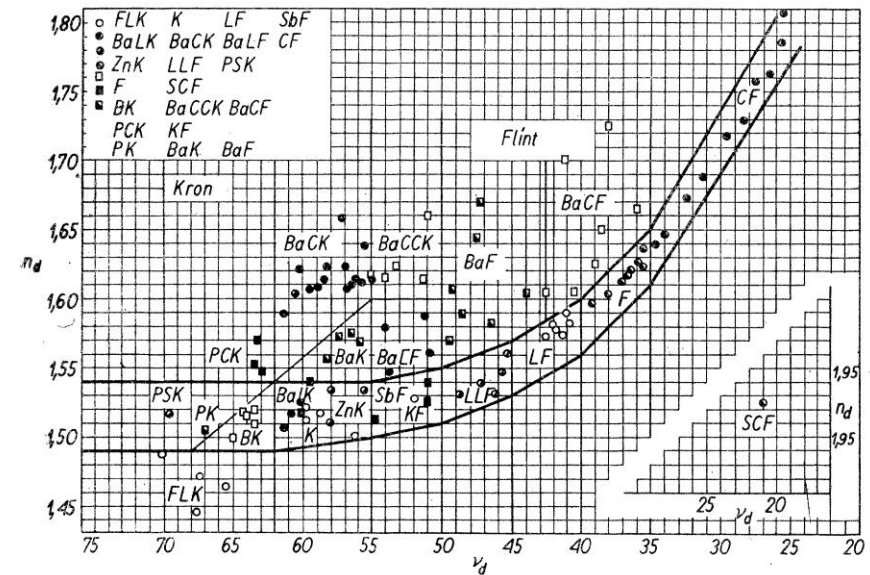


Produkcja szkła

- surowce - inny skład niż odpowiadający składnikom masy szklanej
np. aby wprowadzić Na_2O stosuje się Na_2CO_3
- w procesie wytopiania materiały te rozkładają się tworząc tlenki szkłotwórcze i gazy, które wydzielając się sprzyjają mieszaniu i homogenizacji
- stosuje się materiały wysokogatunkowe, a nawet materiały chemicznie czyste
- najbardziej szkodliwe - zanieczyszczenia żelaza i chromu
- podstawowy surowiec - piasek kwarcowy o uziarnieniu nie większym niż 0.5mm
- skład masy szklanej zmienia się w czasie procesu wytopiania, dlatego - wytopy doświadczalne
- przy wytopach produkcyjnych - do 35% stłuczki

Rodzaje szkła

Typ szkła	Oznaczenie typu i rodzaju		Współczynnik załamania n_d	Liczba Abbego v
Fluorowy kron	FIK	445-68	1,4451	67,7
Fosfatowy kron	PK	504-67	1,5043	66,9
Fosfatowy ciężki kron	PCK	548-63	1,5478	63,0
Borowy kron	BK	498-65	1,4982	65,0
Barowy lekki kron	BaLK	518-61	1,5180	60,9
Krom	K	501-56	1,5012	56,3
Cynkowy kron	ZnK	508-61	1,5082	61,2
Barowy kron	BaK	540-60	1,5400	59,6
Barowy ciężki kron	BaCK	589-61	1,5892	61,3
Kron flint	KF	515-55	1,5146	54,7
Barowy lekki flint	BaLF	547-54	1,5474	53,7
Barowy bardzo ciężki kron	BaCCK	615-51	1,6148	51,2
Bardzo lekki flint	LLF	532-49	1,5318	48,8
Barowy flint	BaF	570-50	1,5697	49,4
Lekki flint	LF	573-43	1,5732	42,6
Flint	F	595-39	1,5954	39,2
Barowy ciężki flint	BaCF	604-42	1,6035	42,5
Ciężki flint	CF	640-35	1,6400	34,6
Antymonowy flint	SbF	529-52	1,5294	51,8
Szkła specjalne	PSK	517-70	1,5173	69,6
	SCF	923-21	1,9229	20,9



