

УДК 666.293

**Н.Л. Русанова**ПАО «Лысьвенский завод  
эмалированной посуды», Лысьва, Россия**Д.В. Саулин**Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь, Россия**ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СОСТАВА  
ДЕФЕКТНОГО СТЕКЛОЭМАЛЕВОГО ПОКРЫТИЯ  
В ОБЛАСТИ СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ**

*Рынок эмалированных изделий, таких как кухонная посуда, является весьма динамичным, поэтому производители эмалированных изделий постоянно занимаются разработкой новых составов стеклоэмалей, позволяющих произвести востребованные изделия с минимальными издержками. Основные проблемы заключаются в получении стеклоэмалевого покрытия без дефектов, обычно связанных с взаимодействием стеклоэмали в расплавленном состоянии с поверхностью металла, подготовленной на предыдущих стадиях производства.*

*В настоящей работе представлены результаты исследований структуры и состава дефектного стеклоэмалевого покрытия в области сварного соединения. При изготовлении образцов использовался холоднокатаный плоский прокат из стали для эмалирования марки DC 04 EK (DIN EN 10209–96) по двухслойной технологии эмалирования. Температура начала размягчения грунтовой стеклоэмали, использованной для изготовления образцов, была немного ниже, чем покровной стеклоэмали.*

*Исследования показали, что все образцы имеют закрытоячеистую структуру стеклоэмалевого покрытия. Размер пузырьков варьируется от нескольких микрон до нескольких сотен микрон. Более крупные пузырьки располагаются в грунтовом слое стеклоэмали а мелкие – в покровном. Причем пузырьки размером более 200 мкм, которые можно отнести к внутренним дефектам, обычно располагаются на границе металла и грунтовой эмали. Внутренняя поверхность крупных пузырьков обогащена атомами железа, содержание которых достигает 32–37 мас. %. Чем крупнее пузырек, тем выше содержание атомов железа на внутренней поверхности. Содержание атомов железа в массиве стеклоэмали рядом с границей этих пузырьков не превышает 9 мас. %. В свою очередь увеличение атомов железа на внутренней поверхности пузырьков соответствует обра-*

*зованию на ней структур, обогащенных атомами никеля. Анализ изменения состава внутренней поверхности зоны роста крупных пузырьков позволил сделать предположение о термическом механизме роста пузырьков во время нахождения стеклоэмали в пиропластичном состоянии, а ее ячеистая структура будет способствовать данному процессу. Состав внутренней поверхности пузырьков покровной эмали практически соответствует составу массива покровной эмали, следовательно, процессы, протекающие при росте пузырьков внутри слоя покровной эмали, отличаются от процессов при их росте в слое грунтовой эмали.*

**Ключевые слова:** *стеклоэмалевое покрытие, ячеистая структура, дефекты, сварное соединение, состав стеклоэмалевого покрытия, образование структур.*

**N.L. Rusanova**

Lysva Plant of Enameled Cookware JSC,  
Lysva, Russian Federation

**D.V. Saulin**

Perm National Research Polytechnic University,  
Perm, Russian Federation

## **INVESTIGATION OF DEFECTED GLASS-ENAMEL COATING STRUCTURE AND COMPOSITION NEAR WELDING JOINTS**

*Well known, that the markets of an enameled products, such as cookware, is a very dynamic. Therefore, all manufacturers of enameled products are constantly making a new composition of enamels, which allow produce a new products with a minimal cost. The glass-enamel coating of steel surface without defects is a main problem of a glass-enamel coating synthesis, because of interactions between molten enamels and steel surface, which has been prepared at previous stages of production.*

*The results of investigation of defected glass-enamel coating structure and composition nearly welding joints are presented in this article. Samples for investigation have been made from the cold-rolled steel DC 04 EK (DIN EN 10209-96) under double layer enameling technology. Enamel softening temperature of the ground coat layer has been slightly lower than the enamel softening temperature of the cover coat layer.*

*An investigation has shown that all samples have a closed cell structure of enamel coating. The size of bubbles has been varied from several microns up to several hundred microns. Large bubbles have been located in the enamel ground layer, and small bubbles have been located in the cover coat layer of enamel, mainly. A large bubbles, which have size more than 200 microns (internal defects of enamel coating), has been lo-*

