

Skleněná vlákna a jejich vlastnosti

Andrea Barchuchová

Bakalářská práce

2005



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

ABSTRAKT

Abstrakt česky

Práce pojednává o historii, výrobě, vlastnostech a použití různých druhů skla. Podrobně jsou popsány jednotlivé skupiny vlastností skla a možnosti jejich zlepšení. Hlavní pozornost je věnována skleněným vláknům, jejich výrobě a použití jako optická vlákna a výztuž do kompozitních materiálů.

Abstrakt ve světovém jazyce

This Bc. thesis deals with history, processing, properties, and application of different groups of glasses. There are described groups of properties of glasses and the possibilities of their improvement in detail. Main attention is oriented into glass fibers, their processing and use as the optical fibers and the reinforcement of composite materials.

Poděkování:

Je mi milou povinností poděkovat své vedoucí práce paní Ing. Aleně Macháčkové za velmi milou spolupráci a pomoc během celé bakalářské práce i za čas mi obětovaný, získané informace aj. Paní inženýrko za všechno Vám moc, moc, moc děkuji.

ÚVOD.....	6
I. TEORETICKÁ ČÁST	7
1 HISTORIE A SOUČASNOST SKLA	8
1.1 SKLO JAKO JEDNA Z PRVNÍCH VYROBENÝCH HMOT	8
1.2 HISTORIE SKLENĚNÝCH VLÁKEN	9
1.3 SOUČASNOST A BUDOUCNOST SKLENĚNÝCH VLÁKEN.....	9
2 STRUKTURA SKLA	11
3 VÝROBA SKLA.....	13
3.1 SUROVINY	13
3.1.1 Základní.....	13
3.1.2 Pomocné.....	13
3.2 TECHNOLOGICKÉ OPERACE	14
3.2.1 1. Výroba skloviny	14
3.2.2 2. Tvarování skla – formování skloviny	14
3.3 CHLAZENÍ.....	16
3.4 TVRZENÍ SKLA	17
4 ČLENĚNÍ SKLA DLE JEHO SLOŽENÍ.....	18
4.1 SODNOVÁPENATÁ SKLA	18
4.2 DRASELNOVÁPENATÉ.....	18
4.3 DRASELNOOLOVNATÁ	18
4.4 BOROKŘEMIČITÉ SKLO	19
5 ČLENĚNÍ SORTIMENTU SKLÁŘSKÉHO ZBOŽÍ.....	20
5.1 TECHNICKÉ A LABORATORNÍ SKLO	20
6 VLASTNOSTI SKLA	21
6.1 FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI	21
6.1.1 Hustota	21
6.1.2 Viskozita	21
6.1.3 Povrchové napětí skla	22
6.2 MECHANICKÉ VLASTNOSTI.....	22
6.2.1 Pevnost skla.....	22
6.2.2 Tvrdost skla.....	23
6.2.3 Křehkost skla.....	23
6.3 TEPELNÉ VLASTNOSTI	23
6.3.1 Měrné teplo	24
6.3.2 Teplotní roztažnost.....	24
6.4 CHEMICKÉ VLASTNOSTI.....	25
6.5 ELEKTRICKÉ VLASTNOSTI SKLA	26
6.6 OPTICKÉ VLASTNOSTI.....	27

7	OPTICKÁ SKLA	28
7.1	DRUHY PODLE OPTICKÝCH VLASTNOSTÍ A SLOŽENÍ:.....	28
7.2	VÝROBA	28
8	SKLENĚNÁ VLÁKNA.....	29
8.1	DRUHY	29
8.2	POVRCHOVÉ JEVY A CHEMICKÁ ODOLNOST	31
8.3	ELEKTROIZOLAČNÍ VLASTNOSTI.....	32
8.4	MECHANICKÁ PEVNOST	32
8.5	STRUKTURA SKLENĚNÝCH VLÁKEN	33
8.6	VYZTUŽOVÁNÍ SKLENĚNÝMI VLÁKNY	33
II.	PRAKTICKÁ ČÁST.....	35
	TAHOVÁ ZKOUŠKA PRAMENŮ, PEVNOST VLÁKNA	36
	II.1 STANOVENÍ PEVNOSTI V TAHU PRAMENŮ	36
	II.1.1 ZKUŠEBNÍ ZAŘÍZENÍ.....	36
	II.1.2 ZKUŠEBNÍ TĚLESA	36
	II.1.3 POSTUP ZKOUŠKY	36
	II.1.4 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ ZKOUŠKY.....	37
	II.1.5 ZPRACOVÁNÍ VÝSLEDKŮ ZKOUŠKY.....	37
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	41
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	42
	SEZNAM OBRÁZKŮ	43
	SEZNAM TABULEK.....	44
	SEZNAM PŘÍLOH.....	45

ÚVOD

Sklo doprovází člověka prakticky po celou jeho kulturní historii. Zprvu se jednalo o výrobky dekorativní a kultovní, s rozšířením výroby a zdokonalením technologie pak postupně o výrobky běžné spotřeby, které si mohly dovolit i široké vrstvy obyvatel.

Výroba skla byla až do 19. století záležitostí empirie, teprve ve 20. století byly jednotlivé operace podloženy teorií umožňující jejich zefektivnění. Byly také nalezeny postupy, kterými se lze z polotovarů získaných tradičními sklářskými technologiemi dostat až k finálnímu výrobku s výjimečnými vlastnostmi. Příkladem je sklo Vycor, což je prakticky čisté křemenné sklo, vyrobené ze surovin pro víceoxidové sklo, tedy při podstatně nižší teplotě tavení než která je potřebná pro čistý oxid křemičitý. Také výroba sklokeramiky s velmi jemně krystalickou strukturou začíná utavením skla, tedy amorfního materiálu.

Vlastnosti skla lze ovlivňovat složením výchozích surovin i technologickými postupy tak, aby vyhovovaly účelu, pro který jsou určeny.

Významným materiálem se širokým použitím jsou skleněná vlákna, která byla původně určena pro elektroizolační účely, ale v poslední době vzrůstá jejich význam v přenosu informací a v kompozitech.

Práce podává přehled technologie výroby skla a jednotlivých skupin jeho vlastností se zaměřením na skleněná vlákna, u kterých jsou v praktické části provedeny tahové zkoušky. V příloze jsou pro doplnění uvedeny materiálové charakteristiky některých konkrétních výrobků ze skleněných vláken.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 HISTORIE A SOUČASNOST SKLA

1.1 Sklo jako jedna z prvních vyrobených hmot

Sklo je jednou z prvních vyrobených hmot, které si člověk vytvořil. Nejstarší sklářské výrobky, nalezené archeology, spadají do doby 4 000 let před našim letopočtem. Prvním objevem skla byla vlastně glazura keramických nádob; teprve potom to byly skleněné perly a nádobky z neprůhledného skla. Střediskem starověké sklářské výroby se stal Egypt; také vyvážel sklo. Výroba skla byla známa již Egyptanům, okolo roku 1800 př. n. l. V Evropě vzniklo kolem 13. stol. velké středisko výroby skla – Benátky. Benátské sklo vyráběné

na ostrově Murano, bylo sodno – vápenaté, lehce zpracovatelné; dodnes nese nejznámější italské sklo název muránské sklo. V 16. stol. vyráběli nejvyšší sklo Benátčané, neboť používali na výrobu sodu ze Španělska nebo z Orientu. V Čechách v té době pracovalo asi 34 hutí, které vyráběly různé druhy skla od levného po luxusní; na Šumavě se vyráběly také skleněné perle. Čeští skláři se snažili vyrovnat kvalitou skla Benátčanům, proto zdokonalili konstrukčně pece, místo sody začali používat potaš. Vyvíjeli sklo odolné vůči žáru

a chemickým vlivům; přesně takové sklo potřebovali pro své pokusy alchymisté na dvoře císaře Rudolfa II. Posléze se podařilo vyrobiť křišťálové sklo, které začali používat řezači drahokamů na přelomu 16. a 17. stol. namísto vzácného horského křišťálu. Sklo se začalo zdobit malbou pryskyřičnými nebo olejovými barvami za studena, od poloviny 16. stol. i vypalovanými smalty. Na sklo se začaly malovat rodové znaky, různé náboženské a alegorické motivy, lovecké a satirické motivy. Malování na sklo přineslo českým sklářům velké obchodní úspěchy v zahraničí. Rudolf II. pozval do Prahy mezi jinými umělci i první rytce skla. Výroba skla – a nejen u nás – byla zpočátku doménou církve a především mnichů Benediktinů, kteří vyráběli skla do oken kostelů a klášterů; první zmínky o této výrobě jsou již z 9. stol. Zmínka o nejstarších sklárnách u nás se datuje z roku 1350 a 1359 – byly to Sklenné Teplice na Slovensku a Sklářská Lhota na Šumavě. Čechy pak v době vlády Karla IV. prosluly charakteristickými tvary číší a bohatstvím okenních vitráží. Od 17. stol. se pak datuje nástup českého skla do světa

1.2 Historie skleněných vláken

Skleněná vlákna jsou jedním ze sklářských výrobků, jehož využití v technické i každodenní praxi se stále rozšiřuje.

Oproti masivnímu sklu mají vlákna vyšší pevnost v tahu a mohou se použít pro výrobu moderních kompozitních materiálů. Skleněná vlákna jsou tradičním výrobkem českého průmyslu a vyrábějí se ve formě stříže nebo nekonečných vláken vhodných pro další využití ve stavebních, chemických i konstrukčních odvětvích průmyslu.

První výrobci skla znali i skleněná vlákna, která dokázali snadno vytáhnout z roztavené skloviny. Egypťské vázy okolo roku 1600 př. n. l. byly již zdobeny hrubými skleněnými vlákny. Archeologické nálezy v Číně obsahovaly tlustá skleněná vlákna o složení obdobném současnému E-sklu.

V 16. a 17. stol. n. l. začali benátští skláři zdobit ve větší míře své výrobky skleněnými vlákny. Laboratorní výrobu a technické použití skleněných vláken uvádějí ve svých pracích zakladatelé moderní fyziky Hooke a Réaumur (17. až počátek 18.stol.). Koncem 19. stol. se objevují první zmínky o technickém využití skleněných vláken v patentové literatuře. Nejstarší dochovaná zmínka je z roku 1880 a zabývá se drátem pro telegraf pokrytým skleněnou izolací. Veřejný zájem o skleněná vlákna byl vzbuzen na Světové výstavě v Chicagu v roce 1893, kdy E.D. Lingey vytáhl pramence vláken z rozžhavených konců tyčí a namotal je na otáčející se buben velkého průměru. V roce 1916 podává R. Kemp první patent na vlákna vyztužený plast a od roku 1934 jsou průmyslově vyráběna tepelně - izolační skleněná vlákna v Newarku (Ohio, USA). V následujících letech probíhal

vývoj

E-skloviny pro skleněná vlákna a v roce 1951 získává patent na allylsilanovou povrchovou úpravu vláken R.Steinman.

