

666.1
Т38

Й.М. Ящишин

ТЕХНОЛОГІЯ СКЛА

**Технологія
скляних виробів**

частина III

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Інститут інноваційних технологій і змісту освіти
Міністерства освіти і науки України

Яцишин Й. М., Вахула Я. І., Жеплинський Т. Б., Козій О. І.

ТЕХНОЛОГІЯ СКЛА

у трьох частинах

Частина III

ТЕХНОЛОГІЯ СКЛЯНИХ ВИРОБІВ

За редакцією Яцишина Й. М.

Затверджено
Міністерством освіти і науки України
як підручник для студентів
вищих навчальних закладів

Львів
Видавництво «Растр-7»
2011

УДК 666.1 (075.8)
ББК 35.41 я 73
Я 989

*Затверджено Міністерством освіти і науки України
як підручник для студентів вищих навчальних закладів
(Лист №1/11-11697 від 21.12.2010 р.)*

Рецензенти:

- Пітак Я. М.,** доктор технічних наук, професор кафедри технології кераміки, вогнетривів, скла та емалей НТУ "Харківський політехнічний інститут"
- Голеус В. І.,** доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри хімічної технології кераміки і скла ДВНЗ "Український державний хіміко-технологічний університет"
- Шило А. Ю.,** доктор технічних наук, професор, завідувач відділу "Фізико-хімії композиційних алмазовмістних матеріалів" Інституту надтвердих матеріалів НАН України

Ящишин Й. М., Вахула Я. І., Жеплинський Т. Б., Козій О. Д. Технологія скла у трьох частинах. Ч. III. Технологія скляних виробів: Підручник – Львів: Видавництво «Растр-7», 2011 р. – 416 с.

ISBN 978-966-2004-47-2

У підручнику викладено технології основних видів скляних виробів. Подана класифікація скляних виробів та вимоги стандартів. Представлено характеристики склоформівних пристроїв. Розглянуто питання екології довкілля в скляному виробництві.

Призначений для студентів спеціальності "Хімічна Технологія важкотопких неметалевих і силікатних матеріалів" вищих навчальних закладів та спеціалістів підприємств силікатної промисловості.

УДК 666.1 (075.8)
ББК 35.41 я 73

Видавництво та колектив авторів висловлюють щиро подяку за сприяння у виданні підручника:
АПСП "Скло України", ВАТ "Іскра",
ТзОВ "Львівська ізоляторна компанія",
АТ "Костопільський завод скловиробів".

© Ящишин Й. М., Вахула Я. І.,
Жеплинський Т. Б., Козій О. І., 2011
© Видавництво «Растр-7», 2011

ISBN 978-966-2004-47-2

ЗМІСТ

Передмова	3
1. Коротка історія українського скла	4
Зародження українського склоробства.....	4
Давньоруське скло (X-XII ст.).....	4
Поширення склоробства в Україні (XII-XIV ст.).....	6
Лісове гутництво (XV-XVI ст.).....	6
Українське скло періоду ренесансу і барокко (XVI-XVII ст.).....	7
Українське гутництво ХУГГІ-ХІХ ст.....	7
Заводи з виробництва скла ХІХ-ХХ ст.....	8
Українська індустрія скла радянського періоду.....	9
Розвиток склоробства незалежної України.....	10
2. Теоретичні основи формування скла	11
2.1. Теплофізичні особливості формування скляних виробів.....	11
2.2. Вплив основних властивостей скла на процес формування.....	15
2.3. Стадії формування.....	17
2.4. Характеристика способів формування скла.....	19
2.4.1. Витягування скла.....	19
Човникове вертикальне витягування листового скла.....	20
Безчовникове вертикальне витягування листового скла.....	20
Вертикальне безчовникове витягування труб.....	21
Вертикальне човникове витягування труб.....	21
Вертикальне витягування вниз скляного волокна.....	22
Витягування вниз листового скла.....	22
Горизонтальне витягування листового скла.....	23
Горизонтальне витягування трубок.....	23
2.4.2. Прокочування скляної маси.....	25
Періодичне прокочування скла.....	25
Безперервне прокочування скла.....	25
2.4.3. Флоат-спосіб.....	25
2.4.4. Пресування скляної маси.....	26
2.4.5. Видування скляної маси.....	26
Видування на трубці.....	27
Подвійне видування.....	28
2.4.6 Пресовидування скляної маси.....	28
2.4.7. Відцентрове формування скляної маси.....	29
2.4.8. Способи гарячого перероблення скляних напівфабрикатів.....	30