*cated at the border of the metal and the enamel ground layer, mainly. The internal surface of large bubbles has been enriched by the Fe-atoms up to 32-37%wt. The larger bubbles have higher concentration of the Fe-atoms in the inner surface than smaller bubbles. However, concentration of the Fe-atoms does not exceed 9%wt. for the continuous enamel-field near these bubbles edges. Also, increasing of the Fe-atoms concentration at the inner surface of bubbles corresponds to formation of the Ni-atoms enriched structures at the inner surface of bubbles. Results of enamel composition analysis of large bubbles inner surface at its growth area has been allow suppose about thermal mechanism of bubbles growth inside enamel layer during pyroplastic state of enamel. The cell structure of enamel will be promoted of this process. The composition of bubbles inner surface inside of the cover enamel layer has not differed from the continuous cover enamel-field composition, practically. Therefore, bubbles growth processes inside of cover coat layer of enamel has differ from bubbles growth processes inside of ground coat layer of enamel.*

**Keywords:** *glass-enamel coating, cell structure, defects, welding joint, composition of glass-enamel coating, structures formation.*

Стеклоэмалевым покрытием называется стекловидно застывшая неорганическая масса, состоящая преимущественно из оксидов, и нанесенная плавлением на поверхность металла в один или несколько слоев [1]. Данные покрытия позволяют обеспечить эффективную защиту металла от агрессивных сред, защиту от низкотемпературной и высокотемпературной коррозии, их поверхность легко очищается от загрязнений, они имеют высокую твердость и износостойкость, обладают биологической инертностью, обеспечивают превосходные эстетические цветовые свойства поверхности изделий и т.д. [2, 3]. Область применения стеклоэмалевых покрытий достаточно широка: от предметов домашнего обихода до изделий, используемых в транспорте, промышленности и строительстве. В зависимости от условий применения изделия стеклоэмалевое покрытие должно обеспечивать весь набор требуемых от покрытия свойств, а ее свойства должны соответствовать свойствам металла при специфических условиях применения изделия, так как стеклоэмаль, как и стекло, имеет достаточно высокую хрупкость.

Основными способами достижения требуемых свойств стеклоэмалевого покрытия являются изменение ее состава за счет добавок оксидов металлов, внесение нерастворяющихся в стеклоэмали твердых частиц [4], а также формирование заданной структуры покрытия. Например, в случаях невозможности создания однослойного стеклоэмалевого покрытия, обеспечивающего весь набор требуемых свойств, применяется

многослойное стеклоэмалевое покрытие с грунтовым и покровными слоями. Грунтовый слой стеклоэмали обеспечивает высокую адгезию стеклоэмалевого покрытия к металлу, а слои покровной стеклоэмали – весь требуемый от готового изделия набор свойств. При этом, несмотря на многочисленные разработки составов эмалей и даже наличия стандартов по составам стеклоэмалей (ГОСТ 24405–80), изготовители эмалированных изделий постоянно занимаются разработкой новых составов с целью производства востребованного на рынке ассортимента изделий с минимальными издержками. Разработка собственных составов стеклоэмалей является весьма сложным процессом, состоящим из нескольких этапов. При этом особое внимание обращается на заключительный процесс наплавления стеклоэмалей на поверхность металла, так как данный процесс в значительной мере определяет качество и потребительские свойства готовых изделий. Основные проблемы данного этапа заключаются в получении стеклоэмалевого покрытия без дефектов, связанных с взаимодействием стеклоэмали в расплавленном состоянии с поверхностью металла, подготовленной на ранних стадиях производства, в ходе которого могут образоваться различные неравномерности покрытия и дефекты. Известно, что данные дефекты обычно локализуются в местах отклонения характеристик поверхности покрываемого листа от характеристик остальной поверхности листа, возникшими, например, в ходе сварки или вследствие ее загрязнения органическими и неорганическими веществами [5].

Целью данной работы являлось исследование состава и структуры стеклоэмалевого покрытия по толщине слоя на дефектном участке покрытия в области сварного соединения при разработке новых составов стеклоэмалей.

