

ODBORNÁ ZPRÁVA
O POSTUPU PRACÍ A DOSAŽENÝCH VÝSLEDKÍCH
ZA ROK 2018

Číslo projektu: TJ01000292

Název projektu: Pokročilé hybridní pásy pro výrobu kompozit
přesným vinutím

Předkládá:

Název organizace: Technická univerzita v Liberci

Jméno řešitele: Mohanapriya Venkataraman, M. Tech., Ph.D.

Strukturní omezení pásků daná strojním zařízením

1. Predikce geometrické struktury multifilových pásků

Tuto kapitolu zpracovala Dc. Dr. Ig. Křemenáková D., Katedra materiálového inženýrství, Textilní fakulta, TU Liberec

Pro predikci šířky a tloušťky pásků vzniklých zplošťováním multifilů (multifilamentů) s přibližně kruhovým příčným řezem je možno požit předpokladu vzniku plástvové struktury a Kempova modelů průřezu pásků.

Nechť výchozí multifil má jemnost T a obsahuje n vláken. Vlákná v multifilu jsou uspořádána rovnoběžně. Podíl jemnosti multifilu T a jemnosti vláken t vyjadřuje počet vláken n , takže pro jemnost vláken [1] platí

$$t = T / n \quad (1)$$

Jemnost vlákna je součinem jeho plochy příčného řezu $s = \pi d^2 / 4$ a hustoty ρ , takže průměr vlákna d lze určit ze vztahu

$$d = \sqrt{4t / (\pi\rho)} \quad (2)$$

Předpokladem je, že vlákna multifilu vytvářejí tzv. plástovou strukturu definovanou Neckářem [1] viz obr.1a. Struktury na obr. 1 se skládají ze tří koncentrických vrstev. První vrstva je tvořena vláknem umístěným v ose multifilu. Další 2 koncentrické vrstvy tvoří šestiúhelníky. Vlákná mohou tvořit uzavřenou (obr. 1a) nebo otevřenou (obr. 1b) plástovou strukturu. V závislosti na počtu vláken n lze určit počet koncentrických vrstev $i=2,3,\dots$ dle vztahu [1]

$$i = 0,5 + \sqrt{n/3 - 1/12} \quad (3)$$

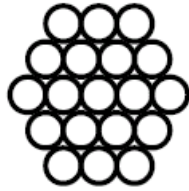
V i -té vrstvě je počet vláken m

$$m = 6(i - 1) \quad (4)$$

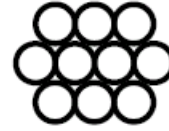
Průměr kruhu, který má stejnou plochu jako je plocha opsaného šestiúhelníka struktury na obr.1a lze určit dle [1]

$$D_n = 2d[\sqrt{n/3 - 1/12} - 0,5 + 1/(2\cos 30^\circ)]\sqrt{3\cos 30^\circ / \pi} \quad (5)$$

U tzv. plástové kompaktní struktury [1] jsou osy vláken umístěny ve vrcholech rovnostranného trojúhelníka (nejtěsnější uspořádání) lze odvodit limitní zaplnění (objemový podíl vláken) $\mu_{\text{lim}} = 0,907$.



Obr.1a Uzavřená plástová struktura multifilamentu



Obr.1b Otevřená plástová struktura multifilamentu se 3 vlákny ve třetí. koncentrické vrstvě

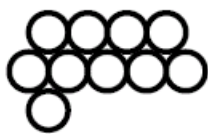
Jemnost multifilamentu T odpovídá součinu sumární plochy vláken S a hustoty vláken ρ , takže lze odvodit pro průměr multifilamentu také vztah [1]

$$D_r = \sqrt{4T / (\pi \mu \rho)} \quad (6)$$

kde zaplnění (objemový podíl vláken) $\mu = \mu_{lim}$ v případě kompaktní plástové struktury.

