

Sklo – definice, vlastnosti, výroba

LF MU Brno

Brýlová technologie

Definice skla

- Sklo je tvrdý, křehký, špatně vodivý materiál, který praská, jestliže je vystaven prudkým teplotním změnám (např. ochlazení)
- Sklo bylo přibližně do 2. světové války výhradním materiálem pro výrobu brýlových čoček

Výroba skla

- Surovina na výrobu skla se nazývá sklářský kmen, který je uveden do stádia taveniny
- Sklářský kmen obsahuje:
 - 70% sklotvorných oxidů
 - 20% tavidel
 - Stabilizátory
 - Odbarvovače
 - Barviva

Sklotvorné oxidy

- Oxid křemičitý SiO_2 ve formě křemenného písku
- Oxid boritý
- Oxid fosforečný

Tavidla

- Jsou nutná k zajištění vysoké teploty (1700°C)
- Soda (uhličitan sodný - Na_2CO_3)
- Potaš (uhličitan draselný – K_2CO_3)

Stabilizátory

- Zajišťují vysokou chemickou stálost, mechanickou odolnost a tvrdost (CaO)
- Oxid hlinitý (Al₂O₃)
- Oxid zinečnatý (ZnO)
- Oxid hořečnatý (MgO)

Úprava optických vlastností skla

- Specifické látky mohou ovlivnit propustnost světla, lom a disperzi
 - Oxid olovnatý
 - Oxid barnatý
 - Oxidy lanthanoidů

Barviva

- Látky s kovovými ionty
- Sloučeniny železa dodávají sklu nevhodnou barvu

Technologický postup při tavení skla

- Růst bublinek (1200°C)
- Čeření (1750°C)
- Ochlazení za účelem odstranění plynů a chlazení (<900°C)

Růst bublinek

- Složky kmene se zahřívají na teplotu 1200°C
- Vzniká velké množství plynů rozkladem uhličitánů
- Rozpustnost plynu (CO₂) ve sklovině je přímo úměrná jeho parciálnímu tlaku a nepřímo úměrná teplotě

Čeření

- Přidání čeriv k sázce má za následek rychlejší odstranění bublin a plynů
- Čeřiva jsou látky, které se rozkládají za vysokých teplot a uvolňují plyny, které z taveniny odstraňují bubliny
- Vlastním čeřícím plynem je většinou kyslík, uvolňující se z čeriv, který difunduje do bublin, takže rostou a stoupají vzhůru
- Jako čerivo se může použít i např. **ledek** (dusičnan sodný – NaNO_3)

Ochlazení za účelem odstranění plynů

- V ochlazovací fázi se odstraní i poslední vyfukované plyny (při snížení z 1200 na 900°C)
- Potom se sklo stáčí do předeheřátých van
- Podle druhu skla trvá ochlazení týdny i měsíce
- Způsob ochlazení ovlivňuje index lomu

Závady sklovin

- Kamenité sklo
- Odlišné složení od základní hmoty
- Bublínkové sklo
- Pnutí

Kamenité sklo

- Obsahuje neprůhledná zrníčka (kameny) různé velikosti
- Mohou být ze stěn kotle nebo z beztvaré hmoty vsázky
- Typické jsou tzv. odskelňovací kameny v krystalické podobě, které vznikají při chybném ochlazovacím procesu

Odlišné složení od základní hmoty

- Vznikají díky nedokonalému promíchání základních surovin
- Místa s rozdílným složením vykazují změny v optických vlastnostech skla (zvláště u lomu světla)

Bublínkové sklo

- Vzniká při nedokonalém čerění skloviny, pokud nejsou odstraněny všechny plyny, jimiž je sklovina přesycena

Pnutí

- Je pro optické účely jednoznačně nevhodné
- Vzniká při rychlém chlazení
- Jedna ochlazená vrstva se smrští a pod ní ještě kapalná vrstva se tomu vzpíná a vytváří odpor
- Ve skle tak vznikají tažné a tlakové síly

