Experimentální Analýza Napětí 2007

SHEAR MODULUS EVALUATION OF SANDWICH PVC FOAM CORE

STANOVENÍ SMYKOVÉHO MODULU PĚNĚNÉHO JÁDRA SENDVIČE

Dita Čuprová,[1] Miroslav Černý,[2] Jan Beránek[3]

Abstract: *The behavior of sandwich beam with symmetrical and nonsymmetrical structure is investigated. The sandwich structure consists of G/UP composite skins and foam PVC core. The vertical displacement in three point bending based on shear deformation theory is compared with experimental data. The method for evaluation of core shear modulus Gc from three point is described.*

Keywords: *core shear modulus, sandwich beam, three point bending*

1. Úvod

Součásti ze sendvičových a kompozicových materiálů se v čím dál větší míře uplatňují pro konstrukci a výrobu pozemních dopravních prostředků. Vzhledem k požadavkům na tuhost a pevnost konstrukce se pro výrobu samonosných skeletů dopravních prostředků používá sendvičových kompozitů. U těchto aplikací se jako matrice používají fenolické, polyesterové a epoxidové pryskyřice, jako výztuže se aplikují skleněná, uhlíková a aramidová vlákna a materiál pěny se volí polyuretan a PVC. Pro navrhování a dimenzování součástí ze sendvičových materiálů je třeba mít informace o složení materiálu a o mechanických vlastnostech daného materiálu. Mechanické vlastnosti sendvičových materiálů se určují pomocí zkoušek nosných vrstev sendviče, tedy na vnitřní a vnější vrstvě, v tahu a v ohybu a ze zkoušky pěněného jádra v tlaku a ve smyku. Jedny z nejnáročnějších mechanických zkoušek kompozitních materiálů jsou zkoušky smykové. Ke zjišťování smykových vlastností pěněného jádra se používá smyková zkouška dle ASTM C273 [1].

Cílem této práce bylo stanovit smykové vlastnosti (modul ve smyku) pěněného jádra vybraného sendvičového materiálu pro výrobu samonosného tramvajového skeletu dvěma nekonvenčními metodami. Jednou z nich byl výpočet smykového modulu pěněného jádra podle postupu uvedeného v literatuře [4] z výsledků získaných z tříbodové ohybové zkoušky sendviče dle ASTM C393 [2]. Dále byly smykové vlastnosti jádra určeny přímo pomocí zkoušky ve smyku. K tomuto účelu byla použita zkouška Iosipescova, která je pro kompozity standardizována v ASTM D5379 [3] a která se používá pro trojrozměrně vyztužené C/C kompozity, pro jednosměrně vyztužené epoxidové pryskyřice uhlíkovými nebo skleněnými vlákny apod. V závěru jsou výše uvedené a použité postupy porovnány.

[1] Ing. Dita Čuprová, ČVUT v Praze, KÚ, Oddělení mechaniky, Šolínova 7, 166 08 Praha 6, tel.: +420 224353560, e-mail: cuprova@klok.cvut.cz

[2] Ing. Miroslav Černý, CSc., ČVUT v Praze, KÚ, Oddělení mechaniky, Šolínova 7, 166 08 Praha 6, tel.: +420 224353584, e-mail: cerny@klok.cvut.cz

[3] Ing. Jan Beránek, ČVUT v Praze, KÚ, Oddělení mechaniky, Šolínova 7, 166 08 Praha 6, tel.: +420 224353560, e-mail: jan.beranek.19@gmail.com

2. Zkušební materiál

Zkušebním materiálem byla deska vyrobená v akciové společnosti Variel, Zruč nad Sázavou. Zkušební deska, která byla v našem ústavu rozřezána na zkušební vzorky, měla rozměry 1000 x 1000 mm.

