



ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РЕСУРСΟΣБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ ЖАРОСТОЙКИХ СИТАЛЛОВЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ЗАЩИТЫ НИХРОМОВЫХ СПЛАВОВ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ АКТИВНОЙ СРЕДЫ

Лазарева Е.А.

к.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Дизайн»
ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный
политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова»,
Почётный работник высшего профессионального
образования РФ

Минько Н.И.

Почётный работник стекольной промышленности РФ,
Заслуженный работник Высшей школы РФ, д.т.н., профессор
ФГБОУ ВО «Белгородский государственный
технологический университет им. В.Г. Шухова»

г. Москва, 14 декабря 2023 г.

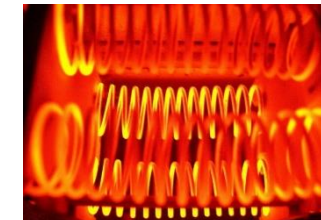
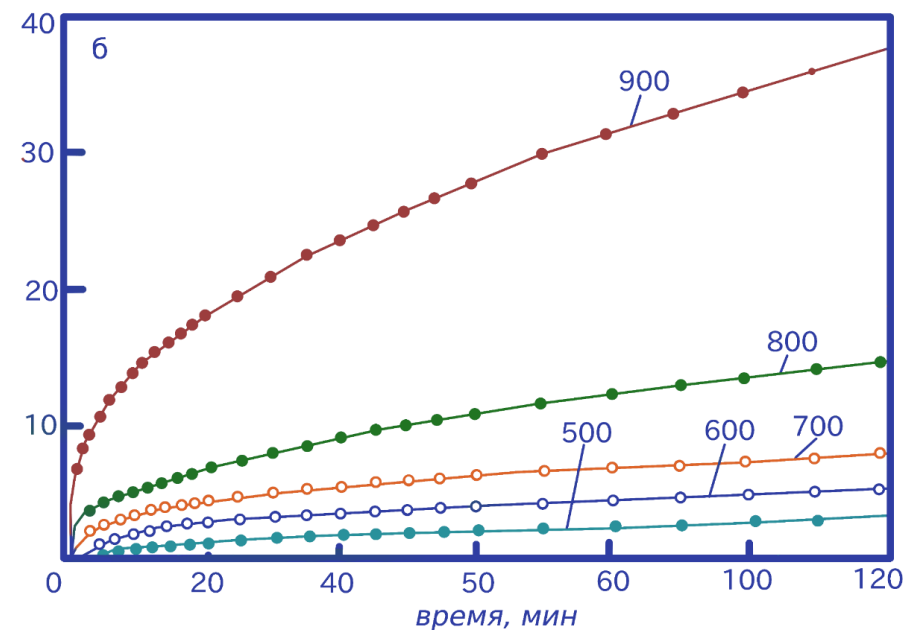
Цветные стеклокристаллические покрытия с ситалловой структурой

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ СПЛАВОВ Х20Н80 И ХН78Т (ГОСТ 10994-74)

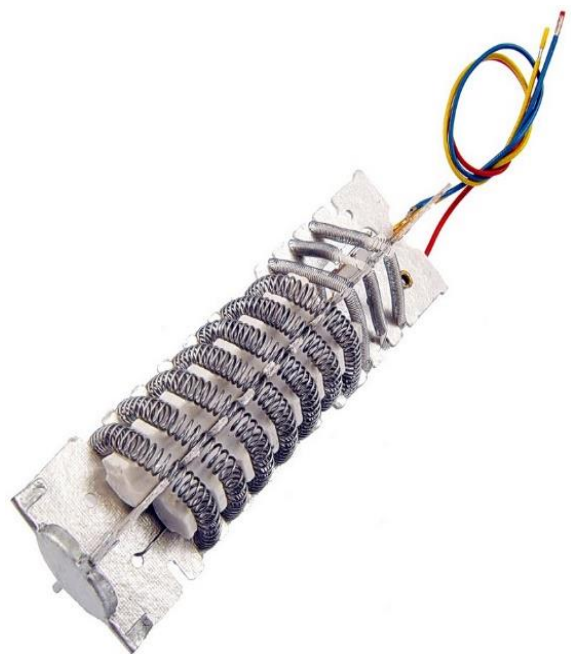
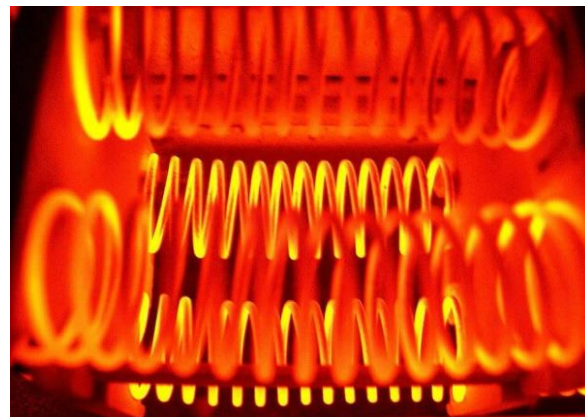
Сплав	Массовое содержание, %									
	C	Si	Mg	S	P	Cr	Fe	Ti	Al	Ni
	не более									
Х20Н80	0,10	0,9-1,5	0,7	0,02	0,03	20,0-23,0	1,5	0,30	0,20	80,0
ХН78Т	0,12	0,8	0,7	-	-	19,0-22,0	6,0	0,15-0,35	0,5	основа

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НИХРОМОВЫХ СПЛАВОВ (ГОСТ 12766.1-90)

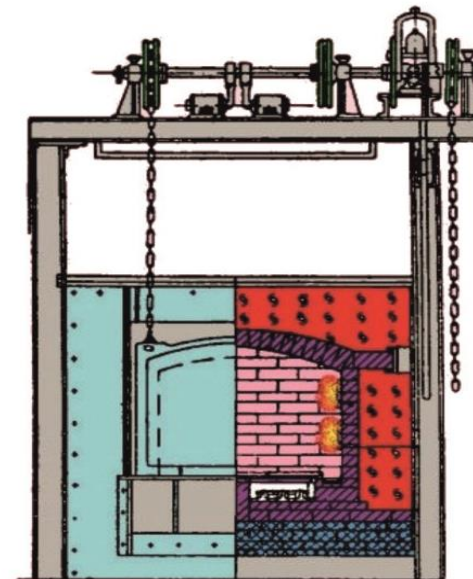
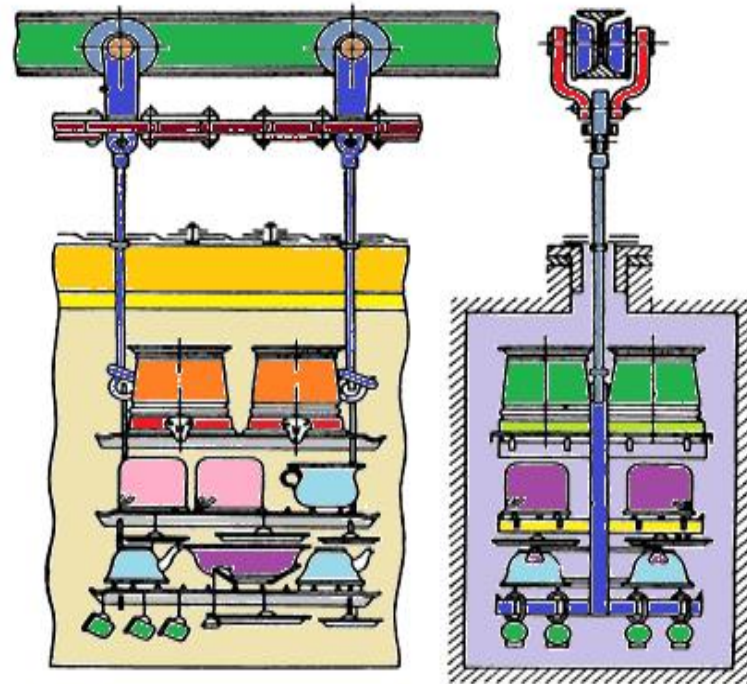
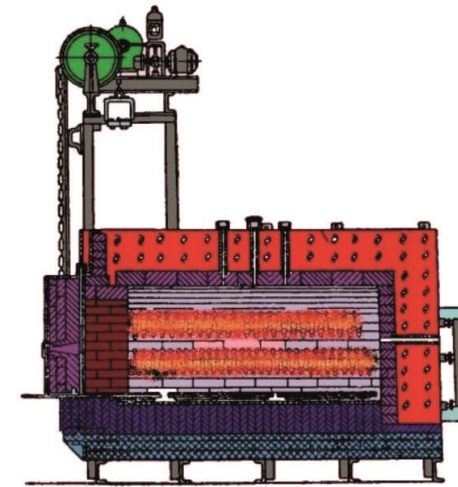
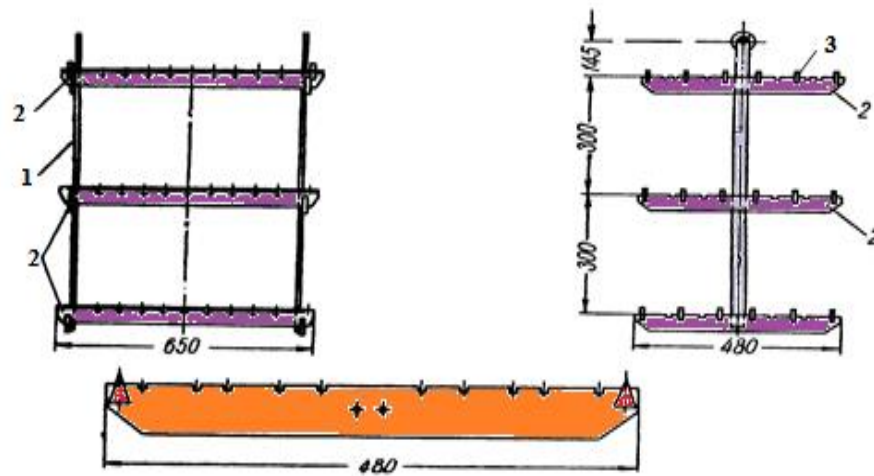
Наименование свойств	Марка сплава	
	ХН78Т	Х20Н80
Плотность, кг/м ³	8400	8400
ТКЛР, $\alpha \cdot 10^7 \text{K}^{-1}$	157	155
Теплопроводность при 20 °С, Вт·м·град	31,80	31,80
Предел прочности, МПа	7,8	7,0
Температура начала окалинообразования в воздухе, °С	950...1150	900...1000
Рабочая температура, °С	1100	1100
Особые свойства	неустойчивы в серосодержащих и науглероженных средах	



