

VÝROBA HYBRIDNÍHO KOMPOZITU S TERMOPLASTICKOU MATRICÍ A ARAMID-UHLÍKOVOU TKANINOU

Tereza Vaňková*, Robert Zemčík, Tomáš Kroupa, Jan Krystek

Západočeská univerzita v Plzni, FAV, KME, Technická 8, 30100, Plzeň

Abstrakt

Príspevek se zabývá procesem výroby hybridního kompozitu a analýzou vlivu změny postupu výroby na mechanické vlastnosti. Kompozit byl vyroben z deseti stejně orientovaných vrstev tkaniny s plátňovou vazbou tvořenou aramidovými vlákny v jednom směru a uhlíkovými v druhém. Jednotlivé vrstvy tkaniny byly prokládány polyvinyl butyralovou fólií. Následně byly kompozitní desky vytvrzeny s použitím autoklávu. Výroba byla několikrát opakována a při jednom opakování byl proces vytvrzování v autoklávu pozměněn. Experimenty provedené na vzorcích z desek s upraveným postupem výroby a z ostatních desek ukázaly odlišnosti v mechanických vlastnostech.

1. Úvod

Existuje několik definic hybridních kompozitů publikovaných různými autory [1, 2]. V tomto příspěvku je hybridní kompozit chápán jako materiál vyrobený kombinací dvou nebo více různých typů vláken ve společné matici. Hybridní kompozity oproti konvenčním umožňují přesnější dosažení požadovaných mechanických, tepelných, tlumicích a dalších vlastností [3].

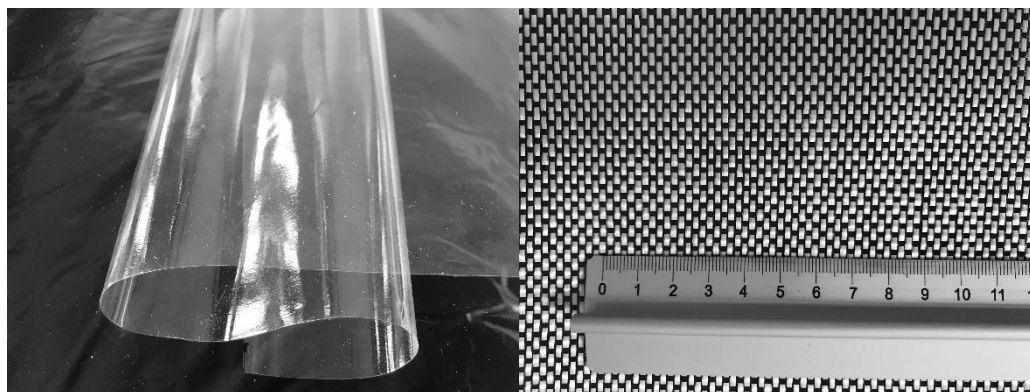
Jeden z možných procesů výroby hybridních kompozitů s polymerní maticí je založen na vytvrzování za zvýšeného tlaku a teploty, k čemuž bývá použit autokláv. Vlastnosti vyrobeného produktu nejsou dány pouze zvolenými materiály, ale také parametry technologického procesu (teplotou, tlakem, dobou a umístěním v autoklávu). Vlivem těchto podmínek na výsledný produkt se věnuje řada studií např. [4, 5, 6], avšak zaměřují se především na výrobu konvenčních kompozitů.

Tento příspěvek se zabývá procesem výroby hybridního kompozitu s polymerní maticí za použití autoklávu a vlivem změny průběhu teploty při vytvrzování na mechanické vlastnosti vyrobeného kompozitu.

2. Výroba

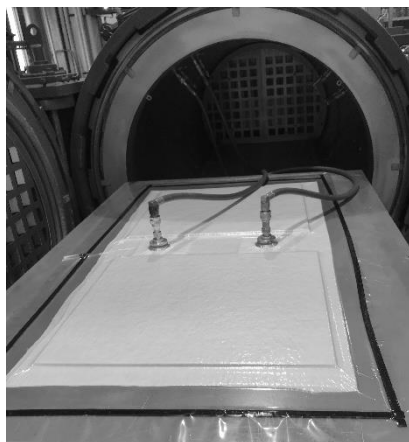
Hybridní kompozit byl vyroben z deseti vrstev plátňové tkaniny (HP-P167AC) s aramidovými (Kevlar 49, 158 tex) vlákny v jednom směru a uhlíkovými (3K, 200 tex) v druhém propojenými termoplastickou maticí z polyvinyl butyralové (PVB) fólie 55g/m² (viz Obr. 1). Z aramid-uhlíkové tkaniny a PVB fólie byly nastříhány čtverce o velikosti 500 × 500 mm (resp. obdélníky 500 × 450 mm, velikost závisela na rozměrech dostupného krycího skla). Všechny vrstvy tkaniny byly orientovány v jednom směru a prokládány PVB fólií. Na dno byla položena jedna vrstva fólie následovaná jednou vrstvou tkaniny a dvěma vrstvami fólie. Následně byla opakována jedna vrstva tkaniny a dvě fólie. Na poslední (desátou) vrstvu tkaniny byla umístěna jedna poslední vrstva PVB fólie.