Vnitřní vrstva sendviče byla složena z gelcoatu NUVOPOL 80-51JPG (W. Mäder A.G. Kilwangen), z jedné vrstvy závojové rohože CO-BACK W 50 g/cm^2 (Akzo Nobel Fibers NL). Jako tkanina pro vnitřní a vnější vrstvu byla použita skleněná tkanina o plošném obsahu 624 g/m^2 (Saertex A.H. Meyer Zürich) uložena ve čtyřech vrstvách, kdy uložení pramenců ve skleněné tkanině bylo 0° 240 g/m^2 a 90° 372 g/m^2 (dohromady 624 g/m^2). Pro vnitřní a vnější vrstvu skeletu byla použita pryskyřice NUVOPOL 80-05 G (W. Mäder A.G. Kilwangen). Pěněné jádro bylo vyrobeno z materiálu HEREX C 70.55, tvrdá pěna PVC (Airex, Sins).

3. Experiment

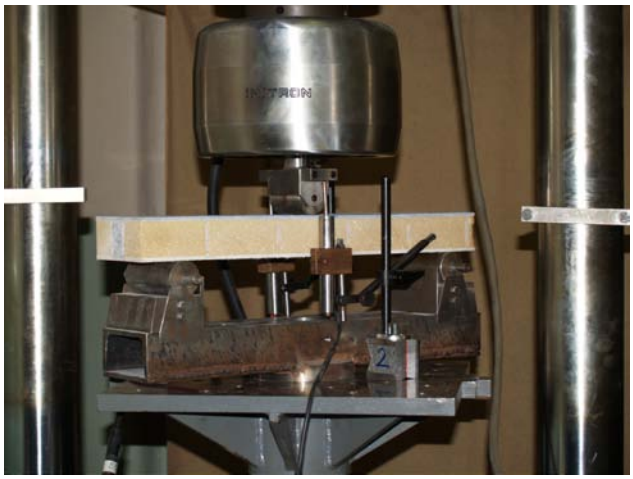
Pro mechanické zkoušky sendviče a pěněného jádra byl použit servohydraulický zkušební stroj INSTRON 1273 (±100 kN dynamické zatížení, 200 kN statické zatížení) s hydraulickými čelistmi. Údaje ze zkušebního stroje byly zaznamenávány měřící ústřednou Hewlett-Packard 3852. K záznamu a zpracování dat bylo použito programové vybavení LabWindows 5.1 (National Instruments) a vlastního programu pro měření.

3.1 Tříbodová zkouška v ohybu

Pro tuto zkoušku byla z dodané desky připravena zkušební tělesa ve tvaru nosníků po pěti kusech ve směru 0° a po pěti kusech ve směru 90°. Délka nosníků byla 500 mm, šířka tělesa byla 100 ± 0,1 mm a tloušťka 50 ± 0,1 mm.

Způsob měření této zkoušky byl proveden dle normy ASTM C393 [2]. Nosník byl zatěžován v polovině rozpětí podpor, které bylo 400 mm. Rychlost zatěžování byla 5 mm/min. Při zatěžování byla vnější nosná strana sendviče nejblíže k zatěžovacímu trnu. Teplota prostředí při zkoušce byla 23 ± 2 °C.

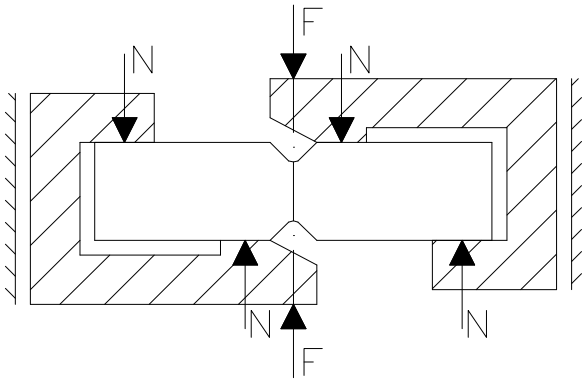
Měřicí ústředna Hewlett-Packard 3852 zaznamenávala údaje o velikosti síly a o velikosti průhybu uprostřed nosníku pod osamělým břemenem. Průhyb nosníku byl zaznamenáván pomocí dvou LVDT snímačů umístěných po stranách podélného středu nosníku. Na obr. 1 je zobrazeno provedení této zkoušky.



