

PATENTOVÝ SPIS

(11) Číslo dokumentu:

305 208

(13) Druh dokumentu: **B6**

(51) Int. Cl.:

D02J 1/22 (2006.01)
D01D 5/247 (2006.01)
D01D 5/24 (2006.01)

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLového
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2013-904**
(22) Přihlášeno: **19.11.2013**
(40) Zveřejněno: **10.06.2015**
(Věstník č. 23/2015)
(47) Uděleno: **29.04.2015**
(24) Oznámení o udělení ve věstníku: **10.06.2015**
(Věstník č. 23/2015)

(56) Relevantní dokumenty:

CZ PV 2005-389 A; CZ 2003-2508 A; CZ PV 2002-184 A; EP 0498414 B1.

(73) Majitel patentu:

Vysoké učení technické v Brně, Brno, CZ

(72) Původce:

prof. Ing. Miroslav Raudenský, CSc., Brno, CZ
prof. Ing. Mirko Dohnal, DrSc., Troubsko, CZ
Ilya Astrouski, Brno, CZ

(74) Zástupce:

Ing. Libor Markes, Grohova 54, 602 00 Brno

(54) Název vynálezu:

**Způsob úpravy dutého vlákna pro výměníky
tepla**

(57) Anotace:

Při úpravě dutého polymerního vlákna dloužením jeho prekurzoru se svazek vláken o délce L v prvním kroku dlouží za teploty 20 až 30 °C na délku L₁, která o 1,5 až 2 násobek převyšuje délku L₂ dloužení za stejné teploty. Délka L₂ má po odlehčení tažné síly za následek trvalé prodloužení původní délky L o 5 až 8 %. Ve druhém kroku se svazek vláken bez uvolnění tahu zahřeje na teplotu v rozmezí 40 až 45 °C a za této teploty se dlouží o 9 až 30 % délky L₁. Ve třetím kroku se teplota zvýší na 95 až 110 °C, při níž se svazek vláken dlouží bez uvolnění tahu o 30 až 55 % délky L₁, načež se nejdéle do 15 minut ochladí na teplotu 20 až 30 °C.

CZ 305208 B6

Způsob úpravy dutého vlákna pro výměníky tepla

Oblast techniky

Vynález se týká způsobu úpravy dutého polymerního vlákna dloužením jeho prekurzoru ke zvýšení přestupu tepla ve výměnících tepla na bázi dutých vláken, zejména protékanych médií s vyšší viskozitou.

Dosavadní stav techniky

Polymerní dutá vlákna vyrobená např. z polypropylénu nebo polyetyleny jsou po extruzi velmi hladká, a to jak na vnitřní, tak na vnějším povrchu. Tato vlákna se používají jako teplosměnné plochy v teplotních intervalech, které jsou limitovány fyzikálně mechanickými vlastnostmi použitých polymerů.

Při laminárním režimu probíhá přenos tepla především vedením. U turbulentního proudění je situace odlišná. Při turbulentním režimu dochází k přenosu tepla vedením jen ve viskózní podvrstvě, zatímco uvnitř turbulentního jádra proudu přenos probíhá pomocí intenzivního míchání částic kapaliny. V tenké vrstvě u povrchu stěny se v důsledku tření proudění zpomaluje a rychlost kapaliny klesá na nulu, tvoří se tzv. viskózní podvrstva. Profily rychlosti a teploty v oblasti stěny značně ovlivňuje drsnost stěny.

Ve vláknovém výměníku jedno médium protéká uvnitř vláken a druhé tato vlákna obtéká, a to buď kolmo na ně, nebo paralelně, anebo v kombinaci obou směrů. Při průtoku uvnitř vlákna nebo při obtékání vnějšího povrchu se vytvářejí v obou médiích na vnitřním i vnějším povrchu vláken laminární vrstvy, které snižují přestup tepla. Tento pokles přestupu tepla je významný vzhledem k malým teplotním diferencím mezi oběma médii, zejména slouží-li výměník k využití zdrojů tepla o nízké teplotě. Malá teplotní difference mezi oběma médii může být diktována i fyzikálně chemickými vlastnostmi použitých polymerů.