Z. Legun „Technologia elementów optycznych” WNT Warszawa 1982

Składy wagowe szkieł produkowanych w ZSRR

Rodzaj szkła	Cecha	Skład szkła (wagowy w %)											Odporność chemiczna			
		SiO ₂	B ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	PbO	BaO	ZnO	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	Sb ₂ O ₃	As ₂ O ₃	Klasa	Współcz. odpor- ność na działanie 0,5 % kwasu octo- wego	Grupa	Ciężar właściwy
Borowokrzemowy kron	K8	68,92	11,47	—	—	2,86	—	—	6,02	10,37	—	0,36	1	52	A	2,53
Krzemowy kron	K9	66,50	1,01	1,49	—	—	3,76	5,40	13,7	7,80	—	0,22	1—2	26	B	2,55
Barytowy kron	BK4	63,57	3,23	—	—	15,36	4,91	—	10,23	3,06	—	0,22	1	> 50	A	2,74
„ „	BK5	59,91	4,35	—	—	19,37	3,48	—	9,75	3,16	0,65	0,20	1	> 700	B	2,85
„ „	BK8	53,86	14,88	—	—	20,08	3,66	—	5,58	2,38	—	0,25	4	0,1	A	2,87
„ „	BK10	49,55	5,20	—	2,77	21,56	12,46	—	7,05	1,25	—	0,22	4	0,15	A	3,12
Kron flint	KΦ3	67,23	—	—	12,67	—	3,33	—	—	16,82	—	—	2	1,1	—	2,73
Barytowy flint	BΦ7	46,27	4,60	—	3,66	22,11	14,87	—	6,93	0,94	—	0,62	5	< 0,01	A	3,24
Lekki flint	ЛΦ2	61,68	—	—	25,38	—	—	—	8,17	4,62	—	0,2	1—2	20	B	2,93
„ „	ЛΦ5	53,60	—	—	36,25	—	—	—	10,05	—	—	0,1	1—2	120	A	3,22
Ciężki kron	TK2	49,82	3,27	—	—	30,23	9,42	—	6,59	—	0,55	0,12	3	4	A	3,21
„ „	TK5	32,39	14,10	3,09	—	45,98	2,88	—	—	—	—	1,54	5	< 0,01	—	3,58
„ „	TK6	34,02	9,25	5,92	—	50,31	—	—	—	—	—	—	5	< 0,01	A	3,59
„ „	TK8	37,96	3,76	4,28	—	42,95	9,60	—	—	—	—	0,11	5	< 0,01	—	3,59
„ „	TK10	30,25	11,85	2,9	—	45,0	9,50	—	—	—	—	0,50	5	< 0,01	A	3,64
Flint	Φ2	46,96	—	—	46,51	—	—	—	6,30	—	—	0,23	1	25	A	3,60
Ciężki flint	TΦ1	41,44	—	—	53,06	—	—	—	5,39	—	—	0,11	3	1	B	3,87
Szkło specjalne	02	47,23	20,88	2,89	—	1,48	—	—	5,59	8,36	19,07	—	5	< 0,01	B	2,57

Właściwości szkła produkowanych w ZSRR

Rodzaj szkła	Cecha	S t a ł e o p t y c z n e									
		Współczynnik załamania n_D	Średnia dyspersja $n_F - n_C$	Współczynnik dyspersji ν	Dyspersje częściowe				$\frac{n_D - n_C}{n_F - n_C}$	$\frac{n_F - n_D}{n_F - n_C}$	$\frac{n_G - n_F}{n_F - n_C}$
					$n_G - n_D$	$n_D - n_C$	$n_F - n_D$	$n_G - n_F$			
Borowokrzemowy kron	K8	1,5163	0,00806	64,1	0,01016	0,00240	0,00566	0,00450	0,298	0,702	0,558
Krzemowy kron	K9	1,5181	0,00879	58,9	0,01118	0,00260	0,00619	0,00499	0,296	0,704	0,568
Barytowy kron	BK4	1,5302	0,00877	60,5	0,01112	0,00260	0,00617	0,00495	0,296	0,704	0,564
„ „	BK5	1,5399	0,00905	59,7	0,01151	0,00268	0,00637	0,00514	0,296	0,704	0,568
„ „	BK8	1,5467	0,00871	62,8	0,01112	0,00259	0,00612	0,00500	0,297	0,703	0,574
„ „	BK10	1,5688	0,01015	56,0	0,01296	0,00300	0,00715	0,00581	0,296	0,704	0,572
Kron — flint	KΦ3	1,5262	0,01032	51,0	0,01328	0,00302	0,00730	0,00598	0,293	0,707	0,579
Barytowy flint	BΦ7	1,5795	0,01076	53,9	0,01382	0,00315	0,00761	0,00621	0,293	0,707	0,577
Lekki flint	ЛΦ2	1,5430	0,01195	45,9	0,01566	0,00345	0,00850	0,00706	0,289	0,711	0,591
„ „	ЛΦ5	1,5749	0,01392	41,3	0,01826	0,00400	0,00992	0,00834	0,287	0,713	0,599
Ciężki kron	TK2	1,5724	0,00996	57,5	0,01271	0,00294	0,00702	0,00569	0,295	0,705	0,571
„ „	TK5	1,6126	0,01046	58,6	0,01330	0,00309	0,00737	0,00593	0,295	0,705	0,567
„ „	TK6	1,6126	0,01050	58,3	0,01336	0,00309	0,00741	0,00595	0,294	0,706	0,567
„ „	TK8	1,6140	0,01114	55,1	0,01427	0,00327	0,00787	0,00640	0,294	0,706	0,575
„ „	TK10	1,6227	0,01095	56,9	0,01400	0,00321	0,00774	0,00626	0,293	0,707	0,572
Flint	Φ2	1,6164	0,01684	36,6	0,02229	0,00480	0,01204	0,01025	0,285	0,715	0,609
Ciężki flint	TΦ1	1,6475	0,01912	33,9	0,02546	0,00542	0,01370	0,01176	0,283	0,717	0,615
Szkło specjalne	02	1,5294	0,01022	51,8	0,01309	0,00301	0,00721	0,00588	0,295	0,705	0,575

Skład chemiczny szkieł produkowanych w Zakładach Schotta w Jenie (NRD)