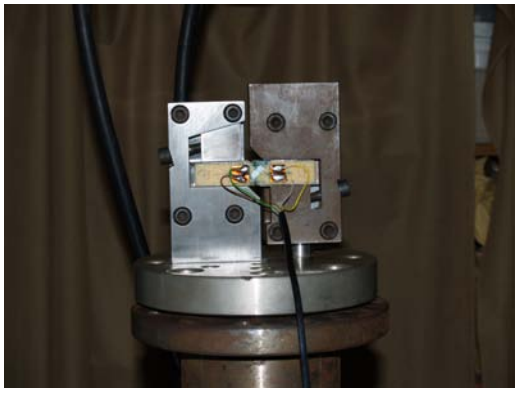
Obr. 1. Schéma provedení ohybové zkoušky

3.2 Smyková zkouška Iosipescova

Principem smykové zkoušky Iosipescu je dosažení čistého smykového zatížení uprostřed zkušebního tělesa. Přípravek, ve kterém je uchyceno zkušební těleso, je vystaven ve zkušebním stroji zatížení silou *F*. Vlivem tvaru přípravku je toto zatížení transformováno na dvojici sil *N*, která zatěžuje těleso v ose čistým smykem. Jedna z možných konstrukcí zkušebního zařízení, ve kterém dochází k požadovanému způsobu zatížení, je zobrazena na obr. 2. Konce zkušebního tělesa jsou v přípravku uchyceny tak, aby bylo zabráněno pootočení vzorku během zatížení a zároveň aby došlo ke čtyřbodovému symetrickému zatížení. Schéma zatížení odpovídá doporučení v ASTM D5379 [3].

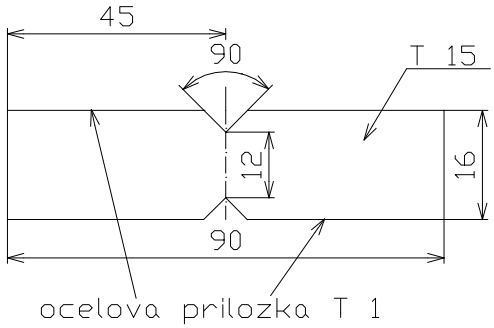


Obr. 2. Schéma zatížení smykové zkoušky Iosipescu

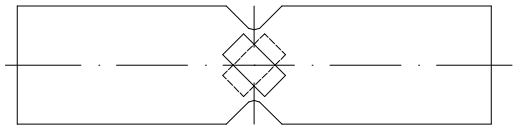


Obr. 3. Zkušební přípravek

Na obr. 3 je snímek přípravku pro smykovou zkoušku Iosipescu vyrobený a používaný v Kloknerově ústavu ČVUT, Centru kompozitů, spolu s nainstalovaným zkušebním vzorkem. Takto nachystaný přípravek byl umístěn do zkušebního zatěžovacího stroje – Instronu 1273. Zkušební těleso bylo vystaveno postupně se zvyšující síle až do jeho porušení. U této smykové zkoušky se používají zkušební tělesa s 90° vrubem. Tvar zkušebního tělesa a jeho rozměry jsou uvedeny na obr. 4. Pěněné jádro bylo navíc opatřeno ocelovými příložkami o délce 40 mm, šířce 15 mm a tloušťce 1 mm, které bránily ohýbání zkušebního tělesa.