1.3 Současnost a budoucnost skleněných vláken

Skleněná vlákna jsou vlákna anorganická s širokou škálou použití. Ceněná jsou hlavně pro svoje výborné technické vlastnosti jako jsou: vysoká pevnost, vysoká hodnota Youngova modulu v tahu, odolnost proti vysokým teplotám, nehořlavost, dobrá chemická odolnost a dobré elektrické vlastnosti. Vynikajících tepelně a zvukově izolačních vlastností využívá

v široké míře stavební průmysl. Vlastnosti skleněných vláken jsou výhodné zvláště ve výrobě kompozitních materiálů jako vyztužující kontinuální vlákna nebo ve formě stříže.

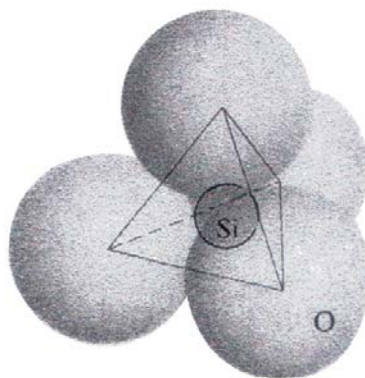
Skleněná vlákna jsou používána ke konstrukci vláknových kompozitů o vysoké kvalitě s vysokými nároky na mechanické a tepelné vlastnosti. Konečné výrobky se využívají především v automobilovém průmyslu, leteckém a chemickém průmyslu, v elektrotechnice a pod. V elektrotechnickém průmyslu se aplikují zejména ve výrobě počítačů a mobilních telefonů. V současné době se věnuje větší pozornost výrobě skleněných vláken ve formě nekonečného vlákna. Moderní kompozitní konstrukční materiály se bez skleněných výztuží neobejdou. V roce 2001 byla celosvětová výroba skleněných vláken na úrovni 2,5 milionů tun. V Evropě byla spotřeba sklolaminátů rozdělena následovně: 37 % dopravní aplikace, 25 % elektrické a elektronické výrobky, 31 % stavební prvky, 5 % výrobky pro sport

a volný čas a 2 % ostatní aplikace. Technologie zpracování moderních kompozitních prvků zahrnuje kromě klasického ručního kladení a prosycování textilních vrstev autoklávové techniky, navíjení vláken, tažení profilů, injekční vstřikování, tlakové prosycování pryskyřicemi a další způsoby. Budoucnost vyžaduje stále kvalitnější materiály. Lze předpokládat především rozvoj kompozitních materiálů s hybridní výztuží – tedy kombinací skleněných, uhlíkových, aramidových, případně dalších typů vláken. Pro dosažení speciálních efektů budou uplatňovány nanotechnologie, jak v povrchových úpravách vláken tak i ve funkčních úpravách výrobků. Vysokých pevností kompozitních materiálů určitě využije i výroba energie. Nedávno se spojily firmy German Wind a Denmark's LM Glasfiber a vyvinuly lopatky pro větrnou elektrárnu s výkonem 5 MW. Při průměru rotoru 125 m se jedná o největší lopatky, sériově vyráběné od roku 2004.

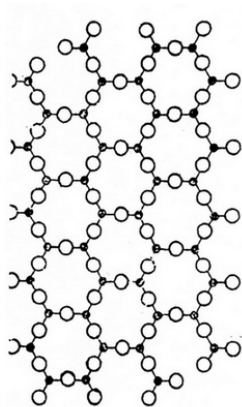
2 STRUKTURA SKLA

Sklo se liší od ostatních hmot strukturou. Zahříváním na vyšší teplotu měkne, až teče. Při opětném ochlazování je stále méně plastické, až nakonec znovu ztuhne.

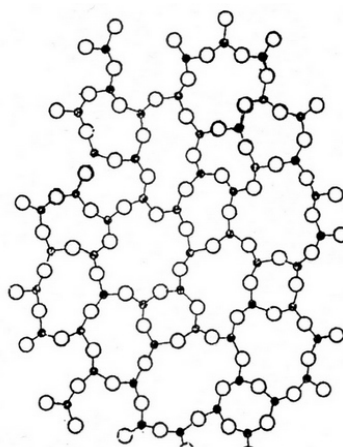
Sklo je v podstatě ztuhlý roztok, jehož hlavní složkou je SiO_2 a další oxidy. Je to tzv. sklo křemičité (silikátové). Jak křemen, tak i křemenné sklo mají stejné chemické složení (SiO_2), ale liší se strukturou. U křemene je mřížka tvořena křemíkovými tetraedry (obr.č.1) uspořádaná pravidelně (obr.č. 2a). Po roztavení se jejich vzájemné vazby uvolní a vznikne tavenina, ve které nejsou jednotlivé tetraedry SiO_4^{4-} navzájem pevně vázány. Při rychlém ochlazení dochází k překotnému spojování tetraedrů. Tak vznikne nepravidelná mřížka (obr.č. 2b). Toto jednosložkové sklo má sice vynikající tepelné i chemické vlastnosti, ale jeho tavící teplota je vysoká. Ke snížení tavící teploty lze přidat např. Na_2O . Z této směsi vzniká dobře tavitelná látka, která je však rozpustná ve vodě - tzv. vodní sklo. Při přidavku další vhodné látky, např. CaO , se sice zhorší tavitelnost, ale látka se již ve vodě nerozpouští. Vznikne běžné sklo. Ve struktuře trojsložkového skla ($\text{SiO}_2\text{-CaO-Na}_2\text{O}$) oxidy CaO a Na_2O na rozdíl od SiO_2 mřížku netvoří (obr.č. 2c). Atomy uvedených prvků jsou uloženy v dutinách mřížky, a to poměrně volně. Tato síť je méně pevná než mřížka křemenného skla, proto se běžná skla taví při nižších teplotách než sklo křemenné.



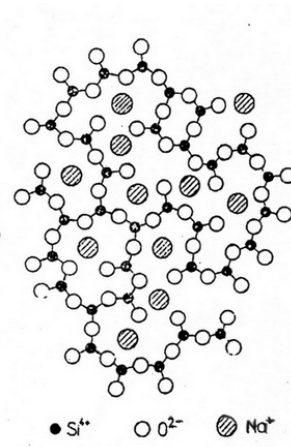
Obr. č. 1 Model tetraedru SiO_2



Obr. č. 2a



Obr. č. 2b



Obr. č. 2c

Uspořádání strukturní sítě SiO_2

3 VÝROBA SKLA

3.1 Suroviny

3.1.1 Základní

- sklářský písek /oxid křemičitý/; zčásti lze nahradit oxidem boritým /borax/
- v optickém skle také oxid fosforečný částečně nahrazuje SiO_2
- vápenec = uhličitan vápenatý
- soda = uhličitan sodný
- potaš = uhličitan draselný
- skleněné střepy: přidávají se v množství až do 50%; urychlují tavící proces a výroba je hospodárnější

Tyto základní suroviny jsou nezbytné pro vytvoření určitého druhu skla – tzv. látky sklotvorné

3.1.2 Pomocné

- čeřící, odbarvovací, barvicí a zakalovací
- tyto látky dodávají sklu některé požadované vlastnosti
- čeřící látky: mají za úkol odstranit bublinky a nečistoty z roztavené skloviny; zároveň sklovinu promíchávají a homogenizují; (např. dusičnan sodný a sloučeniny arzenu)
- odbarvovací látky : mají za úkol paralyzovat nežádoucí zabarvení skloviny; děje se tak na principu doplňkových barev – barvy se pak vzájemně vymytí; barvicí látky (různé soli a oxidy kovů) – např.:
 - mangan – na fialovo
 - kobalt – na modro
 - měď – modrozeleno
 - zlato – rubínovočerveně

- zakalovací látky: vytvářejí ve skle jemně rozptýlené částice, jež brání přímému prostupu světla a vyvolávají neprůzračnost skla; např. kryolit, kostní moučka, mastek
- glazury: lze také pokládat za pomocný materiál; používají se ke zdobení povrchu výrobku malováním. Jako glazury se používají lehce tavitelná olovnatá nebo olovnatoborokřemičitá skla – a to buď průsvitná (transparentní) nebo krycí neprůsvitná (bílá nebo barevná); také se používají různé kovové přípravky.

3.2 Technologické operace

3.2.1 1. Výroba skloviny

- příprava sklářského kmene
- tavení sklářského kmene při teplotě 1 200 °C až 1 500 °C; vzniká tekutá sklovina, která se musí vyčeřit, popř. se upravuje barvením, odbarvováním nebo zakalením
- neprotavené zbytky jsou vyneseny na hladinu skloviny, odkud se sbírají v podobě sklářské pěny /tzv. sklářská žluč/
- řídká sklovina po utavení se nechává vychladnout na 700 až 1 000 °C, aby se získala optimálně tvárná hmota

3.2.2 2. Tvarování skla – formování skloviny

a) foukání

- rukodílné nebo strojové
- při rukodílné se používá sklářská píšťala a sklovina se tváří pomocí forem
- strojní tváření se provádí na složitých sklářských automatech různých typů (hlavně duté sklo – odlivky, kalíšky, žárovky)
- ručním foukáním umělecké sklo – unikáty

b) lití

- žhavá sklovina se lije na hladkou litinovou desku licího stroje, která je omezena latěmi, které určují tloušťku skla

- po latích přejíždějí hladicí válce vyhřívané; surové vychlazené tabule se musí brousit a leštit

- výroba skla pro výkladní skříně a zrcadla; vyrábějí se z nejčistších surovin

c) válcování

- sklovina vytéká z vanové pece mezi chlazené vodorovné válce, které ji vyrovnávají v desku
- tabule pak prochází chladicí pecí a z obou stran se brousí a leští
- při válcování lze do tabulí vtlačovat vzor nebo vkládat drátěné pletivo
- zavedením válcování se ploché tabulové sklo značně zlevnilo

d) tažení

- je nejběžnější způsob výroby plochého skla
- z roztavené skloviny se vytahuje nekonečný pás vzhůru dvojicí azbestových válečků
- vychladlý pás se řeže na tabule, prokládá papírem a balí do latění
- výroba hlavně slabších okenních tabulí
- výroba také skleněných trubek, tyčí a vláken tažením

e) plavení

- moderní technologie výroby hlavně zrcadlového skla
- vláčný pás skloviny se vede z vanové pece přes lázeň roztaveného cínu; tím se zajistí dokonale hladký povrch skla /odpadá broušení a leštění/

f) lisování

- používá se především pro výrobu dutého skla dostatečně otevřeného tvaru
- je nutné používat měkkou dokonale tvárnou sklovinu, která dobře vyplní formu
- lisované sklo se vyrábí na ručních lisech, poloautomatech nebo automatech
- lisované sklo nemá napodobovat sklo broušené, má si zachovat svůj výtvarný charakter, který se od broušeného skla liší
- lisuje se hlavně sklo sodnodraselné, v menší míře také olovnaté /tzv. olovolis/

- lisovaný výrobek může být pálený nebo nepálený podle toho, zda je po výrobě ještě zušlechtěn leštěním ohněm nebo ne; nepálí se jednoduché užité výrobky.

