

НЕОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

М. Г. Манвелян, А. Ф. Мелик-Ахназарян, К. А. Костанян, Е. А. Ерзнкян,
С. О. Налчаджян, С. Т. Оганесян

Электроварка стекла без охлаждения электродов

Действующие в настоящее время электрические печи варки стекла с пристенными стальными электродами работают с охлаждением последних. При этом значительная часть электроэнергии отнимается воздухом, подаваемым в коробчатую часть электрода, что приводит к значительному снижению к. п. д. печи.

Проведенные различными авторами работы по электроварке стекла не дают полной картины о необходимости и степени охлаждения электродов. Между тем это имеет важное значение для повышения к. п. д. печи. По всей вероятности, в этом вопросе большую роль будут играть специальные жароупорные сплавы, дающие возможность работать без охлаждения электродов, что одновременно снизит переход материала электрода в стекломассу при варке стекла.

В опытной печи Химического института АН Армянской ССР электроварки стекла в начале 1954 г. были применены жароупорные электроды марки ЭИ-439 и варилась шихта, соответствующая составу электроколбоного стекла.

Вследствие больших плотностей тока в приэлектродных слоях стекла происходит большее выделение тепла, чем в основной массе стекла. Это обстоятельство заставляет применять охлаждение электродов, с целью понижения температуры приэлектродного слоя стекломассы.

Необходимо отметить, что на данной стадии изученности электропечей для варки стекла нельзя считать окончательно установленными степень охлаждения и предельные плотности тока на электродах. Исходя из этого, нами были проведены опыты с целью выяснения условий варки стекла с охлаждением и без охлаждения электродов при различных режимах их работы. В начале (в течение 3,5 месяца) электроды работали при различных условиях с охлаждением, при этом вырабатывалось стекло, соответствующее электроколбоному. После этого, для выяснения степени охлаждения электродов, было прекращено охлаждение их, вначале на непродолжительное время, с 24-го по 26-е февраля и с 5-го по 12-е марта, а затем регулярно с 15-го марта в течение 20 дней.

Первоначальные опыты по прекращению охлаждения электродов были проведены после снижения уровня стекломассы до середины высоты электрода. Перед отключением охлаждения взяты пробы для определения железа как у верхней поверхности электрода выработочной зоны, так и с прилегающего к торцу электрода слоя стекломассы. В течение нескольких часов непрерывно производился осмотр электрода, наполовину погруженного в стекломассу, с целью обнаружения возможного появления пузырей на верхней и в торцевой части электрода. Однако на поверхности электрода не было обнаружено никакого вспучивания, а около погруженной в стекломассу части электрода не замечалось появления пузырей.

Это наблюдение проводилось до поднятия уровня стекломассы на 2 см выше верхней поверхности электрода путем подачи в варочную зону печи обратного боя в количестве 10 и 20, а затем 30 кг/час. Результаты замеров температуры в полый части электродов приведены в таблице I.

Температура на поверхности стекломассы в осветительной зоне была 1090°С, а над электродом выработочной зоны — 950°С.

Для выяснения вопроса о том, происходит ли образование пузырей у электрода, через два часа после покрытия его стекломассой, были взяты ложкой пробы из прилегающего к электроду слоя, которые не содержали пузырей. Произведенные измерения температуры в выработочной зоне показали, что в 22 ч. 15 мин. на расстоянии 10 см от продольного электрода температура равна 1135°С, а на поверхности электрода — 1060°С. В 23 ч. температура на расстоянии 10 см от электрода равна 1140°С, и на поверхности электрода — 1065°С.

24 февраля производились замеры температуры электродов при отключении охлаждения.

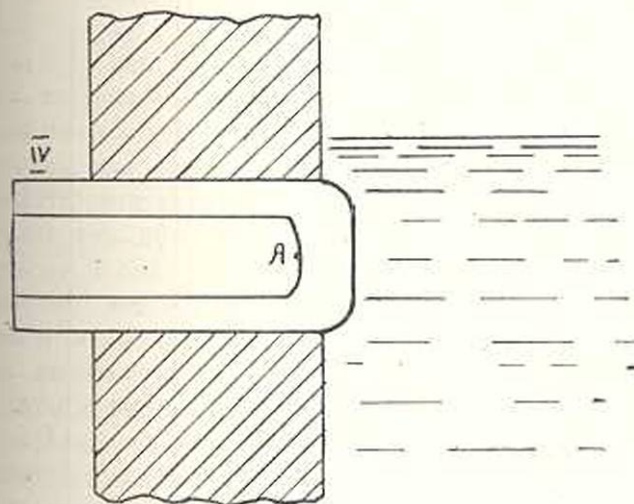
На фиг. 1 показан электрод IV в выработочной зоне.