Складувне оброблення.....	30
Молірування.....	30
Ф'юзинг.....	31
2.5. Живлення склоформувальних машин.....	31
3. Форми для виготовлення скляних виробів.....	35
3.1. Класифікація форм.....	35
3.2. Вимоги до матеріалу форм.....	36
3.3. Матеріали для форм та їх властивості.....	37
3.4. Оброблення поверхні форм.....	39
3.5. Експлуатація форм.....	40
4. Термічне оброблення скла.....	42
4.1. Природа виникнення напружень у склі.....	42
4.1.1. Механізм утворення тимчасових напружень.....	46
4.1.2. Механізм утворення залишкових напружень у склі.....	47
4.2. Відпал скла.....	49
4.2.1. Стадії відпалу скла.....	51
4.2.2. Печі для відпалу скла.....	52
Печі відпалу періодичної дії.....	52
Камерні печі прямого нагрівання.....	52
Муфельні печі.....	53
Камерні печі з циркуляцією повітря.....	53
Печі відпалу безперервної дії.....	53
4.3. Гартування скла.....	57
4.3.1. Чинники, що впливають на зміцнення скла шляхом гартування.....	57
4.3.2. Способи гартування скла.....	61
Напівгартування.....	62
Поверхнєве гартування в тонких шарах скла.....	63
Ступеневі режими гартування.....	63
4.4. Релаксація напружень у склі.....	65
5. Механічне оброблення скла.....	69
5.1. Теоретичні основи шліфування.....	69
5.2. Теоретичні основи полірування.....	73
5.3. Технологічні процеси шліфування та полірування.....	77
5.3.1. Шліфування оптичного скла.....	77
5.3.2. Шліфування біжутерії.....	79
5.4. Гравірування.....	80
5.5. Піскоструминне оброблення.....	84
5.6. Свердління отворів.....	86
5.7. Різання пилами.....	87
5.8. Оброблення краю скла.....	87

6. Хімічне оброблення скла.....	89
6.1. Травлення скла.....	89
6.1.1 Хімічне матування скла.....	91
6.1.2 Хімічне полірування скла.....	95
6.2. Йонний обмін у склі.....	98
6.2.1. Високотемпературний йонний обмін.....	99
6.2.2. Низькотемпературний йонний обмін.....	99
6.2.3. Дифузне забарвлення скла.....	101
6.3. Термохімічне оброблення скла газовими реагентами.....	102
6.3.1. Газотермічне азотування поверхні скла.....	105
6.4. Покриття на поверхні скла.....	107
6.4.1. Просвітлювальні плівки.....	108
Просвітлення оптики методом вилуговування.....	108
Нанесення плівок силіцію (IV) оксиду на поверхню скла.....	109
6.4.2. Металеві світловідбиваючі покриття.....	110
6.4.3. Оксиднометалеві сонцезахисні та енергозберігаючі покриття.....	111
Метод магнетронного напилення.....	113
Метод піролізу.....	114
Золь-гель технологія.....	114
6.4.4. Органічні, сильційорганічні та оксиднометалеві зміцнюючі покриття.....	115
6.4.5. Люстрові плівки.....	119
6.4.6. Декоративні зображення.....	123
Неорганічні скляні фарби.....	123
Органічні скляні фарби.....	127
7. Технологія листового скла.....	129
7.1. Класифікація та вимоги до листового скла.....	129
7.2. Склади та властивості листового скла.....	132
7.3. Особливості сировинних матеріалів і шихти.....	133
7.4. Варіння листового скла.....	136
7.5. Формування листового скла.....	139
7.5.1 Човниковий спосіб витягування листового скла.....	139
Принцип човникового способу формування стрічки скла.....	139
Температурні режими формування та відпалу стрічки скла.....	145
Переваги і недоліки човникового способу витягування листового скла.....	147
7.5.2. Валковий спосіб витягування листового скла.....	148
7.5.3. Витягування листового накладного кольорового скла.....	149
7.5.4. Витягування листового скла з кольоровою плівкою.....	150
7.5.5. Безчовниковий спосіб витягування листового скла.....	150
Принцип безчовникового способу витягування листового скла.....	151
Схеми виробних каналів і підмашинних камер.....	153

