

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 cínčitý	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	Kalicí suroviny	94
	4.8.1	Fluoridy	94
	4.9	Čeňicí suroviny	95
	4.9.1	Síranové čeření	95
	4.9.2	Oxidové čeření	95
	4.10	Urychlovače tavení	96
	4.11	Střepy	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

182	5.8	Kmenárny	107
6		Zakládání vsázky	112
7		Tavení skla	116
201	7.1	Vývoj STA v historickém kontextu	116
203	7.2	Úvod do teorie tavení skla	117
204	7.2.1	Vlastní tavení	118
205	7.2.2	Čeření skloviny	120
205	7.2.3	Homogenizace a proudění skloviny	122
208	7.2.4	Sejití skloviny	124
210	7.2.5	Další důležité pochody a děje při tavení	124
215	7.2.6	Činitelé ovlivňující dobu tavení	125
215	7.3	Energetická náročnost produkce skleněných výrobků	126
216	7.3.1	Tepelná bilance STA	126
217	7.3.2	Regenerátory, rekuperátory a další zařízení pro snižování energetické náročnosti	132
219	7.4	Rozdělení tavicích agregátů	134
220	7.5	Tavení v pánvových pecích	135
221	7.6	Tavení ve vanových pecích	138
223	7.6.1	Kontinuální STA plamenné	139
224	7.6.2	Kontinuální STA celoelektrické	145
225	7.6.3	Kontinuální STA s elektrickým přihřevem	150
228	7.7	Kyslíkové tavení	151
229	7.8	Konstrukční prvky STA	153
229	7.9	Vyzdívka STA	154
230	7.10	Řídicí systémy, hořáky	156
231	7.11	Speciální tavicí zařízení	158
231	7.11.1	Kelímkové stredo- a vysokofrekvenční pece	158
231	7.11.2	Tavení křemenného skla grafitovými elektrodami	158
233	7.11.3	Vysoko- a středofrekvenční tavení čirého křemenného skla	158
8		Dávkování skloviny	160
234	8.1	Žlaby dávkovačů	161
236	8.2	Dávkovače kapkové	164
237	8.2.1	Plunžrový dávkovač	164
237	8.2.2	Kulový naběrač	167
238	8.2.3	Sací naběrač	168
240	8.3	Dávkovače výtokové	170
240	8.3.1	Kontinuální výtoky	170
243	8.3.2	Platinové homogenizátory	170
9		Tvarování skloviny	172
243	9.1	Vývoj technologií tvarování v historickém kontextu	172
245	9.2	Základní principy tvarování skla	175
245	9.3	Tvarování skloviny lisováním a mačkáním	177
247	9.3.1	Lisování skloviny	178
248	9.3.2	Lisovstřík	185
248	9.3.3	Mačkání skloviny	186
252	9.4	Tvarování obalového skla	191
257	9.4.1	Sacofoukací technologie	191

107	9.4.2	Dvakrát sací technologie	192
112	9.4.3	Technologie pracující s dávkou	192
116	9.5	Tvarování tenkostěnného skla	200
116	9.5.1	Technologie výroby na strojích typu M	201
117	9.5.2	Technologie strojů typu H-28	203
118	9.5.3	Technologie konvejerového (stužkového) stroje	204
120	9.6	Technologie výroby plochého skla	205
122	9.6.1	Technologie tažení skla	205
124	9.6.2	Technologie lití	208
124	9.6.3	Technologie plavení (FLOAT)	210
125	9.7	Technologie výroby trubic a tyčí	215
126	9.7.1	Lití mačkárenských tyčí	215
126	9.7.2	Horizontální tažení (způsob Danner)	216
126	9.7.3	Vertikální tažení tyčí a trubic směrem dolů	217
132	9.7.4	Vertikální tažení trubic směrem nahoru	219
134	9.7.5	Tažení rokajlových trubiček	219
135	9.8	Technologie výroby skleněných vláken	220
138	9.8.1	Technologie mechanického tažení skleněného rajónu	221
139	9.8.2	Technologie odstředivého tvarování staplu	223
142	9.8.3	Tažení plynným médiem	224
150	9.8.4	Kombinované způsoby	225
151	9.8.5	Technologie výroby optických vláknových vlnodů	228
153	9.9	Technologie tvarování skloviny odstředivým litím	229
154	9.9.1	Odstředivé tvarování se svislou osou rotace	229
156	9.9.2	Odstředivé tvarování s vodorovnou osou rotace	230
158	9.10	Technologie výroby zvláštních výrobků	231
158	9.10.1	Výroba kuliček	231
158	9.10.2	Výroba balotiny	231
158	9.10.3	Výroba pěnového skla	233
160	9.10.4	Výroba sintrovaného skla	233
161	9.11	Sklářské formy	234
164	9.11.1	Používané materiály	236
164	9.11.2	Konstrukce forem	237
167	9.11.3	Výroba forem	237
168	9.11.4	Způsoby chlazení sklářských forem	238
10		Chlazení skla	240
170	10.1	Chladicí postup	240
170	10.2	Chladicí pece	243
172	10.2.1	Komorové chladicí pece	243
172	10.2.2	Tunelové chladicí pece	243
175	10.3	Další postupy chlazení	245
177	10.4	Určování napětí ve skle	245
11		Zpracování a zušlechťování skla	247
185	11.1	Mechanické postupy	248
187	11.1.1	Dělení skla	248
187	11.1.2	Vrtání skla	252
191	11.1.3	Broušení a leštění skla	257

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