

-Velmi jemná vlákna

c) Z plastického stavu:

Zejména pro polymery které snadno degradují a jsou špatně rozpustitelné v běžných rozpouštědlech

Konopolymery a Kopolymery vinylidechloridu či Polyolefiv
Zvlákňuje při vyšších teplotách ($> 200^{\circ}\text{C}$) v neoxidické atmosféře

- Obdobné zvlákňování z roztoku či taveniny
(protlačování tryskou za vysokého tlaku)

Úprava polymerních vláken:

Dochází k orientaci makromolekul a krystalů \rightarrow vyšší pevnost

Dloužení vláken



Spojování vláken (přidání zákrut)



Ustavování vláken