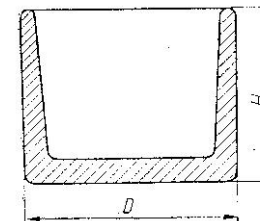
Rodzaj szkła	SiO ₂	B ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	ZnO	BaO	PbO	Sb ₂ O ₃	As ₂ O ₃	TiO ₂	KHP ₂	La ₂ O ₃	ThO ₃	AlF ₃
FK 1	51,0	18,3	8,3	—	7,8	—	—	—	—	—	0,2	—	14,4	—	—	—
FK 3	47,7	17,4	14,0	2,2	2,4	—	—	—	—	—	0,3	—	16,0	—	—	—
FK 5	56,9	15,7	—	—	5,6	—	—	—	—	—	0,2	—	21,6	—	—	—
FK 6	47,2	13,5	16,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	32,5	—	—	6,5
PK 1	68,2	1,5	1,3	—	12,1	—	0,5	3,0	—	—	—	—	2,4	—	—	—
PSK 1	53,9	12,0	2,5	4,6	4,1	—	—	22,4	—	—	0,5	—	—	—	—	—
PSK 2	43,3	18,5	1,0	2,5	4,0	—	—	30,2	—	—	0,5	—	—	—	—	—
BK 1	71,4	6,5	—	5,2	13,9	2,0	—	—	—	—	1,0	—	—	—	—	—
BK 7	68,9	10,1	—	8,8	8,4	—	—	2,8	—	—	1,0	—	—	—	—	—
BK 8	66,9	10,2	—	9,0	8,5	—	—	5,1	—	—	0,3	—	—	—	—	—
BK 12	68,4	13,4	—	12,2	3,0	1,0	—	1,0	—	—	—	—	—	—	—	—
BaLK 1	62,1	3,5	—	5,0	14,5	—	3,0	11,6	—	—	0,3	—	—	—	—	—
K 5	65,0	3,5	—	5,8	13,3	2,5	8,2	—	1,0	—	0,7	—	—	—	—	—
K 8	70,7	2,8	—	5,8	11,3	—	—	6,4	2,8	—	0,4	—	—	—	—	—
K 10	74,6	—	3,0	7,0	5,0	—	—	—	8,4	1,1	0,3	—	1,6	—	—	—
ZK 1	55,7	7,0	—	1,0	16,0	—	20,0	—	—	—	0,3	—	—	—	—	—
ZK 4	69,4	—	—	6,3	12,0	—	11,0	—	1,0	—	0,3	—	—	—	—	—
ZK 7	64,4	12,0	4	7,8	—	—	11,1	—	—	—	0,7	—	—	—	—	—
BAK 1	47,7	4,2	1,0	1,0	7,5	—	8,6	29,0	—	—	1,0	—	—	—	—	—
3 BAK 2	59,6	3,0	—	3,0	10,0	—	4,8	19,0	—	—	0,6	—	—	—	—	—
BAK 6	50,9	6,8	—	4,0	4,5	—	4,0	27,2	0,4	—	7	1,5	—	—	—	—
SK 1	40,1	5,7	2,5	—	—	—	8,5	42,2	0,5	—	0,5	—	—	—	—	—
SK 3	35,0	11,9	4,5	0,5	—	—	—	45,9	0,6	1,6	1,0	—	—	—	—	—
SK 4	33,2	1,9	5,5	—	—	—	—	47,8	0,3	0,3	1,0	—	—	—	—	—
SK 5	38,7	14,9	5,0	—	—	—	—	40,1	—	0,3	1,0	—	—	—	—	—
SK 10	30,6	11,7	5,0	0,1	—	—	2,0	48,2	0,7	0,8	1,0	—	—	—	—	—
SK 14	35,3	15,5	4,0	0,5	—	—	—	44,0	—	0,2	0,5	—	—	—	—	—
SK 15	31,3	12,0	4,0	—	—	—	2,0	49,7	—	—	1,0	—	—	—	—	—
SK 16	30,8	17,9	1,4	0,3	—	—	—	48,7	—	0,4	0,5	—	—	—	—	—
SK 18	30,0	15,0	1,0	—	—	1,0	1,8	48,9	—	0,3	0,5	1,5	—	—	—	—
SK 21	19,2	17,9	1,4	—	—	—	—	48,6	—	0,4	0,5	—	—	—	12,0	—

Skład chemiczny szkła produkowanych w Zakładach Schotta w Jenie (NRD)