Protože vnitřní poloměr dutého vlákna může být velmi malý, např. i méně než 0,25 mm, je vliv laminární vrstvy na vnitřním povrchu významnější než na vnějším. Laminární vrstva na vnitřním průřezu vlákna může, zejména u viskózních kapalin, přestup tepla významně ovlivnit.

Velké tepelné výměníky z polymerních vláken jsou tvořeny svazky vláken i s více než 50 000 kapilárami. Jejich délka je limitována tlakovou ztrátou, ale může při větším vnitřním průměru dutých vláken dosahovat až 4 000 mm. Zejména u takto dlouhého svazku vláken je žádoucí laminární vrstvu pokud možno potlačit. Zmenšení tloušťky laminární vrstvy se dosahuje zdrsněním vnitřního i vnějšího povrchu kapilár, a to několika způsoby. Používá se např. leptání povrchu kyselínou. To si však vyžaduje likvidaci použité kyseliny se všemi náklady na bezpečnost a ekologii. Navíc je u tohoto způsobu obtížné regulovat velikost zdrsnění.

Zdrsnění je možné dosáhnout také tím, že po extruzi, v okamžiku kdy je povrch vlákna – prekurzoru ještě dostatečně teplý, tak se do jeho dráhy umístí element, který vytváří do jeho povrchu rýhy. Nevýhoda tohoto postupu spočívá v tom, že zdrsnění je orientováno výhradně ve směru osy dutého vlákna a rozteče rýh jsou řádově srovnatelné s vnějším průměrem dutého vlákna nebo jsou jen o jeden řád menší.

Způsob zveřejněný v spisu PV 2002–184 spočívá v temperování prekurzoru při teplotě o 40 K nižší než je teplota tání polymeru po dobu alespoň 20 minut. Takto připravené vlákno se dlouží za normální teploty o 7 až 50 % rychlostí nejméně 20 % za minutu. Následuje dloužení za normální či zvýšené teploty v komoře. Vzniklý porézní produkt se stabilizuje teplotní fixací. Tímto způsobem se mohou zhotovit polopropustné membrány s objemovou pórozitou od 20 až 75 %.

Tvorba pórů sice zároveň zdrsňuje oba dva povrchy dutého vlákna. Avšak póry, které umožňují průtok média přes stěnu, jsou u výměníků tepla nežádoucí. Navíc vysoká objemová pórozita vede k zvýšenému tepelnému odporu stěny vlákna a k poklesu mechanických vlastností vlákna, např. pevnosti v tahu.

5

Ze spisu PV 2012–772 je znám způsob zdrsnění mikroporézních dutých polymerních membránových vláken spočívající v tom, že se svazek vláken zahřeje na teplotu 35 až 45 °C, za této teploty se vlákna dluží o 15 až 30 % původní délky a následně po zvýšení teploty na 95 až 110 °C se vlákna dále dluží o 45 až 90 % původní délky a poté se nechají po dobu nejméně 30 minut vychladnout na okolní teplotu. Cílem tohoto způsobu je zajistit adhezi konců vláken v matrici při zhotovení přírub svazků vláken pro tepelné výměníky, aniž by došlo k vytvoření nežádoucí pórozity vlákna.

10

Vynález si klade za úkol navrhnout nenáročnou technologii zajišťující zvýšení povrchové drsnosti obou povrchů dutých polymerních vláken ke zlepšení přestupu tepla při současném udržení integrity vlákna a jeho mechanických vlastností.

15

Podstata vynálezu

20

Způsob úpravy dutého polymerního vlákna dlužením, spočívá v tom, že se svazek prekurzorů o délce L v prvním kroku dluží za teploty 20 až 30 °C na délku L_1 , která o 1,5 až 2 násobek převyšuje délku L_2 dlužení za stejné teploty, přičemž tato délka L_2 má po odlehčení tažné síly za následek trvalé prodloužení původní délky L o 5 až 8 %, načež ve druhém kroku se svazek bez uvolnění tahu zahřeje na teplotu v rozmezí 40 až 45 °C a za této teploty se dluží o 9 až 30 % délky L_1 a ve třetím kroku se teplota zvýší na 95 až 110 °C, při níž se svazek dluží bez uvolnění tahu o 30 až 55 % délky L_1 , načež se nejdéle do 15 minut ochladí na teplotu 20 až 30 °C.