3.3 Chlazení

Chlazení je jedna z konečných operací prvovýroby (tj. výroby bez zušlechtování). Správné vychlazení ovlivní vzhled výrobku, dále také jeho trvanlivost a u technických skel i jeho vlastnosti. Chlazení je řízené tepelné zpracování, kterým se ve výrobcích odstraňuje tzv. vnitřní pnutí (velká mechanická napětí), popř. se zabráňuje jeho vzniku; probíhá tzv. relaxace napětí.

Postup chlazení lze rozdělit na 3 základní operace:

1) výdrž na chladicí teplotě

2) snižování teploty v rozmezí chladicího intervalu, který vymezuje:

-horní chladicí teplota - definovaná viskozitou 10^{13} dPas, napětí se uvolní na neškodnou hodnotu během několika minut

-dolní chladicí teplota - definovaná viskozitou $10^{14,5}$ dPa s, napětí se uvolní během několika hodin

3) snižování teploty pod dolní chladicí teplotu, tzv. dochlazování.

Na chlazení má vliv také období tvarování a doba dopravy do chladicího zařízení, kdy se sníží teplota a výrobek se opět vyhřívá na vhodnou chladicí teplotu. Vnější síly, které působí na těleso, vyvolávají uvnitř něj vznik vnitřních sil. Vnitřní síla působící na jednotku plochy (napětí). V obecném případě vyvolává každé napětí deformaci tělesa. Pnutí ve skleněném předmětu vzniká při jeho zahřívání a nazývá se termické pnutí. Během každého zahřívání vzniká ve skle na povrchu stěny pnutí tlakové a v jeho středu pnutí tahové, během ochlazování je tomu naopak. Prudké ochlazování skla bývá vždy nebezpečnější než jeho zahřívání.

Při dostatečně nízké teplotě se sklo při krátkodobém zatížení chová jako dokonale pružná hmota a pružná deformace v něm vyvolá napětí. Když na sklo přestanou působit vnější síly, napětí zmizí, a proto se toto napětí nazývá napětí přechodové (dočasné). Při zvýšení teploty klesá viskozita skla a vnější síly vyvolávají vedle deformace pružné i deformaci

trvalou, která může mít za následek tzv. napětí trvalé. Toto napětí zůstává ve skle i potom, když

na něj již nepůsobí žádné vnější síly. Trvalá napětí ve skle vznikají dále např. z důvodů strukturních změn nebo v zátavech a nehomogenitách (různá dilatace). Napětí ve skle je měřitelné. Působením napětí se sklo stává anizotropním a objeví se v něm dvojlom. Typickou vlastností skla je, že si zachovává charakter kapaliny. Tato struktura existuje i pod teplotou liquidus a je označována jako podchlazená kapalina.

3.4 Tvrzení skla

Chlazení se obvykle provádí z důvodu eliminace napětí. Vhodně rozložené trvalé napětí však může výrazně zvýšit pevnost skla. Z tohoto důvodu se někdy sklo záměrně a kontrolovaně ochlazuje značnou rychlostí, takže v povrchových vrstvách vznikne silné tlakové napětí. Tento postup se nazývá tvrzení skla. Provedení spočívá v jedné z těchto metod:

- v ochlazení z teploty blízké měknutí proudem vzduchu z vhodně rozložených trysek
- v ponoření výrobku do olejové lázně
- ve styku s kovovými plochami.

Stupeň tvrzení se charakterizuje dráhovým rozdílem a označuje se číslem 1 až 6. Důležitá je tzv. teplota tvrzení. Při ochlazování z této nebo vyšší teploty dosahuje trvalé napětí (při dané rychlosti ochlazování) maximální hodnoty. Dalším zvyšováním výchozí teploty se pak již stupeň tvrzení nemění. Tvrzené sklo má vyšší pevnost, poněvadž lom nastává účinkem tahového namáhání. Tvrzení skla slouží při požadavku zvýšené pevnosti a bezpečnosti při rozbití. Ze skleněných výrobků se vytvrzují plochá skla, užitková a vazné nádoby, brýlová skla atd. Tvrzené sklo nelze dodatečně opracovávat řezáním, vrtáním.

4 ČLENĚNÍ SKLA DLE JEHO SLOŽENÍ

4.1 Sodnovápenatá skla

- tzv. francouzské sklo, 60 až 80 % SiO_2 ; nejběžnější druh skla, běžné užitkové druhy výrobků – obalové, tabulové, stavební /tvárnice/
- pro větší odolnost vůči povětrnostním vlivům se do něj přidává malé množství oxidu hlinitého a boritého

4.2 Draselnovápenaté

- český křišťál – obsahuje 72 % SiO_2 (český polokřišťál s obsahem 80% SiO_2)
- pro výrobu dekorativních předmětů, domácké sklo, nápojové soupravy

4.3 Draselnoolovnatá

- uplatňují se především při výrobě broušeného skla
- tzv. anglické sklo, olovnatý křišťál
- skla jsou měkká, dobře tavitelná a vyznačují se dobrými optickými vlastnostmi: vysoký lesk, lámavost a rozptyl světla
- hlavně pro dekorativní sklo a optické sklo
- uplatňuje se především pro laboratorní sklo a varné sklo pro domácnosti

4. Křemenné sklo

- v podstatě velmi čistý oxid křemičitý
- pro své význačné vlastnosti (vysoká teplota měknutí při zachování průhlednosti, velmi nízký koeficient roztažnosti, vysoká propustnost pro krátkovlnné záření až

do UV oblasti (v lékařské technice, výroba zářivek,...), vysoká elektrická izolačnost, vysoká chemická odolnost vůči vodě a vodným roztokům (zejména kyselinám). Je vhodným materiálem pro předměty technického významu a to: laboratorní přístroje, v elektrotechnickém průmyslu jako izolační hmota

4.4 Borokřemičité sklo

- je velmi odolné proti změnám teplotním a vůči chemikáliím

5 ČLENĚNÍ SORTIMENTU SKLÁŘSKÉHO ZBOŽÍ

1. duté sklo
2. ploché a stavební sklo
3. technické a laboratorní sklo
4. skleněná bižuterie, krystalerie

Z tohoto sortimentu podrobněji uvedeme technické a laboratorní sklo.

5.1 Technické a laboratorní sklo

K technickým účelům, jako konstrukční a laboratorní materiál

Rezistentní skla:

Chemicky a tepelně vysoce odolná – využívají se ve farmaceutickém průmyslu, laboratořích, destilační kolony, varné kotlíky.

Skla se selektivní absorpcí:

Velký počet skel nejrůznějšího složení (např. protisluneční brýle, skla zadržující tepelné paprsky - determální skla, signální skla, barevné filtry na ochranu před škodlivým zářením).

Skleněná vlákna:

Lze zpracovávat na tkaniny, lisovat do desek, ohýbat i jinak namáhat, přesto si stále zachovávají všechny charakteristické znaky skla

Tloušťka vláken dle druhu použití:

nejsilnější

textilní

jemná

mikrovlákna – nejslabší

Použití pro stavební izolační účely, textilní zpracování, elektrotechnika.

6 VLASTNOSTI SKLA

Mají rozhodující význam při určování technologických podmínek výroby a zpracování skla, při použití skla jako materiálu na sklářské výrobky.

- Fyzikální (hustota, viskozita, povrchové napětí)
- Mechanické (pevnost, pružnost, tvrdost)
- Tepelné (teplotní roztažnost, odolnost proti náhlým změnám teploty, tepelná vodivost, měrné teplo)
- Optické (index lomu, disperze – barevný rozklad světla, odraz světla, absorpce světla)
- Elektrické (elektrická vodivost, měrný odpor, dielektrické vlastnosti)
- Chemické (odskelnění – krystalizace, chemická odolnost)

6.1 Fyzikální vlastnosti

6.1.1 Hustota

Hustota skla závisí na chemickém složení a na teplotě. Hustota skla je ovlivněna hustotou oxidů, tvořících základní taveninu. Hustotu zvyšují: zejména vyšší obsah PbO, BaO, částečně i ZnO, CaO. Hustotu snižují: SiO₂, B₂O₃, Al₂O₃, MgO.

Zvyšováním teploty hustota skel klesá, nad T_g koeficient roztažnosti vzrůstá, a hustota tedy klesá rychleji než pod T_g. Hustota skel se pohybuje v rozsahu 2,2 až 5 g / cm³. Hustota skla závisí především na jeho chemickém složení a na jeho tepelném zpracování. V praxi může tato vlastnost být využita jako orientační hodnota k rozlišení dvou různých skel.

6.1.2 Viskozita

Tato vlastnost má pro sklářskou technologii velký význam. Utavená sklovina se pozvolna ochlazuje až na teplotu, při které stupeň viskozity umožňuje sklo tvarovat. Při dalším ochlazování viskozita stoupá, až je tvarovatelný výrobek pevný. Často jsou užívány vztažné body viskozity. Jsou to mezinárodně dohodnuté významné hodnoty viskozity a jednotlivé druhy skla jsou charakterizovány teplotami, při nichž uvedených viskozit

dosahují. Vztažné body viskozity jsou např.: bod tavení 10^2 dPa s , bod vnoření 10^4 dPa s a bod tečení 10^5 dPa.s .Tyto hodnoty slouží pro rychlou kontrolu viskozity skla ve výrobě. Viskozita má vliv na jednotlivé fáze tavení skla. Viskozitou je omezen interval zpracovatelnosti skla. Skla podle viskozitní křivky lze rozlišit jako: krátká, dlouhá, tvrdá.