SK 22	15,6	18,0	0,5	—	—	—	—	48,0	—	0,4	0,5	—	—	3,0	14,0	—
KF 1	61,5	2,5	—	6,0	12,0	2,0	—	—	15,6	—	0,4	—	—	—	—	—
KF 2	66,7	—	—	15,9	—	—	3,5	—	12,9	—	1,0	—	—	—	—	—
KF 3	70,0	—	1,5	16,6	—	—	5,0	—	3,5	0,5	1,0	1,2	1,2	—	—	—
BaLF 1	53,8	—	—	1,5	9,5	—	10,0	14,2	10,7	—	0,3	—	—	—	—	—
BaLF 4	48,7	4,5	—	2,5	4,7	—	15,7	20,8	1,0	—	1,0	1,1	—	—	—	—
BaLF 5	57,2	—	—	2,0	11,0	—	8,0	14,0	6,7	0,1	0,8	—	0,3	—	—	—
BaLF 7	46,7	1,0	1,0	1,9	5,6	—	11,0	24,7	7,6	—	0,5	—	—	—	—	—
SSK 1	38,8	6,0	2,5	—	—	—	8,0	39,7	4,0	—	1,0	—	—	—	—	—
SSK 3	41,1	4,0	1,3	—	2,1	—	8,3	34,5	8,2	—	0,5	—	—	—	—	—
SSK 5	30,1	10,1	0,7	—	—	3,5	5,1	46,7	—	0,3	0,5	0,3	—	—	—	—
SSK 10	14,1	16,5	0,1	—	—	—	—	47,8	—	0,5	0,5	—	—	11,0	9,5	—
LLF 2	63,2	—	—	5,0	8,0	—	—	—	23,5	—	0,3	—	—	—	—	—
LLF 4	57,6	1,0	—	4,7	8,5	1,4	—	—	26,6	—	0,2	—	—	—	—	—
LLF 8	51,6	7,9	8,5	—	11,3	—	—	—	1,2	—	0,5	10,3	14,8	—	—	—
BaF 2	51,6	—	—	1,7	10,3	—	12,4	11,6	12,1	—	0,3	—	—	—	—	—
BaF 3	50,2	—	—	1,0	8,4	—	7,6	13,6	18,7	—	0,5	—	—	—	—	—
BaF 4	45,5	—	—	0,5	7,3	—	8,0	15,8	22,5	—	0,4	—	—	—	—	—
BaF 6	48,6	1,0	—	0,5	6,3	—	8,4	20,5	14,2	—	0,5	—	—	—	—	—
BaF 9	35,3	5,3	2,2	—	—	—	8,2	36,1	12,3	—	0,4	0,2	—	—	—	—
BaF 10	30,9	9,2	0,3	—	—	4,0	5,3	41,3	4,6	0,5	0,3	3,6	—	—	—	—
LF 1	54,3	—	—	4,4	7,8	—	1,0	1,5	30,7	—	0,3	—	—	—	—	—
LF 2	50,1	1,0	—	4,4	7,9	—	—	2,7	33,6	—	0,3	—	—	—	—	—
LF 7	33,9	—	—	2,5	7,9	—	—	—	34,9	—	0,8	—	—	—	—	—
F 8	50,2	0,4	—	3,8	5,6	—	—	—	39,7	—	0,3	—	—	—	—	—
BaSF 2	38,3	—	—	2,5	4,4	—	5,0	13,0	34,5	—	0,3	2,0	—	—	—	—
BaSF 3	46,3	—	—	0,5	8,0	—	3,7	8,0	33,0	—	0,5	—	—	—	—	—
BaSF 7	24,9	11,0	2,0	0,3	—	7,0	3,4	33,8	11,0	0,4	0,3	5,9	—	—	—	—
BaSF 8	23,6	10,5	1,5	—	—	7,0	5,9	29,3	14,2	0,4	0,6	7,0	—	—	—	—
SF 2	40,9	—	—	0,5	6,8	—	—	—	50,8	—	1,0	—	—	—	—	—
SF 5	38,7	—	—	1,5	3,9	—	—	—	55,6	—	0,3	—	—	—	—	—
SF 6	26,9	—	—	0,5	1,0	—	—	—	71,3	—	0,3	—	—	—	—	—
SF 10	35,3	—	—	2,0	2,5	—	—	—	55,7	—	0,5	4,0	—	—	—	—
SF 11	29,2	—	2,5	0,5	—	—	—	—	63,3	—	0,5	4,0	—	—	—	—
PKS 1	—	4,0	9,0	—	11,6	—	—	—	—	—	1,0	—	—	—	—	—
SFS 1	20,3	—	—	—	0,4	—	—	—	79,0	—	0,3	—	—	—	—	—

donice do szkła optycznego

- donica szamotowa - grubościennie naczynie o średnicy <100cm, wysokości ok. 90cm z wysokogatunkowej gliny- kaolinu z dodatkiem szamotu (65%) w celu zmniejszenia skurczu



Z. Legun „Technologia elementów optycznych” WNT Warszawa 1982

- własności: ogniotrwałość do 1600° C

duża odporność na działanie składników roztopionej masy szklanej

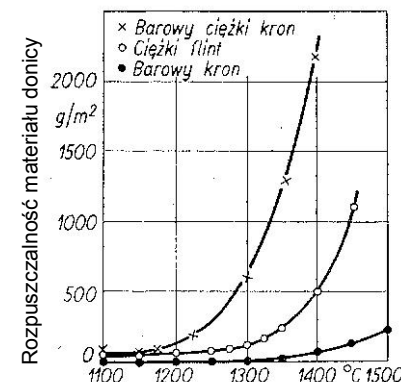
odporność na szoki temperaturowe

wytrzymałość mechaniczna

- wytwarzanie : przez odlewanie do form gipsowych

- donicy używa się tylko raz

- wpływ na jakość szkła ma odporność donicy na działanie chemiczne masy szklanej



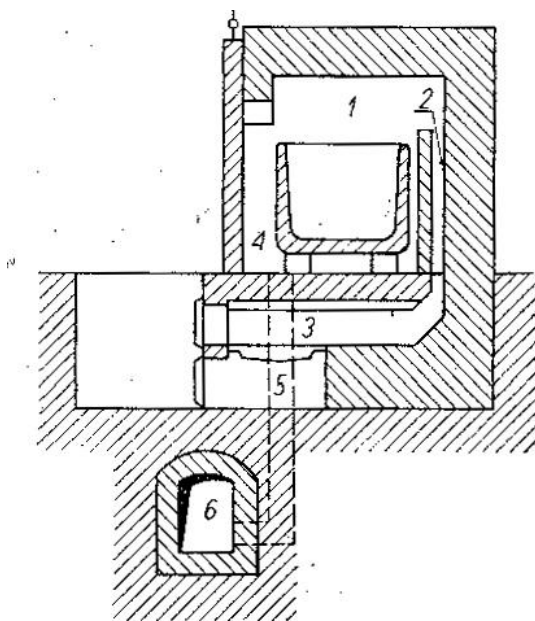
Z. Legun „Technologia elementów optycznych” WNT Warszawa 1982