Измерение температуры производилось термонарой, которая изображена на фиг. 3.

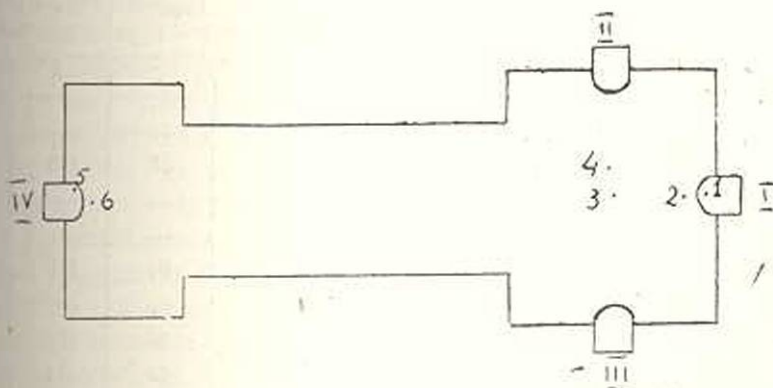
Горячий спай термонары находился примерно на расстоянии одного мм от плоского дна трубки. Предварительно эта термонара градуировалась эталонной термонарой. При погружении такой термонары в расплавленную стекломассу плоское дно трубки из жароупорной стали толщиной 1,5 мм плотно прижималось к поверхности электрода, тепло которого передавалось горячему спаю термонары.

Для предотвращения влияния тепла окружающей стекломассы на показание термонары на металлическую трубку была насажена фарфоровая трубка. Промежуток между фарфоровой и металлической трубкой заполнялся теплоизоляционным материалом. Теплоизоляционный слой был вполне достаточен для предотвращения нагрева боковой поверхности трубки стекломассой и влияния на показание температуры замеряемой точки. При продолжительности замера около 10 минут дно светилось заметно ярче. После каждого замера слой изоляции заменялся новым.

24 февраля в 23 ч. 0,5 мин. было включено охлаждение электродов. В 9 ч. 45 мин. следующего дня охлаждение прекращено до 18 ч. 30 мин. Изменение температуры в полый части электрода (точка А, фиг. 1) приведено в табл. 2. Температура на поверхности электрода IV в стекломассе



Фиг. 1.



Фиг. 2. Схема расположения электродов печи.

массе перед включением охлаждения была 1160°C . Через 15 мин. после включения охлаждения температура на поверхности электрода IV в стекломассе стала 1170°C , а температура в полый части электродов была: на электроде IV— 910° , на электроде II— 820° , на электроде III— 850°C .

Таблица 1

Время	Температура в полости части электрода			Эл-ды продольные I—IV		Электроды поперечные II—III	
	Эл-д I	Эл-д II	Эл-д III	V	A	V	A
15 ³⁰	720	—	720	—	—	—	—
15 ³⁵	800	750	750	—	—	—	—
15 ⁴⁰	800	750	750	194	256	86	465
15 ⁵⁰	810	—	—	—	—	—	—
16 ¹⁰	820	840	820	—	—	—	—
16 ²⁵	825	845	835	—	—	—	—
17 ¹⁰	840	865	855	194	272	87	500
17 ²⁵	855	865	865	—	—	—	—
18 ¹⁵	860	900	880	—	—	—	—
18 ⁴⁵	865	910	880	190	288	84	527
19 ¹⁰	865	910	900	—	—	—	—
19 ⁴⁰	880	910	900	—	—	—	—
20 ²⁵	880	910	905	188	304	83	546
21 ⁰⁰	880	910	905	—	—	—	—
22 ¹⁰	890	965	930	—	—	—	—
23 ⁰⁰	905	965	930	188	320	83	570