6.1.3 Povrchové napětí skla

Al_2O_3 , MgO , CaO , BaO a Li_2O ,snižuje –zejména K_2O , PbO , MoO_3 , B_2O_3 , CrO_3 , dále halogenidy a dusičnany. Závislost povrchového napětí na teplotě je malá. Povrchové napětí roztavené skloviny se pohybuje od 0,2 do 0,4 N m^{-1} . Projevuje se při tavení i tvarování skla. Při tavení povrchové napětí závisí na složení skla a přítomnosti některých oxidů. Chemické urychlovače tavení snižují povrchové napětí mezi surovinou a sklovinou, zlepšují úhel smáčení zrn, a tím urychlují probíhající chemické reakce. Na povrchové napětí skloviny působí i atmosféra pece : redukční atmosféra ho zvyšuje, oxidační a zejména vodní pára (vlhčení kmene) snižuje . Výrazně snižuje povrchové napětí i SO_3 , který se uvolňuje v kmeni ze síranů a je obsažen také v pecní atmosféře. Snížení povrchového napětí však může zvýšit i přilnavost skloviny k formě a tím se zvyšuje koroze. Rztavené sklo se vyznačuje vysokým povrchovým napětím, které je 3 – 4x větší než povrchové napětí vody a blíží se povrchovému napětí roztavených kovů. Snížením povrchového napětí skloviny se usnadní únik malých bublinek ze skloviny.

6.2 Mechanické vlastnosti

Jsou rozhodující především v případech, kdy jsou skla používána jako konstrukční materiál.

6.2.1 Pevnost skla

Rozeznává se pevnost v tlaku, tahu, nárazu a ohybu. Tlakové namáhání snáší sklo mnohem snáze a je značně odolnější než při tahovém namáhání. Pevnost v tlaku je obecně 15x větší než pevnost v tahu. Pevnost skleněného výrobku závisí na tloušťce stěny a na množstvím nehomogenit (šlírý, bublinky, kameny ...). Složení skla má jen nepatrný vliv, z oxidů ji zvyšuje: B_2O_3 , CaO , SiO_2 a částečně i Al_2O_3 , snižuje vyšší obsah Na_2O . Pevnost v tlaku je řádově 10krát větší než pevnost v tahu. Pevnost v tahu je u skla malá. Skleněné

výrobky vydrží mnohem více namáhání nárazové než trvalé zatížení. Při dlouhodobém zatížení nastává únava materiálu a sklo praská. Zvýšená pevnost se docíluje tzv. tvrzením či tepelným zpracováním, tj. náhlým ochlazením. Tím se např. pevnost v tahu zvýší až 4krát. Zpevňování se používá u okenních skel do dopravních prostředků, dále u některých nádob užitkového skla a u kuchyňského nádobí. Kromě tepelného zpevňování se používá i chemické zpevňování. Zvyšováním mechanické pevnosti se zvyšuje i jejich odolnost tepelná. Pevnost skla klesá s rostoucí dobou zatížení a se stoupající teplotou. Je mimořádně důležitá u skla obalového, stavebního a u skleněných vláken.

6.2.2 Tvrdost skla

Všeobecně se sklo řadí mezi živec a křemen v Mohsově stupnici tvrdosti. Závisí na chemickém složení a povrchu skla. Většinou je sklo na povrchu tvrdší než v hloubce. Odstraněním povrchové vrstvy tvrdost skla klesá. Mezi nejměkčí skla patří skla olovnatá, mezi nejtvrdší skla patří potom boritokřemičitá a křemenná. Tvrdost má největší význam při broušení skleněných výrobků. Je důležitá nejen u skel technických, ale i užitkových, zejména stolního skla. U něj se totiž požaduje vysoká tvrdost, aby byl zaručen co nejmenší otěr při mytí a manipulaci. Tvrdost je schopnost povrchu skleněného výrobku zachovávat si svůj tvar i při soustředěném mechanickém zatížení.

V praxi se rozlišuje tvrdost skla: vrypová, vtisková, brusná

Brusná tvrdost skla je důležitá při broušení a leštění skla.

6.2.3 Křehkost skla

Při zatěžování skleněného výrobku dojde k destrukci již při nepatrné míře deformace.

6.3 Tepelné vlastnosti

Za nízkých teplot (do 20 až 300 °C) se ve skle uplatňuje jen tzv. iononová tepelná vodivost (= teplo přechází k chladnějším místům předáváním kinetické energie z jedné částice na druhou). Ta závisí na chemickém složení skla, ale rozdíly mezi jednotlivými technickými skly nejsou příliš velké. Největší tepelnou vodivost má sklo křemenné. Záměnou SiO_2 ve skle jinými oxidy tepelná vodivost klesá, a to nejméně při záměně oxidem boritým, nejvíce alkáliemi a PbO . Podle vlivu při záměně za stejné množství SiO_2 lze jednotlivé oxidy sestavit do řady : B_2O_3 , MgO , Fe_2O_3 , ZnO , CaO , BaO , PbO , Na_2O ,

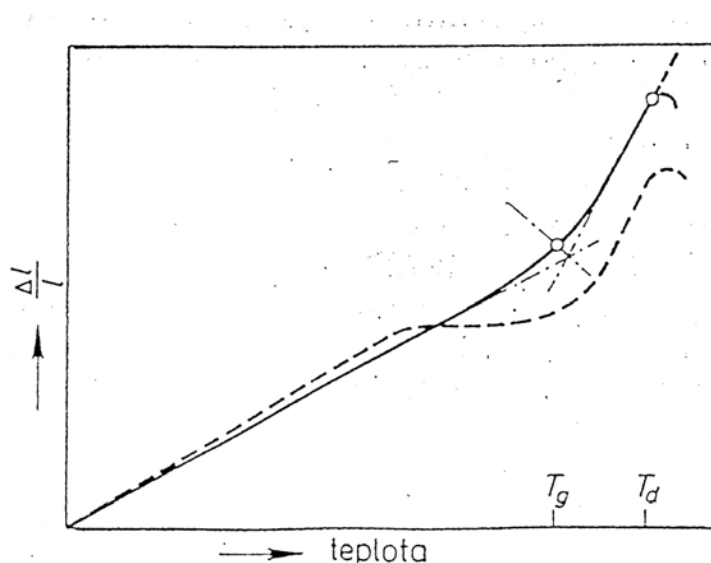
K_2O . Přibližně od 300° C se ve skle začíná stále více uplatňovat teplotní vodivost. Se stoupající teplotou velmi prudce narůstá, prakticky exponenciálně. Ve značné míře závisí i na obsahu některých oxidů ve skle zejména FeO , CuO , Cr_2O_3 . Měrná teplotní vodivost je určena podílem měrné tepelné vodivosti (= fyzikální charakteristika materiálu) a součinu hustoty s měrným teplem. V technologii se stoupajícím podílem automatizace stoupá i význam a potřeba znalostí přesných hodnot materiálových konstant. Jsou důležité zejména v oblasti používání skleněných výrobků. Malou odolnost skla proti náhlému zahřátí nebo ochlazení způsobuje špatná tepelná vodivost skla a jeho vysoká teplotní roztažnost. Sklo vede teplo průměrně 100x hůře než železo. Tato špatná tepelná vodivost snadno způsobí místní přehřátí, vznik nežádoucího pnutí a prasknutí skleněného předmětu.

6.3.1 Měrné teplo

V technologii se opět využívá při výpočtech všech procesů spojených z výměnou tepla. Například při technických výpočtech sklářských tavících pecí, jejich konstrukčních návrhů a tepelných bilancí je nezbytná znalost měrného tepla nejen roztavené skloviny, ale i zdiva, izolací, topného média a spalin. Měrné teplo má důležitou úlohu při teoretických výpočtech procesu dávkování skla, tvarování skla, chlazení skla a i při praktickém použití technického skla.

6.3.2 Teplotní roztažnost

Tato vlastnost je velmi důležitá u všech výrobků, které obsahují 2 a více druhů skel. Teplotní roztažnost závisí na teplotě a tepelné minulosti (historii) skla (obr. č. 3).



Obr. č. 3 Průběh dilatačních křivek

Dobře vychlazená skla (a) – s rostoucí teplotou roztažnost do dilatometrické transformační teploty (DTT) roste většinou lineárně, při DTT nastává skokový růst (2 až 8krát větší) a pak opět s rostoucí teplotou roste, avšak odlišnou rychlostí.

Špatně vychlazená skla (b) - s rostoucí teplotou roztažnost roste, ale při 300 až 400 ° C nastává zpomalení nárůstu (příp. i smrštění), při DTT opět náhlý nárůst. Tato vlastnost se významně uplatňuje při výrobě zátavových skel (problematika stavitelnosti skel). Souvislost se projevuje i s odolností vůči náhlým změnám teploty (menší roztažnost = větší tepelná odolnost). Podobně jako u výše uvedených tepelných vlastností se roztažnost využívá při výpočtech u chlazení, tvrzení, používání skel v aparaturách apod.

6.4 Chemické vlastnosti

Chemická odolnost je důležitou vlastností skla, charakterizuje rozsah jeho schopnosti odolávat korozivnímu působení různých vnějších prostředí. Jde obvykle o působení atmosféry, vody, kyselin, zásad a dalších chemikálií, v závislosti na tom, k jakým účelům je skleněný výrobek určen. Skla jsou za normálních podmínek odolná vůči většině agresivních látek. Rozpouští se pouze v HF. Silně je napadá H_3PO_4 . Působení různých činidel a vlivů na sklo:

1) Působení kyselých roztoků - přítomné H^+ nenapadají prostorovou síť $-Si-O-Si-O-Si-$, avšak na povrchu skla vyměňují modifikující ionty (např. Na^+ , Ca^{2+}), které síť k povrchu difundují. Takto dochází k vyluhování alkálií zejména z povrchu skla, kde se tak zvyšuje obsah SiO_2 a chemická odolnost daného povrchu se postupně zlepšuje.

2) Působení alkalických roztoků - přítomné aniony OH^- mohou reagovat se skelnou sítí (je kyselá) : $-Si-O-Si- + OH^- \rightarrow -Si-O- + OH-Si-$ což je doprovázeno přetrháním vazeb základní skelné sítě. Sklo se postupně rozpouští. Dochází tak k většímu úbytku skla.

3) Působení vody – z počátku dochází k výměně alkálií ze skla za H^+ v roztoku, který se tak stává alkaličtějším. Dochází pak k trhání vazeb základní sítě a k postupnému pomalému rozpouštění skla. Zde se tedy jedná o kombinovaný proces.