Температурні режими формування та відпалу стрічки скла.....	156
Переваги і недоліки безчовникового способу витягування листового скла.....	158
7.5.6. Термохімічна оброблення листового скла вертикального витягування газовими реагентами.....	158
7.5.7. Формування листового полірованого флоат-скла.....	160
Принципи формування стрічки флоат-скла.....	160
Упорядження флоат-ванни і технологічні режими формування флоат-скла.....	162
Температурні режими формування і відпалу стрічки флоат-скла.....	163
Формування кольорового листового флоат-скла.....	165
Формування листового флоат-скла «хуртовина».....	168
7.5.8. Вертикально-горизонтальний спосіб витягування листового скла.....	168
7.5.9. Горизонтальний спосіб прокочування листового скла.....	170
Формування стрічки візерункового скла.....	170
Формування стрічки армованого скла.....	172
Температурні режими формування відпалу прокочуваної стрічки скла.....	174
8. Технологія виробництва скляної тари.....	176
8.1. Класифікація скляної тари.....	176
8.2. Вимоги до скляної тари.....	177
8.3. Склади тарного скла.....	178
8.4. Варіння тарного скла.....	179
Сировинні матеріали для тарного скла.....	179
Особливості варіння тарного скла.....	179
Хімічні реакції при варінні тарного скла.....	180
8.5. Формування скляної тари.....	181
8.5.1. Склоформувальні машини.....	182
8.5.2. Формування тари полегшеної маси.....	190
8.5.3. Відпал і вади скляної тари.....	191
9. Технологія скляного побутового посуду.....	193
9.1. Класифікація та вимоги до скляного побутового посуду.....	193
9.2. Скляний посуд з безколірного натрій-кальцій-силікатного скла.....	195
9.2.1. Склади та властивості скла.....	195
9.2.2. Особливості сировинних матеріалів та шихти.....	199
9.2.3. Знебарвлення скла.....	200
9.2.4. Варіння скла.....	203
9.2.5. Ручне формування скляного посуду.....	205
9.2.6 Декорування скляних виробів в процесі формування.....	206
9.3. Скляний посуд з кольорового і непрозорого глушеного скла.....	209
9.3.1. Склади та властивості кольорового і непрозорого глушеного скла.....	209