Таблица 2

Время	Температура в полости части электрода			Эл-ды поперечные		Эл-ды продольные	
	Эл-д IV	Эл-д II	Эл-д III	A	V	A	V
9 ⁴⁵	840	815	790	—	—	—	—
9 ⁵⁰	880	870	840	585	70	510	172
9 ⁵⁵	890	885	850	—	—	—	—
10 ⁰⁰	905	895	870	—	—	—	—
10 ³⁰	910	905	890	459	64	511	172
11 ⁰⁰	950	935	925	—	—	—	—
12 ⁰⁰	950	950	940	548	69	507	176
13 ⁰⁰	960	970	970	614	69	514	172
14 ⁰⁰	960	970	980	607	66	520	170
15 ⁴⁰	990	1040	1020	642	65	533	168
17 ²⁵	1030	1060	1040	605	59	544	162

Через час—в 19³⁰—охлаждение было вновь прекращено. При этом изменение температуры в полых частях электродов было как указано в табл. 3.

В 21 ч. температура на поверхности электрода IV в стекломасе была 1125°. Температура стекла в осветительной зоне—1325°, а в зоне загрузки—1220°. После этих замеров было включено охлаждение до следующего дня.

Таблица 3

	I V	II	III
20 ⁰⁰	965°	930°	945°
20 ²⁰	980°	990°	1015°
21 ⁰⁰	1005°	1030°	1015°

Перед включением и выключением охлаждения были взяты пробы стекла из различных зон для определения железа. Результаты анализов проб, взятых из различных зон печи в разное время, приведены в табл. 4. Из таблицы видно, что как при охлаждении электродов, так и без охлаждения, содержание окиси железа при одних и тех же условиях работы в одной и той же зоне почти одинаковое. Весьма незначительное отклонение (сотые доли) нельзя приписать условиям работы электрода (без охлаждения или с охлаждением).

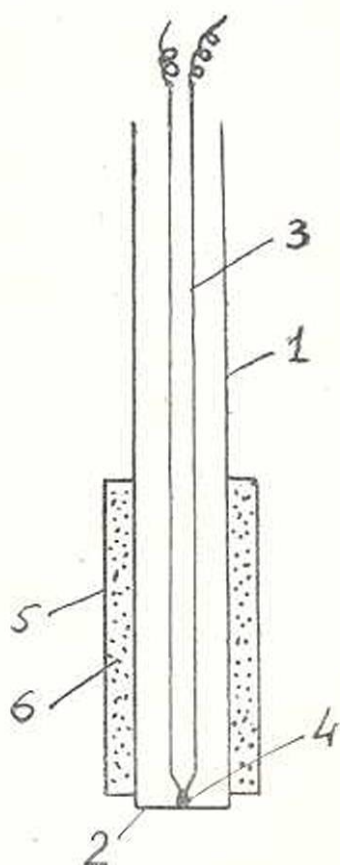
Содержание железа в виде Fe_2O_3 в пробах, взятых с приэлектродного слоя толщиной 1—1,5 см продольных электродов (точки 1 и 5, фиг. 2), почти одно и то же — 0,37—0,38 %.

Содержание Fe_2O_3 в пробах стекломассы, взятых из точек на расстоянии 10 см от указанных электродов (точки 2 и 6), также почти одинаковое и отличается в пределах 0,01—0,03 %.

Для наглядности приводится табл. 5, в которой показано содержание Fe_2O_3 в пробах, взятых из выработочной зоны через бот, как при охлаждении, так и без охлаждения электродов.

Считаем нужным указать, что в период с 28 февраля варилась шихта (содержащая 50% боя) в количестве 35 и 50 кг/час.

Из данных, приведенных в табл. 5, видно, что содержание окиси железа при охлаждении и без охлаждения электродов и при различной производительности печи почти не отличается и составляет 0,24—0,28 %.



Фиг. 3. Устройство для замеров температуры на поверхности электродов, находящихся в стекломассе. 1—металлическая жароупорная трубка, 2—плоское дно трубки, 3—платина-платинородневая термopара, 4—горячий спай термopара, 5—кварцевая или фарфоровая трубка, 6—теплоизоляционный слой.