4) Působení povětrnosti - při reakci skla se vzduchem obsahujícím atmosférickou vlhkost dochází k větrání skla. Pokud nejsou produkty reakce z povrchu odstraňovány a protože jsou silně alkalické, nastává intenzivnější rozklad skla, zejména při střídavé kondenzaci a odpařování par. Po delší době se na povrchu vytváří bílý povlak.

Chemická odolnost závisí :

a) na teplotě - s rostoucí teplotou chemická odolnost klesá,

b) na době působení - liší se působení kyselin a zásad,

c) na chemickém složení - nejodolnější vůči vodě a kyselinám je křemenné a velmi dobře odolné je i boritokřemičité sklo. Odolnost vůči alkáliím zvyšují přísady ZrO_2 , TiO_2 a BeO . Náhrada části Na_2O vícemocnými oxidy zpravidla chemickou odolnost také zlepšuje. Skla na bázi kyseliny fosforečné jsou odolná vůči HF .

6.5 Elektrické vlastnosti skla

Jsou důležité především při použití skla v elektrotechnickém průmyslu. Za nízkých teplot jsou skla výtečnými izolátory, za vysokých teplot vedou poměrně dobře elektrický proud.

6.6 Optické vlastnosti

Patří mezi ně např. lom, odraz, absorpce, rozptyl, dvojlom. Závisí na chemickém složení skla, na jeho teplotě a strukturním uspořádání.

Charakteristickou vlastností neabsorbujících, tj. většiny bezbarvých skel, je jejich propustnost záření různých vlnových délek. Nejdůležitější vlastnostmi jsou index lomu (souvisí s lomem světla) a disperze – týká se zejména použití v optických systémech, ale také skel dekoračních uměleckých. Vysoký index lomu dodává sklu větší lesk, u broušených skel se uplatňuje i disperze. Někdy je třeba odraz světla na povrchu skla naopak snížit a to se provádí nanesením tzv. antireflexní vrstvy.

7 OPTICKÁ SKLA

Využívají se zejména pro optické zařízení a přístroje. Požadované vlastnosti: přesně dodržované hodnoty indexu lomu a disperze, vysoká chemická i fyzikální homogenita, vysoká propustnost pro světelné záření.

7.1 Druhy podle optických vlastností a složení:

- korunová: tvoří další podskupiny podle dalších obsažených složek - boritá korunová BK, barnatá korunová BaK,...
- flintová: podle obsahu PbO + BaO - lehká LF, střední F, těžká TF
- speciální: stabilizovaná vůči účinku ionizujícího záření. Skla pro lasery : BaK dopovaná No_2O_3 . Barevná skla filtrová: vyžaduje se dodržení požadované spektrální propustnosti. Polooptická skla: brýlová, signální.

7.2 Výroba

- nejběžnější typy : vysoce čisté suroviny (barvící složky zvyšují absorpci světla) - tavení (kontinuální vanové pece) – tvarování do pásu - řezání, broušení a leštění
- speciální typy: elektrické tavení v platinových kelímcích - vypouštění do formy + následná úprava.

8 SKLENĚNÁ VLÁKNA

8.1 Druhy

- Podle způsobu výroby : nekonečná vlákna (průměr 3-13 μm) , stříž (podle použití průměr 5-12 μm , 12-30 μm), vata (průměr 20-30 μm), mikrovlákná (průměr 1-3 μm , až submikronová)
- Podle použití : nekonečná vlákna pro elektroizolační účely a lamináty (používá se sklo E)
 - -soustava (SiO_2 - Al_2O_3 – CaO – MgO) = bezalkalická sklovina do 1 % $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$)
 - -vysoký obsah CaO a MgO způsobuje malou odolnost vůči kyselým roztokům
 - -složení se pozmění pomocí B_2O_3 a snížením obsahu CaO
 - -výroba: tavení (kontinuální vanové pece, kolem 1550 ° C sklovina je velmi agresivní = materiál vyzdívky: tavený křemen, výrobky – tvarovací zařízení: platinové pece s řadou malých otvorů ve dně pro tažení jednotlivých vláken)
- Pro filtrační, akustické a tepelné izolace: skla s vyšším obsahem alkálií
 - izolační vlákna - běžně sodnovápenaté skloviny, horniny a strusky (minerální vlákna)
 - vysokoteplotní izolace (1250-1450 ° C) - vlákna soustavy SiO_2 - Al_2O_3 , bývají označována jako žárovzdorná
 - lamináty - nízká hmotnost, dobrá pevnost - výztuže v technických a stavebních hmotách.
- Optická vlákna: světlovodná vlákna (jádro - sklo s vyšším indexem lomu, obal - sklo s nižším indexem lomu, na rozhraní nastává totální reflexe procházejícího světla
- U vláken musí být skoro nulová absorpce světla, tedy ve skle nesmí být žádné oxidy absorbující světlo, jako FeO .

Protože je potřeba udržet světlo uvnitř vlnovodu, musí docházet k úplnému odrazu. Žádné světlo, které je v rozmezí několika stupňů kolem osy vlákna, nemůže uniknout, je soustředěno v optickém vláknu. To je v podstatě jednoduché, ale jsou zde dva faktory, na které je třeba brát zřetel.

Povrchové vady, bez ohledu na to, jestli jsou malé, mohou vést k rozptylu světla. Každá manipulace s vlákny vyvolá vznik vad. Vadám se lze vyhnout tak, že světlovodivé vlákno je potaženo druhým sklem s nižším indexem.

Světlo se vnitřně odráží k rozhraní mezi dvěma skly, které nemůže být ohroženo. Takové vlákno lze vyrobit pokrytím skleněné tyče druhým sklem s nižším n , zahřátím obou a vytažením vlákna.

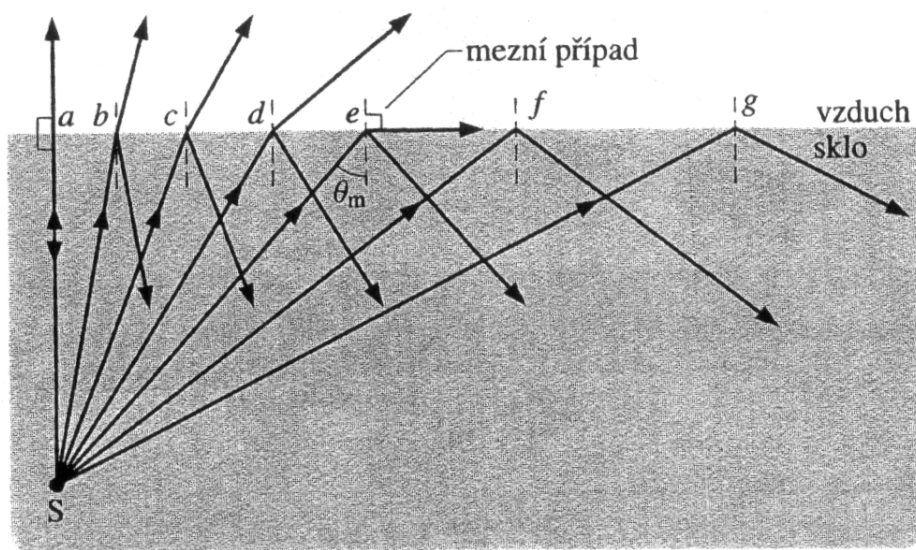
Druhý faktor je délka dráhy pro paprsky, které jdou přesně s osou vlákna proti délce dráhy paprsků, které jsou odrazeny. Světelné vlny pak vykazují fázový rozdíl a dochází k interferenci. Světelný puls se rozmazává, když se šíří vláknem a tím dochází ke ztrátě informace. K tomuto jevu by nedošlo jedině u extrémně tenkého vlákna. Abychom se vyhnuli tomuto problému, výrobní postup může být pozměněn. Dovnitř skleněné trubice je napařena vrstva s rostoucí (směrem k ose) koncentrací např. GeO_2 , která má vyšší index lomu. Index je odstupňovaný. Po napaření se trubice staví na tyč a z ní se pak vytáhnou vlákna.

Protože jádro má odstupňovaný index, který se zvětšuje směrem k ose, rychlost světla roste v opačném směru, tedy směrem k povrchu.

Pak paprsky podél kratší dráhy u osy nepředbíhají odražené paprsky.

Úplný odraz

Obr. č. 4 ukazuje paprsky monochromatického světla z bodového zdroje S uvnitř skla, které dopadají na rozhraní mezi sklem a vzduchem. Paprsek a, který je kolmý k rozhraní, se na rozhraní částečně odráží, částečně projde, aniž by změnil svůj směr.



Obr. č. 4 Chod paprsků na rozhraní

Pro paprsky od b do e , které mají postupně větší úhly dopadu, nastává též odraz a lom na rozhraní. Když roste úhel dopadu, roste i úhel lomu. Pro paprsek e je tento úhel roven 90° , to znamená, že se lomený paprsek šíří těsně podél povrchu. Úhel dopadu, který vede k této situaci, nazýváme **mezní úhel** Θ_m . Pro úhly větší než je tento úhel, jako jsou na obrázku paprsky f a g , nedojde k lomu vůbec a všechno světlo se odrazí zpět. Mluvíme o **úplném odrazu** nebo o **totální reflexi**.

Úplný odraz našel mnoho aplikací v lékařské technologii. Např. lékař může hledat vřed v žaludku pacienta tak, že zavede do jeho žaludku dva svazky tenkých optických vláken. Světlo, které vchází do konce jednoho svazku je podrobena mnohonásobnému úplnému odrazu uvnitř vláken. Ačkoliv je tedy svazek vláken různě prohnutý, světlo osvětlí vnitřek žaludku. Část světla odraženého vnikne do druhého svazku vláken a vyjde ven, kde vytvoří obraz na monitoru, který lékař pozoruje.

8.2 Povrchové jevy a chemická odolnost

Skleněná vlákna mají velký povrch v porovnání s jejich hmotou. Proto se liší chování vláken v různém prostředí od chování téhož skla masivního. Chemická odolnost skleněných vláken je mnohem nižší než u téhož skla masivního a kyseliny i alkalické roztoky vlákna intenzivněji rozrušují.

8.3 Elektroizolační vlastnosti

Skleněné vlákno ze skla E bylo vyvinuto původně především pro elektrotechniku. Jeho elektroizolační schopnost se obvykle hodnotí pomocí t_{k100} , která činí u skla E 300°C .