Při zploštění multifilamentu vlivem změny polohy vláken se předpokládá, že nedochází k deformaci vláken. Mění se šířka multifilamentu a , a v závislosti na ní také tloušťka b . Předpokladem je, že s šířky a se zmenšuje se tloušťka b a vlákna se z horních vrstev postupně přesouvají do roviny (nebo k rovině) osového vlákna (obr.2a až 2f), přitom se zachovává co nejtěsnější uspořádání dle kompaktní plástové struktury [2]. Výhodné je definovat relativní šířku α , relativní tloušťku β a zploštění γ dle vztahů uvedených v [1]

$$\alpha = a / D, \beta = b / D, \gamma = \alpha / \beta = a / b, \text{ platí } \gamma \geq 1 \quad (7)$$



a) $a = 5d, b = 3d$



b) $a = 6d, b = 2d$



c) $a = 7d, b = 2d$



d) $a = 8d, b = 2d$



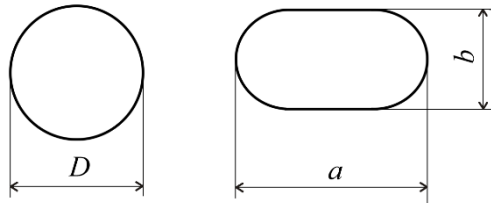
e) $a = 9d, b = 2d$



f) $a = 10d, b = 2d$

Obr. 2 Mechanismus zplošťování multifilamentu (v sekvenci a až f) [2].

Předpokladem je, že se multifil zplošťuje z původního kruhového průřezu D do tzv. Kempova průřezu, který tvoří 2 kruhové oblouky a 2 přímkové úseky viz obr.3. Kempův průřez je popsán 2 charakteristickými rozměry, tj. šířka a a tloušťka b .



Obr.3 Kruhový průřez a Kempův průřez (vpravo)

Dle Neckáře [1] lze použít 2 alternativní hypotézy, kdy se při zploštění zachovává plocha nebo obvod. Z rovnosti plochy kruhu o průměru D a plochy Kempova průřezu s rozměry a, b , plyne vztah mezi relativní tloušťkou β a šířkou α

$$\alpha = [\pi/4 - \beta^2(\pi/4 - 1)] / \beta \quad (8)$$

V tomto případě při zploštění multifilu obvod roste a plocha příčného řezu zůstává stejná. Z rovnosti obvodu kruhu o průměru D a obvodu Kempova průřezu s rozměry a, b , plyne vztah mezi relativní tloušťkou β a šířkou α

$$\alpha = [\pi - \beta(\pi - 2)] / 2 \quad (9)$$

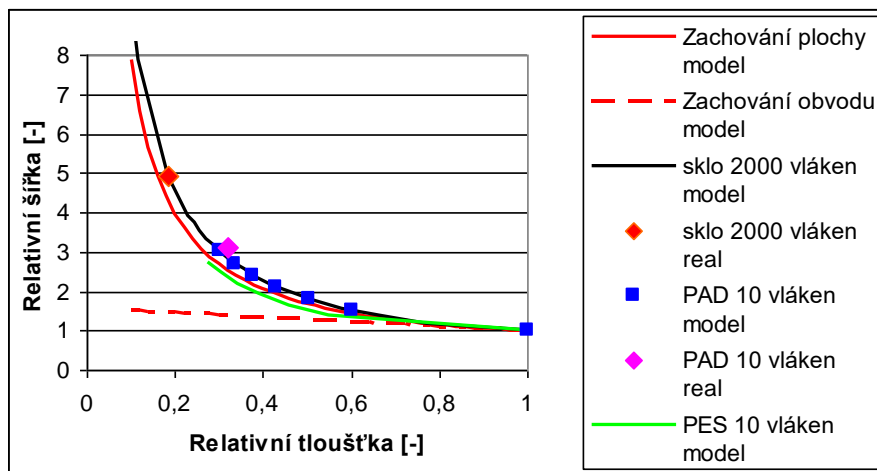
V průběhu zploštění multifilu se zmenšuje plocha příčného řezu, roste zaplnění, avšak obvod multifilu zůstává stejný.

