

STUDIUM CHEMICKÉ ODOLNOSTI A POVRCHOVÝCH ÚPRAV SKLENĚNÝCH VLÁKEN PRO PŘÍPRAVU CEMENTOVÝCH KOMPOSITŮ

SVATOPLUK SCHÄTZ

Společná laboratoř pro chemii a technologii silikátů ČSAV a VŠCHT, Suchbátarova 5
166 28 Praha 6

Došlo 18. 6. 1981

Ze zkoumané řady bylo jako chemicky nejodolnější zjištěno sklo o složení (hm. %): 58,3 SiO₂, 8,6 CaO, 14,3 Na₂O, 11,4 ZrO₂, 7,4 TiO₂. Jako lubrikace se osvědčily vodné polymerní disperze na bázi polyvinylacetátu a jeho kopolymerů s butylakrylátem a 2-etylhexylakrylátem. Ze skla výše uvedeného složení byl připraven 200 fibrilkový pramen s průměrem vláken 11 μm, opatřený povlakem kopolymeru polyvinylacetátu s butylakrylátem. Použito se jej pro studium vlivu délky pramene a objemového zastoupení skleněných vláken na pevnost v tahu za ohybu tenkých kompozitových desek z portlandského cementu a těchto vláken v dvousměrném náhodném uspořádání. Nejvyšších pevností v rozsahu 22—29 MPa bylo dosaženo při délce pramene 25—35 mm a obj. zastoupení 5—6,8 %; pro praktické aplikace bude optimální rozsah 4—6 obj. %.

ÚVOD

V posledních několika letech se v zahraničí rozšířilo použití kompositů se skleněnými vlákny pro nenosné konstrukce ve stavebnictví. Tato aplikace byla založena na několikaletých laboratorních výsledcích, změřených na tenkých kompozitových deskách, připravených z portlandského cementu a vláken Cem-Fil sprayově — sacím způsobem. Vlákná zde byla použita v podobě 200 fibrilkového pramene, s průměrem fibrilek okolo 11 μm, délky 34—38 mm, v objemovém zastoupení asi 4 % [1].

Tato práce byla zaměřena na výběr alkalivzdorného vlákna, které by s vhodnou povrchovou úpravou, v kombinaci s portlandským cementem, poskytlo kvalitní kompozitový materiál s dlouhodobě stabilními mechanickými vlastnostmi.

EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Materiál, přístroje, příprava vzorků a metodika měření

Pro studium vlivu složení skla na chemickou odolnost vůči alkalickému prostředí byla vybrána série skel uvedených v tabulce I.

Zkoumané polymerní disperze jsou uvedeny v tabulce II. Vlastnosti použitého portlandského cementu PC 400 jsou uvedeny v tabulce III.

K měření chemické odolnosti skel bylo použito přístroje (obr. 1) umožňujícího zjišťování hmotnostního úbytku skleněných vláken, umístěných v jemné Pt—Rh síťce, pohybující se vyhříváním roztokem rychlostí asi 2,3 mm/s. Pro měření bylo použito vždy stejného objemu roztoku (1,5 l) a přibližně stejné navážky vláken (okolo 0,3 g). Roztok byl vyměňován po 6 měřeních. Po vyjmutí z roztoku byla Pt—Rh síťka opláchnuta 1 % HCl, destilovanou vodou a acetonem. Poté byla síťka s vlákny sušena při 90 °C po dobu 1 h a po vychladnutí vážena. K vážení byly použity analytické váhy A, 1 n. p. Chirana, vážící s přesností na 4 desetinná místa. S každým

druhem skla a roztoku byla provedena 4 měření. Relativní chyba měření byla $\pm 10\%$. Výsledky pro nejdolnější skla byly srovnány s výsledky získanými podle ČSN 70 0533 na katedře silikátů SVŠT v Bratislavě.