АКТУАЛЬНОСТЬ

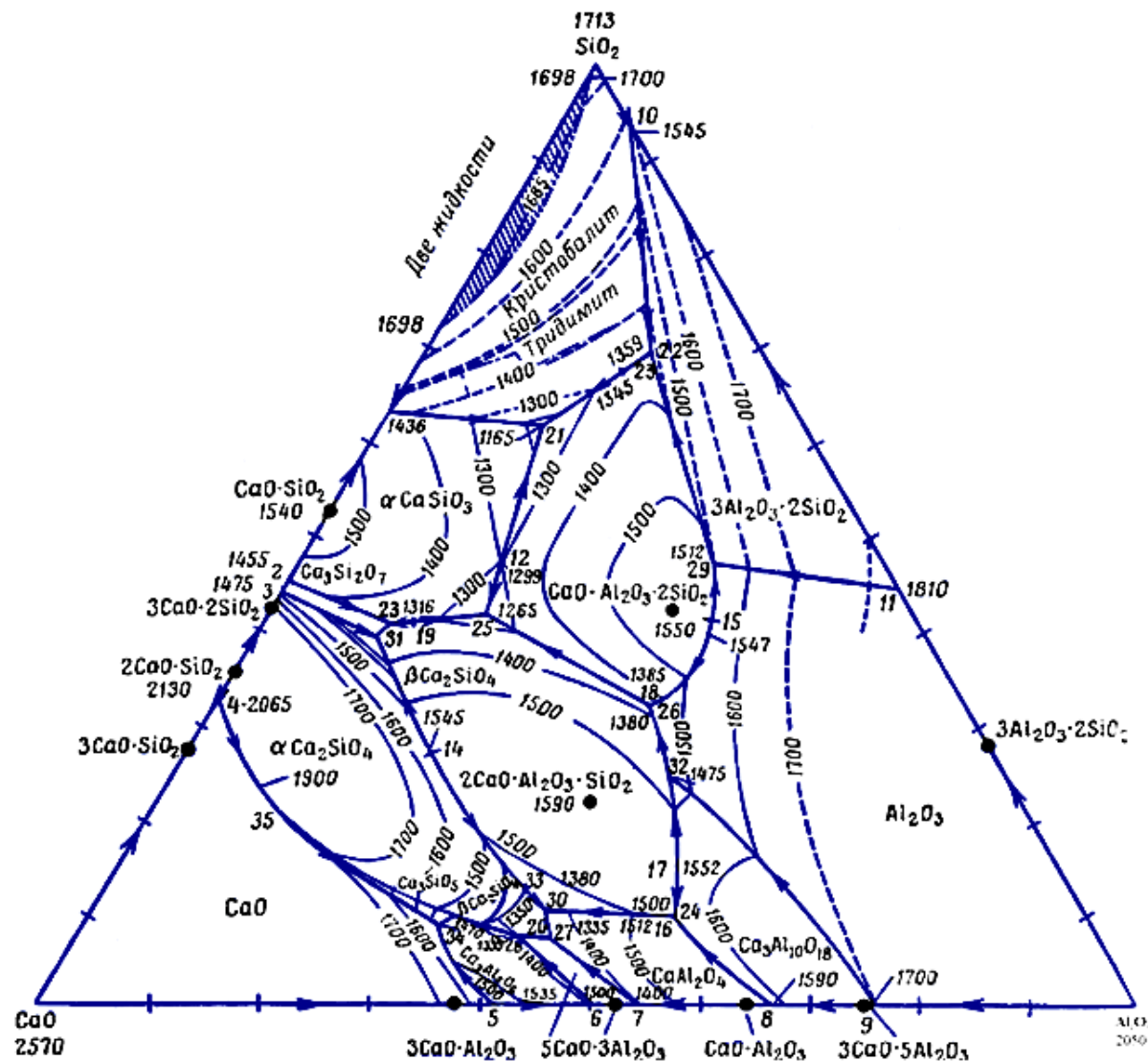


ПРИМЕНЕНИЕ НИХРОМОВЫХ СПЛАВОВ И СТАЛЕЙ В ПРОМЫШЛЕННЫХ ПЕЧАХ



Условные обозначения: 1 – штанга; 2 – полка; 3 – нг.л.

Разработка состава стекломатрицы жаростойких ситалловых покрытий для нихромовых сплавов с повышенным КДО



Система $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$

Химические составы синтезированных стекломатриц

№ стекломатрицы	Массовое содержание компонентов, %										TKIP, $\alpha \cdot 10^7 \text{K}^{-1}$	
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	BaO	ZnO	K ₂ O	Li ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅		Σ, %
0	37,90	26,60	2,00	12,10	2,00	—	4,80	7,30	7,30	—	100	126,21
1	35,09	23,66	1,85	11,20	1,85	3,70	4,44	6,76	6,76	3,70	100	127,34
2	35,09	23,66	1,85	11,20	1,85	1,85	4,44	6,76	6,76	5,56	100	122,84
3	35,75	25,09	1,87	11,42	1,87	4,72	4,53	6,89	6,89	0,94	100	124,64
4	35,75	25,09	1,87	11,42	1,87	3,77	4,62	6,89	6,89	1,89	100	122,86
5	36,44	25,58	1,92	11,60	1,92	3,85	4,62	7,02	7,02	—	100	123,00
6	36,44	25,58	1,92	11,60	1,92	2,88	4,62	7,02	7,02	0,96	100	124,92
7	36,44	25,58	1,92	11,60	1,92	1,92	4,71	7,02	7,02	1,92	100	123,17
8	37,16	26,08	1,96	11,86	1,96	1,96	4,71	7,16	7,16	—	100	125,10
9	37,16	26,08	1,96	11,86	1,96	0,98	4,80	7,16	7,16	0,98	100	122,72
10	37,90	26,60	2,00	12,10	2,00	2,00	4,80	7,30	5,30	—	100	122,92
11	37,90	26,60	2,00	11,10	2,00	2,00	4,80	7,30	6,30	—	100	124,06
12	37,90	26,60	2,00	12,10	2,00	1,00	4,80	7,30	5,30	1,00	100	124,05
13	37,90	26,60	2,00	11,10	2,00	1,00	4,80	7,30	5,30	2,00	100	121,97
14	37,90	26,60	2,00	11,10	2,00	3,00	4,80	7,30	5,30	—	100	122,16
15	37,90	26,60	2,00	10,10	2,00	3,00	4,80	7,30	6,30	—	100	122,06
16	37,90	26,60	2,00	10,60	2,00	3,00	4,80	7,30	5,80	—	100	121,39
17	37,90	26,60	2,00	9,10	2,00	4,00	4,80	7,30	6,30	—	100	121,43
18	37,90	26,60	2,00	9,10	2,00	2,00	4,80	7,30	6,30	2,00	100	124,10
19	37,90	26,60	2,00	8,10	2,00	4,00	4,80	7,30	7,30	—	100	123,89
20	37,90	26,60	2,00	6,10	2,00	4,00	4,80	7,30	5,30	4,00	100	135,37
21	44,42	17,94	2,00	10,42	1,25	4,52	4,15	10,24	4,56	0,50	100	135,19
22	45,00	20,00	2,00	9,50	2,00	4,52	4,15	6,33	6,50	—	100	124,64

Номера серий стекол	Номера составов стекол	Характер кристаллизации в температурном интервале, °С					
		500...600	600...700	700...800	800...900	900...950	950...1000
-	0						
1	1, 2,20						
2	3,4,6,7,9, 12,18,21						
3	5,8,10,11, 14,15,16						
4	17,19,22						

Условные обозначения:



– кристаллизация отсутствует;



– тонкая поверхностная кристаллическая пленка;



– интенсивная поверхностная кристаллизация;



– интенсивная поверхностная кристаллизация, полосчатая в объеме;



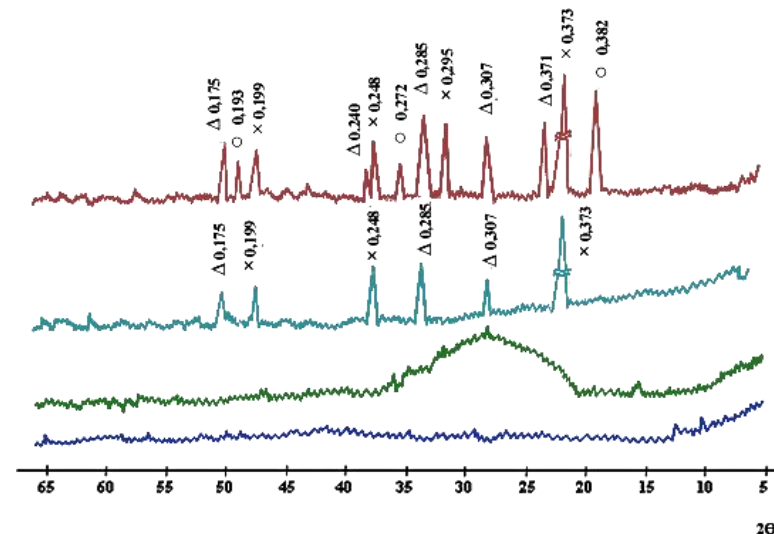
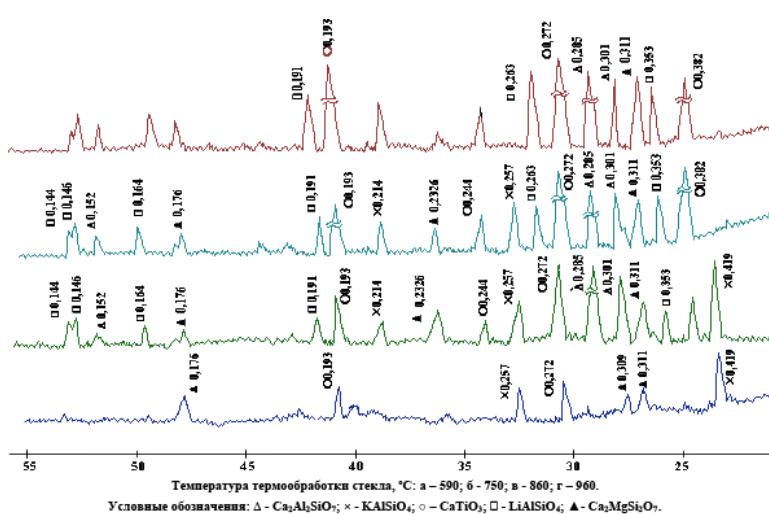
– интенсивная поверхностная кристаллизация, мелкодисперсная в объеме;



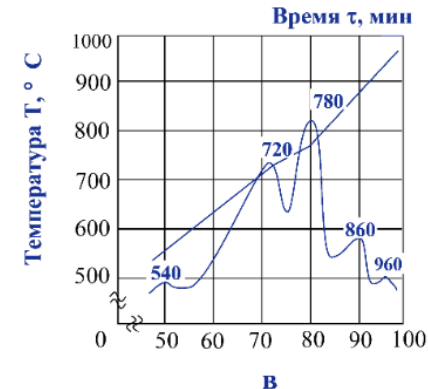
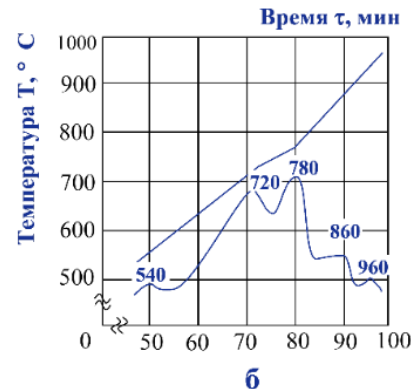
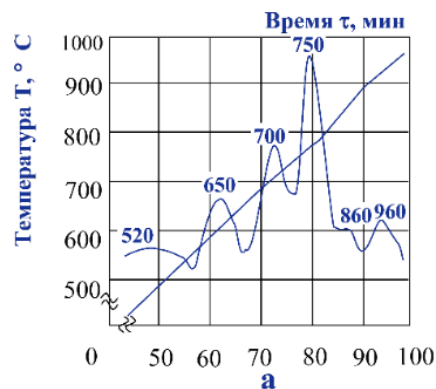
– интенсивная поверхностная и объемная кристаллизация с крупными сферолитами;



– условно-полная объемная мелкодисперсная кристаллизация (d=1мкм).