Таблица 4

Содержание Fe_2O_3 в стекломассе при охлаждении и без охлаждения электродов в период поднятия уровня стекломассы в печи (24—27 февраля)*

Дата и время взятия проб	Электроды без охлаждения						Дата и время взятия проб	Электроды с охлаждением					
	Варочная зона				Выработочная зона			Варочная зона				Выработочная зона	
	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6
24.2.54 10 ⁰⁰	С пов. эл-да 0,38	Из ст. на расст. 10 см от эл-да 0,33	0,32	0,30	С поверхн эл-да 0,38	Из стекла на расст. 10 см от эл-да 0,32	24.2.54 24 ⁰⁰	С пов. эл-да 0,37	Из ст. на расст. 10 см 0,33	0,32	0,31	С пов. эл-да 0,38	Из стекла на расст. 10 см 0,31
24.2.54 22 ⁰⁰			0,30	0,30	то-же 0,37	0,32	26.2.54 2 ⁰⁰	0,34		0,34		0,38	0,31
24.2.54 22 ⁰⁰		0,31	0,29	0,30	0,38 то-же	0,31	26.2.54 10 ¹⁰				0,32		0,29
25.2.54 1 ⁰⁰	0,34	0,29		0,29	0,30		26.2.54 15 ³⁰	0,33 0,31	0,31		0,30		0,29
25.2.54 2 ³⁰	0,31		0,28			0,30	26.2.54 18 ⁰⁰	0,31		0,29		0,31	
25.2.54 14 ³⁰		0,29	0,28		0,29	0,29	26.2.54 22 ³⁰		0,26		0,27	0,29	0,27
25.2.54 15 ⁰⁰	0,31	0,27		0,28									
25.2.54 11 ⁰⁰		0,26			0,28	0,29							
25.2.54 17 ²⁰			0,27	0,28	0,29								
26.2.54 22 ⁴⁰	0,31	0,28	0,28	0,27	0,27	0,26							

* Пробы взяты из точек, показанных на фиг. 2.

* Пробы взяты из точек, показанных на фиг. 2.

Варка стекла без охлаждения электродов производилась в течение 20 дней, как при минимальной, так и при максимальной производительности печи с применением ускорителя варки (хлористого калия) и без него.

Таблица 5

Содержание Fe_2O_3 в стекольной массе в процентах за март месяц 1954 г.

Зона	Д а т а												
	Электроды охлаждались							Электроды не охлаждались					
	3	4	5	12	13	14	15	8	9	10	11	18	20
Выработ. (из бота)	0,26	0,27	0,26	0,24	0,25	0,28	0,24	0,26	0,25	0,25	0,26	0,26	0,28

В табл. 6 и 7 приведены значения температур в полостях электродов, а также напряжение, сила тока и мощность на поперечных и продольных электродах при варке в печи 35 кг шихты в час.

Таблица 6

Электроды не охлаждались

Время	Температура в полости части электродов				Поперечные электроды II и III			Продольные электроды I и IV		
	I	II	III	IV	A	V	KW	A	V	KW
1 ^я	1070	1100	1110	1110	652	58	37,8	560	138	77,2
2 ^я	1070	1100	1110	1110	662	59	39,0	560	137	76,7
3 ^я	1075	1100	1100	1115	667	60	40,0	560	136	76,0
4 ^я	1075	1100	1100	1120	667	60	40,0	560	136	76,0
5 ^я	1070	1100	1100	1110	668	60	40,1	568	139	78,9
6 ^я	1060	1100	1100	1110	668	60	40,1	568	137	77,9
7 ^я	1060	1100	1100	1110	669	59,5	39,8	560	138	77,2
8 ^я	1030	1100	1100	1115	650	58	37,5	560	138	74,4

Таблица 7

Электроды охлаждались

Время	Температура в полости части электродов				Поперечные электроды II и III			Продольные электроды I и IV		
	I	II	III	IV	A	V	KW	A	V	KW
8 ^я	—	—	—	—	772	66	50,9	600	140	84
9 ^я	—	—	—	—	772	66	50,9	600	140	84
10 ^я	—	—	—	—	772	66	50,9	600	140	84
11 ^я	790	810	780	840	772	66	50,9	600	140	84
12 ^я	—	—	—	—	772	67	51,5	600	140	84
13 ^я	—	—	—	—	758	67	50,7	600	140	84
14 ^я	—	—	—	—	758	67	50,7	600	140	84
15 ^я	—	—	—	—	758	68	51,5	600	140	84

Температура на поверхности продольных электродов в стекло-массе при этом была 1320—1340°C. Необходимо отметить, что температура в полый части электродов при повышении плотности тока возрастает. Несмотря на повышенную температуру электродов, не происходит заметного увеличения содержания окиси железа в стекло-массе.