Optické vlastnosti skla

- Lom světla
- Disperze
- Reflexe
- Transmise
- Absorpce
- Vliv barvy

Lom světla

- Lom světla je určen indexem lomu skla
- Optická skla se podle odchyšky od indexu lomu třídí do několika optických tříd
- Každý index lomu je vztažen pro určitou vlnovou délku světla

Disperze

- Vyjadřuje se pomocí Abbeova čísla
- Čím je toto číslo větší, tím menší je disperze a tím menší jsou rušivé barevné jevy na okraji brýlových čoček

$$v = \frac{n_D - 1}{n_F - n_C}$$

n_D je index lomu pro žluté světlo
 n_F je index lomu pro modré světlo
 n_C je index lomu pro červené světlo

Korunové sklo má $n_D = 1,5252$
 $n_F = 1,5298$
 $n_C = 1,5208$

$$v = \frac{1,5252 - 1}{1,5298 - 1,5208} = 58,3$$

Příklady disperze u křemičitých skel

Křemičitá skla		
Index lomu	Abbeovo číslo	Hustota v g/cm^3
1,525	58,6	2,55
1,604	41,8	2,60
1,706	41,5	3,21
1,807	35,4	3,62
1,892	30,4	3,99

Rozdělení brýlových skel dle Abbeova čísla

- Korunové sklo – draselno-vápenaté
 - Abbeovo číslo je větší než 55
- Flintové sklo – draselno-olovnaté
 - Abbeovo číslo je menší než 55

Reflexe

- Se stoupajícím indexem lomu roste odrazivost světla
- Reflexi můžeme snížit nanesením protiodrazových vrstev, které nazýváme antireflexní vrstvy

$$R = \left(\frac{n - 1}{n + 1} \right)^2$$

Příklady reflexe podle indexu lomu

Index lomu	Reflexe jedné plochy	Celková reflexe
1,525	4,32%	8,64%
1,604	5,38%	10,76%
1,706	6,80%	13,61%
1,807	8,16%	16,32%
1,892	8,70%	17,40%

Transmise

- Udává kolik procent světla projde čočkou
- Část světla se odrazí na přední ploše čočky, část se absorbuje a část se odrazí na zadní ploše čočky
- $T = I - R - A$

Absorpce

- Stupeň pohlcení závisí elektromagnetického vlnění závisí na čistotě a zbarvení optického materiálu a jeho chemickém složení
- Ve skle absorbované záření je převedeno na teplo, nepatrně na fluorescenci a na chemickou reakci
- U čirých čoček je absorpce asi 1%

Vliv barvy

- Přidáním barvy do skla se zvyšuje absorpce
- Barvu můžeme přidat přímo do sklářského kmene nebo napařením na její povrch
- U barvených čoček se zjišťuje, zda nezkreslují barvené vidění

Tepelné vlastnosti skla

- Sklo mění svůj objem v závislosti na teplotě
- Měřítkem je tzv. střední tepelný koeficient roztažnosti
- Při ohřátí čočky na 200°C se změní délka čočky řádově v desítkách setin milimetru

Viskozita skla

- Viskozita je spojena se složením a chemickou čistotou materiálu
- Viskozita je ukazatelem jakosti skla
- Jednotkou je pascalsekunda (Pa.s)
- Například med má při teplotě 20°C viskozitu 10 000 dPa.s, voda 0,01 dPa.s

Viskozita skla v průběhu chladnutí

Viskozita v d Pa s (decipaskalsekunda)	Teplotní zóna	Význam pro výrobu skla
10^2	čeření	skelná tavenina
$10^{2,5}$	teplota tání	
10^5	teplota tečení	tvorba formy
$10^{7,6}$	teplota měknutí	
10^{13}	horní chladicí teplota	oblast „zamrznutí“ , pnutí
$10^{13,3}$	transformační teplota - T_g	
$10^{14,5}$	spodní chladicí teplota	
10^{19}	sklo při pokojové teplotě	