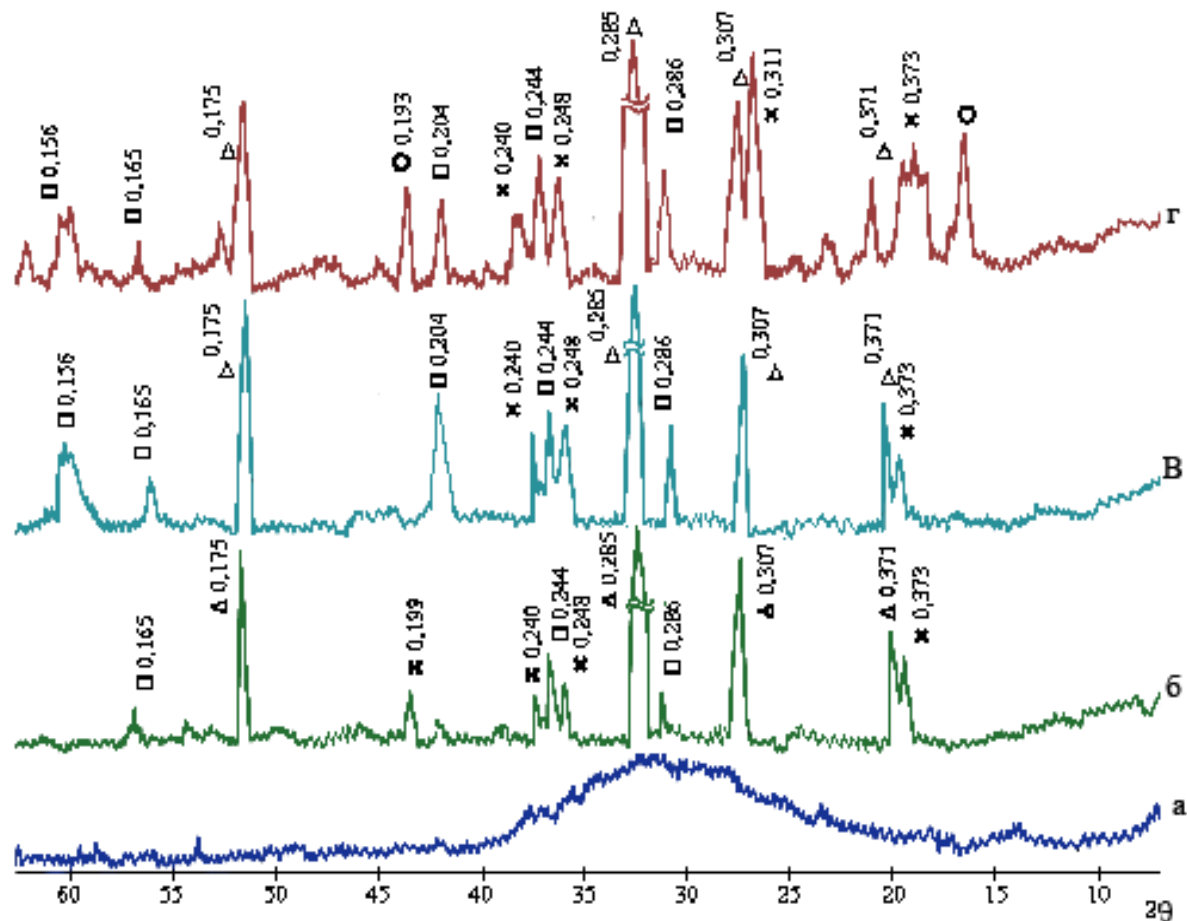
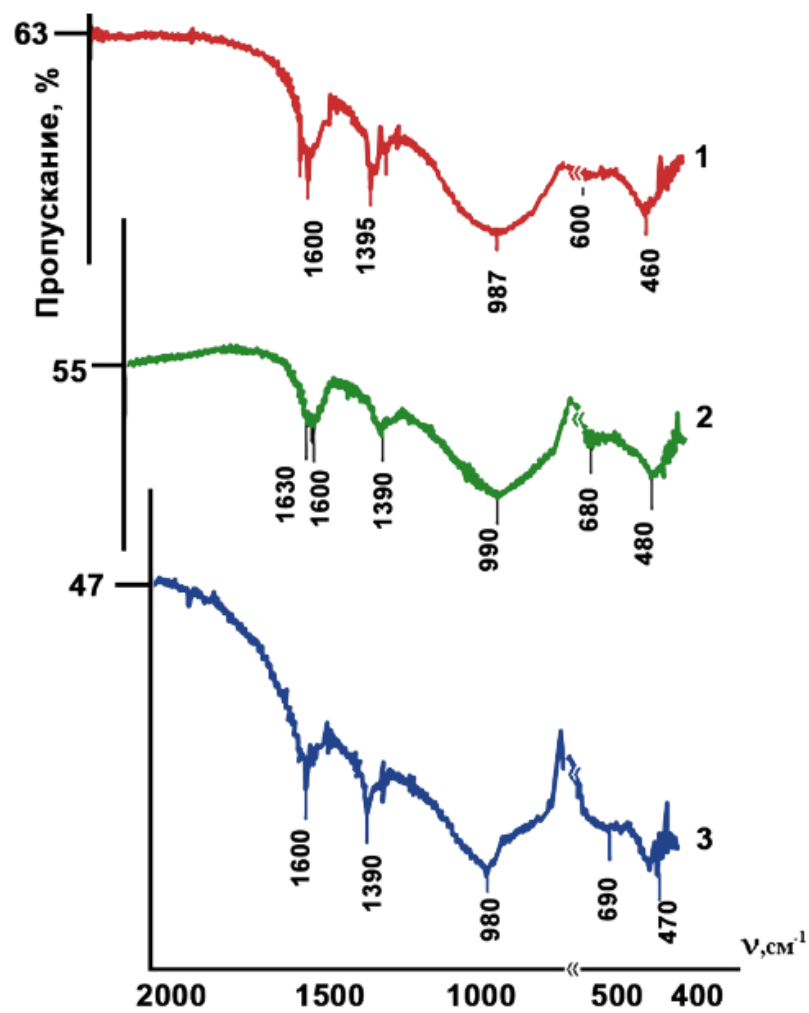


Температура термообработки стекла, °С: а – 540; б – 780; в – 860; г – 960.
Условные обозначения: Δ – Ca₂Al₃SiO₇; × – Li₂SiO₃; ○ – CaTiO₃.



Составы: а – №0; б – №15; в – №17.

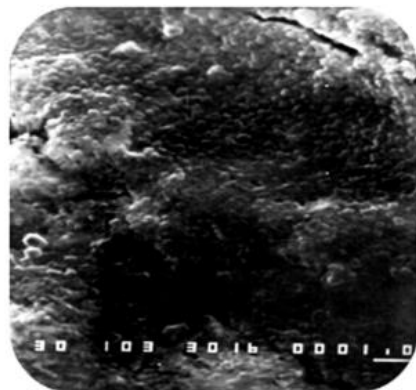
Термограммы стекломатриц: а – № 0; б – № 15; в – № 17



Температура термообработки стекла, °C: а – 540; б – 780; в – 860; г – 960.
 Условные обозначения: Δ – Ca₂Al₂SiO₇; × – Li₂Si₂O₅; □ – ZnAl₂O₄; ○ – CaTiO₃.