Pro srovnání jsou jako příklady použity tyto multifily:

1. PAD multifil o jemnosti 20 den (22,2 dtex) a počtu vláken 10 se postupně zplošťuje dle obr.1b, 2a až 2f. Průměr multifilu dle vztahu (5) je 0,05252 mm. Průměr multifilu vypočtený dle vztahu (6) při hustotě 1130 kgm^{-3} a za předpokladu plástové kompaktní struktury (kdy $\mu_{\text{lim}} = 0,907$), je stejný, tj. 0,05247 mm. Jemnost PAD vlákna je 0,222 dtex a průměr PAD vlákna je 0,0158 mm. PAD multifil se používá pro výrobu padákových tkanin a reálné hodnoty při dostavě 550 nití na cm jsou: $a = 0,167 \text{ mm}$, $b = 0,015 \text{ mm}$, $\alpha = 3,18$, $\beta = 0,286$ a $\gamma = 11,1$.
2. PES multifil stejné jemnosti a počtu vláken jako PAD multifil, který má při vyšší hustotě 1360 kgm^{-3} menší průměr 0,048 mm a menší průměr vlákna 0,014 mm.
3. Multifil tvořený skleněnými vlákny o jemnosti 1200 tex a počtu vláken 2353 vytváří otevřenou kompaktní plástovou strukturu s počtem vrstev 29 včetně osového vlákna. V poslední otevřené 29 vrstvě je 85 vláken. Při hustotě 2550 kgm^{-3} je průměr skleněného multifilu 0,813 mm, jemnost skleněného vlákna je 0,51 tex a jeho průměr 0,0159 mm. Ze

skleněného multifilu se tvoří kompozitní pásek, který se používá pro přesné vinutí. Reálné parametry kompozitního pásku jsou: $a = 4 \text{ mm}$, $b = 0,16 \text{ mm}$, $\alpha = 4,92$, $\beta = 0,18$ a $\gamma = 26,7$.

Relativní šířka PAD, PES a skleněného multifilu v závislosti na relativní tloušťce při různé úrovni zploštění pro obě alternativní hypotézy a výše uvedené reálné hodnoty jsou na obr. 4.



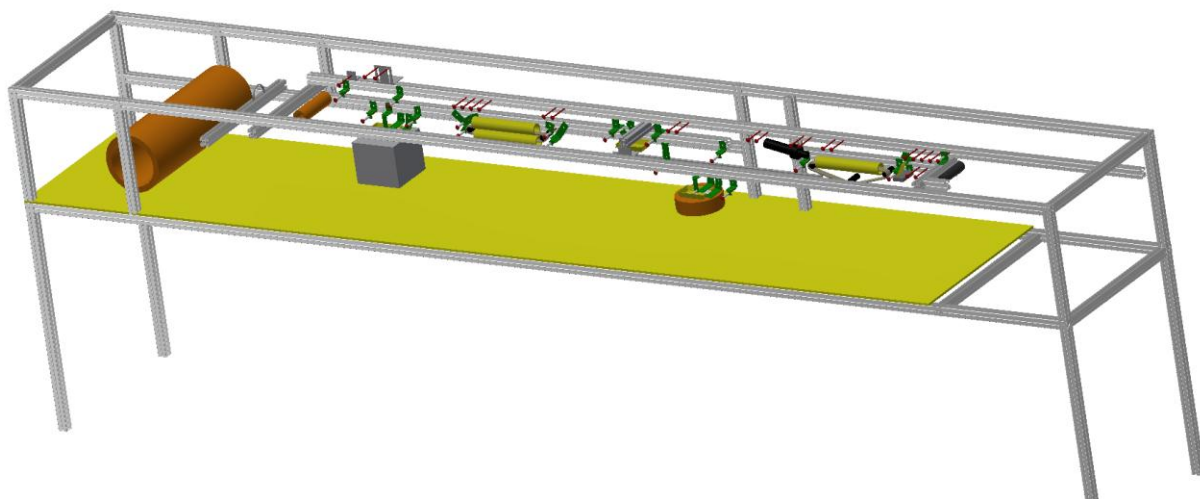
Obr. 4 Vztah mezi relativní šířkou a tloušťkou pásků