9.3.2. Особливості сировинних матеріалів і шихти.....	213
9.3.3. Варіння скла.....	214
9.3.4. Ручне формування виробів.....	214
9.4. Скляні вироби (посуд) з кристалю.....	216
9.4.1. Склади та властивості скла для кристалю.....	216
9.4.2. Особливості сировинних матеріалів і шихти.....	217
9.4.3. Знебарвлення скла для кристалю.....	218
9.4.4. Варіння кристалевого скла.....	219
9.5. Механізоване формування скляного посуду.....	220
9.6. Термічна оброблення скляного посуду.....	222
9.6.1. Виробництво гартованого скляного посуду.....	224
9.7. Скляні вироби для термосів.....	225
9.7.1. Класифікація та вимоги до скляних колб для термосів.....	225
9.7.2. Склади скла.....	225
9.7.3. Варіння скла.....	226
9.7.4. Формування термосних колб.....	226
10. Технологія електротехнічного скла.....	229
10.1. Технологія електровакуумного скла.....	229
10.1.1. Вимоги до електровакуумного скла.....	229
10.1.2. Склади електровакуумного скла.....	231
10.1.3. Технологія виготовлення виробів з електровакуумного скла.....	233
10.1.4. Виробництво скляних деталей електролапм розжарення.....	234
10.2. Технологія скляних електроізоляторів.....	237
10.2.1. Класифікація і вимоги до скляних електроізоляторів.....	237
10.2.2. Складні варіння електроізоляційного скла.....	239
10.2.3. Виробництво складодеталей підвісних високовольтних ізоляторів.....	241
10.2.4. Виробництво штирових високовольтних ізоляторів.....	246
10.2.5. Основні причини руйнування складодеталей ізоляторів.....	248
11. Технологія світлотехнічного скла.....	249
11.1. Вимоги до світлотехнічного скла.....	249
11.2. Спеціальні світлофільтри.....	253
Скло, що поглинає УФ промені.....	254
Скло, що поглинає рентгенівські промені.....	254
Скло, що поглинає теплові нейтрони.....	254
12. Технологія виробництва оптичного скла.....	255
12.1. Вимоги до оптичного скла.....	255
12.2. Склади і номенклатура оптичного скла.....	257
12.3. Приготування шихти.....	261
12.4. Виробництво горщиків та мішалок.....	264
12.5. Варіння скла в керамічних горщиках.....	265

12.6. Варіння скла в платинових посудинах.....	267
12.7. Розділення скла.....	268
12.8. Тонкий відпал оптичного скла.....	269
13. Технологія кварцового скла.....	271
13.1. Класифікація кварцового скла.....	271
13.2. Фізико-хімічні властивості кварцового скла.....	271
13.3. Сировинні матеріали.....	273
13.4. Виробництво прозорого і оптичного кварцового скла.....	274
13.5. Непрозоре кварцове скло.....	280
13.6. Формування виробів.....	281
14. Технологія скляного волокна.....	283
14.1. Класифікація та вимоги до виробів із скляного волокна.....	283
14.2. Хімічний склад та властивості скляного волокна.....	286
14.3. Особливості сировинних матеріалів, шихти та варіння скла.....	290
14.4. Формування скляного волокна.....	290
14.4.1. Формування неперервного скляного волокна.....	291
Фільєрний метод.....	291
Стрижневий метод.....	292
Замаслювачі та апрети для виробництва неперервного скляного волокна.....	293
14.4.2. Формування штапельного скляного волокна.....	294
Спосіб поверхневого витягування.....	294
Відцентровий спосіб.....	294
Спосіб роздування.....	295
14.5. Оптичне волокно.....	296
14.5.1. Фізичні принципи розповсюдження світла в оптичному волокні.....	296
14.5.2. Вироби із оптичного волокна.....	298
Гнучкі оптико-волоконні джути (ендоскопи).....	298
Пристрої для вимірювання температури.....	299
14.5.3. Вимоги до сировинних матеріалів та скла.....	299
14.5.4. Формування оптичних світловодів.....	301
14.6. Мінеральна вата.....	301
14.6.1. Вимоги до мінеральної вати.....	301
14.6.2 Вимоги до сировини та розтопленої маси.....	303
15. Технологія архітектурно-будівельного скла.....	305
15.1. Скляні блоки.....	305
15.1.1. Класифікація та вимоги до скляних блоків.....	306
15.1.2. Склади скла та їх властивості.....	306
15.1.3 Сировинні матеріали і шихта.....	307
15.1.4. Варіння скла.....	307