№17

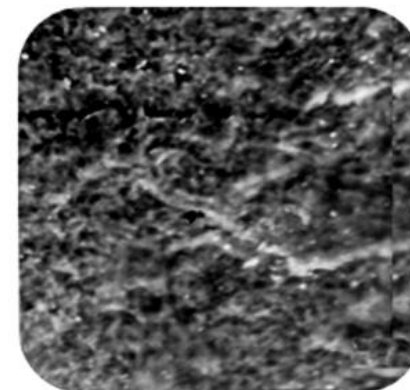
540 °C



780 °C

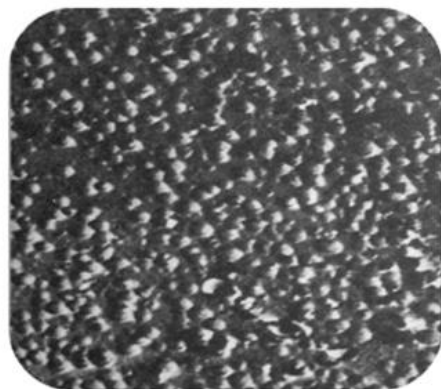


960 °C

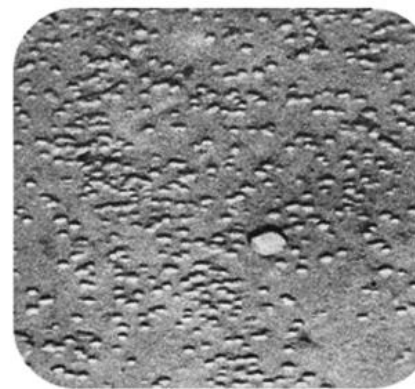


№0

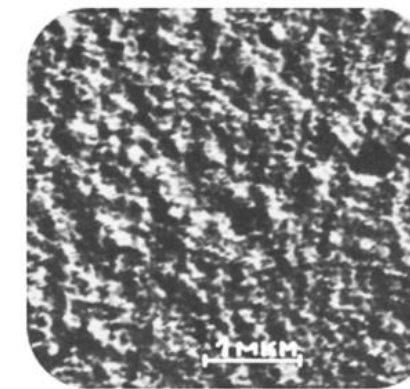
540 °C



780 °C



960 °C

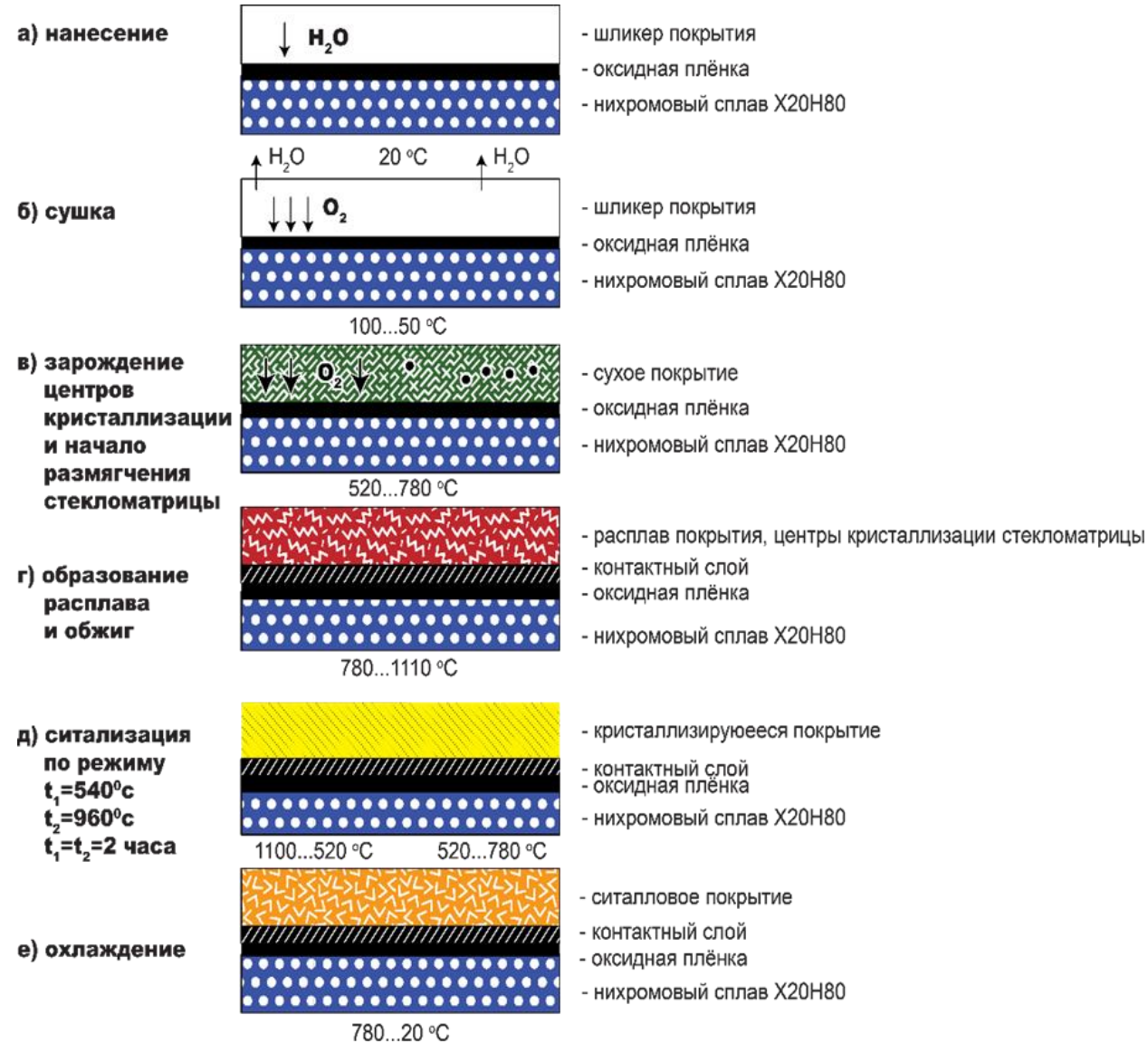


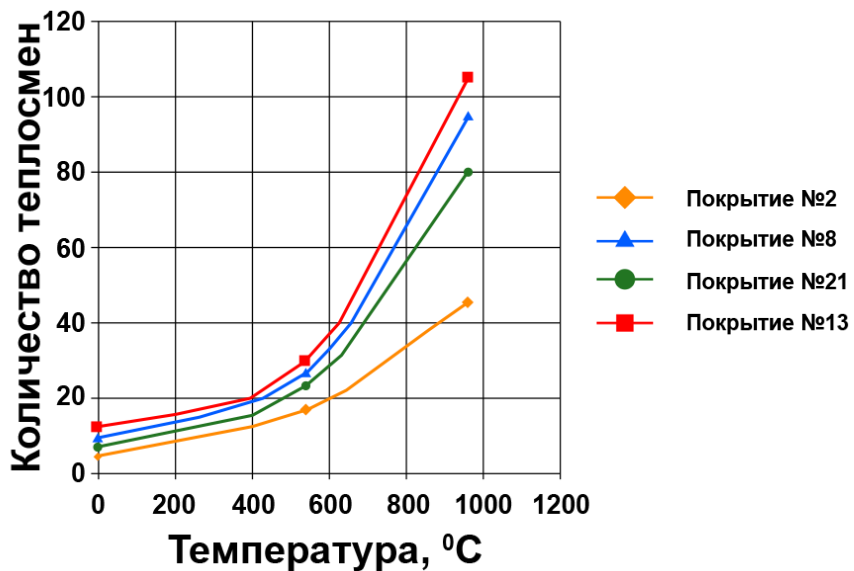
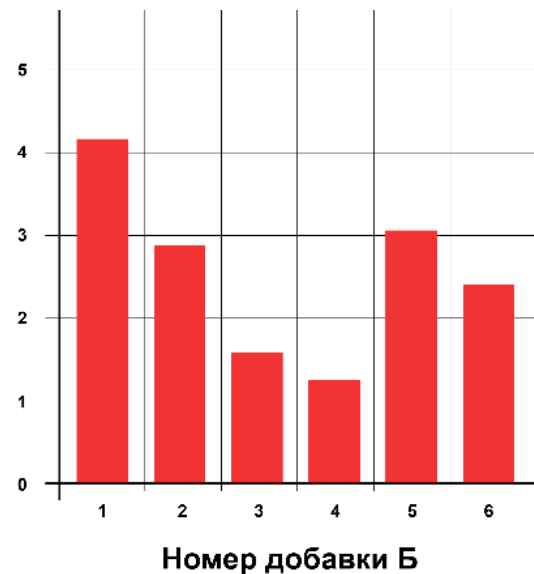
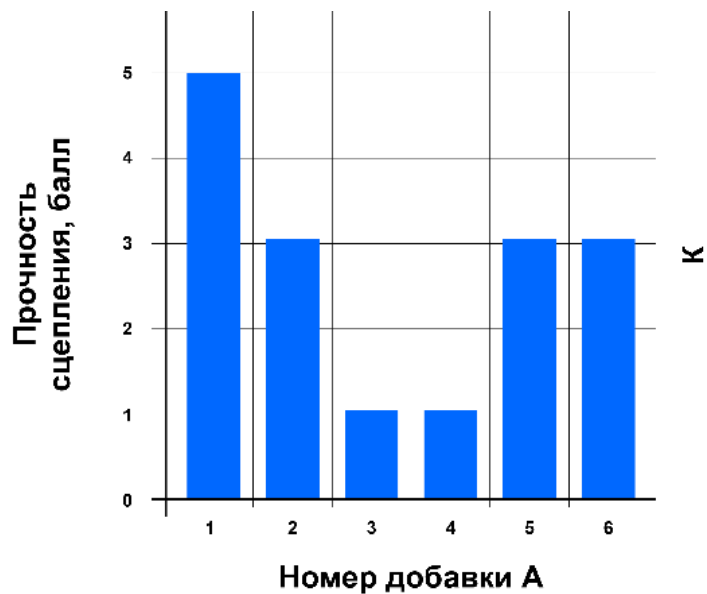
а

б

в

Электронные микрофотографии термообработанного стекла.
Температура термообработки, °C : а) 540; б) 780; в) 960 (увеличение x 10000)



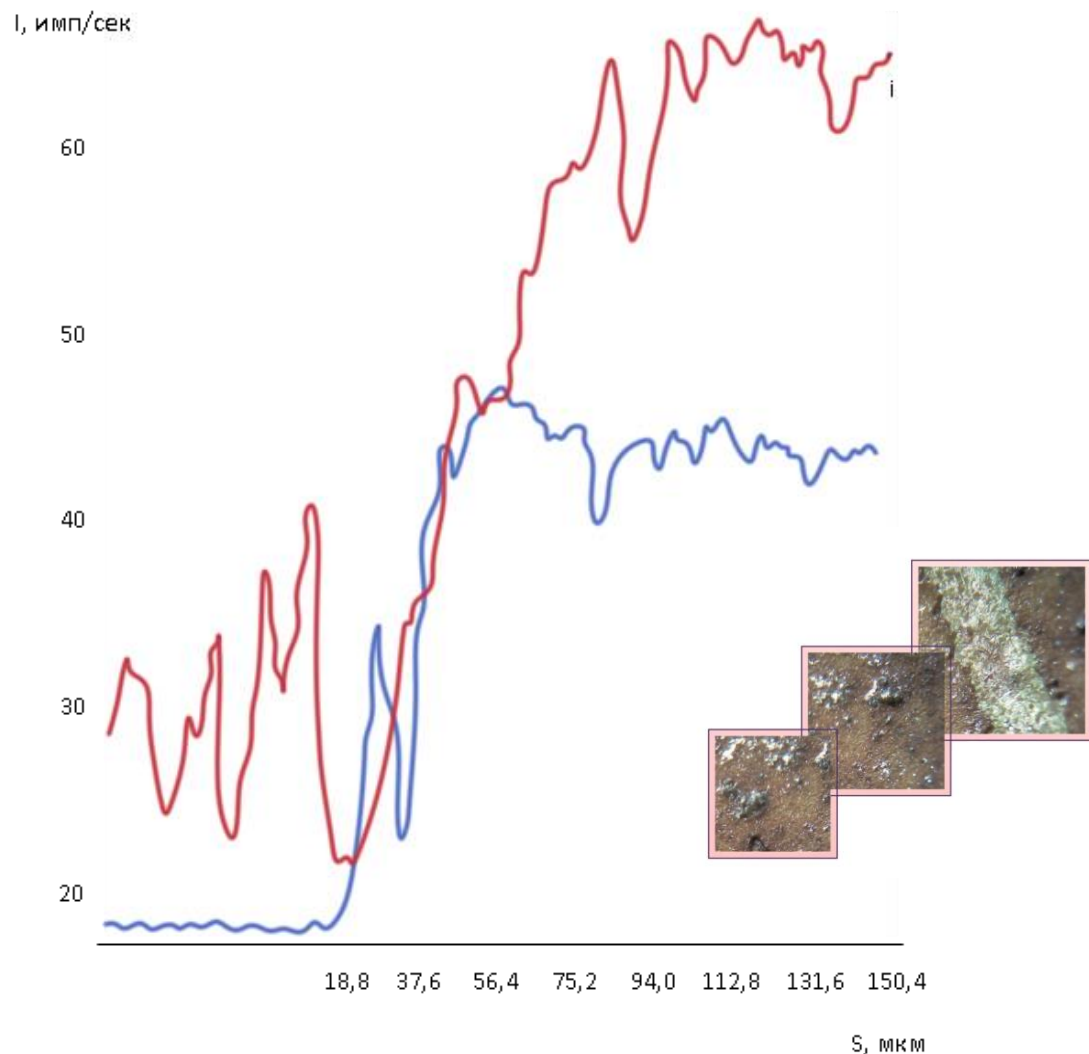


№ серии	№ состава	Содержание добавок, %		
		ZnO	P ₂ O ₅	Al ₂ O ₃
1	1...11	4	1...6	0...3
2	12...35	4...6	1...6	0...9
3	36...46	8	1...6	0...6
4	47...54	10	1...6	0...3

Наименование образцов	Изменение массы $\Delta m \times 10^{-3}$, кг/м ² за время, ч, покрытия № 2 и № 21									
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
	$\frac{2}{21}$	$\frac{2}{21}$	$\frac{2}{21}$	$\frac{2}{21}$	$\frac{2}{21}$	$\frac{2}{21}$	$\frac{2}{21}$	$\frac{2}{21}$	$\frac{2}{21}$	$\frac{2}{21}$
Контрольный металл X20H80	2,0	2,3	2,7	3,5	3,6	3,65	3,7	3,7	3,71	3,71
X20H80 с нетермообработанным покрытием	1,4	1,55	2,0	2,2	2,5	2,8	2,8	2,75	2,85	2,85
X20H80 с термообработанным покрытием	0,45	0,6	1,2	1,6	1,8	1,85	1,85	1,9	1,8	1,9
	0,6	0,7	1,45	1,8	2,2	2,3	2,3	2,4	2,45	2,55

Номер состава	$\alpha \times 10^7$, K ⁻¹
2	135
8	128
13	127
21	133

Разработка жаростойких ситалловых покрытий с повышенным коэффициентом диффузного отражения для нихромовых сплавов



Распределение Ni и Cr в контактном слое

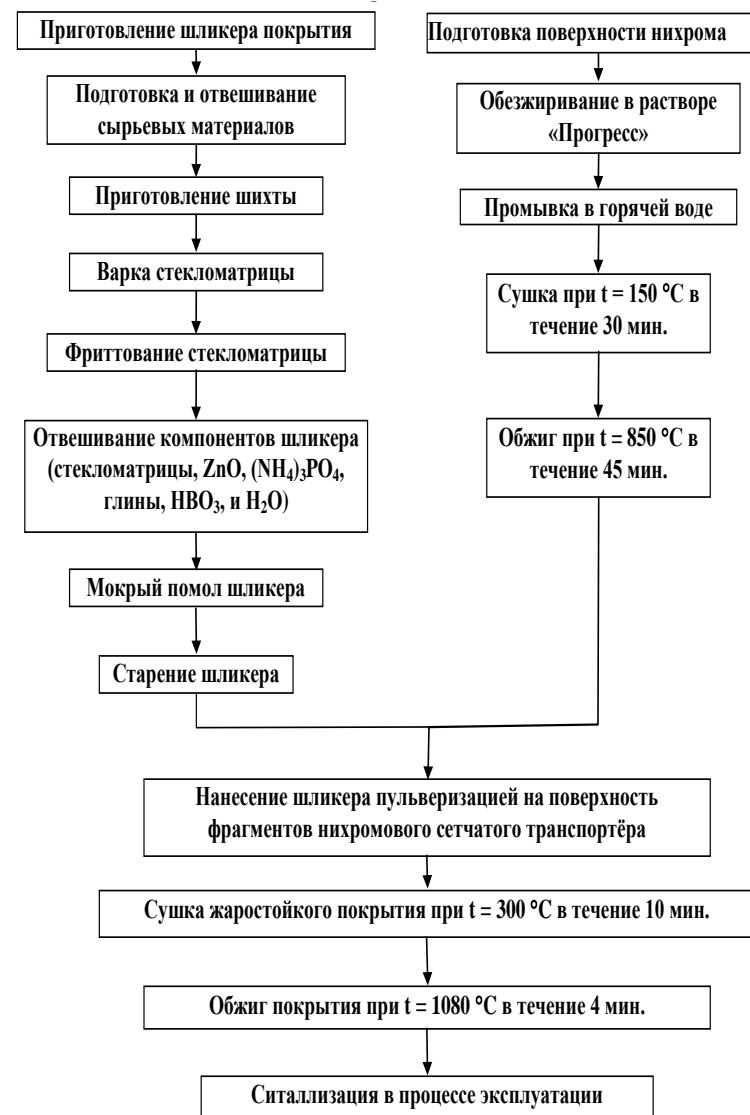


Схема опытно-промышленных испытаний покрытия

Классификация промышленных отходов

Отходы металлургии	Отходы металлургии: доменные, ферросплавные и сталеплавильные шлаки
	Шлаки, образующиеся при плавке руд цветных металлов
	Продукты обогащения руд; нефелиновые и другие шламы и др.
Отходы тепловой энергетики и топливной промышленности	Зола, топливные шлаки, золошлаковые смеси, шахтные породы, отходы углеобогащения и др.
Отходы химической промышленности	Железистые, известь- и гипсосодержащие отходы
	Соле- и гидроксидсодержащие шламы и содопродукты
	Фосфорные шлаки, вторичные полимерные продукты и др.
Отходы горнодобывающей промышленности	Вскрышные и попутно добываемые породы
Отходы производства строительных материалов	Пыль различного химического состава, керамический и стеклянный бой, отсеvy, образуемые при дроблении и др.