Tabulka I

Chemické složení zkoumaných skel

	E	ABoH	Mach	Rezal I	Cem-Fil	8	12	13	15	16
hmotnostní procenta										
SiO ₂	53	66,1	42,8	65	62,7	63	62,7	72,2	70,7	58,3
CaO	21	9,3	15,6	10	5,05	8,6	4,3	9,2	9,7	8,6
Na ₂ O	0,4	9,1	2,1	10	14,8	9,6	14,3	15,3	16,1	14,3
ZrO ₂	—	—	2,7	15	16,3	11,4	11,3	2,0	2,1	11,4
TiO ₂	—	—	1,6	—	—	7,4	7,4	1,3	1,4	7,4
B ₂ O ₃	9,0	3,6	—	—	—	—	—	—	—	—
MgO	1,0	1,5	14,9	—	—	—	—	—	—	—
K ₂ O	0,7	3,0	1,3	—	—	—	—	—	—	—
Fe ₂ O ₃	—	—	11,8	—	—	—	—	—	—	—
Al ₂ O ₃	—	5,5	7,8	—	—	—	—	—	—	—

Tabulka II

Složení vodních polymerních disperzí

Označení	Složení	pH	Obsah sušiny %
508	PVAC, 2-etylhexylakrylát	3—4	52—57
2802	styrén, dietylhexylakrylát	8—10	53,0
961	metylmetakrylát, etylakrylát	1—4,5	47,7
VAC 500	PVAC, polyvinylalkohol	5—5,5	50,0
1018	etylakrylát, akrylátová kyselina	3,5—4,5	40,0
S 10	PVAC, butylakrylát	4—7	50,0

Tabulka III

Vlastnosti použitého portlandského cementu PC 400

Chemický rozbor: zž 0,97, SiO₂ 20,63, ner. zb. 1,43, Al₂O₃ 5,0, Fe₂O₃ 2,5, CaO 63,35, MgO 2,01, SO₃ 3,18,

Jemnost mletí: zbytek na síť 0,2 v %: 0,4
zbytek na síť 0,09 v %: 6,8

Měrný povrch podle Bleina v cm²/g: 3177

Tuhnutí: začátek v h: 2,5
konec v h: 4,1

K zjišťování vhodnosti zkoumaných lubrikací byly připraveny zkušební trámky rozměru 100×20×20 mm s PC 400 a vláken E v podobě 400 fibrilkového pramene, s průměrem vláken 11 μm, potaženého za provozních podmínek různými polymerními disperzními lubrikacemi podle tabulky II. Bylo použito jednosměrného

kontinuálního uspořádání vláken po délce trámečku, v obj. zastoupení 3 %, $v/c = 0,34$, při dvou koncentracích vodních polymerních disperzí použitých k nalubrikování vláken:

a) 300 ml disperze podle tabulky II,

b) 600 ml disperze podle tabulky II,

vždy přidáno 18 ml — aminopropyltriethoxysilanu,

a 18 ml 12,5 % vodního roztoku amidu kyseliny olejové

a doplněno do 3000 ml deionizovanou vodou.

Před nanášením na vlákna byla směs míchána 5 minut v míchadle ULTRA TURAX při 1000—3000 ot/min. Nalubrikované kotouče byly sušeny 6 hodin při teplotě 120 °C. Cementová kaše byla míchána v míchadle ETA 022, vlákna a kaše byly do forem přidávány ručně, k odstranění vzduchových bublin a za účelem získání větší kompaktnosti vzorků bylo použito vnějšího vibrování, frekvence 50 Hz. Trámečky byly uloženy 24 hodin v prostředí 100 % rel. vlhkosti a poté odformovány a uloženy do vody při teplotě laboratoře. Sklo E bylo pro tuto část studia vybráno záměrně, protože není odolné prostředí portlandského cementu, aby se ochranný vliv lubrikací projevil co nejdříve. Vhodnost použitých lubrikací byla posuzována mírou poklesu pevnosti v tahu za ohybu a tlaku v závislosti na době mokrého uložení zkušebních trámečků.

Povrch vláken byl sledován mikroskopicky na rastrovacím mikroskopu JEOL JEM 100 B.

Pro studium vlivu délky pramene a obj. zastoupení vláken ze skla č. 16 byly připraveny tenké zkušební desky rozměru $200 \times 200 \times 8$ mm s dvousměrnou náhodnou orientací vláken v podobě 200 fibrilkového pramene, v rozsahu délek 15 až 37 mm a obj. zastoupení 1,55—6,8 %. Byl použit PC 400, poměr $v/c = 0,35$. Postup přípravy a uložení byly stejné jako u trámečků s vlákny E, s tím rozdílem, že vlákna byla volně sypána na desku, kde bylo po celé ploše vibrací dosaženo pravidelného rozdělení předechozí dávky kaše a vláken, kaše i vlákna byly přidávány po malých dávkách tak, aby i na výšku desky bylo dosaženo pravidelného uspořádání. Nakonec byla přitlačena deska upravena horní plocha kompositového vzorku a vytlačena přehytečná cementová kaše. 6,8 % vláken bylo maximální množství, které bylo možno tímto způsobem do cementové kaše zamíchat bez použití většího poměru v/c nebo plastifikátoru. Před zkoušením v tahu za ohybu byly desky rozřezány na diamantové pile na destičky rozměru $100 \times 40 \times 8$ mm. Pevnost v tahu za ohybu byla měřena na mechanickém lisu Rauenstein R 4, při tříbodovém zatížení se vzdáleností podpěr 80 mm a rychlostí posunu křížáku 10 mm/min. Tlak byl měřen na zbytcích trámečků s vlákny E na trhačím lisu Rauenstein ZD 90 při rychlosti zatěžování 2 mm/min.

Výsledky

V tabulce IV je uveden přehled hmotnostních úbytků série zkoumaných skel zkoušených v 1 N NaOH při teplotě 72,5 °C při době působení 90 min, v nasyceném $\text{Ca}(\text{OH})_2$ při 90 °C po dobu 120 min., a v Lawrenceově roztoku napodobujícím prostředí cementové matrice portlandského cementu: 3,45 g/l KOH, 0,48 g/l $\text{Ca}(\text{OH})_2$, 0,88 g/l NaOH, pH = 12,5, při teplotě 90 °C a době působení 120 min. Doba a teplota zahřívání byly zvoleny tak, aby bylo možno zřetelně porovnat hmotnostní úbytky vláken a odlišit skla podle jejich odolnosti.

Pro skla s nejmenším hmotnostním úbytkem je v tabulce IV uvedena odolnost podle ČSN 70 0533.

Tabulka IV

Hmotnostní úbytky skleněných vláken a kusového skla podle ČSN 70 0533

Druh skla	1 N NaOH 72,5 °C, 90 min (%)	Nas. Ca(OH) ₂ 90 °C, 120 min (%)	Lawrencův roztok 90 °C, 120 min (%)	ČSN 70 0533 mg/100 cm ²
E	6,0	0,3	2,3	—
AB6H	3,8	0,7	2,0	—
15	1,9	0,7	2,0	—
13	1,5	1,1	0,8	—
12	1,0	0,3	0,3	—
8	0,4	0,2	0,3	24
16	0,4	0,2	0,06	18,3
Cem-Fil	0,2	0,1	0,08	24—28
Rezal I	0,02	0,1	0,1	24—25
Mach	—	—	—	77—82

V tabulce V jsou uvedeny dosažené pevnosti v tahu za ohybu trámečků s vlákny E a v tabulce VI pevnosti v tlaku změřené na zbytecích trámečků po 28, 60, 90, 120, 210 a 360 dnech mokrého uložení. V tabulce VII jsou uvedeny pevnosti v tahu za ohybu tenkých zkušebních desek s vlákny ze skla č. 16 [2] potaženými lubrikačí S10, a to pro různé délky pramene a různé obj. zastoupení, po 28 dnech mokrého uložení.

Tabulka V

Pevnosti v tahu za ohybu v MPa zkušebních trámečků 100 × 20 × 20 mm
PC 400. $v/c = 0,34$, 3 obj. % E vláken v jednosměrné orientaci, mokré uložení

Druh lubrikace	Koncentrace lubrikace při nanášení na vlákna	Dny uložení						
		28	60	90	120	210	360	
1018	podle a)	vlákna ve formě pramene 400 fibrilek 11 μ m délka pramene 100 mm	24,1	23,5	20,8	25,5	19,7	17,9
2802	podle a)		34,4	32,3	30,7	24,7	22,4	17,8
2802	podle b)		36,7	36,4	33,2	27,4	25,9	19,5
VAC 500	podle a)		42,0	44,7	42,6	34,1	26,2	21,0
961	podle a)		32,2	20,2	24,0	19,6	19,9	15,7
961	podle b)		35,5	24,0	23,4	24,6	18,5	21,3
508	podle a)		41,4	38,8	31,3	35,2	28,2	25,0
508	podle b)		39,2	43,9	39,3	35,2	27,8	23,8
S 10	podle a)		44,4	47,2	43,4	40,6	27,2	20,4
S 10	podle b)		39,8	45,3	46,7	36,3	28,5	22,9
trámečky bez vláken			11,0	—	—	—	—	12,5

DISKUSE

Přístroj na měření hmotnostního úbytku skleněných vláken

Předností přístroje je stálý pomalý pohyb pístu s vlákny, umožňující důkladné omývání vláken roztokem, který je neustále promýcháván a udržuje si tak stálou teplotu a koncentraci v celém svém objemu. Další předností je možnost použití vláknové formy skla. Průběh koroze urychluje větší povrch skla, než je to v případě

Tabulka VI

Pevnosti v tlaku v MPa zkušebních trámečků 100×20×20 mm
PC 400, $v/c = 0,34$, 3 obj. % E vláken v jednosměrné orientaci, mokré uložení

Druh lubrikace	Koncentrace lubrikace při nanášení na vlákna	Dny uložení					
		28	60	90	120	210	360
1018	podle a)	46,4	49,5	51,6	66,1	60,6	65,7
2802	podle a)	51,6	60,1	84,1	76,7	76,1	83,4
2802	podle b)	47,8	59,3	51,6	62,5	64,4	62,2
VAC 500	podle a)	57,3	68,0	82,9	78,8	90,4	91,3
961	podle b)	52,0	61,3	58,5	73,3	83,1	82,4
961	podle a)	44,8	50,3	52,5	66,5	79,4	80,6
508	podle b)	65,0	72,8	72,8	88,8	87,1	95,0
508	podle a)	66,0	77,0	86,0	84,3	85,3	90,6
S 10	podle b)	65,5	80,0	83,7	95,5	94,0	99,4
S 10	podle a)	68,7	70,3	79,3	88,7	90,5	100,7
trámečky bez vláken			65,0	66,3	77,5	96,1	89,2

Tabulka VII

Pevnosti v tahu za ohybu v MPa tenkých desek s dvousměrnou
náhodnou orientací diskontinuálních vláken ze skla č. 16 s lubrikací S 10.
PC 400, $v/c = 0,35$, 28 dní mokrého uložení

Objemové zastoupení [%]	1,55	3,4	5,0	6,8
délka pramene				
15—17 mm	12,2	17,4	22,4	22,1
25—27 mm	16,7	19,6	22,6	28,0
35—37 mm	12,2	20,1	26,3	29,0
bez vláken	8,0—9,2			

kusového skla nebo skelné drtě, pohyb pístu, vyšší teplota a koncentrace roztoku. Použitý poměr plochy skla k objemu roztoku byl malý, ($SA/V = 0,2$) a lze předpokládat, že ve všech případech docházelo ke korozi konstantní rychlostí po celou dobu měření. Z výsledků měření vyplývá, že odolnost skel č. 16 (vytažených v pramen a použitých k dalšímu měření) a Rezal I [3] lze porovnat s odolností skla Cem-Fil. Sklo č. 16 má nejmenší hmotn. úbytek v Lawrenceově roztoku, napodobujícím složení a koncentraci iontů v portlandské cementové matici, Rezal I má i malý hmotnostní úbytek v 1 N NaOH a nasyceném roztoku $Ca(OH)_2$. Cem-Fil a Rezal I byly k dispozici pouze v průměru 15 μm , ostatní vlákna měla průměr 11 μm . Proto srovnání s ostatními skly není přesné. To ukazuje i zkušba odolnosti podle ČSN 70 0533, kde lze plochy skel korodovaných roztokem srovnat. Na druhé straně roztok NaOH a Na_2CO_3 nenapodobuje koncentraci a zastoupení alkálií v cementové matici. Machovo sklo nebylo k dispozici jako vlákno vhodného průměru, proto nebylo v pístovém přístroji zkoušeno. Hmotnostní úbytek podle ČSN 70 0533 je poměrně vysoký, což lze vysvětlit malým obsahem TiO_2 a ZrO_2 v použitém vzorku skla [4].

Povrchové úpravy vláken

Podle Cohena i ostatních autorů [5] ztrácí vlákno E během 9 týdnů uložení v Lawrenceově roztoku při teplotě místnosti 80 % své původní tahové pevnosti. V prostředí alkalické matrice PC 400 nemá v žádném případě výztužnou schopnost po ročním období mokrého uložení. Na druhé straně, jsou-li vlákna použita v podobě pramene vázaného lubrikací, ztrácí jak alkalivzdorné vlákno v kombinaci s portlandským cementem, tak vlákno E v kombinaci s hlinitanovým cementem ($\text{pH} = 11,8$ až $12,05$, které nenapadá vlákno E), mezi 4 týdny až 6 měsíci až 50 % své 28 denní ohybové pevnosti. Tato ztráta není způsobena korozí skelného povrchu vláken. Příčinou je změna mikrostruktury na rozhraní vlákna — matrice (především jde o obrůstání vláken hydratačními produkty cementu, a tím zvyšování vazebné pevnosti mezi vlákny a matricí, takže dochází k omezení až ztrátě pseudoplastického chování kompositu). Poté se hodnota pevnosti kompositu ustaluje na přibližně konstantní hodnotě.

Z porovnání těchto obecně známých závislostí a naměřených hodnot pevnosti vyplývá, že zkoumané vodné disperze, označené S 10, 508, VAC 500, jsou schopné chránit povrch skla před napadením alkalickou cementovou matricí, a že dokonce výrazně zvyšují počáteční pevnosti v tahu za obybu kompozitových vzorků a posunují začátek poklesu pevnosti na 9. až 12. týden, přestože jde o kombinaci vlákna E s portlandským cementem. Na obrázcích 2 až 5 je povrch vláken povlečený těmito lubrikacemi po 210 a 360 dnech mokrého uložení zkušebních trámečků. Vlákna E povlečená lubrikací 2802 nejevila známky koroze po 360 dnech mokrého uložení, ale zkušební trámečky z nich připravené nevykázaly počáteční vzrůst pevnosti v tahu za ohybu.

Vliv délky pramene a objemové zastoupení na pevnost v tahu za ohybu

Byly změřeny 28 denní pevnosti v tahu za ohybu tenkých zkušebních desek z portlandského cementu a vláken č. 16. V rozmezí délek pramene 15—37 mm a obj. zastoupení 1,5—6,8 % roste pevnost vzorků směrem k větším délkám pramene a většímu obj. zastoupení. Pro nejvyšší zastoupení vláken při délce pramene 35 až 37 mm bylo již zpracování obtížné. Pro běžné aplikace doporučujeme použít plastifikátoru, nebo většího poměru v/c nebo menšího obj. zastoupení při této délce vláken. Pro poměr $v/c = 0,35$ bude optimální rozmezí délky pramene 25—35 mm a obj. zastoupení 4—6 %.

ZÁVĚR

Cílem předložené práce bylo vybrat sklo, které by v podobě vláken bylo vhodné pro použití v kombinaci s portlandským cementem. Pro takové vlákno bylo hledáno lubrikační povlečení, dávající dobře vázaný pramen, s optimálními adhezními vlastnostmi vůči sklu a matrici, odolávající prostředí cementové matrice. Dále byla hledána optimální délka pramene a obj. zastoupení vláken pro přípravu tenkých zkušebních desek s dvousměrnou náhodnou orientací vláken.

Byl navržen a zhotoven přístroj na měření hmotnostního úbytku skleněných vláken v alkalických roztocích za zvýšených teplot při pomalém pohybu vláken roztokem. Podmínky nejvíce se blížící prostředí cementové matrice z PC 400 byly dosaženy při použití Lawrenceova roztoku.

Jako nejvýhodnější sklo bylo zjištěno sklo č. 16 a sklo Rezal I.

Sklo č. 16 bylo mechanicky vytaženo v 200 fibrilkový pramen s průměrem fibrilek 11 μm . Jako povrchová úprava byla použita lubrikace S 10 (v koncentraci \bullet). Bylo zjištěno, že vhodné jsou také lubrikace 508, VAC 500, 2802.

Při přípravě tenkých zkušebních desek z portlandského cementu PC 400 a výše definovaného pramene, při poměru $v/c = 0,35$, byla optimální délka pramene 25 až 35 mm při obj. zastoupení 4–6 %.

Literatura

- [1] Hannant D. J.: *Fibre cements and fibre concretes*, John Wiley and Sons, 1978 Chichester, New York.
- [2] Sísr O.: *Studium soustavy $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{TiO}_2-\text{ZrO}_2-\text{SiO}_2$* , Praha, VŠCHT 1976, kandidátská disertační práce.
- [3] Vaníš M. a kol.: *Výskum skloviny vhodnéj pro výstuž stavebných dílcov*, Výzkumná správa, Bratislava, ČHTF, 1977.
- [4] Mach L.: *Minerální vlákna schopná částečně nahradit azbest v azbestocementových výrobcích*, VÚSH Brno, pracoviště Ostrava, 1970
- [5] Cohen a spol.: *Validity of flexural strength reduction as an indication of alkali attack on glass fibre reinforced cement composites*, Rilem Symposium 1975.

A STUDY OF CHEMICAL DURABILITY AND COATINGS FOR GLASS FIBRES FOR THE PREPARATION OF CEMENT COMPOSITES

Svatopluk Schätz

Joint Laboratory for the Chemistry and Technology of Silicates, Czechoslovak Academy of Sciences and Institute of Chemical Technology, Prague

The study was concerned with investigating the properties of glasses (Table I) and various coatings (Table II) for their application in composites, and with modul of rupture and compressive strength of composite samples prepared from these materials. The Portland cement PC 400 was used as matrix (Table III). The resistance of glasses to alkalis was determined on an apparatus suggested by the author (Fig. 1). The loss in weight of glasses in the form of fibres was measured in various alkaline solutions at elevated temperature (Table IV). The highest chemical durability of the series of glasses was found to be exhibited by the glass having the following chemical composition (wt. %): 58.3 SiO_2 , 8.6 CaO , 14.3 Na_2O , 11.4 ZrO_2 , 7.4 TiO_2 , which exhibited a weight loss of 0.06 % after 120 min. at 90 °C in the Lawrence solution which simulates the medium of the Portland cement matrix.

The coatings were studied by applying them onto nondurable E-fibres and by preparing composite prisms thereof; these were then placed in water at room temperature. The performance of the individual coatings was assessed according to the changes in compressive strength and in particular in moduls of rupture in terms of time (Table V and VI). The fibre surface was also studied under the JEOL JEM 100 B scanning microscope (Figs. 2 through 5). The best performance was exhibited by finishes designated S 10, 508, VAC 500, which also contribute to increasing the initial strength of composite prisms and protect the fibre from attack by the alkaline cement matrix. The strand drawn from glass No. 16 and provided with the S 10 coating, was employed for studying the effect of strand length and fibre volume on moduls of rupture of thin test boards with two dimensional random arrangement of fibres (Table VII). The strand employed contained 200 filaments of a mean of 11 μm diameter, and the strengths attained indicate that the optimum strand length at $v/c = 0.35$ lies between 25 and 35 mm and their fibre volume has an optimum between 4 and 6 %.

Fig. 1a. Apparatus for measuring the weight loss of glass fibres:

- 1 — box with an electric motor for driving the piston.
- 2 — vessel for the alkaline solution with can be built in a thermostat.
- 3 — a cover protecting the medium from air atmosphere.
- 4 — a cover protecting the vessel from air atmosphere when heating up the solution.
- 5 — a detachable piston with an opening for placing the boat.

Fig. 1b. 5 — piston with an opening for the boat, 6 — boat, 7 — Pt-Rh grid.

Fig. 2. E-fibre with the S 10 surface finish after 210 days of wet storage of the test prism: point of failure in bending test; there are visible fibres grown over with the hydration products contained in the cement matrix.

Fig. 3. E-fibre with the S 10 surface treatment after 360 days of wet storage of the test prism.

Fig. 4. E-fibre with the 508 surface treatment after 360 days of wet storage of the test prism.

Fig. 5. E-fibre treated with VAC 500 after 360 days of wet storage of the test prism.

ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ И ПОВЕРХНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ СТЕКЛОВОЛОКОН, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИТОВ

Сватоплук Шен

Общая лаборатория химии и технологии силикатов ЧСАН и АТН, Прага

Исследовали свойства стекол (см. табл. I) и дубрикатий (см. табл. II) применяемых в композитных материалах, и прочность при растяжении при изгибе и давлении композитных проб, приготовленных из них. Матрицей служил портландский цемент РС 400 (см. табл. III).

Щелочустойчивость стекол исследовали при помощи прибора, проектированного автором (рис. 1). Измеряли весовую убыль стекол в виде стеклянных фибрилл в разных щелочных растворах при повышенной температуре (табл. IV). Из исследуемого ряда наиболее устойчивым оказалось стекло химического состава (% по весу): 58,3 SiO₂, 8,6 CaO, 14,3 Na₂O, 11,4 ZrO₂, 7,4 TiO₂, плавящее в растворе Лавренца, плавящем среди матрицы портландского цемента, после 120 минут при 90°C весовую убыль 0,06 %.

Дубрикации исследовали таким образом, что их наносили при производственных условиях на неустойчивые E-волокна и из них изготовили композитные балочки, которые поместили в воду при лабораторной температуре. Дубрикации рассматривали в зависимости от временного изменения в давлении и прежде всего растяжении при изгибе. Поверхность волокон также исследовали с помощью скапирующего микроскопа JEOL JEM 100 B (рис. 2--5). Наиболее пригодными оказывались дубрикации, обозначенные через S 10, 508, VAC 500, которые способствуют повышению необходимой прочности композитных балочек и защищают волокно от поражения щелочной цементной матрицей. Ровницу, вытешенную из стекла № 16 с дубрикацией S 10 использовали для исследования влияния длины ровницы и объёмной емкости на прочность на растяжение при изгибе тонких испытательных досок с волокнами, случайно упорядоченными в двух направлениях (таблица VII). Получаемая ровница имела 200 фибриллок диаметром волокон 11 цм. На основании полученной прочности можно сказать, что оптимальная длина ровницы при $r/lc = 0,35$ находится в пределах 25—35 мм и при объёмной емкости в пределах 4--6 %.

Рис. 1а. Прибор для измерения весовой убыли стеклянных волокон: 1 — коробка с электродвигателем для привода поршня, 2 — сосуд для щелочного раствора, который можно встроить в термостат, 3 — покрытие для защиты от воздушной среды, 4 — покрытие для защиты от воздушной среды при обогревании раствора 5 — отдельный поршень с отверстием для лодочки, 6 — лодочка, 7 — Pt—Rh решетка.

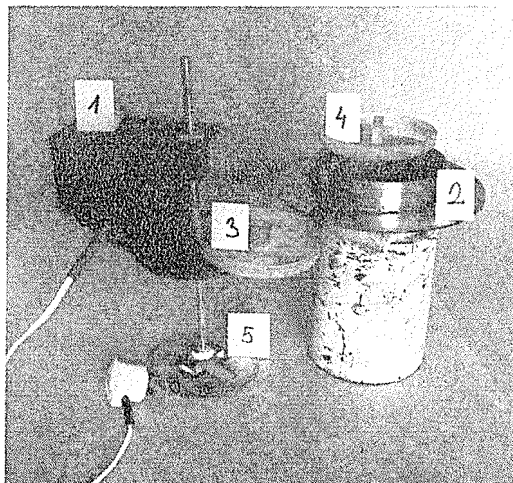
Рис. 1б. 5 — поршень с отверстием для лодочки, 6 — лодочка, 7 — Pt—Rh решетка.

Рис. 2. E-волокно с дубрикацией S 10 после 210 дней мокрой установки испытываемой балочки, место нарушения композита при измерении на растяжение при изгибе, видны волокна обросшие гидратационными продуктами цементной матрицы.

Рис. 3. E-волокно с дубрикацией S 10 после 360 дней мокрой установки испытываемой балочки.

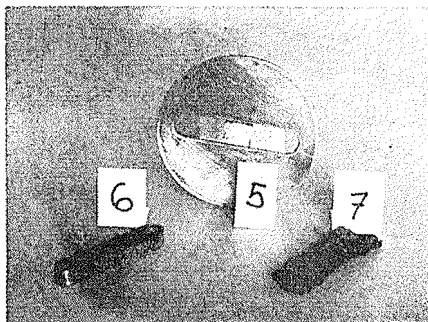
Рис. 4. E-волокно с дубрикацией 508 после 360 дней мокрой установки испытываемой балочки.

Рис. 5. E-волокно с дубрикацией VAC 500 после 360 дней мокрой установки испытываемой балочки.

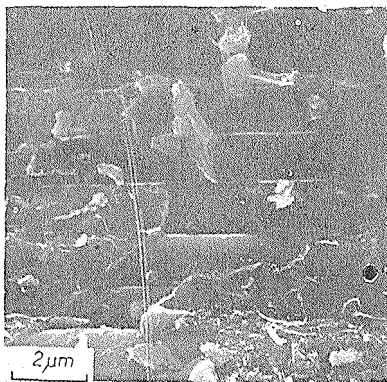


Obr. 1. Přístroj na měření hmotnostního úbytku skleněných vláken.

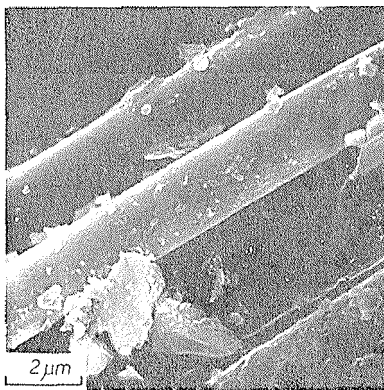
Obr. 1a. 1 — krabice s elektromotorem pro pohon pístu, 2 — nádoba na alkalický roztok, kterou lze zabudovat do termostatu, 3 — kryt proti vzduchové atmosféře, 4 — kryt proti vzduchové atmosféře při vyhřívání roztoku, 5 — oddělitelný píst s otvorem pro umístění lodičky.



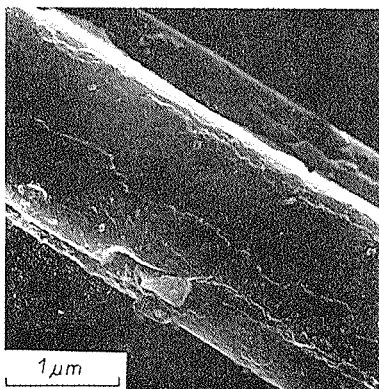
Obr. 1b. 5 — píst s otvorem pro lodičku, 6 — lodička, 7 — Pt-Rh mřížka.



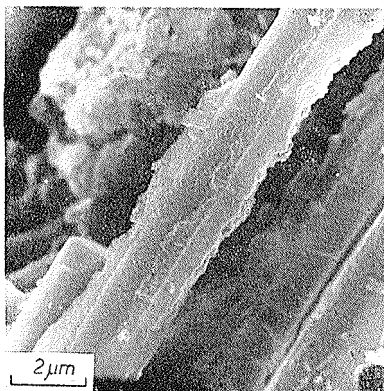
Obr. 2. Vlákno E s lubrikací S 10 po 210 dnech mokrého uložení zkušebního trámečku. Místo selhání kompositu při měření v tahu za ohybu, je vidět vlákna obrostlá hydratačními produkty cementové matrice.



Obr. 3. Vlákno E s lubrikací S 10 po 360 dnech mokrého uložení zkušebního trámečku.



Obr. 4. Vláknó E s lubrikací 508 po 360 dnech mokrého uložení zkušebního trámečku.



Obr. 5. Vláknó E s lubrikací VAC 500 po 360 dnech mokrého uložení zkušebního trámečku.