15.1.5. Формування скляних блоків.....	311
15.2. Скляні двері.....	312
15.3. Смальти.....	313
15.4. Скло «мороз».....	314
15.5. Скляні пакети.....	315
15.6. Сонцезахисне скло.....	317
15.7. Скло марблінг.....	319
15.8. Дзеркала.....	320
15.8.1. Процес хімічного сріблення дзеркал.....	320
15.8.2. Процес алюмініювання дзеркал.....	322
15.9. Скляні вітражі.....	323
16. Технологія піноскла.....	324
16.1. Класифікація піноскла.....	324
16.2. Сировинні матеріали.....	324
16.3. Виробництво піноскла.....	326
17. Технологія безпечного скла.....	328
17.1. Класифікація та вимоги до безпечного скла.....	328
17.2. Армване скло.....	329
17.2.1. Вимоги до армованого скла.....	330
17.2.2. Технологія формування армованого скла.....	331
17.3. Гартоване скло.....	332
17.3.1. Застосування гартованого скла.....	333
17.3.2. Вимоги до гартованого скла та його властивості.....	334
17.3.3. Виробництво гартованого листового скла.....	335
Вертикальне гартування скла	335
Горизонтальне гартування скла.....	338
17.4. Триплекс.....	340
17.4.1. Вимоги до триплексу.....	341
17.4.2. Технологія виробництва триплексу.....	341
Заливна технологія виготовлення триплексу.....	342
Плівкова технологія виготовлення триплексу.....	343
17.5. Багатошарове захисне скло.....	344
17.5.1. Вимоги до багатошарового ударостійкого скла.....	346
17.5.2. Вимоги до багатошарового вибухо- та кулестійкого скла.....	347
17.5.3. Технологічні принципи виготовлення високоміцного багатошарового скла.....	349
18. Технологія виробництва скляних труб і трубок.....	351
18.1. Виробництво скляних труб.....	351
18.1.1. Вимоги до скляних труб.....	351
18.1.2. Склади скла.....	352

18.1.3. Особливості варіння скла для труб.....	352
18.1.4. Виробництво труб методом вертикального витягування.....	353
18.1.5. Виробництво скляних трубок.....	355
18.1.6. Спеціальні методи виготовлення труб.....	359
19. Технологія медичного скла.....	360
19.1. Класифікація та вимоги.....	360
19.2. Властивості скла.....	362
19.3. Варіння скла та формування виробів.....	362
20. Технологія хіміко-лабораторного скла.....	364
20.1. Класифікація та вимоги до скла.....	364
20.2. Склади скла та властивості.....	365
20.3. Технологія виробництва.....	366
21. Технологія термометричного скла.....	368
Основні вимоги до скла.....	368
22. Технологія спеціальних типів скла та виробів на їх основі.....	370
22.1. Лазерне скло.....	370
22.2. Напівпровідникове скло.....	375
22.3. Фотохромне скло.....	377
22.4. Скло, що поглинає рентгенівські і γ -промені.....	378
23. Технологія декоративного скла.....	380
23.1. Скляний бісер.....	380
23.2. Скло для імітації дорогоцінних каменів.....	382
24. Охорона довкілля в технології скла.....	384
24.1. Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин.....	384
24.1.1. Різновиди гранично допустимих концентрацій у виробництві скла	384
24.1.2. Розрахунок гранично допустимих концентрацій.....	386
24.2. Основні джерела забруднювачів повітря та шляхи їх ліквідації.....	386
24.2.1. Пилові викиди.....	386
24.2.2. Викиди сполук сірки.....	391
24.2.3. Викиди сполук азоту.....	393
24.2.4. Викиди сполук хлору і флюору.....	394
24.2.5. Викиди свинцю і арсену та їх сполук.....	395
24.3. Схеми захисту довкілля від технологічних викидів.....	397
24.3.1. Очищення повітря від викидів цехів (відділень) складання шихти....	397
24.3.2. Очищення димових газів скловарильних печей.....	397
Використана література.....	404