Химический состав доменного шлака

Содержание оксидов, % (по массе)								Σ , %
SiO ₂	CaO	FeO	MgO	Al ₂ O ₃	MnO	P ₂ O ₅	S	
16,50	44,82	14,67	9,58	6,21	7,33	0,51	0,38	100

Физико-механические свойства шлаковых стекол

Свойство	Содержание шлака, мас. %	
	30	50
Плотность, кг/м ³	2480	2520
Предел прочности, мпа, на:	-	-
Сжатие	760	790
Растяжение	99,5	102
Коэффициент линейного расширения, 10 ⁻⁷ , град ⁻¹	116	132

Химический состав шлаковых стекол

Наименование	Содержание компонентов, % (по массе)													
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	BaO	K ₂ O	Li ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MoO ₃	Fe ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	MnO ₂	Sb ₂ O ₃
Стекло на основе шлака БМК (№12)	40,100	26,402	1,985	8,834	1,985	4,764	4,467	2,779	7,927	0,011	0,715	0,014	0,010	0,001
													P ₂ O ₅	SO ₃
Стекло на основе шлака ГРЭС (№13)	40,206	17,481	1,203	6,994	-	2,469	6,992	6,992	8,741	-	8,793	-	0,079	0,050

Кристаллизационная способность стекол

№ стекла	Температуры кристаллизации стекол, °С				
	4	600...700 (620)	600...700 (640)	600...700 (690)	700...800 (790)
7	300...400 (332)	400...500 (434)	600...700 (680)	700...800 (780)	
12	500...600 (570)	600...700 (650)	700...800 (713)	700...800 (753)	700...800 (777)
13	300...400 (330)	400...500 (440)	600...700 (605)	700...800 (736)	

Условные обозначения:



– отсутствие признаков кристаллизации;



– распространение кристаллизации по всему объему стекла, степень закристаллизованности до 50 %;



– мелкодисперсная объемная кристаллизация, степень закристаллизованности не менее 50-60 %;



– условно-полная мелкодисперсная объемная кристаллизация, степень закристаллизованности 60-90 %.

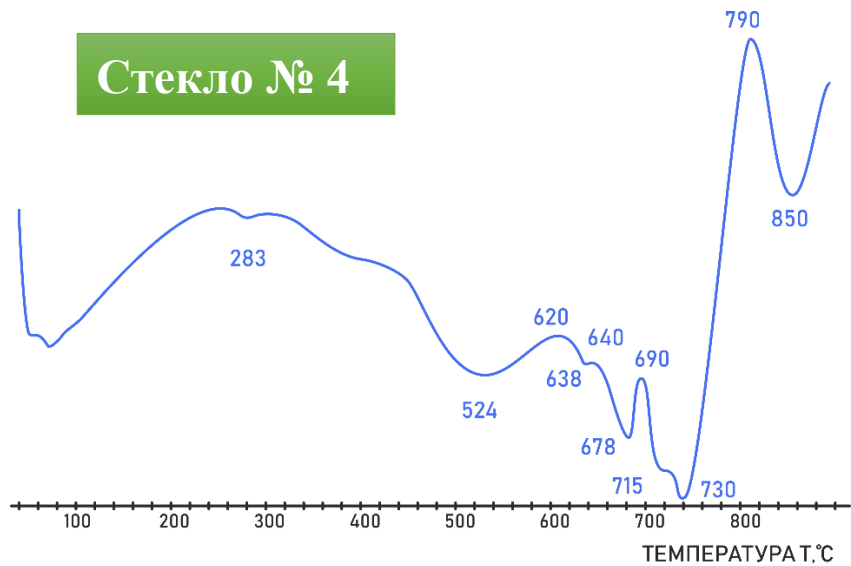
Возможные режимы термической обработки стекол № 4 и № 12

Стекло № 4	Стекло № 12
I – $t_1 = 620^{\circ}\text{C}$, $t_2 = 690^{\circ}\text{C}$; $\tau_1 = \tau_2 = 1$ ч	I – $t_1 = 570^{\circ}\text{C}$, $t_2 = 650^{\circ}\text{C}$; $\tau_1 = \tau_2 = 1$ ч
II – $t_1 = 620^{\circ}\text{C}$, $t_2 = 790^{\circ}\text{C}$; $\tau_1 = \tau_2 = 1$ ч	II – $t_1 = 570^{\circ}\text{C}$, $t_2 = 713^{\circ}\text{C}$; $\tau_1 = \tau_2 = 1$ ч
	III – $t_1 = 570^{\circ}\text{C}$, $t_2 = 753^{\circ}\text{C}$; $\tau_1 = \tau_2 = 1$ ч
	IV – $t_1 = 570^{\circ}\text{C}$, $t_2 = 777^{\circ}\text{C}$; $\tau_1 = \tau_2 = 1$ ч

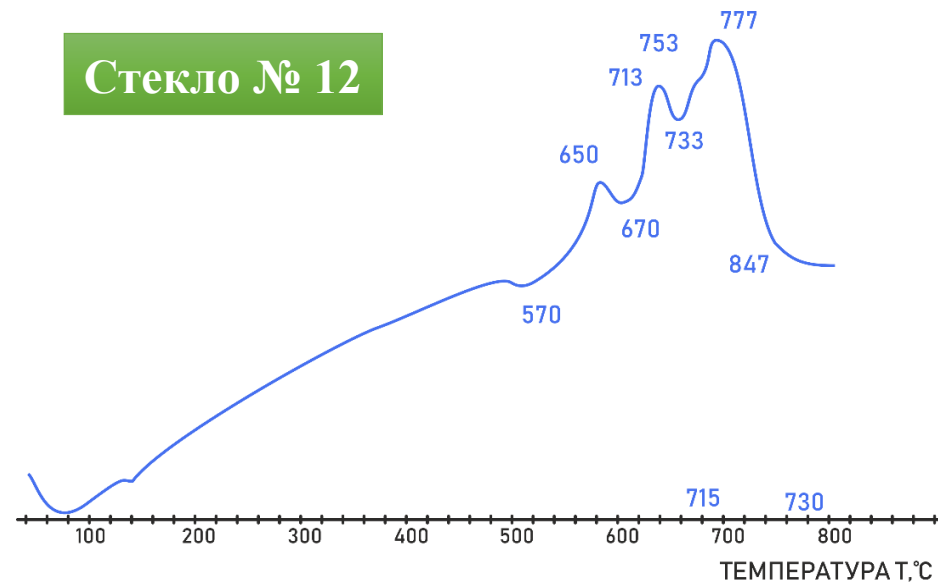
Возможные режимы термической обработки стекол № 7 и № 13

Стекло № 7	Стекло № 13
I – $t_1 = 540^{\circ}\text{C}$, $t_2 = 670^{\circ}\text{C}$; $\tau_1 = \tau_2 = 1$ ч	I – $t_1 = 450^{\circ}\text{C}$, $t_2 = 540^{\circ}\text{C}$; $\tau_1 = \tau_2 = 1$ ч
II – $t_1 = 540^{\circ}\text{C}$, $t_2 = 600^{\circ}\text{C}$; $\tau_1 = \tau_2 = 1$ ч	II – $t_1 = 450^{\circ}\text{C}$, $t_2 = 638^{\circ}\text{C}$; $\tau_1 = \tau_2 = 1$ ч
III – $t_1 = 540^{\circ}\text{C}$, $t_2 = 780^{\circ}\text{C}$; $\tau_1 = \tau_2 = 1$ ч	III – $t_1 = 450^{\circ}\text{C}$, $t_2 = 740^{\circ}\text{C}$; $\tau_1 = \tau_2 = 1$ ч