- aby zmniejszyć to oddziaływanie - donice o minimalnej porowatości

- ostatnio stosowana metoda- powlekanie wnętrza donicy warstwą chemicznie odporną

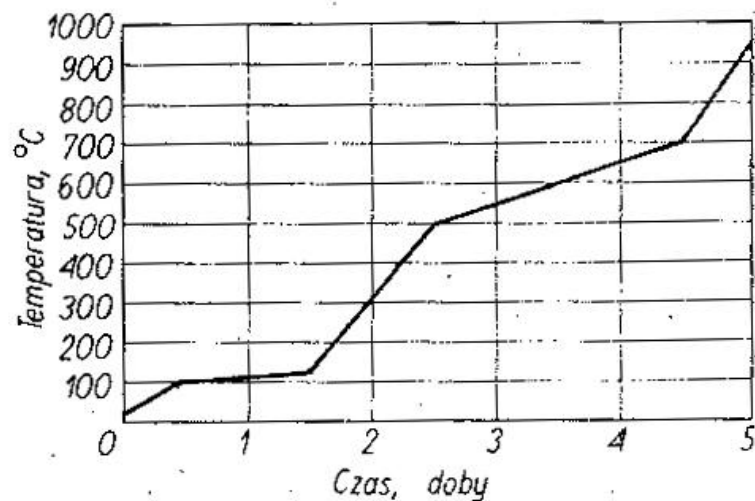
wypalanie donicy

- donica po wysuszeniu - do pierwszej fazy wypalania, tzw. temprownia
- rys.30.4
- produkty spalania doprowadzane z paleniska 3 przez kanał 2 do komory wypalania 1
- gazy wchodzą do komina przez kanały 4,5,6



wypalanie donicy

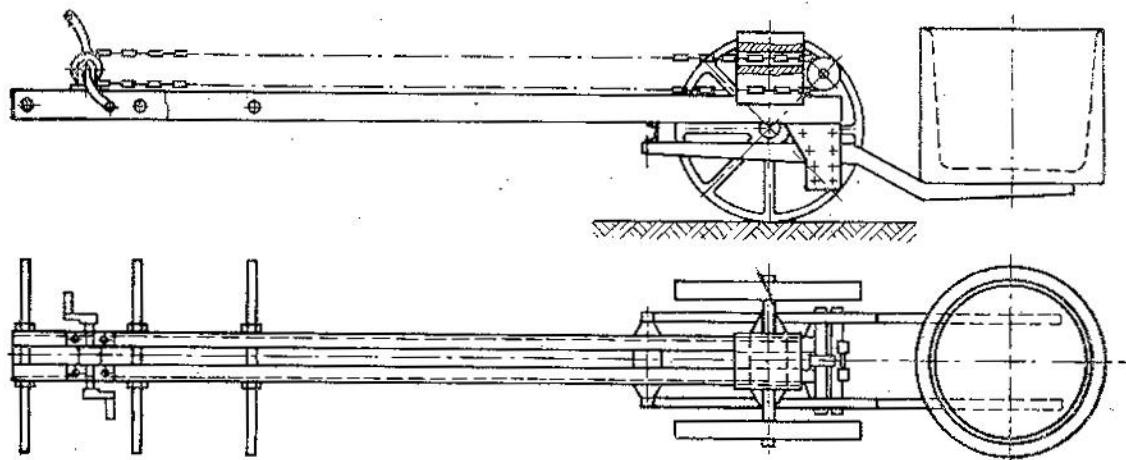
- warunki cieplne wypalania - rys.30.5
- czas wypalania 4-5 dób
- w piecach elektrycznych 2 doby
- temprowanie kończy się w temp. 950°C