### **Результаты экспериментов и их обсуждение**

В качестве исследуемых образцов использовались экспериментальные покрытия, полученные по классическому двухслойному двухобжиговому процессу. В качестве основы покрытия использовался холоднокатаный плоский прокат из стали для эмалирования марки DC 04 EK по DIN EN 10209–96. Температура начала размягчения грунтовой стеклоэмали, использованной для изготовления образцов, была немного ниже, чем покровной стеклоэмали. Анализ структуры и состава стеклоэмалевого покрытия по толщине проводился с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) высокого разрешения S-3400N японской

фирмы Hitachi с рентгенофлуоресцентной приставкой фирмы «Брукер» (Германия). В связи с особенностями структуры стеклоэмалевого покрытия подготовку (распил) образцов производили сухим методом.

Предварительные результаты микроскопии реза стеклоэмалевого покрытия показали его закрытоячеистую структуру (рис. 1) с отдельными ячейками размером от 5 до 50 мкм, типичную для используемых в исследованиях фритт и режимов термической обработки исследуемых образцов. Как видно на угловом сколе стеклоэмалевого покрытия (рис. 2), основное количество крупных ячеек располагалось в грунтовом слое стеклоэмали, а мелких – в слое покровной стеклоэмали.

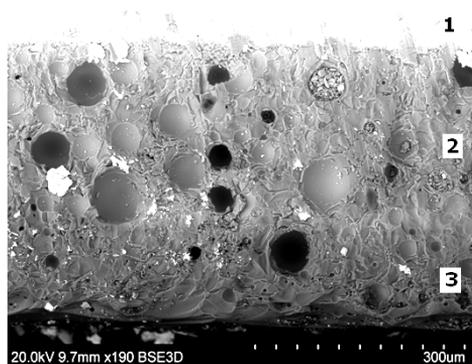


Рис. 1. Структура стеклоэмалевого покрытия с использованием СЭМ:  
1 – металл; 2 – грунтовая эмаль;  
3 – покровная эмаль

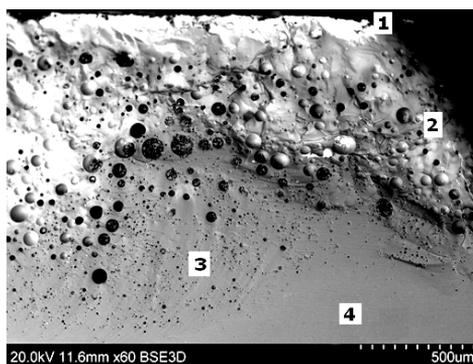


Рис. 2. Угловой скол стеклоэмалевого покрытия: 1 – металл; 2 – грунтовая эмаль; 3 – покровная эмаль; 4 – поверхность покровной эмали

В некоторых случаях внутри слоя стеклоэмалевого покрытия опытных образцов встречались большие ячейки (пузыри) размером до 150–200 мкм (рис. 3) и даже значительно больше, которые преимущественно располагались на границе металла и грунтовой эмали. При этом на микрофотографиях СЭМ в режиме BSE, на внутренней поверхности этих пузырей обычно наблюдались структуры, похожие на продукты образования новых фаз элементов с высоким атомным номером.

Наличие пузырей более 200 мкм в слое стеклоэмали можно отнести к внутренним дефектам стеклоэмалевого покрытия [5], поэтому одной из целей настоящей работы являлась задача определить наличие связи между фактом образования пузырей и составом стеклоэмалевого покрытия в зоне их образования.

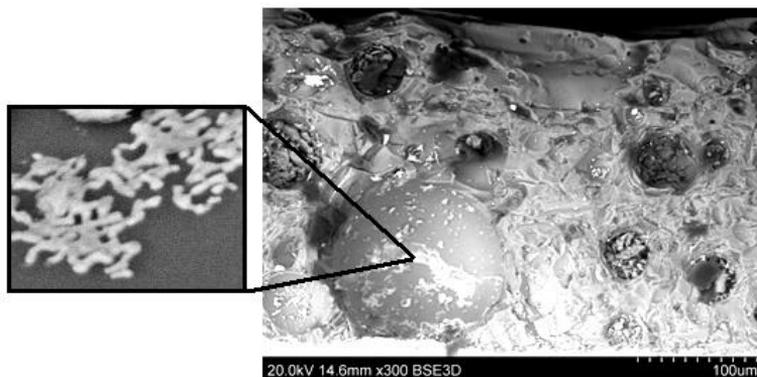
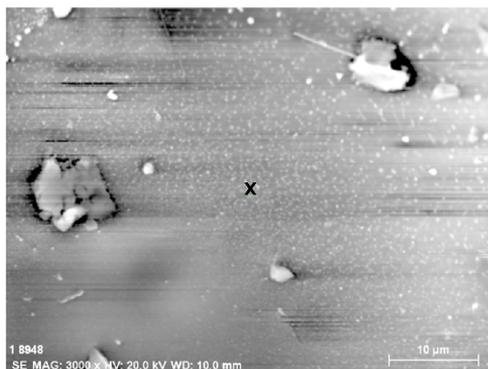