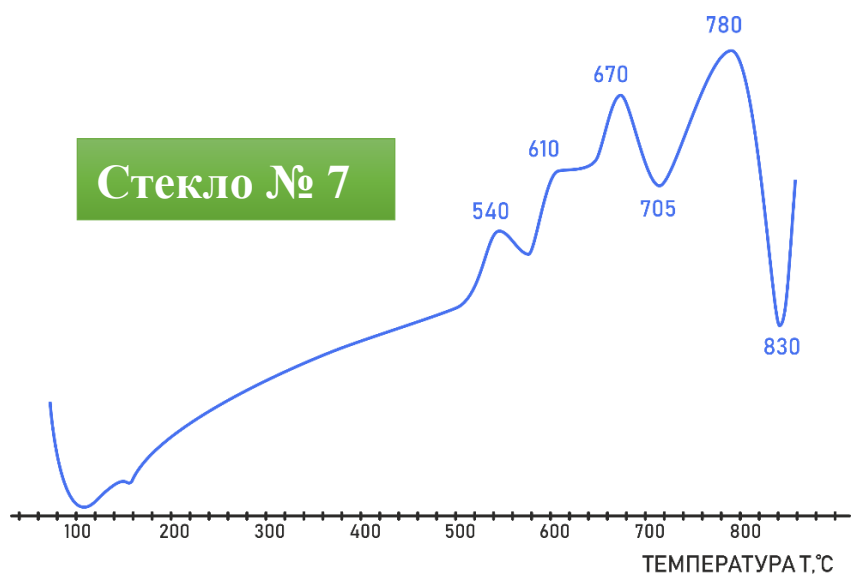
Стекло № 4



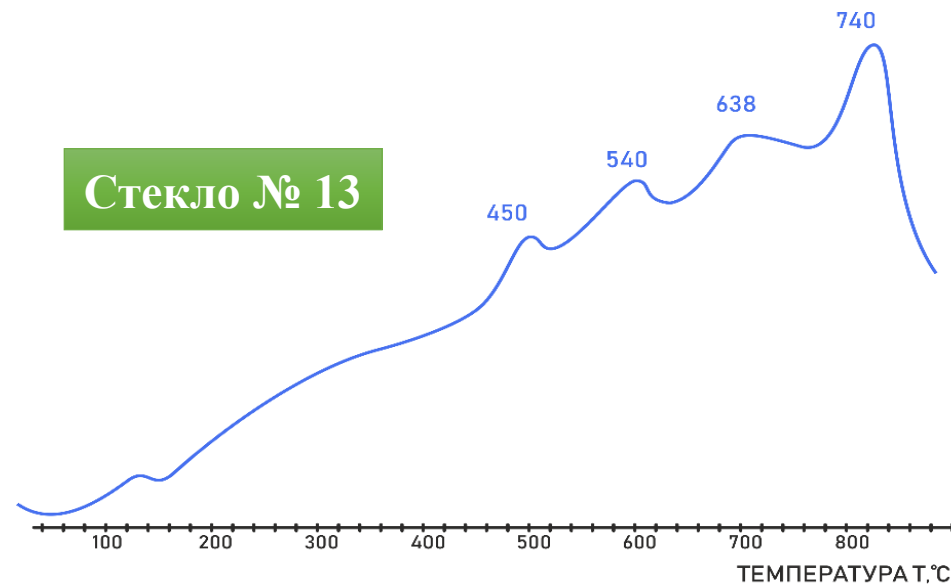
Стекло № 12



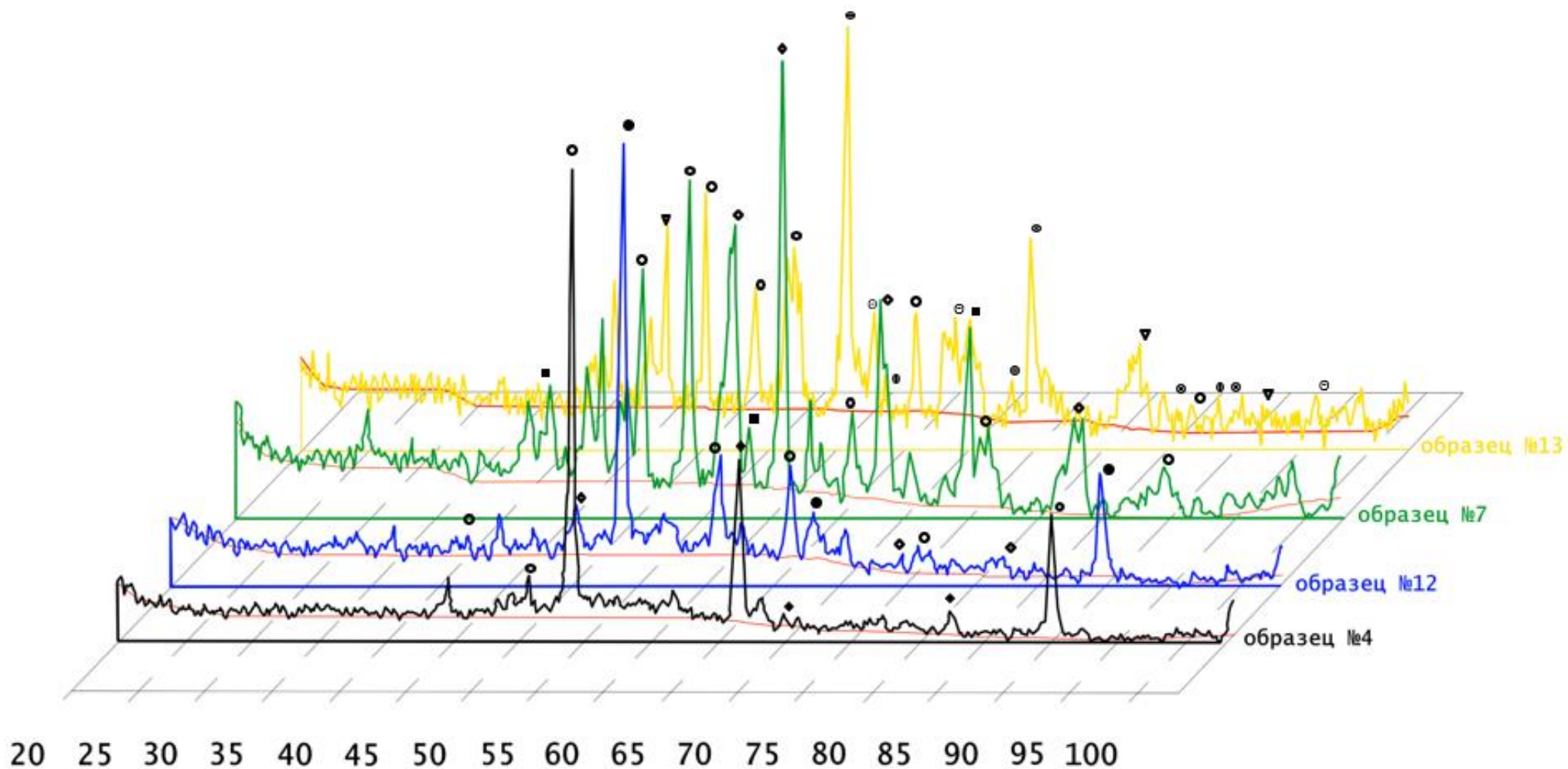
Стекло № 7



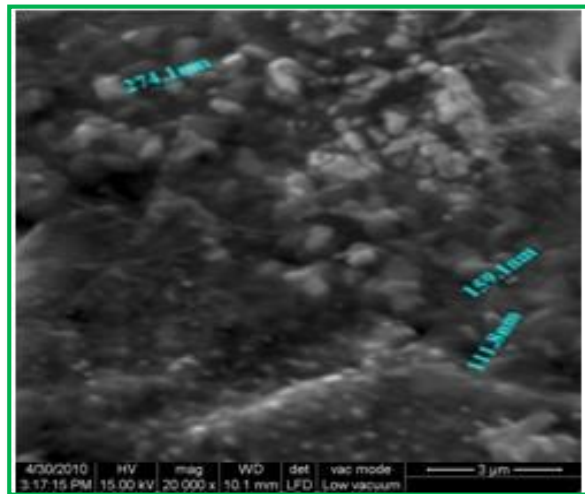
Стекло № 13



Рентгенограмма образцов № 4, № 12, № 13, № 17



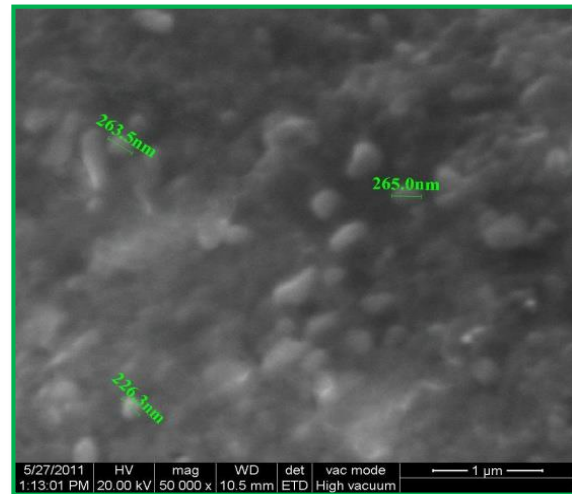
- | | | |
|--|---|--|
| ⊗ - Силлиманит (α - Al_2SiO_5); | ⊕ - Геленит ($\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$); | ◇ - Сфен (CaTiSiO_4); |
| ▽ - Анортит ($\text{CaAl}_2\text{SiO}_8$); | ○ - Волластонит (β - $\text{Ca}_3\text{Si}_3\text{O}_9$); | ● - Мервинит ($\text{Ca}_3\text{Mg}[\text{SiO}_4]_2$); |
| ⊖ - Геденбергит ($\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$); | ◆ - Перовскит (CaTiO_3); | ■ - Титал (Al_2TiO_5); |



а

образец 4

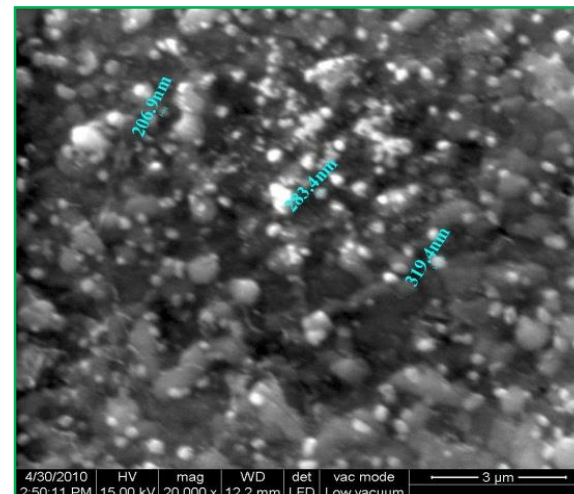
$(t_1 = 620^{\circ}\text{C}; t_2 = 790^{\circ}\text{C};$
 $\tau_1 = \tau_2 = 1 \text{ ч})$



б

образец 7

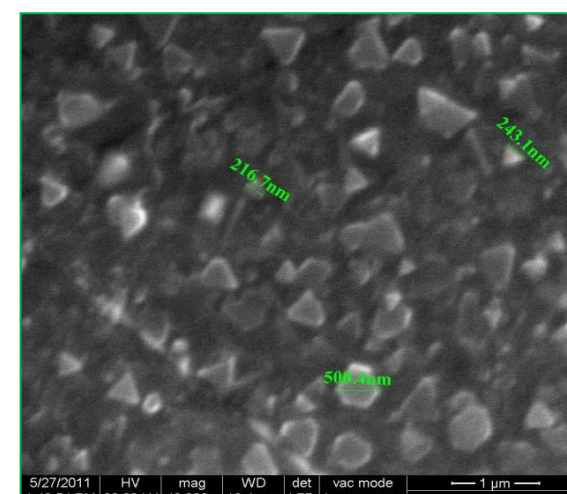
$(t_1 = 540^{\circ}\text{C}; t_2 = 780^{\circ}\text{C};$
 $\tau_1 = \tau_2 = 1 \text{ ч})$



в

образец 12

$(t_1 = 570^{\circ}\text{C}; t_2 = 753^{\circ}\text{C};$
 $\tau_1 = \tau_2 = 1 \text{ ч})$



г

образец 13

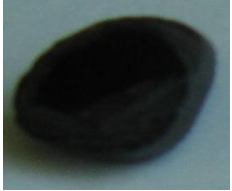




$(t_1 = 450^{\circ}\text{C}; t_2 = 740^{\circ}\text{C};$
 $\tau_1 = \tau_2 = 1 \text{ ч})$

Электронные микрофотографии шлакоситаллов

№ образца	Температуры термообработки, °С	Цвет материала	Фактура материала	Фотография образца
4	$t_1 = 620^{\circ}\text{C}$, $\tau_1 = 1$ час	Ярко-зеленый, прозрачный, блестящий	однородное, без пузырей, гладкое	
	$t_1 = 620^{\circ}\text{C}$, $t_2 = 640^{\circ}\text{C}$; $\tau_1 = \tau_2 = 1$ час	зеленый, прозрачный, блестящий	однородное, без пузырей, гладкое	
	$t_1 = 620^{\circ}\text{C}$, $t_2 = 690^{\circ}\text{C}$; $\tau_1 = \tau_2 = 1$ час	желто-зеленый, опалесценция	однородное, без пузырей, гладкое	
	$t_1 = 620^{\circ}\text{C}$, $t_2 = 790^{\circ}\text{C}$; $\tau_1 = \tau_2 = 1$ час	белый, матовый	однородное, без пузырей, гладкое	

Электронные микрофотографии шлакоситаллов

№ образца	Температуры термообработки, °С	Цвет материала	Фактура материала	Фотография образца
7	$t_1 = 540^{\circ}\text{C};$ $\tau_1 = 1 \text{ час}$	бесцветный, прозрачный	однородное, гладкое, наличие блеска	
	$t_1 = 540^{\circ}\text{C},$ $t_2 = 610^{\circ}\text{C};$ $\tau_1 = \tau_2 = 1 \text{ час}$	желтоватый, прозрачный	однородное, гладкое, наличие блеска	
	$t_1 = 540^{\circ}\text{C},$ $t_2 = 670^{\circ}\text{C};$ $\tau_1 = \tau_2 = 1 \text{ час}$	желтоватый, опалесценция	однородное, гладкое, без пузырей	
	$t_1 = 540^{\circ}\text{C},$ $t_2 = 780^{\circ}\text{C};$ $\tau_1 = \tau_2 = 1 \text{ час}$	белый	однородное, гладкое, без пузырей, матовое	

№ образца	Температуры термообработки, °C	Цвет материала	Фактура материала	Фотография образца
12	$t_1 = 570^{\circ}\text{C};$ $\tau_1 = 1 \text{ час}$	черный	однородное, гладкое, без пузырей, матовый	
	I – $t_1 = 570^{\circ}\text{C},$ $t_2 = 650^{\circ}\text{C};$ $\tau_1 = \tau_2 = 1 \text{ час}$	серый	однородное, гладкое, без пузырей, матовый	
	II – $t_1 = 570^{\circ}\text{C},$ $t_2 = 713^{\circ}\text{C};$ $\tau_1 = \tau_2 = 1 \text{ час}$	темно-бежевый	однородное, гладкое, без пузырей, матовый	
	III – $t_1 = 570^{\circ}\text{C},$ $t_2 = 753^{\circ}\text{C};$ $\tau_1 = \tau_2 = 1 \text{ час}$	темно-бежевый	однородное, гладкое, без пузырей, матовый	
	IV - $t_1 = 570^{\circ}\text{C},$ $t_2 = 777^{\circ}\text{C};$ $\tau_1 = \tau_2 = 1 \text{ час}$	темно-бежевый	однородное, гладкое, без пузырей, матовый	