Je patrné, že hodnoty relativní šířky a tloušťky se vyskytují v okolí hodnot vypočtených pro hypotézu o zachování plochy

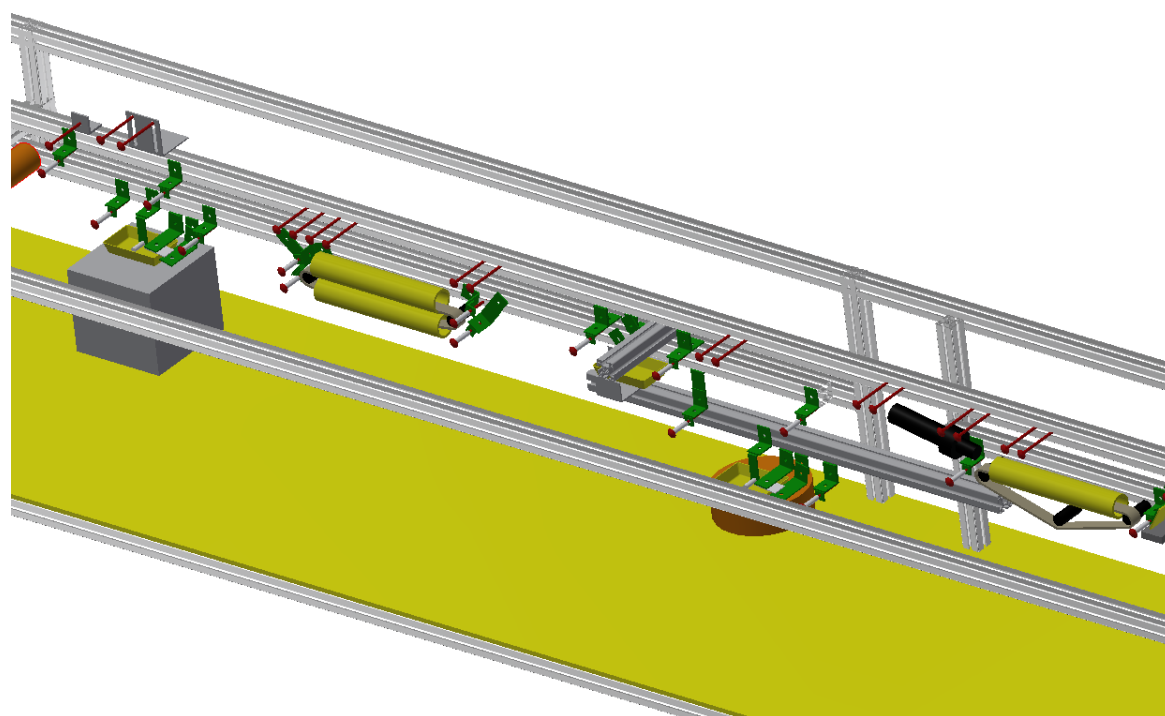
2. Strukturní omezení pásků daná výrobní linkou

Současná podoba linky umožňuje přípravu hybridní pásky v podobě prepregu o maximální šířce 15 mm. Tato šířka je primárně omezena šířkou silikonových pásů, které slouží k vedení impregnované pásky skrze vyhřívaný tunel. Pro přípravu širších pásek by se linka musela dodatečně modifikovat, nicméně zatím to nebylo potřeba. Navíc skleněný roving, který je v současné době používán neumožňuje, díky použitému sizingu, rozdělení pásky na takovou šířku, aby byla omezením pro rozměry linky.

Model výrobní linky je uveden na obr. 5. Proces přípravy hybridních pásek je popsán v samostatné zprávě. Samotné rozdělování skelného rovingu je prováděno mechanickou cestou, a to pomocí systému hladkých ocelových šroubů ošetřených teflonovou vrstvou. Na obr. 6 je tento systém šroubů znázorněn.