Obr. 4. Schéma zkušebního vzorku



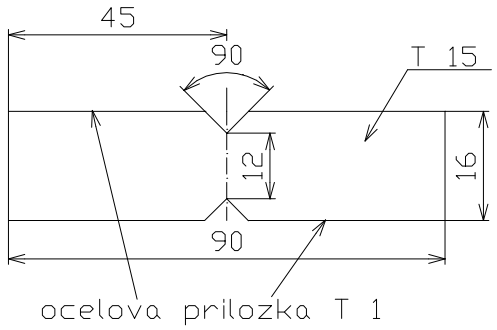
Obr. 5. Umístění tenzometrů

Pro zaznamenávání deformace materiálu byly použity odporové tenzometry SM 120. Tyto tenzometry (120 ohmů) byly přilepeny na protilehlých stranách pod úhly ±45° k podélné ose a zároveň umístěny ve středu spojnice obou vrubů (obr. 5). Měřicí tenzometry byly připojeny k měřicí ústředně Hewlett- Packard 3852 ve ¼ mostovém zapojení, která zaznamenávala

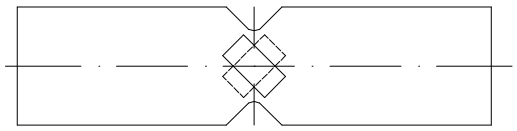
sledovanou deformaci, zatěžující sílu ze zatěžovacího stroje a čas zatěžování. Smyková deformace γ_{xy} byla vypočte z poměrné deformace ve směru 45° z následujícího vztahu

$$\gamma_{xy} = 2 \cdot \varepsilon_{45}, \tag{1}$$

kde ε_{45} je průměrná hodnota deformace zjištěná ze dvou použitých tenzometrů.



Obr. 4. Schéma zkušebního vzorku

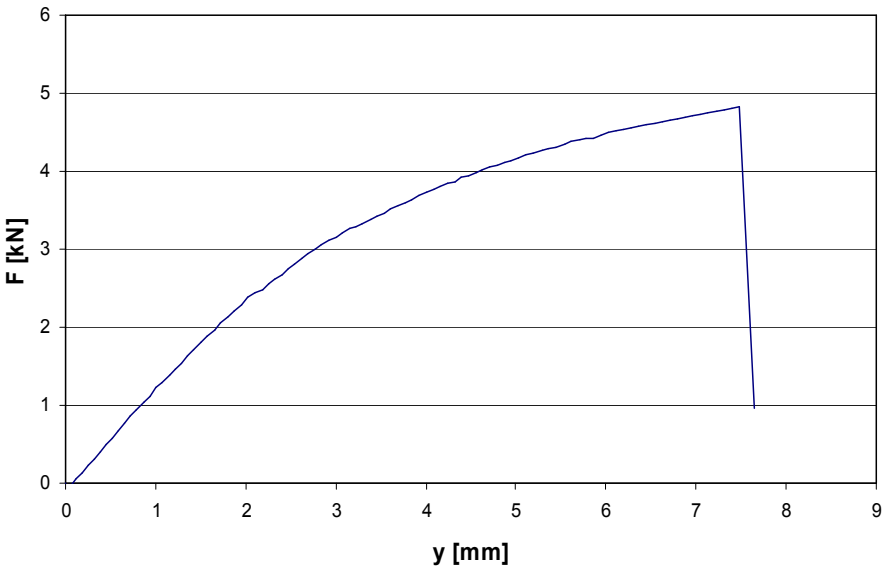


Obr. 5. Umístění tenzometrů

4. Naměřená data a vyhodnocení

4.1 Tříbodová zkouška v ohybu

Měřící zařízení v průběhu experimentu zaznamenávalo čas, působící sílu a průhyb nosníku ze svislého posunutí snímačů. Získaná data byla vynesena do grafů závislosti síly na průhybu viz obr. 6.



Obr. 6. Tříbodová zkouška v ohybu sendviče s příčnými vlákny

Z těchto grafů byly odečteny hodnoty průhybu uprostřed nosníku a odpovídajícího zatížení. Z těchto výsledků ohybové zkoušky byl vypočten podle postupu uvedeného v literatuře [4] smykový modul jádra. V dané práci je pro výpočet smykového modulu pěněného jádra uveden vztah

$$G = \frac{18PlC_2}{\left(48C_3ub - Pl^3\right)\left(t_H + 3s + t_D\right)}, \tag{2}$$