Электронные микрофотографии шлакоситаллов

№ образца	Температуры термообработки, °С	Цвет материала	Фактура материала	Фотография образца
12	$t_1 = 450^{\circ}\text{C};$ $\tau_1 = 1 \text{ час}$	черный	однородное, гладкое, без пузырей, блестящий	
	$t_1 = 450,$ $t_2 = 540^{\circ}\text{C};$ $\tau_1 = \tau_2 = 1 \text{ час}$	черный	однородное, гладкое, без пузырей, блестящий	
	$t_1 = 450^{\circ}\text{C},$ $t_2 = 638^{\circ}\text{C};$ $\tau_1 = \tau_2 = 1 \text{ час}$	коричневый	однородное, гладкое, без пузырей, блестящий	
	$t_1 = 450^{\circ}\text{C},$ $t_2 = 780^{\circ}\text{C};$ $\tau_1 = \tau_2 = 1 \text{ час}$	серый	однородное, гладкое, без пузырей, матовый	


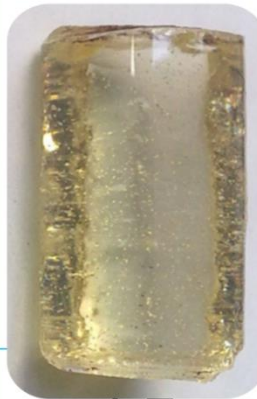








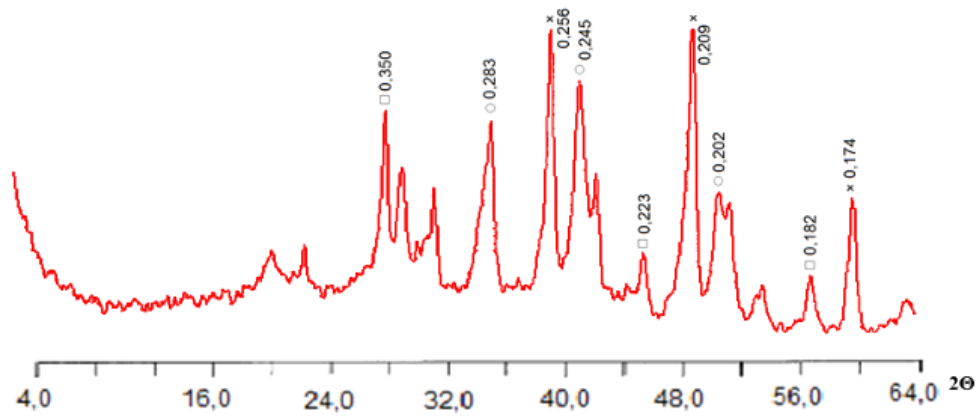
Разработка жаростойких ситалловых покрытий для нихромовых сплавов с использованием техногенного сырья

Наименование	Содержание компонентов, % (по массе)													
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	BaO	K ₂ O	Li ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MoO ₃	Fe ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	MnO ₂	Sb ₂ O ₃
Стекло на основе шлака БМК (№12)	40,100	26,402	1,985	8,834	1,985	4,764	4,467	2,779	7,927	0,011	0,715	0,014	0,010	0,001
													P ₂ O ₅	SO ₃
Стекло на основе шлака ГРЭС (№13)	40,206	17,481	1,203	6,994	-	2,469	6,992	6,992	8,741	-	8,793	-	0,079	0,050

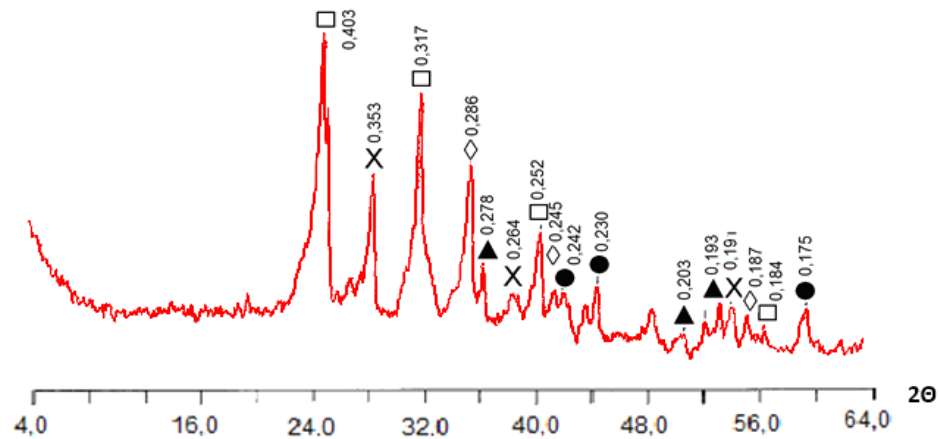


Серия	№	Содержание компонентов, мас. %												Σ, %
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	BaO	K ₂ O	Li ₂ O	TiO ₂	ZnO	Fe ₂ O ₃	MnO ₂	Na ₂ O	
I серия	0	37,90	26,60	2,00	8,10	2,00	4,80	7,30	6,30	5,00	-	-	-	100
	1	37,90	26,60	2,00	8,10	2,00	5,80	6,30	6,30	5,00	0,72	0,02	0,58	100
	2	37,90	26,60	2,00	8,10	2,00	4,80	7,30	6,30	5,00	0,72	0,02	0,58	100
	3	37,90	26,60	2,00	8,10	2,00	4,80	7,40	6,20	5,00	0,72	0,02	0,58	100
	4	37,90	26,60	2,00	8,10	2,00	4,80	7,50	6,10	5,00	0,72	0,02	0,58	100
	5	37,90	26,60	2,00	8,10	2,00	4,80	7,60	6,00	5,00	0,72	0,02	0,58	100
II серия	6	37,90	26,60	2,00	8,10	2,00	4,80	7,70	5,90	5,00	0,72	0,02	0,58	100
	7	37,90	26,60	2,00	8,10	2,00	4,80	7,80	5,80	5,00	0,72	0,02	0,58	100
	8	37,90	26,60	2,00	8,10	2,00	4,80	7,90	5,70	5,00	0,72	0,02	0,58	100
	9	37,90	26,60	2,00	8,10	2,00	4,80	8,00	5,60	5,00	0,72	0,02	0,58	100
	10	37,90	26,60	2,00	8,10	2,00	4,80	8,10	5,50	5,00	0,72	0,02	0,58	100
	11	37,90	26,60	2,00	8,10	2,00	4,80	8,20	5,40	5,00	0,72	0,02	0,58	100

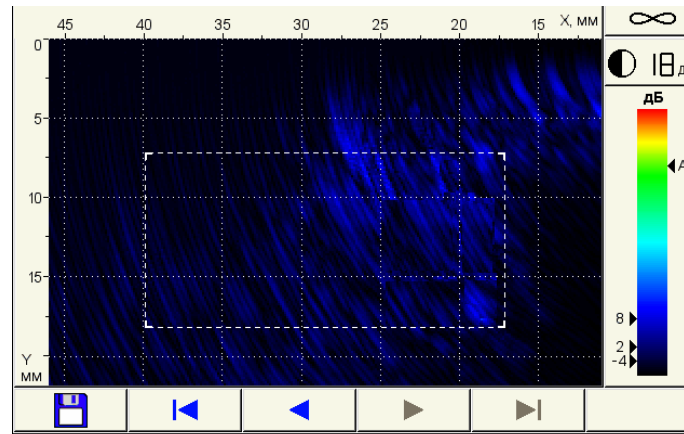
Наименование стекла	300...400°C	400...500°C	600...700°C	700...800°C
1 (ВПАП)				
2 (Шлак Новочеркасской ГРЭС)	500...600°C	600...700°C	700...800°C	700...800°C
				
	2-1	2-2	2-3	2-4



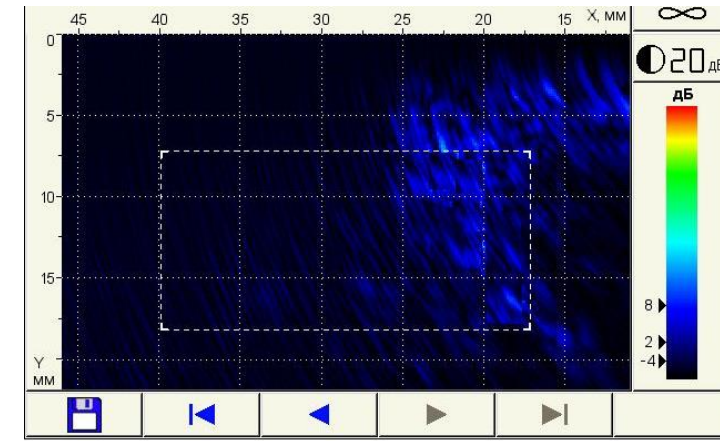
Рентгенофазовый анализ вторичного продукта алюминиевого



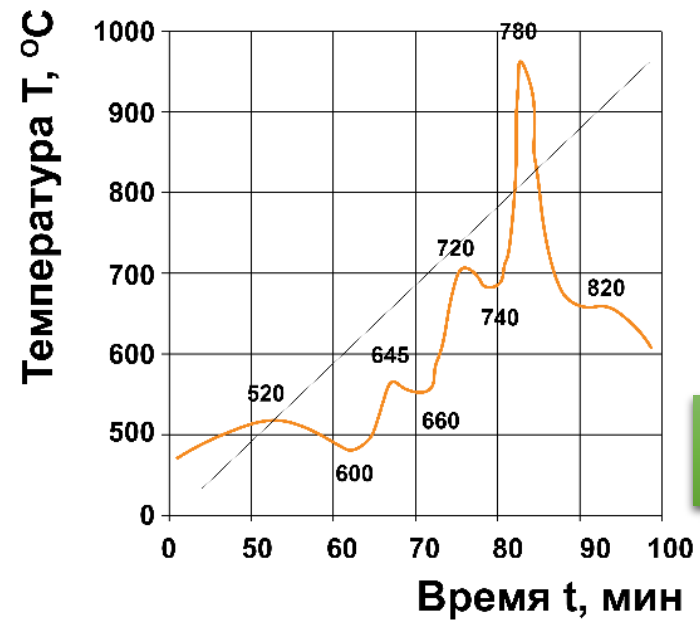
РФА стекломатрицы с использованием вторичного продукта



Исходное состояние



После термообработки при, °C: $t_1 = 520$; $t_2 = 780$, $\tau_1 = \tau_2 = 2$ часа

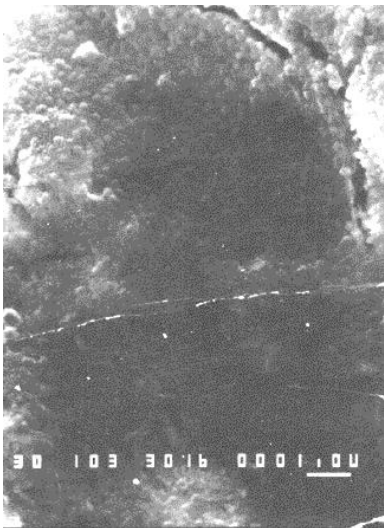


ДТА стекломатрицы на основе техногенного сырья

Разработка режима обжига покрытий

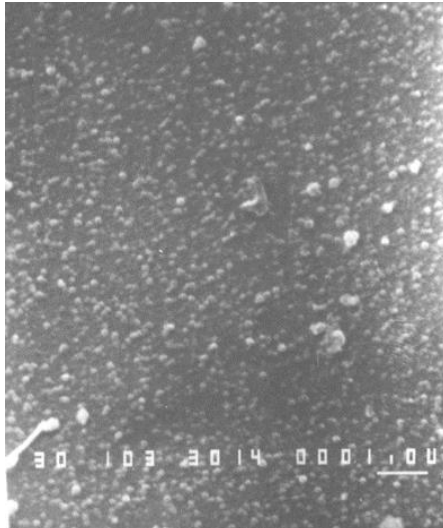
№ стекломатрицы	Добавки на помол CoO:NiO, %	Температура обжига, время выдержки	Состояние поверхности покрытия	Цвет
4	3:0	1080 ⁰ C, 3 мин	пористая, шероховатая	темно-синий
4	3:0	1090 ⁰ C, 3 мин	пористая, шероховатая	темно-синий
4	3:0	1100 ⁰ C, 3 мин	гладкая, блестящая	синий
4	3:0	1120 ⁰ C, 3 мин	гладкая блестящая, местами покрытие выгорает	темно-синий
4	2:1	1090 ⁰ C, 3 мин	рельефная, блестящая	светло-голубой
4	2:1	1100 ⁰ C, 3 мин	гладкая, блестящая	голубой
4	1:2	1070 ⁰ C, 5 мин	шероховатая	серо-голубой
4	1:2	1185 ⁰ C, 5 мин	шероховатая	серо-голубой
4	1:2	1090 ⁰ C, 3 мин	шероховатая	серо-голубой
4	1:2	1120 ⁰ C, 3 мин	гладкая, блестящая, местами покрытие выгорает	серо-голубой
4	0:3	1100 ⁰ C, 3 мин	относительно гладкая, блестящая	темно-бежевый
7	3:0	1090 ⁰ C, 3 мин	рельефная, блестящая	темно-зеленый
7	3:0	1100 ⁰ C, 3 мин	относительно гладкая, блестящая	темно-зеленый
7		1120 ⁰ C, 3 мин	относительно гладкая, блестящая, местами покрыти выгорает	темно-зеленый
7	2:1	1070 ⁰ C, 3 мин	шероховатая	серо-голубой
7	2:1	1100 ⁰ C, 3 мин	относительно гладкая, блестящая	серо-голубой
7	1:2	1070 ⁰ C, 3 мин	шероховатая	серо-зеленый
7	1:2	1080 ⁰ C, 3 мин	шероховатая, начался процесс остекловывания	серо-зеленый
7	0:3	1100 ⁰ C, 3мин	пористое, шероховатое	темно-бежевый