25

Ke stanovení délky L_1 je možno dlužit vzorek prekurzoru po krocích se střídavým dlužením a uvolňováním, přičemž v každém kroku postupně délka L_1 narůstá, dokud nedojde k trvalému prodloužení původní délky L vzorku v intervalu 5 až 8 %.

30

Před prvním dlužením se může povrch prekurzoru s výhodou opatřit podélnými rýhami.

35

Příklady uskutečnění vynálezu

V laboratorních podmínkách byly způsobem podle vynálezu upraveny dva svazky polyamido-vých prekurzorů A a B z různých šarží, o různém počtu vláken a různých průměrech. Výchozí délka svazků L u obou vzorků byla shodně 1 m. První krok proběhl u obou svazků za shodné teploty 25 °C a druhý za 42 °C. Konečné ochlazení na 25 °C trvalo shodně 5 min.

40

Svazek A – Vnější/vnitřní průměr: 615/492 μm, počet vláken 600

45

Dloužení v prvním kroku na délku L_1 = na délku 1,8 m odpovídalo 1,7 násobku délky, která by měla za následek reziduální prodloužení původní délky o 6 %. Ve druhém kroku byl svazek dlužen o 20 % délky L_1 a ve třetím kroku o dalších 40 % délky L_1 , a to za teploty 100 °C.

Svazek B – Vnější/vnitřní průměr: 275/220 μm, počet vláken 1480

50

Dloužení v prvním kroku na délku L_1 = na délku 1,9 m odpovídalo 1,8 násobku délky, která by měla za následek reziduální prodloužení původní délky o 7 %. Ve druhém kroku byl svazek dlužen o 25 % délky L_1 a ve třetím kroku o dalších 35 % délky L_1 , a to za teploty 98 °C.

Odlišné podmínky při aplikaci způsobu podle vynálezu u obou případů vyplynuly z drobných odlišností ve struktuře materiálu obou svazků. Je zřejmé, že výsledný poměr dloužení se zásadně liší od dloužicího poměru používaného při výrobě filtračních membrán.

- 5 Zdrsnění povrchu prokázalo pozitivní vliv na přestup tepla, a to tím výraznější, čím je viskozita alespoň jednoho média vyšší a vnitřní průměr dutého vlákna menší. Přestup tepla mezi médii byl testován pro vodu na obou stranách teplosměnné plochy, což je běžný případ. Na přestup tepla byly testovány dva svazky vláken upravených podle vynálezu, oba dlouhé 750 mm a dva svazky nezdrsněné o stejné délce. Rychlost vody uvnitř vláken, která je pro přestup tepla rozhodující,
- 10 byla zvolena 1 m/s, teplota vody uvnitř vláken byla 55 °C, vně vláken 18 °C, rozdíl teplot tedy činil 37 K, rychlost vody proudící kolmo na vlákna byla 0,15 m/s.

- Svazek: A 600 vláken o průměru vláken 615/492 μm – zdrsněné
 B 1480 vláken o průměru vláken 275/220 μm – zdrsněné
 15 C 600 vláken o průměru vláken 615/492 μm – nezdrsněné
 D 1480 vláken o průměru vláken 275/220 μm – nezdrsněné

Byly zjištěny následující parametry:

	Předávaný výkon (kW)	Součinitel přestupu tepla ($\text{W/m}^2\text{K}$)
20 Svazek: A	17,40	1510
B	8,7	3250
C	16,05	1430
25 D	7,9	2980

Pro svazky A a B se zdrsněnými povrchy byl zjištěn přestup tepla o 6 až 10 % vyšší než u svazků C a D. S ohledem na to, že přestup probíhal na nízké energetické hladině, je výsledek ekonomicky zajímavý, přitom náklady na zdrsnění vláken jsou malé.