kde G [MPa] je smykový modul, P [N] zatěžující síla, u [mm] průhyb nosníku při maximální dosažené síle, C_2 [N·mm] vedlejší ohybová tuhost, C_3 [N·mm] hlavní ohybová tuhost, l [mm] vzdálenost podpor, b [mm] šířka sendviče, t_H [mm] tloušťka vnější nosné vrstvy sendvičového nosníku, t_D [mm] tloušťka vnitřní nosné vrstvy sendvičového nosníku a s [mm] je polovina tloušťky pěnového jádra. Po dosazení naměřených údajů byl smykový modul sendviče s vlákny ve směru 0° G = 9,5 MPa a sendviče s vlákny ve směru 90° G = 9,8 MPa. Rozdílné hodnoty smykového modulu v jednotlivých směrech jsou dány umístěním technologických zářezů v pěně.

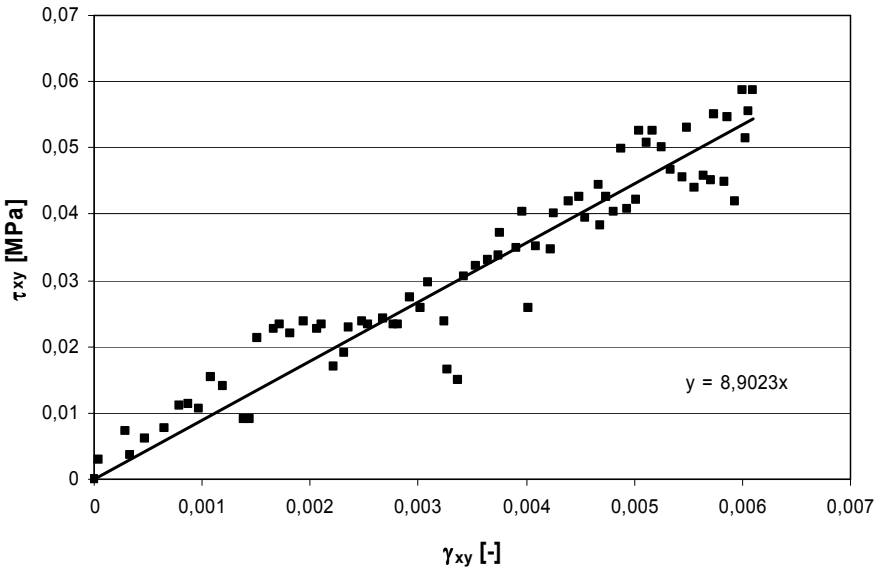
4.2 Smyková zkouška Iosipescova

Zkušební těleso bylo zatěžováno rychlostí posunu čelistí 1 mm.min^{-1}. Měřicí zařízení v průběhu experimentu zaznamenávalo dobu zatěžování, postupně se zvyšující zatěžující sílu a smykovou deformaci. Tato data byla exportována do programu Excel, kde byla dále vyhodnocována.

Dle vztahu (3) bylo vypočteno napětí ve smyku

$$\tau_{xy} = \frac{P}{S}, \tag{3}$$

kde P [N] je zatěžující síla, S [mm^2] namáhaná smyková plocha a τ_{xy} [MPa] je napětí ve smyku. Získaná data byla vynesena v závislosti vypočteného smykového napětí na smykové deformaci γ_{xy} [–] zkoušeného materiálu. Naměřená data byla proložena regresní přímkou. Byly stanoveny příslušné koeficienty rovnice regrese viz obr. 7.



Obr. 7. Závislost smykového napětí τ_{xy} na deformaci γ_{xy} pěněného jádra.

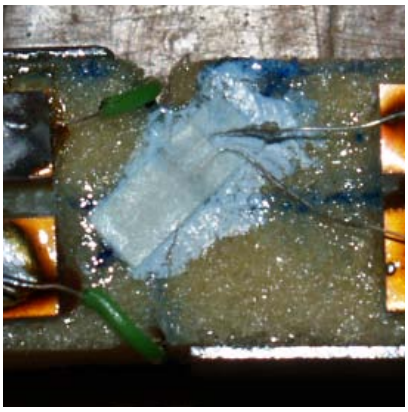
Z rovnice regrese byly vypočteny hodnoty tečnového modulu pružnosti ve smyku G_{xyt} v počátku dle vztahu (4)

$$G_{xyt}\left(v\ \ bodě\ \ 0\right)=\frac{\mathrm{d}\tau_{xy}}{\mathrm{d}\gamma_{xy}} \tag{4}$$

Střední hodnota smykového modulu získaná ze smykových modulů stanovených dle rov. (4) čtyř testovaných vzorků je uvedena v tab. 1., ve které jsou pro lepší přehlednost uvedeny i smykové moduly získané z rovnice 2. Vypočtené hodnoty smykového modulu G_{xyt} se vzájemně lišily. K největší chybě docházelo u zkoušek, kdy trhlina vznikla v místě vrubu, ale šíření trhliny bylo mimo oblast mezi vruby. V tomto případě byl testovaný materiál vystaven kombinovanému namáhání – smyku a ohybu. Na obr. 8 je pro ilustraci uveden snímek porušení testovaného materiálu mezi vruby a na obrázku 9 je zobrazeno porušení materiálu, kdy trhlina vznikla v místě vrubu a následně se šířila mimo oblast mezi vruby. Pro zpřesnění zkoušky bude zapotřebí provést více zkoušek a sledovat vliv různých provedení zkoušky (umístění a velikost příložek, geometrie testovaného materiálu, velikost a provedení vrubu, umístění tenzometrů, místo porušení materiálu atd.).

Zkouška		**G_{xyt} [MPa]**
Tříbodový ohyb	vlákna podélně	9,5
	vlákna příčně	9,8
Iosipescu		9,4

Tab. 1. Střední hodnoty smykového modulu G_{xyt} jádra dle tříbodové zkoušky v ohybu a Iosipescovy zkoušky.



Obr. 8. Snímek šíření trhliny mezi vruby

Obr. 9. Snímek šíření trhliny mimo oblast mezi vruby

5. Závěr

Cílem této práce bylo stanovit smykové vlastnosti pěněného jádra vybraného sendvičového materiálu nekonvenčními metodami. Smykový modul pěněného jádra byl vypočten podle postupu uvedeného v literatuře [3] z výsledků získaných z tříbodové ohybové zkoušky sendvičového materiálu [1] a porovnán se smykovými vlastnostmi získaných z Iosipescovy zkoušky, která se používá pro vláknové kompozity.

Smykový modul pěněného jádra sendvičového kompozitu byl dle rov. (2) pro sendvič s vlákny ve směru 0° G = 9,5 MPa a u sendviče s vlákny ve směru 90° G = 9,8 MPa. Z Iosipescovy smykové zkoušky byl naměřený smykový modul pěněného jádra G_{xyt} = 9,4 MPa.

Z výsledků je zřejmé, že Iosipescova metoda dává podobné výsledky jako metoda výpočtu smykových vlastností z tříbodového ohybu. Výše uvedené závěry ukazují možnost použití Iosipescovy smykové zkoušky pro stanovení smykových vlastností homogenních pěnových materiálů. Při tomto způsobu použití smykové zkoušky může docházet ke kombinovanému namáhání materiálu. Proto je nutné dbát především na co nejpřesnější geometrii vzorku a na provedení, umístění a nalepení ocelových příložek na pěnu, které brání ohýbání testovaného materiálu a tím minimalizují kombinované namáhání.

Poděkování: Příspěvek byl podpořen výzkumným záměrem MSM 6840770015.

Literatura

[1] ASTM C273: *Standard Test Method for Shear Properties of Sandwich Core Material.*

[2] ASTM C393: *Standard Test Method for Core Shear Properties of Sandwich Constructions by Beam Flexure.*

[3] ASTM D5379: *Shear of Composite Materials by the V-Notched Beam Method.*

[4] Černý, M., Kovařík, V.: *Stanovení materiálových charakteristik sendvičových plastových konstrukcí.*. Zpráva KÚ ČVUT v Praze, Praha, 1985.