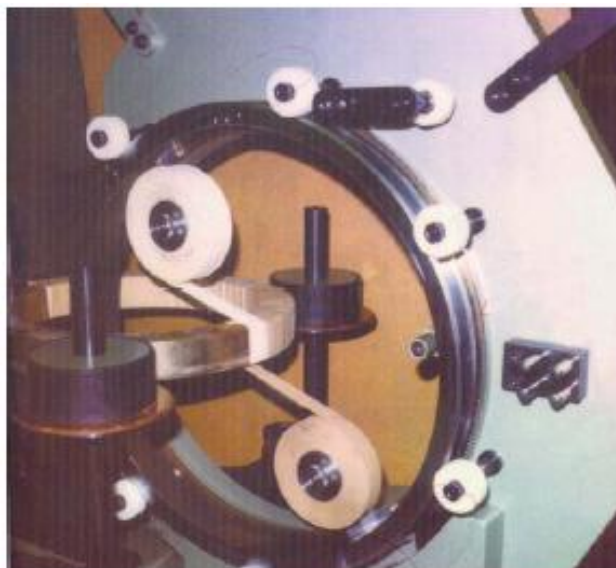
Obr. 5 Modelové znázornění linky pro přípravu pásek



Obr. 6 Modelové znázornění linky pro přípravu pásek

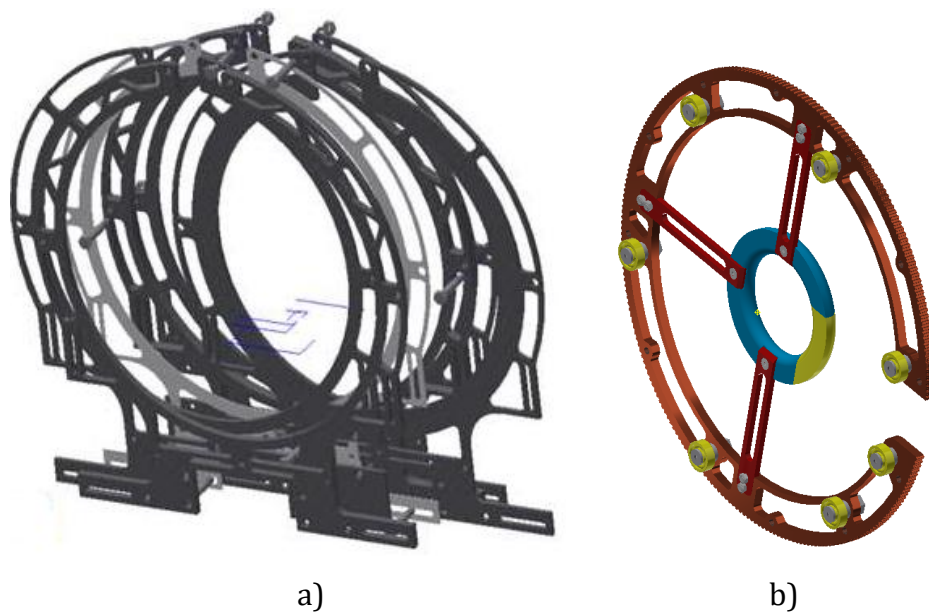
3. Technologie přesného vinutí

Proces navíjení vláken je známý již dlouhou dobu. Až do nedávné doby se tato technologie týkala zejména oblasti textilního inženýrství, opletu lan, hadic a podobných součástí z atypických sektorů. Pokrok v používání kompozitních materiálů namísto konvenčních materiálů se v mnoha průmyslových odvětvích projevil ve využívání vinutých dílů. Dále popsany systém využívající hybridních pásek je v podstatě inverzní přístup k tradičnímu navíjení vláken. Pro klasické vinutí nebo ovíjení je zařízení stojící v jedné poloze (alternativně horizontálně posunuto v jednom směru) a jádro se otáčí. V tomto systému je jádro statické a ovíjení probíhá pomocí ovíjecí hlavy s cívkami, obdobný princip je využíván při vyrábění toroidních cívek (viz obr. 7).