8.4 Mechanická pevnost

Ze všech měření mechanické pevnosti vláken plyne, že pevnost vlákna je mnohem větší než pevnost masivního skla téhož složení. Hodnoty, udávané různými autory, se liší podle použité měřicí metody i podle složení vláken. Teoretická pevnost vláken ze skla E se uvádí $15\,000\text{ MPa}$ a rozhodně přesahuje spodní hranici teoretické pevnosti masivního skla, která se udává s určitým zjednodušením nepřímo jako desetina hodnoty Youngova modulu pružnosti v kapalném dusíku (-196°C), kde byla zjištěna $7\,000\text{ MPa}$. Po vytažení však vlákna pevnost v tahu rychle ztrácejí. Před manipulací s vláknem, tj. mezi tryskou a navíjecím strojem, byla zjištěna pevnost poloviční ($3\,500\text{ MPa}$) a pevnost vláken odebíraných z navíjecího bubnu jen $2\,500\text{ MPa}$, tato hodnota může být považována za dobrou hodnotu orientační, i když řada autorů uvádí pevnost vlákna ze skla E na cívce vyšší ($3\,500\text{ MPa}$), tuto hodnotu lze považovat spíše za mezně dosažitelnou než průměrnou. Obecně možno říci, skleněná vlákna lze použít v technických oborech do 280°C . Pevnost skleněného vlákna se mění nejen s teplotou, ale i s časem. Vláknem pevnostně stárne. Stárnutí je tím větší, čím vyšší je provozní teplota. Stárnutí souvisí s povrchovými defekty, jakými jsou zejména:

- a) nedokonalosti na povrchu
- b) prachové částice
- c) adsorbovaná vlhkost

Pojmem „nedokonalosti povrchu“ se rozumí povrchové strukturní nehomogenity. Čím větší průměr a délku má vlákno, tím větší je předpoklad četnějších povrchových poruch. Hlavní příčina stárnutí skleněných vláken je v povrchových trhlinkách. Trhlinky vznikají samovolně vlivem povrchových napětí. Adsorbovaná vlhkost urychluje jejich rozšiřování a snižuje tak pevnost v tahu vláken. Při zvýšených teplotách je vliv adsorbované vlhkosti vyšší. Povrchové defekty mají tak silný účinek, že překrývají všechny ostatní vlivy, které spolupůsobí na snižování mechanické pevnosti skleněných vláken.

8.5 Struktura skleněných vláken

Zkoumání struktury skleněných vláken se soustředilo na hlavní otázku: Proč je mechanická pevnost skleněných vláken značně větší než u masivního skla stejného složení? Dosavadní práce sice vedly k vytvoření představy o struktuře vlákna, ale otázka zůstává dosud otevřená, neboť žádná hypotéza dosud nevysvětluje jednoznačně a beze zbytku souvislost mezi strukturou a pevností skleněných vláken. Při rychlosti tažení $3\,000\text{ m min}^{-1}$ proběhne ochlazení skloviny z teploty tvarování $1\,200\text{ }^{\circ}\text{C}$ na teplotu tuhnutí cca $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ v čase 10^{-5} s . Různé práce shodně prokázaly, že struktura skleněného vlákna bez ohledu na složení skla je v důsledku uvedené velké rychlosti tažení, a tedy i ochlazení blízka struktuře roztavené skloviny. Proti masivnímu sklu je hustota vlákna o 2 % nižší. Index lomu je o 0,15 až 0,40 % nižší. Modul pružnosti v tahu je o 7 až 25 % nižší. Nižší je i specifické teplo a tepelná vodivost. Skleněné vlákno je tedy možno charakterizovat jako silně zabrzděný, termodynamicky nestálý systém se zamrzlou vysokoteplotní strukturou. Řádkovací mikroskop ukázal, že původní povrch čerstvě vyrobeného vlákna je dokonale hladký. Ani plynovou adsorpcí nebyla prokázána povrchová mikroporozita. Povrch čerstvě vytaženého vlákna je však chemicky velmi aktivní, a proto hygroskopický. Záhy se pokrývá vodním filmem, který nepříznivě ovlivňuje mechanické vlastnosti vlákna. Rychlost rozrušování vlákna vodou je úměrná odmocnině času, rozrušování je tedy proces řízený difúzí. Struktura skleněného vlákna obecně může být charakterizována jako polymerní síť podobně jako u masivního skla, ale během tažení vlákna vznikají do jisté míry orientované vazby a anizotropní struktura.

8.6 Vyztužování skleněnými vlákny

Převažující podíl skleněných vláken se používá pro vyztužování sklolaminátů, které představují lehký, pevný a moderní konstrukční materiál. Jsou zvláštním případem ze širší skupiny vyztužených materiálů zvaných souborně kompozity. Kompozity jsou obecně takové složené materiály, ve kterých se přenáší mechanické namáhání z míst mechanicky slabých na pevnější materiál s vysokým modulem pružnosti v tahu, a tím se zabraňuje lomu.

Modul pružnosti E vyztužovací hmoty musí být větší než modul matrixu. U plastů mohou být zpevňovací vlákna zatěžkána až po mez pevnosti, aniž matrix pevnostně vypoví,

kdežto u hmot křehkých, jakými jsou cementy a sádra, se využije pouze zlomku pevnosti daného poměrem obou modulů E_m a E_a , tedy

$$\varepsilon_m = \varepsilon_a = P_m / E_m = P_a / E_a$$

Zpevnění křehkých hmot se získá jen tehdy, jestliže modul pružnosti vláken výsoce převyšuje modul matrix. Naštěstí je modul křehkých hmot velmi malý. Vyztužováním křehkých hmot skleněným vláknem se dosáhne toho, že se i při mechanickém zatížení a vzniku zřetelných trhlin hmota jako celek nerozpadne. Čím menší je vzájemná vzdálenost vláken v kompozitu, tím pomaleji se šíří trhliny vzniklé mechanickým namáháním.

Modul pružnosti kompozitu je vyjádřen směsným vzorcem

$$E_c = E_a V_a + E_m(1 - V_a)$$

A očekávaná pevnost kompozitů P_c (při jednosměrné orientaci zpevňujících vláken ke směru působící síly) je dána obdobným vzorcem

$$P_c = P_a V_a + P_m(1 - V_a)$$

Indexy ve třech předchozích vzorcích znamenají: V s příslušným indexem je objem vláken (V_a) nebo objem (V_m).

Po technickém úspěchu skleněných vláken v plastech byla zkoušena skleněná vlákna i k vyztužování anorganických hmot, v cementech a v sádře. Konvenční cementy a jim příbuzné hmoty představují křehké látky s malou pevností v tahu. Proto se zkoušelo přidávat krátká skleněná vlákna ve formě multifilamentu do cementové břečky, a to buď v nahodilém rozptýlení vláken, nebo v orientovaném uložení. Pevnost v ohybu se zvýší takovým vyztužováním 1,5krát až 2,5krát. Tlaková pevnost se zvýší více než 100násobně. Obvykle se přidávají dvě objemová procenta vláken, menší množství se ukázala málo účinná. Bylo prokázáno, že zpevnění cementů záleží na objemovém množství vláken, na jejich charakteru (poměr délky k průměru), na stupni disperze vláken matrix a na pevnosti vazby mezi vlákny a matrix. Technickou nevýhodou je sbalování vláken v cementové břečce. Hlavním nedostatkem sklocementových kompozitů je vedle zdražení jinak laciného základního materiálu narušení skleněného vlákna alkalickým výluhem z cementů. Nejagresivněji působí portlandský cement.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

TAHOVÁ ZKOUŠKA PRAMENŮ, PEVNOST VLÁKNA

II.1 Stanovení pevnosti v tahu pramenů

V praktické části byla stanovena pevnost v tahu pramenů předložených vzorků. Podstata zkoušky spočívá v plynulém zatěžování pramenů až do jejich přetržení a stanovení pevnosti a tažnosti.

II.1.1 Zkušební zařízení

- a) Trhací přístroj TIRATEST s čelistmi pro zkoušení vláken.
- b) Svorka pro předpětí.

II.1.2 Zkušební tělesa

Pro zkoušku pevnosti v tahu se z cívky odstříhne 1 m pramence. Z tohoto vzorku se opatrně oddělí jednotlivé prameny. Ke zkoušce se vybere namátkově 5 % pramenů, nejméně však 5 pramenů. Každý pramen se zkouší zvlášť.

II.1.3 Postup zkoušky

Aby se zamezilo prokluzování pramenů v čelistech při jejich napínání, používají se ke zkoušce pneumatické čelisti. Vzdálenost mezi značkami čelistí se před zkouškami nastaví na hodnotu (500 ± 1) mm.

Zkouška se provádí při standardních podmínkách, tj. při teplotě $(23 \pm 2)^\circ \text{C}$ a relativní vlhkosti vzduchu $(50 \pm 5) \%$, pokud není stanoveno jinak.

U vláken se rychlost oddalování čelistí trhacího stroje volí tak, aby průměrná doba zatěžování do přetržení činila (20 ± 3) s.

U skleněných vláken používaných jako výztuž polymerní matrice je možno rychlost oddalování čelistí volit stejnou, jak v případě vyztuženého kompozitu. Norma ČSN EN ISO 527 "Zkouška tahem plastů" předepisuje pro zkoušení vyztužených polymerů rychlost posuvu pohyblivé čelisti 2,5 nebo 10 mm min⁻¹.

Do řídicí jednotky přístroje TIRATEST se vloží odpovídající program zkoušky a do paměti mikroprocesoru se uloží základní vstupní data tahové zkoušky.

Pramen se uchytí do upínacích čelistí s předpětím, které zajišťuje správné napnutí zkušebního tělesa až do okamžiku jeho přetržení.

Zkušební tělesa, která se v průběhu zkoušky poruší mimo pracovní část, se neberou do hodnocení a nahradí se tělesy novými. Po zkoušce se přístroj uvede zpět do výchozí polohy. Z displeje trhačního přístroje se odečtou hodnoty pevnosti a prodloužení zkušebního tělesa.

II.1.4 Vyhodnocení výsledků zkoušky

Z každé zkoušky pramene se vyhodnotí:

Pevnost při přetržení - $F_{\max}$, definované jako maximální tahová síla v průběhu zkoušky pevnosti v tahu do přetržení.

Poměrná pevnost - F_{rel} , definovaná jako pevnost vztažená na jemnost vzorku

$$F_{\text{rel}} = F_{\max} / T,$$

kde T délková hmotnost pramene (jemnost) v jednotkách tex.

Tažnost (poměrné prodloužení při přetržení) - $\varepsilon_{\max}$, definovaná jako poměr prodloužení při přetržení k upínací délce

$$\varepsilon_{\max} = (l - l_0) / l_0 * 100,$$

kde l je délka zkušebního tělesa v okamžiku přetržení a l_0 upínací délka zkušebního tělesa (v našem měření to činí 200 mm).

Výsledkem zkoušky je aritmetický průměr výše uvedených veličin určený u pevnostních údajů s přesností na 3 platná místa, u hodnot tažnosti s přesností na jedno desetinné místo. Pro každou veličinu se ještě stanoví výběrová směrodatná odchylka, variační koeficient a interval spolehlivosti.

II.1.5 Zpracování výsledků zkoušky

Za výslednou pevnost v tahu se považují aritmetické průměry jednotlivých měření zaokrouhlené na 3 platné číslice.

Tabulka č.1: Naměřené a vypočítané hodnoty u vzorku

Roving R 2 15-2400 254

$F_{max}(N)$	$\Delta l(mm)$	$F_{rel}(N/tex)$	$\varepsilon_{max} \%$
124,7	7,3	0,052	3,65
127,5	5	0,053	2,50
125	5,1	0,052	2,55

Tabulka č.2: Naměřené a vypočítané hodnoty u vzorku

Roving R 4 EC 10—2400 tex 776

$F_{max}(N)$	$\Delta l(mm)$	$F_{rel}(N/tex)$	$\varepsilon_{max} \%$
118	5,6	0,049	2,80
112,3	4,7	0,047	2,35
119,2	6,3	0,050	3,15

Tabulka č.3: Naměřené a vypočítané hodnoty u vzorku

Roving EC 15—4800 tex 254

$F_{max}(N)$	$\Delta l(mm)$	$F_{rel}(N/tex)$	$\varepsilon_{max} \%$
164,1	13,3	0,034	6,65
153,6	10,3	0,032	5,15
147,8	8,1	0,031	4,05

Tabulka č.4: Naměřené a vypočítané hodnoty u vzorku

Roving EC 13—140 tex 254

$F_{max}(N)$	$\Delta l(mm)$	$F_{rel}(N/tex)$	$\varepsilon_{max} \%$
39,2	5,1	0,280	2,55
38	4,1	0,271	2,05
38,6	4,9	0,276	2,45

Tabulka č.5: Naměřené a vypočítané hodnoty u vzorku

Roving R4 D2 EC 11-2400 tex 476

F_{max}	Δl	$F_{rel}(N/tex)$	$\varepsilon_{max} \%$
101,2	5,4	0,042	2,7
108,7	4,6	0,045	2,3
111,8	4,0	0,047	2,0

ZÁVĚR

Cílem práce bylo provedení literární rešerše na téma druhy skla, jejich výroba a vlastnosti, v praktické části byl ověřen postup tahových zkoušek pramenů skleněných vláken. Na skleněná vlákna se práce zaměřila pro jejich stále širší použití v různých průmyslových odvětvích. Ceněná jsou hlavně pro svoje výborné technické vlastnosti jako jsou: vysoká pevnost, vysoká hodnota Youngova modulu v tahu, odolnost proti vysokým teplotám, nehořlavost, dobrá chemická odolnost a dobré elektrické vlastnosti. Vynikající tepelně a zvukově izolačních vlastností využívá v široké míře stavební průmysl. Vlastnosti skleněných vláken jsou výhodné zvláště ve výrobě kompozitních materiálů jako vyztužující kontinuální vlákna nebo ve formě stříže.

Velký význam mají skleněná vlákna také v oblasti komunikačních technologií jako optická vlákna. Speciální technologický postup umožňuje vyrobit vlákna tak, aby světelný paprsek zůstal uzavřený uvnitř vlákna a nedocházelo ke ztrátě nebo zkreslení optické informace. Mnoho aplikací optických vláken je např. v lékařské technologii, kde umožňují laparoskopická vyšetření a operace vnitřních orgánů, tedy méně invazivní metody šetrné pro pacienta.

Sklo je mnohostranný materiál se širokou škálou vlastností a použití, které se bude ještě rozšiřovat. Z ekologického hlediska je jeho výhodou také jeho recyklovatelnost.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] <http://www.czechdesign.cz/idex.php>
- [2] http://www.soudom.cz/sklo_a_sklářské_výrobky.doc
- [3] Hankýř V., Havrda J.: "Speciální technologie keramiky I." SNTL, Praha (1985)
- [4] Hankýř V., Šavřda J., Trávníček Z.: Speciální technologie keramiky II." VŠCHT VN MON, Praha (1989)
- [5] Hlaváč J.: "Základy technologie silikátů." SNTL/ALFA? Praha (1988).
- [6] Ptáček a kol.: "Nauka o materiálu I.", Akademické nakladatelství CERM? Brno (2001), (ISBN 80-7204-193-2).
- [7] Ptáček a kol.: "Nauka o materiálu II.", Akademické nakladatelství CERM, Brno (1999), (ISBN 80-7204-130-4).
- [8] Strnad Z.: "Sklenné krystalické materiály." SNTL? Praha (1983).
- [9] Šašek L.: "Chemická technologie speciálních silikátových materiálů." VŠCHT VN MON, Praha (1988).
- [10] Vasilko K.: "Nové materiály a technologie ich spracovania. "ALFA, Bratislava (1990).
- [21] Volf M.B.: "Technická skla a jejich vlastnosti." SNTL, Praha (1987).
- [32] Lehner, J.- Surý, L.: Silikátová vlákna v průmyslu a stavebnictví, SNTL? Praha, 1981
- [43] Lehner, J.: Skleněná, horninová a strusková vlákna, SNTL? Praha, 1960

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkr.	Vysvětlení.
Θ_m	mezní úhel
n_1	index lomu skla
n_2	index lomu vzduchu
t_k	referenční teplota
T_g	transformační teplota
E_m	modul pružnosti matrixu
E_c	modul pružnosti kompozitu
E_a	modul pružnosti vlákna
P_m	pevnost matrixu
P_a	pevnost při přetržení vlákna
P_c	poměrná pevnost kompozitu
V_a	objem vlákna
V_m	objem matrixu
$F_{\max}$	maximální tahová síla
F_{rel}	pevnost vztažená na jemnost vzorku
T	délková hmotnost pramene
$E_{\max}$	upínací délka zkušebního tělesa
l	délka zkušebního tělesa v okamžiku přetržení
l_0	upínací délka zkušebního tělesa (v našem měření to činí 200 mm).

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. č. 1 Model tetraedru SiO_2		13
Obr. č. 2a, b, c Uspořádání strukturní sítě SiO_2		14
Obr. č. 3 Průběh dilatačních křivek		26
Obr.č. 4 Chod paprsků na rozhraní		

32

SEZNAM TABULEK

Tab. č. 1: Naměřené a vypočítané hodnoty u vzorku <i>Roving R 2 15-2400 254</i>	39
Tab. č. 2: Naměřené a vypočítané hodnoty u vzorku <i>Roving R 4 EC 10—2400</i>	39
Tab. č. 3: Naměřené a vypočítané hodnoty u vzorku <i>Roving EC 15—4800</i>	39
Tab. č. 4: Naměřené a vypočítané hodnoty u vzorku <i>Roving EC 13—140</i>	40
Tab. č. 5: Naměřené a vypočítané hodnoty u vzorku <i>Roving R4 D2 EC 11-2400</i>	40

SEZNAM PŘÍLOH

Firemní prospekty firmy: Sklo Union – Vertex pro různé druhy výrobků ze skleněných vláken.

SKLENĚNÉ ROVINGOVÉ TKANINY - 631272

Skleněné rovingové tkaniny představují speciální řadu technických tkanin pro výtzuže plastů (sklolaminátů). Jsou určeny pro výrobu skelných laminátů vysokých mechanických pevností.

Skleněné rovingové tkaniny jsou vyráběny z bezalkalických vláken většinou v plátnové vazbě z rovingů (V), nebo ze skaných nití s vazbou keprovou (VS).

Příklad označení: V 99 - 365 A 363

V = tkanina z rovingů pro vyztužení plastů

VS = tkanina ze skaných nití a rovingů pro vyztužení plastů

99 = tloušťka elementárních vláken v mikrometrech (osnova, útek)

365 = přibližná plošná hmotnost 1 m² tkaniny v gramech

A 363 = úprava tkaniny

Přehled úprav skleněných tkanin:

K 3 = tepelná delubrikace na lince

K 4 = tepelná delubrikace v nábalu

A 341 = úprava K 3 apretovaná Silanem 3172 W

A 363 = úprava K 3 apretovaná Silanem 1100

A 464 = úprava K 4 apretovaná Silanem 1120

A 464 - 5 = úprava A 464 dodatečně apretovaná resolem

786, 276 = přímá lubrikace

Způsob označování upravených tkanin je v souladu se značením mezinárodní normalizační společnosti ISO.

Obsah spalitelných látek pro jednotlivé druhy úprav

úprava	obsah v %	obsah silanu v %
K 3	max. 0,15	
K 4	max. 0,2	
A 341, A 351, A 361		0,1

Skleněné rovingové tkaniny jsou vhodné pro jednotlivé technologie výroby vrstvených hmot takto:

- a) Tkaniny do plošné hmotnosti 250 g = kontaktní metoda (ruční kladení), menší až středně velké výrobky, hojně tvarované, hladkého povrchu.
- b) Tkaniny do plošné hmotnosti 500 g = kontaktní metoda, středně veliké až velké výrobky, středně až méně tvarované. Vhodné též pro technologii lisování a vákuové tvarování.
- c) Tkaniny nad plošnou hmotnost 600 g = kontaktní metoda, velké výrobky méně tvarované. Lisování a vákuové tvarování.

Skleněnými vlákny vyztuženou vrstvenou hmotu rozumíme takový materiál, kde výrobek ze skleněných vláken (rovingové tkaniny, pramencové rohože a roving) tvoří výztuž a syntetická pryskyřice pojídlo.

Takto vyrobený materiál má řadu předností:

- výborné mechanické pevnosti při relativně nízké objemové váze
- velmi dobré elektroizolační vlastnosti
- vysokou chemickou odolnost
- odolnosti proti korozi, plísním a povětrnostním vlivům
- nemagnetičnost a nízkou tepelnou vodivost
- rozměrovou stabilitu
- jednoduchý výrobní postup
- nízké náklady na přípravu výroby
- hospodárnost při malosériové výrobě
- tvarování velkoplošných náročných dílců
- kombinace s jinými materiály
- v jednom výrobním procesu se dostává tvar, barva i povrchová úprava

Skleněné rovingové tkaniny nesmí přijít do styku s vodou a ani nesmí navlhnout. Proto se musí přepravovat v krytých dopravních prostředcích a uskladňují se v suchých skladech na dřevěných podložkách.

631 221 SKLENĚNÝ ROVING

Skleněný roving je tvořen určitým počtem paralelně sdružených pramenů skleněného vlákna o 200 až 800 elementárních vláknech v prameni.

Počet pramenů může být různý, standardní řada však obsahuje 5, 10, 15, 20, 30, 40, 60 a 120 pramenů o tloušťce 9, 10, 11, 13 nebo 15 mikrometrů na nichž je nanášena speciální lubrikace.

Skleněný roving se vyrábí z křemičitého skla a bezalkalické borito-křemičito-hlinité skloviny Eutal.

PŘÍKLAD OZNAČENÍ ROVINGŮ:

a) Interní označení

R2, R4, R8 — označení použitého pramene vláken (200, 400, 800 vláken v prameni)

D2, D4 — způsob dělení pramenů vláken na lubrikační patce

b) roving pro tažení, vinutí a tkání

EC 11 50 tex x 8 276

E — použité sklo Eutal

C — nekonečné (continuílní) vlákno

11 — tloušťka elementárního vlákna v mikrometrech

50 — jemnost pramene v tex

x 8 — počet družených pramenů

276 — symbol použité lubrikace

c) roving pro sekání

R2 EC 15 — 2400 254

2400 — výsledná jemnost rovingu v tex

ROZDĚLENÍ ROVINGŮ PODLE POUŽITÍ:

A) ROVING TVRDÝ:

R2 EC 10 — 2400 774	R2 EC 10 — 2400 274	R2 EC 15 — 2400 254
R4 EC 10 — 2400 774	R4 EC 10 — 2400 274	R4 EC 15 — 4800 254
R4 D2 EC 10 — 2400 774	R4 D2 EC 10 — 2400 274	R4 D2 EC 15 — 4800 254

Tvrdost rovingů závisí na obsahu lubrikace, použití filmotvorné složky lubrikace a stupně jejího měkčení.

Vlastnosti:

- obsah lubrikace od 0,8 do 1,2 % hmotnosti
- vysoký stupeň tuhosti (8 — 11)
- velmi nízká stužkovitost (0 — 1)
- snadná sekateľnost
- dobrý rozptyl pramenů po sekání
- nízká disperze elementárních vláken
- snížená smáčivost laminačními pryskyřicemi a tím i snížená prostupnost světla u výrobku

Použití:

Tvrdých rovingů se používá k výrobě laminátů stříkací technologií, pro výrobu tvrdých pramencových rohoží pro lisování, pro výrobu prepregů apod. Tento typ rovingů je vhodný pro polyesterové pryskyřice.

B) ROVING MĚKKÝ:

EC 11 50 tex x 8 276	EC 11 50 tex x 4 276	EC 13 140 tex x 18 701
----------------------	----------------------	------------------------

Vlastnosti:

- obsah lubrikace 0,3 — 0,7 % hmotnosti
- nízký stupeň tuhosti (3 — 5)
- střední až vysoká stužkovitost (2 — 4)
- vysoká disperze elementárních vláken

Použití:

Měkkých rovingů se používá pro vinutí sklolaminátů, tažení profilů s vyššími fyzikálně mechanickými vlastnostmi a pro výrobu tkanin. Roving s lubrikací 276 je vhodný pro polyesterové pryskyřice a roving 701 je vhodný i pro epoxydové pryskyřice.

Doprava, balení a skladování

Skleněný roving se navíjí na válcové cívky o hmotnosti 10 až 20 kg, z nichž jej lze odvíjet zevnitř, nebo i svrchu (dutinky). Navinutá cívka se vloží do polyetylénového sáčku, otvor se převáže a zataví, aby se zabránilo přístupu vzduchu. Takto připravené rovingové cívky se vloží do kartonových krabic nebo do kartonových vík podle druhu rovingu. Ve čtyřech vrstvách jsou uloženy na paletu, která je stažena polyetylénovou páskou a zavařena smrštitelnou fólií.

Rovingové cívky se přepravují v krytých a suchých dopravních prostředcích.

631222

SEKANÉ PRAMENY 317

Sekané prameny se vyrábějí ze skleněných vláken EC 13 — 280 tex s lubrikací 317.

Použití

Sekané prameny jsou vyráběny sekáním neko-
nečných pramenů skleněných vláken z E skla,
opatřených lubrikací 317 na siloanové bázi.
Tato lubrikace předurčuje jejich použití pro
vyztužování polypropylenu.

Sekané prameny jsou určeny k výrobě kom-
pozitního granulátu na bázi polypropylenu s
dalším jeho uplatněním při lisování různých
konstrukčních dílů a výrobků vyráběných tech-
nologii lisovstříku.

Sekané prameny se vyrábějí v délce 6 mm.

Technické údaje výrobku

délka sekaných pramenů	$6 \begin{smallmatrix} +1 \\ -2 \end{smallmatrix}$ mm
obsah spalitel. látek v % hmotn.	$0,9 \pm 0,3$
obsah vlhkosti v % hmotn.	0,1 max.
obsah nedoseků v % hmotn.	2,0 max.
sypná hmotnost	370 g/litr (minim.)

Balení, doprava, skladování

Sekané prameny se ukládají do PE sáčků po
15 kg a kartonu 286 × 286 × 900 mm, které
jsou uloženy ve čtyřech vrstvách po 12 kusech
— celkem 48 kartonů. Jednotlivé vrstvy kar-
tonů jsou odděleny kartonovým víkem. Paleta
je opatřena dřevěným rámečkem a přepásková-
na ocelovou páskou 2 × podélně a 2 × příčně.
Sekané prameny jsou baleny při 60 % relativní
vlhkosti vzduchu 18 — 20 °C.

Sekané prameny se dopravují v dopravních
prostředcích, které jsou zabezpečeny proti za-
tékání vody.

Skladují se ve skladech, chráněných před
povětrnostními vlivy s doporučenou teplotou
10 — 25 °C.

Každý otevřený obal musí být po ukončení
práce znovu uzavřen.

**Fyzik. mechanické vlastnosti
kompozitního materiálu**

Kompozit PP	Obsah skla %	Pevnost v tahu MPa	Modul pružnosti v ohybu MPa	Vrubová houževnatost Charpy kJ/m ² /23 °C	Tepelná odol. °C
Taboren PH 31 G20	20	39,7	3 820	6,1	90
Taboren PH 31 G30	30	41,4	5 620	7,5	116
metodika dle	ČSN 64320	ČSN 640605 50 mm/min.	ČSN 640614 metoda B	ČSN 640612 2,9 m/sek.	ISO R °C

631222

SEKANÉ PRAMENY 316

Sekané prameny se vyrábějí ze skleněných vlá-
ken EC — 100 tex s lubrikací 316.

Použití

Sekané prameny se používají jako vyztužu-
jící materiál při výrobě tepelně izolačních pod-
hledových a střešních desek, posukovaných ro-
hoží papírenskou technologií (mokrou cestou)
apod.

K výrobě se mohou použít prameny EC 11
mikrometru s lubrikací 316, které obsahují
400, 800, 1200 reps. 1600 vláken.

Sekané prameny se vyrábějí v délce 6 a 12 mm.

Technické údaje výrobku

délka sekaných pramenů	6 a 12 mm ± 1 mm
obsah spalitel. látek v % hmotn.	0,3 až 0,6
obsah vlhkosti v % hmotn.	5,2 až 8,0
obsah nedoseků v % hmotn.	5,0
hmotnost balicí jednotky, netto v kg	20,0

Balení, doprava, skladování

Sekané prameny jsou baleny do PE sáčků po
20 kg. Zatavené sáčky jsou volně loženy do do-
pravních prostředků.

Dopravují se v čistých, suchých a uzavře-
ných prostředcích.



631 271 Skleněné tkaniny pro elektrotechniku

Skleněné tkaniny pro elektrotechniku se vyrábějí ze skleněného hedvábí a mají osnovu i útek ze skleněného hedvábí jednoduchého nebo skaného.

Elementární vlákna o průměru 5, 6, 7 a 9 a 10 mikrometrů jsou pro snazší textilní zpracování chráněna lubrikací. Před finálním zpracováním se skleněné tkaniny vypírají v trichloretylenu (chemická delubrikace), nebo se tepelně delubrikují (koronizace) v nábalu, nebo na lince a následně se na ně nanáší apretury.

Obsah spalitelných zbytků lubrikace ve tkanině nesmí překročit u chemické delubrikace 0,5 % hmotnosti a u tepelné delubrikace 0,1 % hmotnosti a u apretovaných tkanin 0,4 % hmotnosti.

Skleněné tkaniny pro elektrotechniku se dělí do dvou skupin: na tkaniny rezné a tkaniny upravené. V rezném stavu se skleněné tkaniny pro elektroizolace používají v omezené míře. Ke zvýšení kvality a dokonalejší přilnavosti k lakům a pryskyřicím se rezné skleněné tkaniny dodatečně upravují chromovými nebo silanovými adhesivy. Tkaniny se vyrábějí v různých šířkách, většinou v plátňové a keprové vazbě.

Příklady označení: E 56 — 70 D 2

- E = skleněná tkanina elektroizolační
- 5 = tloušťka elementárních vláken v osnově v mikrometrech
- 6 = tloušťka elementárních vláken v útku v mikrometrech
- 70 = přibližná hmotnost m² v gramech
- D 2 = chemická delubrikace

Označení:

- E = skleněné tkaniny elektroizolační
- EV = skleněné tkaniny pro elektroizolační vrstvené hmoty

Přehled úprav skleněných tkanin:

- A — = smáčení v apretaci
- D 2 = delubrikace chemická
- K 3 = tepelná delubrikace na lince
- K 4 = tepelná delubrikace v nábalu
- A 331 = úprava K 3 apretovaná volanem A
- A 341 = úprava K 3 apretovaná Silanem 3172 W
- A 351 = úprava K 3 apretovaná Silanem 4478
- A 352 = úprava K 3 apretovaná Silanem A 174
- A 262 = úprava D 2 apretovaná Silanem GF 90
- A 361 = úprava K 3 apretovaná Silanem 3100
- A 362 = úprava K 3 apretovaná Silanem GF 90
- A 363 = úprava K 3 apretovaná Silanem 1100
- A 364 = úprava K 3 apretovaná Silanem 1120
- A 381 = úprava K 3 apretovaná silikonovým olejem G
- A 431 = úprava K 4 apretovaná volanem A
- A 441 = úprava K 4 apretovaná Silanem 3172 W