Z. Legun „Technologia elementów optycznych” WNT Warszawa 1982

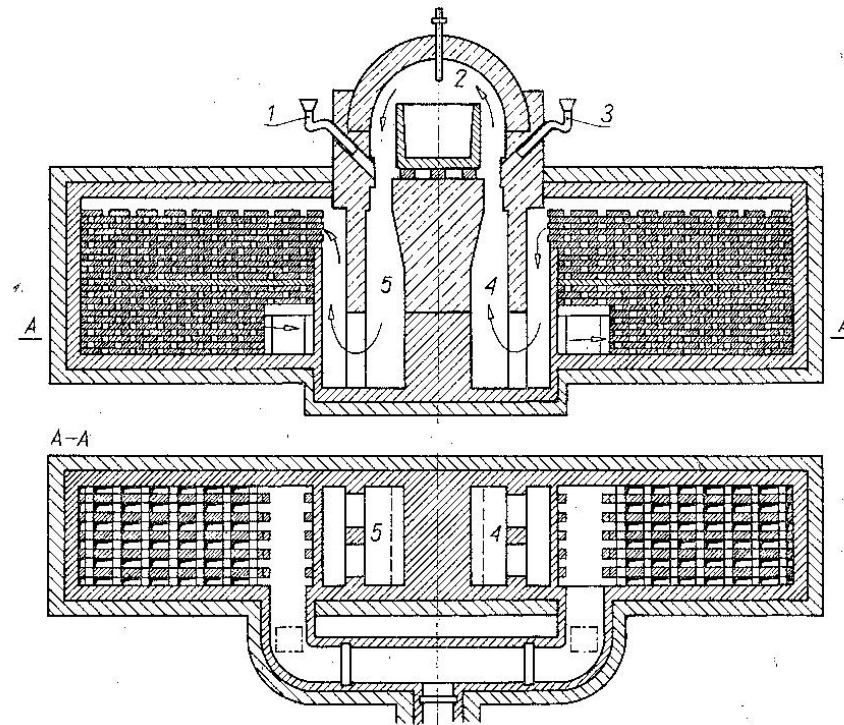
wypalanie donicy

- przewożenie donicy do pieca do topienia o temp. ok. 1000°C za pomocą specjalnego wózka (rys.30.6)
- po wstawieniu donicy temp. w piecu zwiększa się szybko do 1450°C , zmniejsza się wtedy porowatość donicy, materiał donicy staje się bardziej zwarty



piece donicowe do szkła optycznego

- wytapia się tylko jeden gatunek szkła ze względu na odrębne warunki cieplne
- rys.30.7 - przykład pieca regeneratorowego na ropę naftową
- płynne paliwo ścieka po przewodach 3 i kroplami spada do komory 4
- w komorze paliwo przechodzi w gaz, który miesza się z gorącym powietrzem płynącym z regeneratora i spala się ogrzewając komorę piecową 2 wraz z donicą



wytapianie masy szklanej

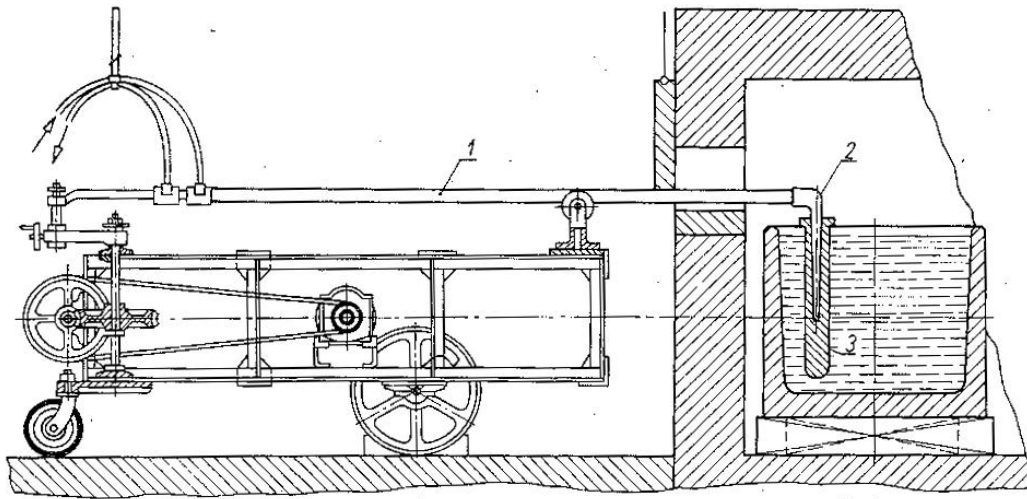
- wypalanie donicy
- przeniesienie donicy do pieca do topienia
- dopalenie donicy w piecu do topienia
- okresowe załadowanie donicy stłuczką i zestawem
- klarowanie masy szklanej
- homogenizacja masy szklanej
- chłodzenie masy szklanej lub odlewanie masy do formy
- dalsza obróbka

przebieg topienia szkła

- wstawienie donicy
- wsypuje się tyle stłuczki, aby po stopieniu utworzyła się warstwa grubości kilku cm; warstwa ta powleka dno i częściowo ścianki naczynia
- zasypywanie zestawu : kilkakrotnie (co 1.5-2h), po stopieniu poprzedniego zasypu
- roztopiona masa: dużo pęcherzyków gazowych i smug (duża lepkość uniemożliwia homogenizację)
- zwiększenie temperatury pieca
- homogenizacja : przez wydzielanie gazów i energiczne mieszanie
- w pierwszej fazie homogenizacji: zanurzenie rury doprowadzającej tlen; powstające duże pęcherze mieszają; zastosowanie tlenu sprzyja odbarwieniu (utlenianie związków żelaza)

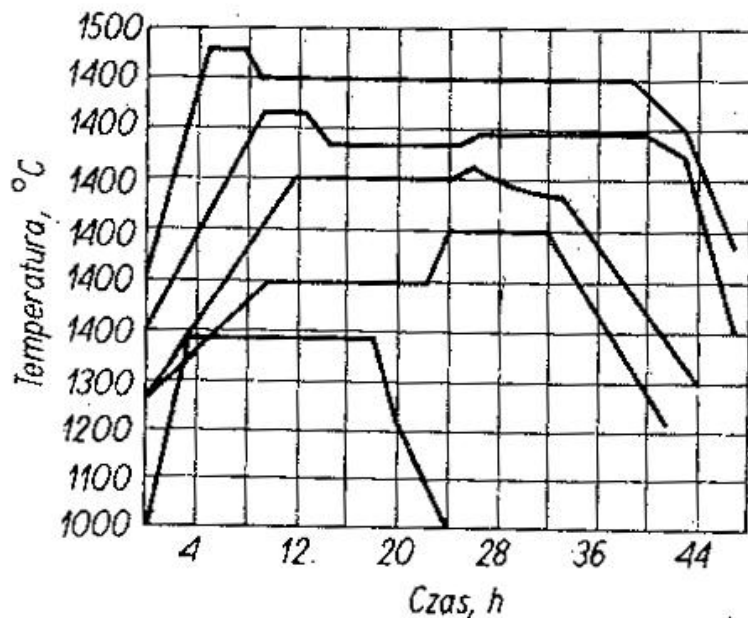
przebieg topienia szkła (cd.)