- 30 Dále byly zjišťovány mechanické vlastnosti vláken dloužených popsáním způsobem.

Test integrity byl proveden pro vnější průměry s tolerancí asi 5 %, jaké se používají pro výrobu mikrofiltračních membrán:

	Vnější/vnitřní průměr [μm]	Síla nutná k přetržení [N]
35	275/220	3.1
	615/492	18

- 40 S ohledem na hydrofobicitu polypropylenu byl test integrity proveden v IPA, a to při vnitřním tlaku 6 bar vzduchu. Ze svazku čítajícího 1480 dutých vláken o průměru 275 μm neprošlo testem integrity jediné vlákno. To znamená, že jen u jednoho vlákna byly identifikovány nepřijatelné póry. Větší průměry nebyly testovány, protože zkušenost ukazuje, že to není nutné.

- 45 Měřením vnitřního a vnějšího tlaku bylo zjištěno, že u dutých vláken všech průměrů se dosahují minimálně těchto hodnot:

Kolapsový tlak 2.8 Bar

Maximální přetlak 5.2 Bar

- 50 Výsledky testu ukazují, že zdrsnění nepoškodilo mechanické vlastnosti kapilár a že je možné tyto kapiláry použít pro výměnu tepla.

- Při kontrole kvality dutého vlákna upraveného podle vynálezu se za uvedených tlaků vycházelo z toho, že existuje silná korelace mezi prasknutím vlákna od vnitřního přetlaku a kolapsovým tlakem od vnějšího přetlaku jako funkce síly nutné k přetržení. Objemová pórozita byla měřena vážením vlákna a měřením jeho objemu. Zdrsnění povrchu je natolik jemné, že je nelze testovat hmatem. Ukázalo se však, že stačí měřit transparentnost vlákna. Prekurzor upravený způsobem podle vynálezu, u něž je dosahovaná objemová pórozita asi v rozmezí 6 až 12 %, je plně transparentní, zatím co membránové vlákno s pórozitou asi 50 % je bílé a absolutně neprůhledné.
- Měřením na mikroskopu bylo zjištěno, že zárodky pórů, které představují žádoucí zdrsnění, mají na vnějším povrchu kapiláry tvar štěrbin o délce asi 0,3 až 0,6 mikronu a šířce asi 0,05 až 0,1 mikronu. Na vnitřním povrchu jsou štěrbiny asi poloviční.

PATENTOVÉ NÁROKY

1. Způsob úpravy dutého polymerního vlákna dloužením, **v y z n a č u j í c í s e t í m**, že se svazek prekurzorů o délce L v prvním kroku dlouží za teploty 20 až 30 °C na délku L_1 , která o 1,5 až 2 násobek převyšuje délku L_2 dloužení za stejné teploty, přičemž tato délka L_2 má po odlehčení tažné síly za následek trvalé prodloužení původní délky L o 5 až 8 %, načež ve druhém kroku se svazek bez uvolnění tahu zahřeje na teplotu v rozmezí 40 až 45 °C a za této teploty se dlouží o 9 až 30 % délky L_1 a ve třetím kroku se teplota zvýší na 95 až 110 °C, při níž se svazek dlouží bez uvolnění tahu o 30 až 55 % délky L_1 , načež se nejdéle do 15 minut ochladí na teplotu 20 až 30 °C.
2. Způsob podle nároku 1, **v y z n a č u j í c í s e t í m**, že ke stanovení délky L_1 se dlouží vzorek prekurzoru po krocích se střídavým dloužením a uvolňováním, přičemž v každém kroku postupně délka L_1 narůstá, dokud nedojde k trvalému prodloužení původní délky L vzorku v intervalu 5 až 8 %.
3. Způsob podle nároku 1, **v y z n a č u j í c í s e t í m**, že před prvním dloužením se povrch prekurzoru opatří podélnými rýhami.

Konec dokumentu