* Tel. +420 377 632 356, e-mail: vankovat@kme.zcu.cz

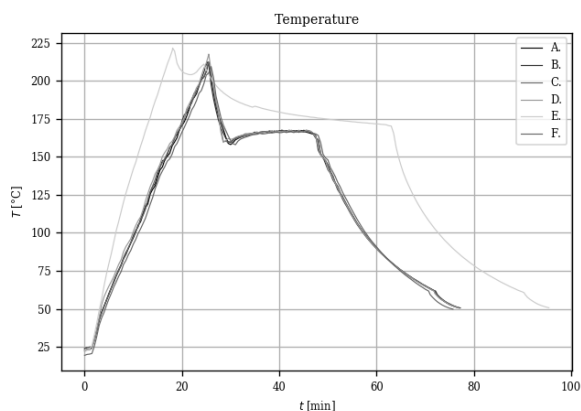


Obr. 1. Materiály použité při výrobě: polyvinyl butyralová fólie (vlevo) a hybridní tkanina uhlík/aramid (vpravo).

Takto připravená kompozitní deska s popsanou skladbou byla zatížena krycím sklem (krycí sklo přidržuje jednotlivé vrstvy, aby během procesu byly stabilizovány a napomáhá k hladkému rovnému povrchu vyrobené kompozitní desky). Připraveny byly dvě desky současně a ty byly následně „vložené do vakuového pytle“, z něž byl odsát vzduch (viz Obr. 2). Posléze bylo vše vsunuto do autoklávu a vytvrzeno při tlaku 0,5 MPa a maximální teplotě vzduchu uvnitř autoklávu nastavené na 165 °C po dobu 20 min (tyto hodnoty byly zvoleny po konzultaci s výrobcem PVB fólie).



Obr. 2. Připravené desky před vložením do autoklávu.



Obr. 3. Graf průběhu teploty v autoklávu.

Postup výroby byl několikrát opakován a celkem bylo vyrobeno jedenáct kompozitních desek (jednotlivé výroby byly označeny A–F). Při jednom z opakování (E) byla z technických důvodů teplota v autoklávu řízena jiným způsobem, což mělo za následek změnu průběhu teploty při vytvrzování. Průběh teploty v autoklávu měřené kontrolním čidlem v horní části autoklávu je znázorněn na Obr. 3. Tato změna postupu vedla i ke změně vlastností vyrobeného materiálu. První rozdíl byl patrný bezprostředně po výrobě. A sice tloušťka vyrobených desek byla $2,35 \pm 0,01$ mm s výjimkou dvou desek vyrobených s jiným průběhem teploty, jejichž tloušťka byla $2,25 \pm 0,01$ mm.

3. Experimenty

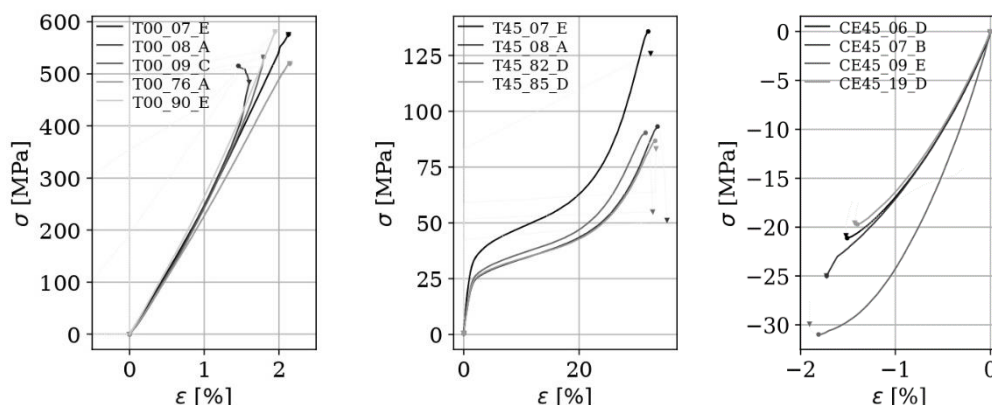
Z vyrobených desek byly nařezány obdélníkové vzorky o průměrných rozměrech 229×13 mm s orientací 0° , 25° , 45° , 65° a 90° (úhel 0° odpovídá orientaci ve směru aramidových vláken a 90° ve směru uhlíkových). Vzorky byly podrobeny tahovým zkouškám na trhačím stroji Zwick/Roell Z050 s rychlostí zatěžování 2 mm/min. Protážení bylo měřeno na délce $l = 40$ mm pomocí raménkového extenzometru.