- mechaniczne mieszanie: rys.30.8
- szamotowy trzpień 3 wcześniej podgrzany zanurza się w masie szklanej i zawiesza na haku 2 ramienia 1; ramię jest chłodzone wodą
- proces mieszania trwa 3-20 h
- liczba obrotów zmniejsza się pod koniec od 30obr/min do 3obr/min

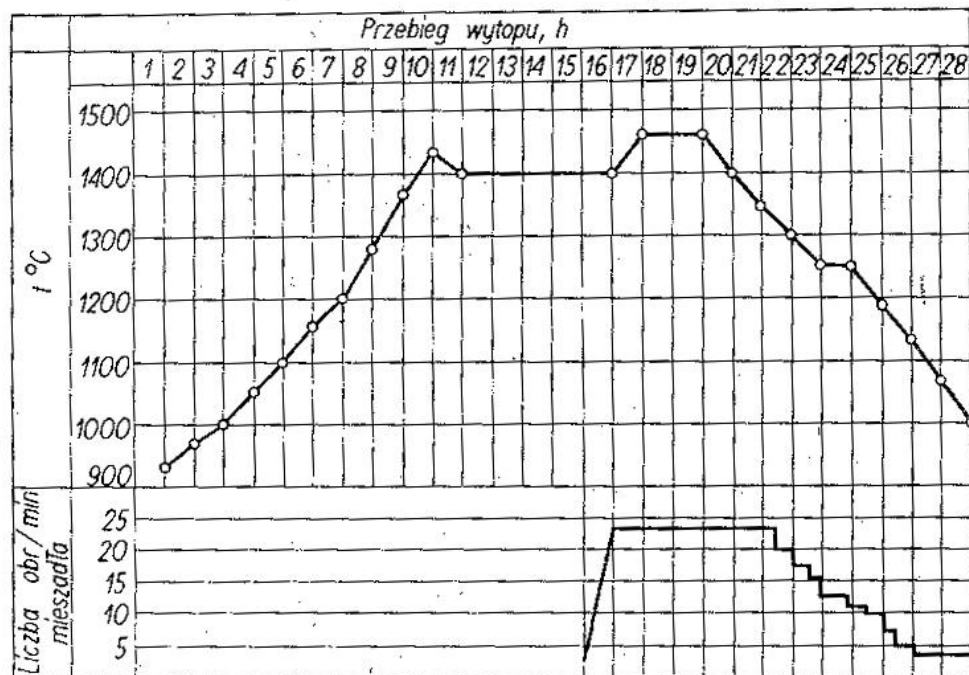


przebieg topienia szkła (cd.)

- proces topienia : ustalany doświadczalnie , różny w różnych zakładach produkcyjnych (rys.30.9)
- jeden wytop trwa przeciętnie 25-30h
- rys.30.10 : warunki topienia jednego z kronów wraz z częstotliwością mieszania



Z. Legun „Technologia elementów optycznych” WNT Warszawa 1982



Z. Legun „Technologia elementów optycznych” WNT Warszawa 1982

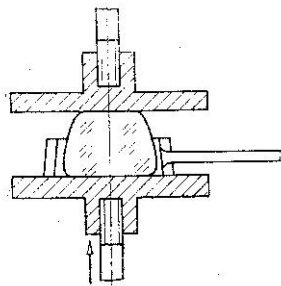
wytwarzanie półfabrykatów

- przez: studzenie masy szklanej w donicy lub przez kształtowanie poza donicą
- donica: po upływie krótkiego czasu od wyjęcia z pieca posypuje się wierzch piaskiem, po następnej godzinie donicę otacza się blaszaną obudową o większej średnicy, a w przerwę pakuje się materiał termoizolacyjny, taka donica stoi 8-10 dni
- zbyt szybkie chłodzenie: naprężenia
- zbyt wolne: jedna duża bryła
- optymalne chłodzenie: szkło pęka na wiele brył wygodnych w dalszej obróbce