Mechanické vlastnosti skla

- Hmotnost
- Hustota
- Elasticita
- Pevnost v tahu a tlaku
- Křehkost
- Tvrdost

Hmotnost skla

- Závisí na objemu a hustotě
- Dále na složení skla

Minerální materiály									
	Standardní index lomu			Střední index lomu			Vysoký index lomu		
	Čirá	Samozabarovací		Čirá	Samozabarovací		Čirá	Čirá	
		Šedá	Hnědá		Šedá	Hnědá			
Essilor označení	1.5 čirá	1.5 Isorapid grey	1.5 Isorapid brown	1.6 čirá	1.6 Isorapid grey	1.6 Isorapid brown	1.7	1.8	
Refrakční index	n_e	1.525	1.525	1.604	1.604	1.604	1.705	1.807	
	n_o	1.523	1.523	1.600	1.600	1.600	1.701	1.802	
Disperze	v_e	59	57	41	42	42	41	34	
	v_o	59	57	42	42	42	42	35	
Specifická hmotnost	2.61	2.41	2.41	2.63	2.70	2.73	3.21	3.65	
UV filtrace	330 nm	335 nm	335 nm	335 nm	345 nm	345 nm	335 nm	330 nm	

Hustota skla

- Hustota skla kolísá od 2,2 až 6 g/cm³ u skel s vysokým obsahem PbO
- U brýlových čoček kolísá od 2,5 do 4 g/cm³ v závislosti na složení a indexu lomu

Elasticita skla

- Při pokojové teplotě je malá – dosahuje je asi $\frac{1}{4}$ elasticity oceli

Pevnost v tahu a tlaku

- Pevnost skla v tahu je malá
- Pevnost skla v tlaku dosahuje desetinásobku pevnosti skla v tahu
- Proto sklo praská více při náhlém ochlazení (tah), než při zahřátí (tlak)

Křehkost

- Sklo je křehčí než kovy, ale méně křehké než porcelán, tavený čedič, kamenina nebo beton

Tvrdost

- Tvrdost skla podle Mohsovy stupnice je 5-7 asi jako apatit, živec a křemen
- K měření tvrdosti se používá diamantového hrotu, který se vtlačuje pod určitým tlakem do materiálu a mikroskopem se pak měří hloubka vrypu
- Pro optické účely se udává zkouška obrusnosti, kdy bylo zjištěno, že nejtvrdší jsou křemenná skla a nejměkčí jsou skla s vysokým obsahem PbO

Chemické vlastnosti skla

- Brýlové čočky ze skla vynikají velkou stabilitou vůči vodě, roztokům soli, kyselinám a organickým substancím
- Koncentrované louhy způsobují znatelnou korozi při vysokých teplotách

Odolnost skla vůči chemikáliím

- Voda - odolnost skla je zpravidla vyšší, čím méně alkalických oxidů obsahuje (Na_2O , K_2O) a čím více obsahuje SiO_2
- Vodní pára - dtto
- Kyselina – čím vyšší je obsah alkalických oxidů, tím je větší odolnost
- Příznivý vliv na chemickou odolnost má styk povrchu čoček s plyny obsahující SO_2 při chlazení

Mechanismus koroze skla

- Při usazení vody na povrchu skla se vytváří alkalický roztok hydroxidů a uhličitanů, který rozpouští i křemičitou vrstvu
- Časem obsah alkálií klesá a obsah SiO_2 stoupá
- Rozrušování je rychlejší než u kyselin a časem nezpomaluje
- V kyselině fluorovodíkové a křemičité se sklo úplně rozloží

Děkuji za pozornost

- Literatura:

- Najman, L.: Dílenská praxe očního optika, Brno: IDVPZ, 2001
- Rutrle, M.: Brýlová technika, estetika a přizpůsobování brýlí, Brno IDVPZ, 2001
- Polášek, J.: Technický sborník oční optiky, Praha: SNTL, 1975