Варка шихты в количестве 50 кг/час без охлаждения электродов производилась при более низких мощностях, чем при 35 кг/час шихты с охлаждением электродов.

Условия варки 50 кг/час шихты без охлаждения электродов приведены в табл. 8.

Таблица 8

Время	Температура в полый части электродов				Поперечные электроды II и III			Продольные электроды I и IV		
	I	II	III	IV	A	V	KW	A	V	KW
16 ⁰⁰	1100	1130	1120	1110	638	55	35,0	580	136	78,8
17 ⁰⁰	1090	1125	1120	1110	646	56	36,2	576	136	78,4
18 ⁰⁰	1100	1120	1130	1110	650	56	36,6	576	136	78,4
19 ⁰⁰	1100	1120	1130	1115	658	56	36,8	576	136	78,4
20 ⁰⁰	1100	1120	1130	1110	648	55	35,6	568	136	77,2
21 ⁰⁰	1100	1120	1130	1110	638	55	35,1	560	138	77,2
22 ⁰⁰	1095	1120	1120	1110	648	55	35,6	560	138	77,2
23 ⁰⁰	1090	1120	1120	1110	648	55	35,6	560	138	77,2

Условия варки 50 кг/час шихты с охлаждением электродов приведены в табл. 9.

Таблица 9

Время	Температура в полый части электродов				Поперечные электроды II и III			Продольные электроды I и IV		
	I	II	III	IV	A	V	KW	A	V	KW
8 ⁰⁰	—	—	—	—	790	68	53,6	624	140	87,3
9 ⁰⁰	—	—	—	—	790	68	53,6	620	140	86,8
10 ⁰⁰	—	—	—	—	782	67	52,4	616	140	86,2
11 ⁰⁰	800	820	800	850	782	68	53,2	616	140	86,2
12 ⁰⁰	—	—	—	—	782	67	52,4	616	140	86,2
13 ⁰⁰	—	—	—	—	782	67	52,4	616	140	86,2
14 ⁰⁰	—	—	—	—	782	67	52,4	616	140	86,2
15 ⁰⁰	—	—	—	—	782	67	52,4	616	140	86,2

В таблицах приведены мощности на зажимах трансформаторов. Для определения действительной мощности печи необходимо вычесть потери в подводящих кабелях, составляющие по данным замеров 2,5%. При этом средние мощности на электродах печи составляют:

Таблица 10

С охлаждением		Без охлаждения	
35 кг/час	50 кг/час	35 кг/час	50 кг/час
132	136,5	111	111

Из таблицы 10 следует, что при переходе от охлаждаемых к не охлаждаемым электродам экономия электроэнергии составляет при загрузке 35 кг/час шихты 16%, а при 50 кг/час шихты — 18%.

Необходимо отметить, что в электродах при прекращении искусственного охлаждения теплотери происходят в основном радиацией ввиду повышения температуры теплоотдающей поверхности электрода. По произведенным расчетам потери радиацией через электрод при прекращении охлаждения составляют около 30% от потерь при охлаждении электродов.

Варка стекла без охлаждения электродов в полупромышленном масштабе нами проводится впервые, при этом по данным проведенного исследования расход электроэнергии на одну тонну стекломассы снижается примерно на 20% без увеличения перехода железа в стекломассу и осложнения технологического процесса варки стекла.

В ы в о д ы

Впервые проведены опыты электроварки стекла без искусственного охлаждения электродов. Установлено, что электроды марки ЭИ-439 могут работать при более высоких температурах охлаждаемой поверхности — 1140°C. Охлаждение электродов только естественное, в основном радиацией. Испытание электродов проводилось при максимальной силе тока 600—660 А. Максимальная температура стекломассы в осветлительной части при этом составляла 1390°C. Увеличения перехода железа в стекломассу не наблюдалось. Теплотери через электроды снизились на 70%. Электроварка стекла без искусственного охлаждения электродов имеет научное и практическое значение.