Ze získaných hodnot síly F a protažení Δl bylo vypočteno napětí a deformace s užitím vztahů:

$$\sigma = \frac{F}{A}, \quad (1)$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}, \quad (2)$$

kde A je plocha průřezu. Z grafů závislosti napětí na deformaci bylo zřejmé, že materiál vyrobený při jiném průběhu teploty má jiné mechanické vlastnosti v tahu (viz Obr. 4). Následně byla provedena i tlaková zkouška dle normy ASTM D695 pro vzorky s orientací vláken 45° a také zde byly zjištěny odlišné vlastnosti.



Obr. 4. Graf závislosti napětí na deformaci (zleva doprava): tahové zkoušky vzorků s orientací 0° , tahové zkoušky vzorků s orientací 45° a tlakové zkoušky vzorků s orientací 45° (poslední písmeno v legendě udává označení výroby).

Ze závislosti napětí na deformaci byl na intervalu $\varepsilon \in (0,001; 0,003)$ určen modul pružnosti v tahu. Pevnost v tahu byla stanovena jako maximální dosažené napětí. Materiál vyrobený při jiném průběhu teploty má vyšší modul pružnosti a vyšší tahovou pevnost (aritmetické průměry z vypočítaných hodnot jsou uvedeny v Tab. 1). Z provedené tlakové zkoušky lze usuzovat, že zřejmě bude mít vyšší i tlakovou pevnost, avšak ta doposud nebyla experimentálně určena. Tahová pevnost určená pro vzorky s orientací vláken 90° může být i vyšší, jelikož pro všechny měřené vzorky došlo k porušení u čelisti nebo v její blízkosti (a to i v případě, kdy byly použity hliníkové příložky). V ostatních případech došlo většinou k porušení v oblasti mezi raménky extenzometru.

Tab. 1. Porovnání určených mechanických parametrů.

Orientace	Modul pružnosti [GPa]		Tahová pevnost [MPa]	
	Výroba E	Ostatní	Výroba E	Ostatní
0°	24,3	22,0	578,7	522,7
25°	4,8	3,3	183,5	130,3
45°	3,1	2,1	135,8	90,1
65°	4,6	3,2	118,5	86,7
90°	30,2	24,1	343,2	304,0

4. Závěr

S použitím autoklávu bylo vyrobeno jedenáct desek hybridního kompozitu. V rámci jednoho cyklu výroby byl průběh teploty v autoklávu jiný než v ostatních případech, což mělo za následek získání lepších mechanických vlastností. Dalšími úpravami v procesu vytvrzování by bylo možné optimalizovat proces výroby, tak aby bylo dosaženo co možná nejlepších požadovaných materiálových vlastností za použití stejného množství tkaniny a termoplastu.

Poděkování

Tato publikace byla podpořena projektem SGS-2022-008 Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy ČR.

Literatura

- [1] Jamir, M.R.M., Majid, M.S.A., Khasri, A.: Natural lightweight hybrid composites for aircraft structural applications. In: Sustainable Composites for Aerospace Applications, pp. 155–170, 2018.
- [2] Gu, H., Liu, C., Zhu, J. et al.: Introducing advanced composites and hybrid materials. In: Adv Compos Hybrid Mater, 1, pp. 1–5, 2018.
- [3] Banerjee, S., Sankar, B.V.: Mechanical properties of hybrid composites using finite element method based micromechanics. In: Composites Part B: Engineering, 58, pp. 318–327, 2014.
- [4] Ciriscioli, P. R., Springer G. S.: Smart Autoclave Cure of Composites, 1st ed. CRC Press, 1990.
- [5] Kam, T.Y., Lai, F.M., Sher, H.F.: Optimal parameters for curing graphite/epoxy composite laminates. In: Journal of Materials Processing Technology, 48, pp. 357–363, 1995.
- [6] Mirzaei, S., Krishnan, K., Al Kobtawy, C. et al. Heat transfer simulation and improvement of autoclave loading in composites manufacturing. In: The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 112, pp. 2989–3000, 2021.