Электронная микроскопия структуры стекломатрицы и композиции нихром-покрытие



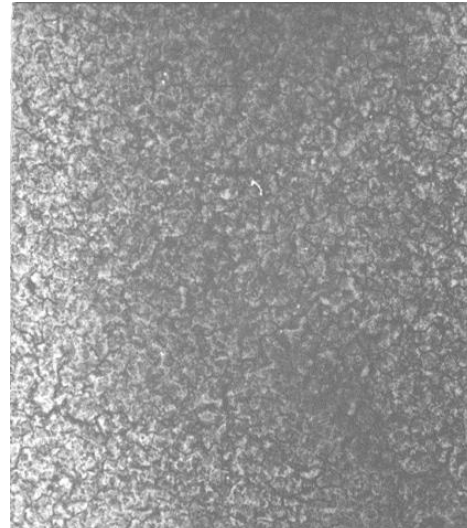
а

стекломатрица,
термообработанная
при $t=520\text{ }^{\circ}\text{C}$



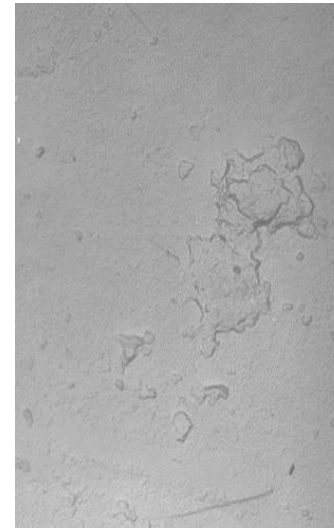
б

стекломатрица,
термообработанная
при $t=780\text{ }^{\circ}\text{C}$



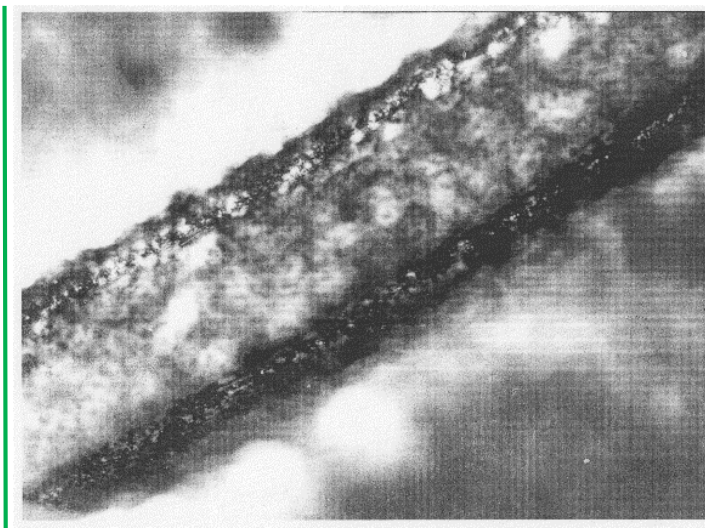
в

стекломатрица,
термообработанная
при $t=820\text{ }^{\circ}\text{C}$



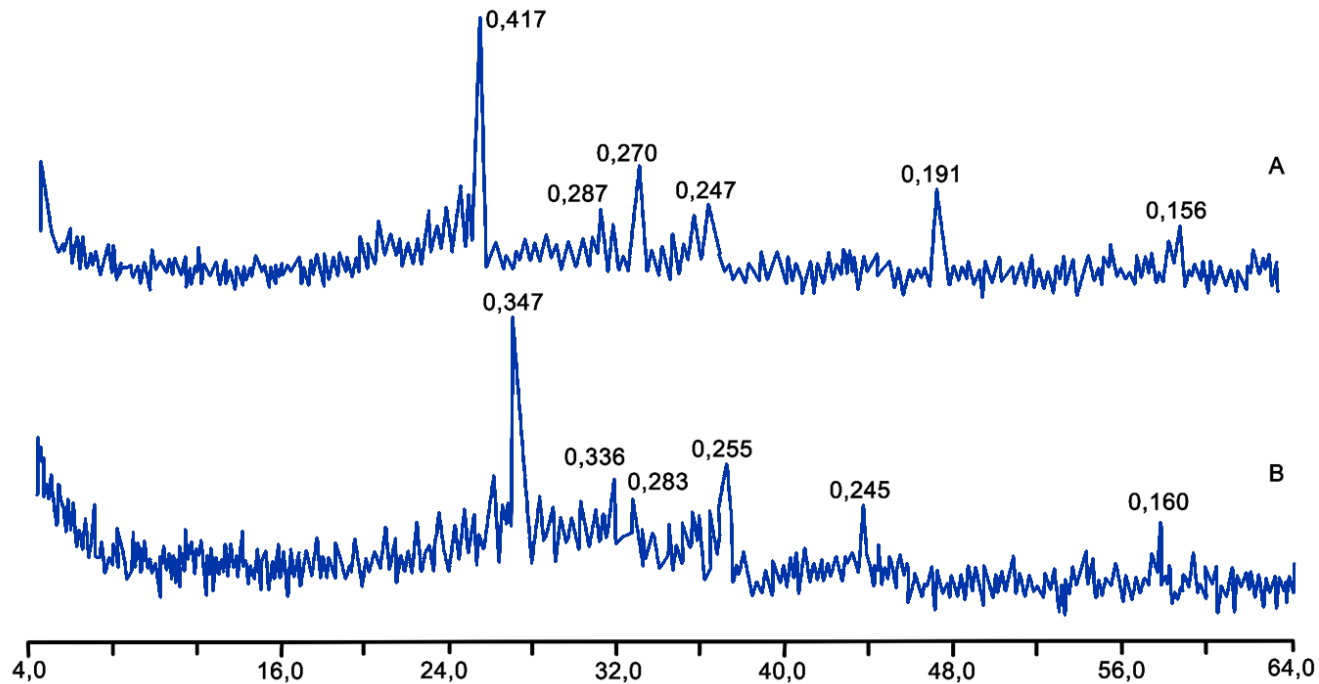
г

поверхность
ситаллового
покрытия

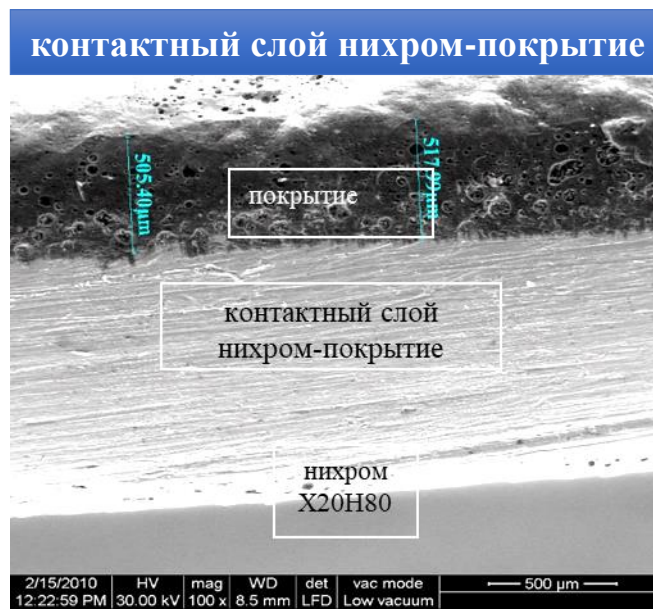


д

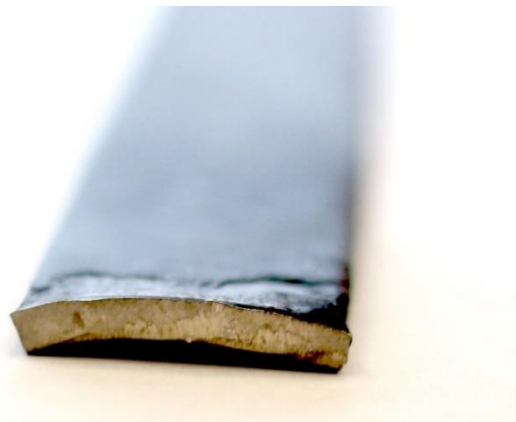
контактный слой
нихром-покрытие



РФА контактного слоя нихром-покрытие №1 (а) и №3 (б)



Покрyтия на основе техногенного сырья



Патенты

1. Лазарева Е.А., Климова Л.В. Цветное шлаковое стекло. Пат. 2420467 РФ. МПК С 03 С 6/106 С 03 С 4/02 № 2009147676/03 // заявл. 21.12.2009. опубл. 10.06.2011. Бюл. № 16.
2. Лазарева Е.А., Козлов Ю.И., Магомедов М.Г., Мамаева Ю.С., Воробьёв А.С. Агальцов А.Н.. Приходько Н.Ю. Декоративный стеклокристаллический материал. Пат. №2235073, РФ МКИ С03С10/06.-№2002111493; Заявл. 29.04.2002 г.; Опубл. 27.08.2004.
3. Лазарева Е.А., Мамаева Ю.С., Кирюшенко В.В., Яшкунов А.Г., Яшкунова Т.Н., Яшкунов С.А., Плотичина Л.И. Цветной стеклокристаллический материал. Пат. №2276114, РФ МКИ С03С10/06. - №2004136234/03; Заявл. 10.12.2004; Опубл. 10.05.2006.
4. Лазарева Е.А., Жадан Г.Ю. Способ изготовления художественно-декоративных стекломозаичных изделий. Пат. 2341380 РФ, МПК В 44 С 1/28 - № 2007123507/12 ; заявл. 22.06.2007 ; опубл. 20.12.2008.
5. А.с.1805101. Стеклокристаллическая эмаль жаростойкого покрытия/ А.П. Зубехин, Е.А. Лазарева (Манышева), В.П. Ратькова (Россия). Заявл. 29.11.90; опубл.30.03.93. Бюл. №12.
6. Патент №2209787. Жаростойкое ситалловое покрытие для нихромовых сталей и сплавов (Е.А.Лазарева, Ю.С.Мамаева и др. (Россия). Заявл. 17.01.200.2, опубл. 10.08.2003. Бюл. №22.
7. Патент №2275341. Жаростойкие стеклокристаллические покрытия с ситалловой структурой для нихромовых сталей и сплавов/ Е.А.Лазарева, Ю.С.Мамаева и др. (Россия). – Заявл. 20.12.2004, опубл. 27.04.2006.
8. Пат. №2183598 РФ МКИ С03С8/04, 8/04/. Шликер для получения жаростойкого ситаллового покрытия/ Зубехин А.П., Лазарева Е.А., Попова Л.Д., Волченко И.И. // Опубл. Б.И., 20.06.2002.



БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ!