

Obsah

1	Úvod	13
2	Základní pojmy	17
2.1	Krystalický, kapalný a skelný stav	17
2.1.1	Transformační přeměny	17
2.2	Klasifikace skel	19
2.2.1	Klasifikace podle chemického složení	19
2.2.2	Klasifikace podle způsobu výroby	19
2.2.3	Klasifikace podle účelu použití	20
2.3	Struktura skel	20
3	Vlastnosti skla a skloviny	24
3.1	Viskozita	24
3.1.1	Měření viskozity	28
3.2	Povrchové napětí	31
3.3	Krystalizační schopnost	33
3.4	Další tepelné vlastnosti	35
3.4.1	Teplotní roztažnost	35
3.4.2	Odolnost proti náhlým změnám teploty	40
3.4.3	Měrná tepelná kapacita	42
3.4.4	Tepelná vodivost	44
3.5	Hustota	46
3.6	Mechanické vlastnosti	47
3.6.1	Modul pružnosti a Poissonova konstanta	49
3.6.2	Pevnost v tahu, tlaku, ohybu a smyku	50
3.6.3	Rázová houževnatost	51
3.6.4	Tvrdost	52
3.6.5	Brusná tvrdost	52
3.6.6	Odolnost proti přetlaku	52
3.6.7	Způsoby zvyšování pevnosti skel	52
3.7	Vnitřní napětí	53
3.7.1	Přechodné vnitřní napětí	53
3.7.2	Trvalé vnitřní napětí	54
3.8	Elektrické vlastnosti	56
3.8.1	Elektrická vodivost	57
3.8.2	Dielektrické vlastnosti	59
3.8.3	Elektrická pevnost	61
3.9	Optické vlastnosti	62
3.9.1	Odraz a lom na optickém rozhraní	64
3.9.2	Disperze světla	69
3.9.3	Absorpce záření	70
3.9.4	Rozptyl záření	71
3.9.5	Luminiscence	73
3.9.6	Fotosenzitivní, fotoplastická, fotochromická a polychromatická skla	73
3.9.7	Dvojlom, polarizace a interference záření	73
3.10	Chemická odolnost	74
3.10.1	Odolnost skla proti vodě	74

	3.10.2	Odolnost skla proti kyselinám	76
	3.10.3	Odolnost skla proti alkáliím	77
4		Sklářské suroviny	78
	4.1	Krátce z historie sklářských surovin	78
	4.2	Požadavky na sklářské suroviny	79
	4.3	Suroviny, kterými se vnášejí do skla sklotvorné oxidy	82
	4.3.1	Oxid křemičitý SiO_2	82
	4.3.2	Oxid boritý B_2O_3	84
	4.3.3	Oxid fosforečný P_2O_5	84
	4.4	Suroviny, kterými se vnášejí oxidy Al_2O_3 , TiO_2 , ZrO_2 , SnO_2	85
	4.4.1	Oxid hlinitý	85
	4.4.2	Oxid titaničitý	85
	4.4.3	Oxid zirkoničitý	85
	4.4.4	Oxid cíničitý	85
	4.5	Suroviny, kterými se vnášejí oxidy kovů alkalických zemin a kovů stabilizujících sklovinu	86
	4.5.1	Oxid vápenatý	86
	4.5.2	Oxid hořečnatý	86
	4.5.3	Oxid olovnatý	87
	4.5.4	Oxid barnatý	87
	4.5.5	Oxid zinečnatý	88
	4.5.6	Oxid strontnatý	88
	4.6	Suroviny, kterými se vnášejí oxidy alkalických kovů	88
	4.6.1	Oxid sodný	88
	4.6.2	Oxid draselný	89
	4.6.3	Oxid lithný	89
	4.7	Barvicí suroviny	90
	4.7.1	Barviva iontová s jedním oxidačním stupněm	90
	4.7.2	Barviva iontová se dvěma a více oxidačními stupni	90
	4.7.3	Barviva molekulární	92
	4.7.4	Barviva koloidní	93
	4.8	Kalici suroviny	94
	4.8.1	Fluoridy	94
	4.9	Čeřící suroviny	95
	4.9.1	Síranové čeření	95
	4.9.2	Oxidové čeření	95
	4.10	Urychlovače tavení	96
	4.11	Střepe	96
	4.12	Příklady složení skla	96
5		Příprava sklářského kmene a vsázky	97
	5.1	Kontrola a přejímka surovin	97
	5.2	Skladování a manipulace se sklářskými surovinami	97
	5.3	Úprava surovin	99
	5.4	Vážení a dávkování surovin	99
	5.5	Mísení kmene	102
	5.6	Střepové hospodářství, recyklace	104
	5.7	Úprava kmene	107

5.8	Kmenárny	107
6	Zakládání vsázky	112
7	Tavení skla	116
7.1	Vývoj STA v historickém kontextu	116
7.2	Úvod do teorie tavení skla	117
7.2.1	<i>Vlastní tavení</i>	118
7.2.2	<i>Čeření skloviny</i>	120
7.2.3	<i>Homogenizace a proudění skloviny</i>	122
7.2.4	<i>Sejití skloviny</i>	124
7.2.5	<i>Další důležité pochody a děje při tavení</i>	124
7.2.6	<i>Činitelé ovlivňující dobu tavení</i>	125
7.3	Energetická náročnost produkce skleněných výrobků	126
7.3.1	<i>Tepelná bilance STA</i>	126
7.3.2	<i>Regenerátory, rekuperátory a další zařízení pro snižování energetické náročnosti</i>	132
7.4	Rozdělení tavicích agregátů	134
7.5	Tavení v pánvových pecích	135
7.6	Tavení ve vanových pecích	138
7.6.1	<i>Kontinuální STA plamenné</i>	139
7.6.2	<i>Kontinuální STA celoelektrické</i>	145
7.6.3	<i>Kontinuální STA s elektrickým přihřevem</i>	150
7.7	Kyslíkové tavení	151
7.8	Konstrukční prvky STA	153
7.9	Vyzdívka STA	154
7.10	Řídicí systémy, hořáky	156
7.11	Speciální tavicí zařízení	158
7.11.1	<i>Kelímkové středo- a vysokofrekvenční pece</i>	158
7.11.2	<i>Tavení křemenného skla grafitovými elektrodami</i>	158
7.11.3	<i>Vysoko- a středofrekvenční tavení čirého křemenného skla</i>	158
8	Dávkování skloviny	160
8.1	Žlaby dávkovačů	161
8.2	Dávkovače kapkové	164
8.2.1	<i>Plunžrový dávkovač</i>	164
8.2.2	<i>Kulový naběrač</i>	167
8.2.3	<i>Sací naběrač</i>	168
8.3	Dávkovače výtokové	170
8.3.1	<i>Kontinuální výtoky</i>	170
8.3.2	<i>Platinové homogenizátory</i>	170
9	Tvarování skloviny	172
9.1	Vývoj technologií tvarování v historickém kontextu	172
9.2	Základní principy tvarování skla	175
9.3	Tvarování skloviny lisováním a mačkáním	177
9.3.1	<i>Lisování skloviny</i>	178
9.3.2	<i>Lisovstřík</i>	185
9.3.3	<i>Mačkání skloviny</i>	186
9.4	Tvarování obalového skla	191
9.4.1	<i>Sacofoukací technologie</i>	191

107	9.4.2	<i>Dvakrát sací technologie</i>	192
112	9.4.3	<i>Technologie pracující s dávkou</i>	192
118	9.5	<i>Tvarování tenkostěnného skla</i>	200
118	9.5.1	<i>Technologie výroby na strojích typu M</i>	201
117	9.5.2	<i>Technologie strojů typu H-28</i>	203
118	9.5.3	<i>Technologie konvejerového (stužkového) stroje</i>	204
120	9.6	<i>Technologie výroby plochého skla</i>	205
122	9.6.1	<i>Technologie tažení skla</i>	205
124	9.6.2	<i>Technologie lití</i>	208
124	9.6.3	<i>Technologie plavení (FLOAT)</i>	210
125	9.7	<i>Technologie výroby trubic a tyčí</i>	215
126	9.7.1	<i>Lití mačkárenských tyčí</i>	215
126	9.7.2	<i>Horizontální tažení (způsob Danner)</i>	216
132	9.7.3	<i>Vertikální tažení tyčí a trubic směrem dolů</i>	217
132	9.7.4	<i>Vertikální tažení trubic směrem nahoru</i>	219
134	9.7.5	<i>Tažení rokajlových trubiček</i>	219
136	9.8	<i>Technologie výroby skleněných vláken</i>	220
138	9.8.1	<i>Technologie mechanického tažení skleněného rajónu</i>	221
139	9.8.2	<i>Technologie odstředivého tvarování staplu</i>	223
142	9.8.3	<i>Tažení plynným médiem</i>	224
150	9.8.4	<i>Kombinované způsoby</i>	225
151	9.8.5	<i>Technologie výroby optických vláknových vlnodů</i>	228
152	9.9	<i>Technologie tvarování skloviny odstředivým litím</i>	229
154	9.9.1	<i>Odstředivé tvarování se svislou osou rotace</i>	229
156	9.9.2	<i>Odstředivé tvarování s vodorovnou osou rotace</i>	230
158	9.10	<i>Technologie výroby zvláštních výrobků</i>	231
158	9.10.1	<i>Výroba kuliček</i>	231
158	9.10.2	<i>Výroba balotiny</i>	231
158	9.10.3	<i>Výroba pěnového skla</i>	233
160	9.10.4	<i>Výroba sintrovaného skla</i>	233
161	9.11	<i>Sklářské formy</i>	234
164	9.11.1	<i>Používané materiály</i>	236
164	9.11.2	<i>Konstrukce forem</i>	237
167	9.11.3	<i>Výroba forem</i>	237
168	9.11.4	<i>Způsoby chlazení sklářských forem</i>	238
10		Chlazení skla	240
170	10.1	<i>Chladicí postup</i>	240
170	10.2	<i>Chladicí pece</i>	243
172	10.2.1	<i>Komorové chladicí pece</i>	243
172	10.2.2	<i>Tunelové chladicí pece</i>	243
175	10.3	<i>Další postupy chlazení</i>	245
177	10.4	<i>Určování napětí ve skle</i>	245
11		Zpracování a zušlechťování skla	247
182	11.1	<i>Mechanické postupy</i>	248
186	11.1.1	<i>Dělení skla</i>	248
191	11.1.2	<i>Vrtání skla</i>	252
191	11.1.3	<i>Broušení a leštění skla</i>	257

11.1.4	<i>Pískování a mechanické matování</i>	269
11.1.5	<i>Rytí</i>	270
11.1.6	<i>Šitlování, rumplování a sekání</i>	270
11.2	<i>Tepelné postupy</i>	273
11.2.1	<i>Pukání</i>	273
11.2.2	<i>Zapalování</i>	276
11.2.3	<i>Odtavování</i>	276
11.2.4	<i>Dělení, vrtání a dekorování laserem</i>	276
11.2.5	<i>Tvrzení a ohýbání plochého skla</i>	278
11.2.6	<i>Leštění teplem</i>	280
11.2.7	<i>Kulacení</i>	282
11.2.8	<i>Nabíhání barev a dokalování</i>	283
11.3	<i>Chemické postupy</i>	284
11.3.1	<i>Chemické leštění, leptání a matování</i>	284
11.3.2	<i>Zpevňování skla iontovou výměnou</i>	287
11.3.3	<i>Nanášení vrstev na sklo</i>	288
11.3.4	<i>Spojování – lepení</i>	301
11.4	<i>Zvláštní techniky zpracování a zušlechťování</i>	302
11.4.1	<i>Vrstvené ploché sklo</i>	302
11.4.2	<i>Skla se zvýšenou odolností proti ohni</i>	304
11.4.3	<i>Sklo pro solární aplikace</i>	304
11.4.4	<i>Autoskla</i>	306
11.4.5	<i>Další technologie a výrobky</i>	308
12	Vady skla a skleněných výrobků	310
12.1	<i>Vady vznikající při výrobě skloviny až po její přípravu ke tvarování</i>	310
12.1.1	<i>Kamínky</i>	310
12.1.2	<i>Skelné nehomogenity – šlíry</i>	310
12.1.3	<i>Plynné nehomogenity ve skle – bubliny</i>	311
12.1.4	<i>Vady zabarvení skloviny</i>	311
12.2	<i>Vady vznikající při tvarování</i>	311
12.3	<i>Vady vznikající při chlazení skla</i>	311
12.4	<i>Vady vznikající při zpracování a zušlechťování skla</i>	312
12.5	<i>Vady dodatečné</i>	312
13	Kontrola jakosti	313
13.1	<i>Kontrola jakosti při výrobě plochého skla technologií plavení</i>	313
13.2	<i>Kontrola jakosti při výrobě obalového skla</i>	314
14	Závěr	315
	Literatura	316