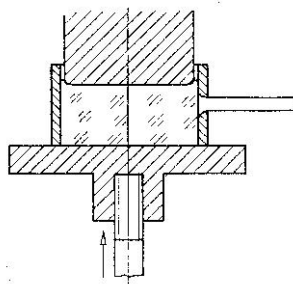
kształtowanie szkła

- bryły posegregowane wg wielkości nagrzewa się do temp. rozmiękczenia szkła
- plastyczne bryły wypełniają formy pod wpływem własnego ciężaru lub pod naciskiem prasy
- piec o ciągłym działaniu do kształtowania bloków szkła
- ruchome wózki przesuwają się w ogrzewanym tunelu
- piec tunelowy do form prasowanych
- górny kanał: nagrzewanie, dolny- wstępne odprężanie
- rys.30.13 i 30.14 : formy do kształtowania masy szklanej
- wady metod : rysy, zniekształcenia z powodu przedwczesnego wyjmowania z form, wtrącenia mat. pomocniczych; powodują straty do 30% przerabianego szkła
- prasówka : ma kształt pojedynczego elementu z pewnymi naddatkami
 - do prasówek: wstępnie wyselekcjonowane szkło (przedpraski)
 - rys 30.15 i 30.16 : prasa i forma do prasowania soczewek
 - wyrób prasówek z pręta szklanego

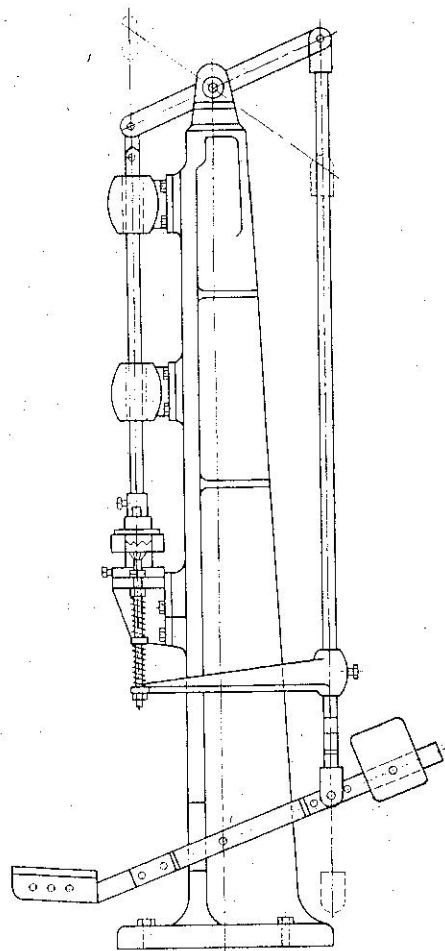
kształtowanie szkła



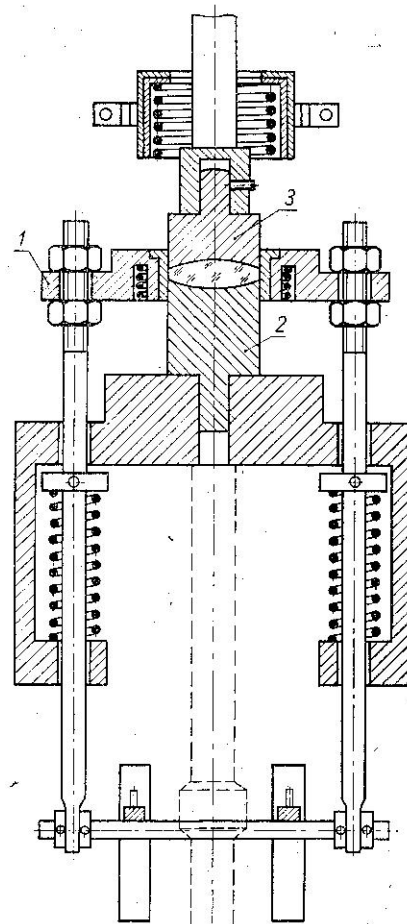
Rys.30.13



Rys.30.14



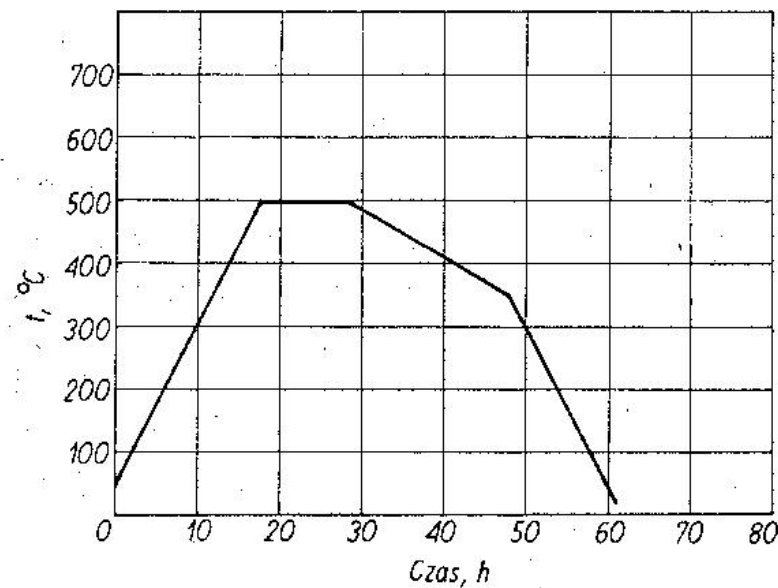
Rys.30.15



Rys.30.16

odprężanie szkła

- b. ważne ze względu na naprężenia
- szkło nagrzewa się do temp. transformacji T_g
- trzyma się je do zaniku naprężeń
- stopniowe chłodzenie
- przebieg odprężania : poniżej



wytapianie szkła w tyglach platynowych

- donice i wanny
- tygiel : walec o poj. 50l z otworem spustowym na dnie
- ogrzewanie indukcyjne prądem zmiennym