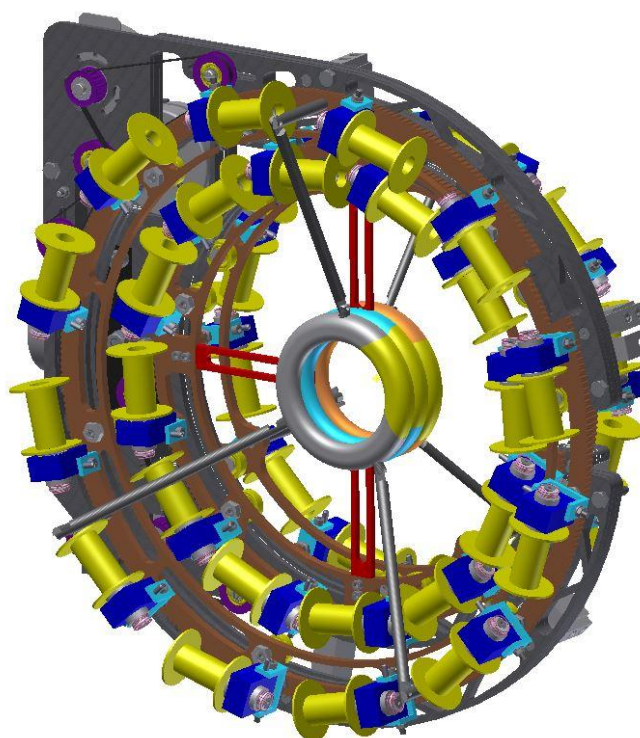


obr. 7 Systém vinutých toroidních cívek

Ovíjecí hlava je tvořena rámem tvaru C tvořeným několika lamelami (obr. 8 a). Lamelové uspořádání umožňuje snadno vytvořit drážku pro vložení a vedení oběžných kol (obr. 8 b). Ovíjecí hlava je osazena třemi oběžnými koly, které jsou nezávisle poháněny prostřednictvím řemenového převodu. Každé oběžné kolo může být osazeno až dvanácti cívkami. Celkový pohled na ovíjecí hlavu je na obr. 9.



Obr. 8 CAD model rámu a)ovíjecí hlavy b) oběžné kolo .



Obr. 9 Ovíjecí hlava.

Takovéto uspořádání ovíjecí hlavy umožňuje vytvářet třívrstvý návin při jednom průchodu jádra ovíjecí hlavou. Úhly jednotlivých navinutých vrstev lze volit libovolně podle rychlostních

poměrů oběžných kol a posuvu ovíjecí hlavy. Pro ovíjení tvarově složitějších dílů je možné využít robotizované pracoviště, kde jeden robot manipuluje s ovíjecí hlavou a zároveň druhý robot manipuluje s ovíjeným jádrem (obr. 10).

Šířka pásky pro ovíjení je dána zejména tvarem ovíjeného dílu, pro díly s malou křivostí lze použít pásky o šířce do 20 mm. Je tedy patrné, že maximální šířka 15 mm hybridních pásek produkovaných prototypovou linkou z obr. 1 je pod touto hranicí.



Obr. 10 Robotické pracoviště přesného vinutí.

4. Závěr

Je možné predikovat relativní rozměry pásek na základě idealizovaného modelu s plástvovou strukturou. Hybridní páska pro technologii přesného vinutí je omezena zhora 20-ti mm pro díly s malou křivostí. Hybridní pásky vyrobené na lince modifikované v rámci řešení tohoto projektu mají šířku menší, takže je lze bez problémů použít. Standardní šířka hybridní pásky pro experimenty byla nastavena 6 mm (průměrná šířka z experimentálních hodnot vyšla 6.4 mm).

Literatura:

[1] Neckář B.: Příze, SNTL Praha 1990

[2] Křemenáková D.: Prediction of woven fabric geometrical characteristics in the case of multifilament yarn flattening, prepared for publication