Рис. 3. Структура стеклоэмалевого покрытия с использованием СЭМ

Результаты анализа внутренней поверхности пузыря размером 200 мкм, находящегося в слое грунтовой эмали (рис. 4), показали большое содержание атомов железа (37,2 мас. %), но при этом содержание железа в массиве грунтовой стеклоэмали рядом с границей данного пузыря составляло всего 7,5 мас. % (рис. 5).



El	AN	Series	Net un.	C norm.	C Atom.	C Error (1 Sigma)
			[wt. %]	[wt. %]	[at. %]	[wt. %]
O	8	K-series	99036	30,79	30,35	52,29
Na	11	K-series	36683	9,04	8,91	10,69
Al	13	K-series	18205	2,26	2,22	2,27
Si	14	K-series	155895	13,34	13,15	12,90
K	19	K-series	9318	0,87	0,86	0,61
Ca	20	K-series	20005	2,15	2,12	1,46
Mn	25	K-series	2736	0,51	0,50	0,25
Fe	26	K-series	166202	37,76	37,21	18,37
Ni	28	K-series	2695	0,86	0,84	0,40
Ba	56	L-series	20964	3,89	3,83	0,77
Total:			101,47	100,00	100,00	

Рис. 4. Результаты анализа внутренней поверхности пузыря размером 200 мкм (крестиком обозначена точка анализа)

Повышенное содержание атомов железа в слое грунтовой стеклоэмали может быть следствием растворения оксидной пленки с поверхности металла, образовавшейся при сварке металла (рис. 6). При этом пятикратное превышение концентрации атомов железа на внутренней поверхности пузырька относительно их концентрации в приграничном слое данного пузырька, вероятно, связано с протеканием других процессов, например процессов кристаллизации фаз, обогащенных атомами железа [6, 7].



Рис. 5. Результаты анализа массива стеклоэмали рядом с границей пузыря размером 200 мкм (крестиком обозначена точка анализа)

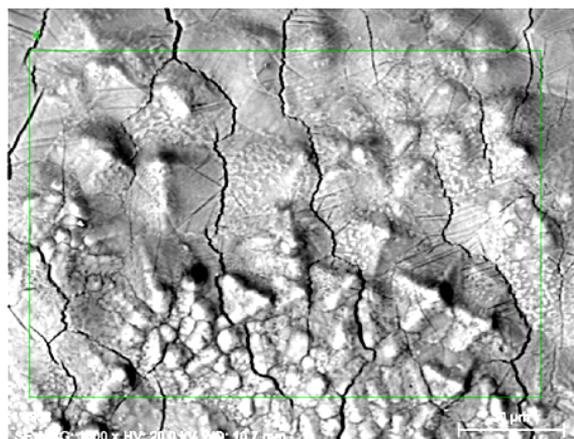


Рис. 6. Микрофотография поверхности точки сварки

В связи с тем, что стеклоэмаль содержит пузырьки различных размеров, были проведены исследования внутренней поверхности небольших пузырьков размером менее 15 мкм, средних пузырьков размером от 15 до 50 мкм, а также пузырьков 200 мкм и более. Результаты исследований показали, что содержание атомов железа на внутренней поверхности пузырька размером 12 мкм (7,7 мас. %) близко к содержанию атомов железа в массиве эмали (7,5 мас. %). Внутренняя поверхность пузырька размером 30 мкм обогащена атомами железа (19,4 мас. %), однако их содержание меньше количества атомов железа на внутренней поверхности пузырька размером около 200 мкм (см. рис. 4), составляющего 37,2 мас. %. Таким образом, результаты анализов внутренней

поверхности пузырьков в слое грунтовой стеклоэмали показали наличие корреляции между размером пузырьков и содержанием атомов железа на его внутренней поверхности (рис. 7), однако рост концентрации атомов железа прекращается при достижении величины 32–37 мас. %. Например, анализ внутренней поверхности пузыря размером около 800 мкм, находящегося в слое грунтовой эмали, показал наличие 35,2 мас. % атомов железа. При этом структуры, содержащие элементы с высоким атомным номером, наблюдались только на внутренней поверхности пузырей размером 150–200 мкм и более. Необходимо отметить, что концентрация атомов железа в массиве стеклоэмали рядом с границей пузырьков во всех случаях не превышала 9 мас. %.

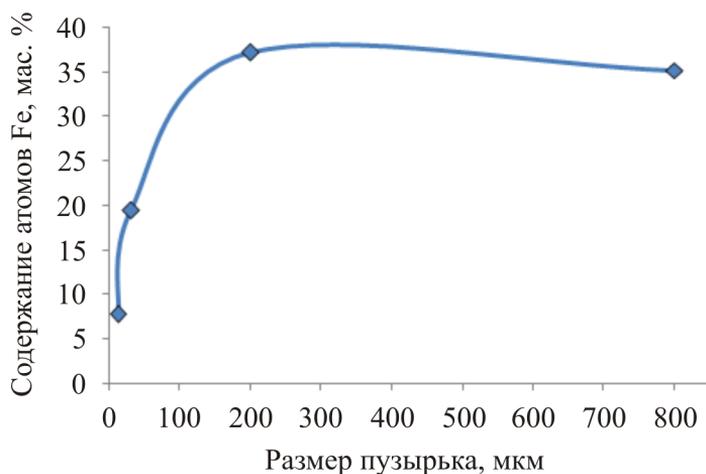
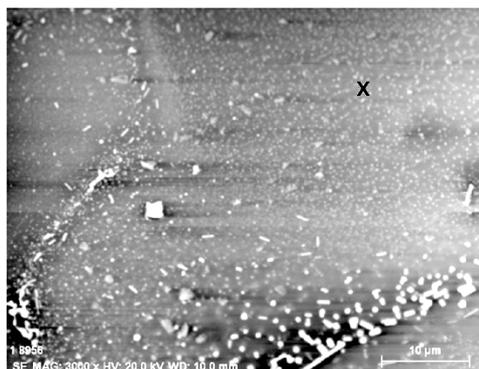


Рис. 7. Зависимость содержания атомов железа на внутренней поверхности пузырьков слоя грунтовой стеклоэмали от их размеров

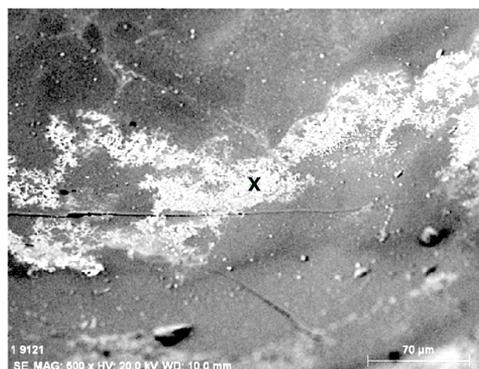
Таким образом, можно сделать выводы о том, что на внутренней поверхности пузырьков слоя грунтовой стеклоэмали происходят процессы, приводящие к ее обогащению атомами железа, причем, чем больше размер пузырька, тем выше концентрация атомов железа. Кроме того, при достижении их некоторой концентрации атомов железа, на внутренней поверхности пузырьков начинают происходить процессы образования структур, которые видно на микрофотографиях СЭМ в виде светлых разводов, точек, палочек и пятен (рис. 8). На внутренней поверхности пузырьков небольших размеров, где содержание атомов железа меньше, данных структур не наблюдается.



El	AN	Series	Net unkn.	C norm.	C Atom.	C Error (1 Sigma)
			[wt. %]	[wt. %]	[at. %]	[wt. %]
O	8	K-series	123963	40,22	34,62	57,22
Na	11	K-series	42944	10,73	9,24	10,62
Al	13	K-series	20447	2,58	2,22	2,18
Si	14	K-series	146820	12,78	11,00	10,36
K	19	K-series	12562	1,17	1,01	0,68
Ca	20	K-series	14898	1,63	1,40	0,92
Mn	25	K-series	532	0,11	0,10	0,05
Fe	26	K-series	155834	41,26	35,52	16,82
Ni	28	K-series	2370	0,92	0,79	0,36
Ba	56	L-series	24365	4,77	4,10	0,79
Total:			116,18	100,00	100,00	

Рис. 8. Результаты анализа внутренней поверхности пузырька размером 800 мкм (крестиком обозначена точка анализа)

Однако результаты анализов «светлых разводов» на внутренней поверхности пузырька размером 200 мкм, которые видны на микрофотографиях СЭМ в режиме BSE (см. рис. 3), показали их значительное обогащение не атомами железа, а атомами никеля при относительно небольшом количестве атомов железа (рис. 9).



El	AN	Series	Net unkn.	C norm.	C Atom.	C Error (1 Sigma)
			[wt. %]	[wt. %]	[at. %]	[wt. %]
O	8	K-series	133644	35,00	37,30	61,64
Na	11	K-series	29877	7,30	7,78	8,95
Al	13	K-series	12350	1,45	1,55	1,52
Si	14	K-series	113331	8,98	9,57	9,01
S	16	K-series	7739	0,63	0,67	0,55
K	19	K-series	5294	0,45	0,48	0,32
Ca	20	K-series	11187	1,10	1,17	0,77
Fe	26	K-series	29448	5,80	6,18	2,93
Co	27	K-series	7140	1,84	1,96	0,88
Ni	28	K-series	75980	22,66	24,16	10,88
Cu	29	K-series	8447	3,26	3,47	1,45
Ba	56	L-series	31000	5,35	5,71	1,10
Total:			93,82	100,00	100,00	

Рис. 9. Результаты анализа «светлых разводов» на внутренней поверхности пузырька размером 200 мкм (крестиком обозначена точка анализа)

Таким образом, грунтовая стеклоэмаль на внутренней поверхности пузырьков размером 150–200 мкм и более значительно обогащена атомами железа при незначительном количестве атомов никеля, на поверхности которой присутствуют структуры, обогащенные никелем при относительно небольшом количестве атомов железа. Вероятнее всего это связано с процессами растворения и кристаллизации соединений железа и никеля в оксидной системе грунтовой стеклоэмали при ее обжиге. Однако для подтверждения гипотезы о кристаллизации тре-

буется проведение дополнительных исследований фазового состава системы, необходимость которых связана с тем, что любые процессы кристаллизации в стекле значительно изменяют его свойства, и это может негативно сказаться на свойствах всего покрытия.

Сделанная с помощью СЭМ микрофотография внутренней поверхности зоны роста пузырька размером около 900 мкм позволила обнаружить на ней линии структур, обогащенных никелем, которые ограничивали темные поля, где данных структур не наблюдалось (рис. 10). Если учесть ячеистую структуру стеклоэмалевого покрытия, сквозь которую происходит рост крупного пузырька, и особенность состава внутренней поверхности пузырьков различных размеров, то можно предположить, что темные поля соответствуют более мелким пузырькам, захваченным крупным пузырьком в ходе его роста. В данном случае в процессе объединения пузырьков, обогащенные атомами никеля структуры, расположенные над местом присоединения мелкого пузырька, будут раздвинуты полем, соответствующим внутренней поверхности мелкого пузырька.

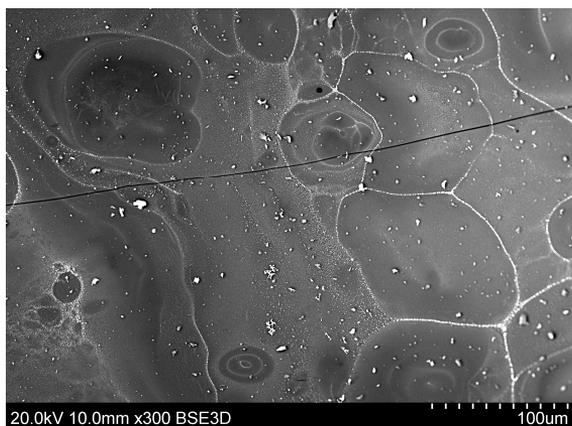


Рис. 10. Микрофотография растущей поверхности пузырька размером 900 мкм

Данную гипотезу подтверждают результаты анализа внутренней поверхности пузырька размером около 900 мкм в зоне роста (рис. 11). Как видно по результатам анализа поля, ограниченного прямоугольником, среднее содержание атомов железа в данной области составляет всего 2,8 мас. %, что много меньше содержания атомов железа на поверхности пузырьков размером 150–200 мкм и более.

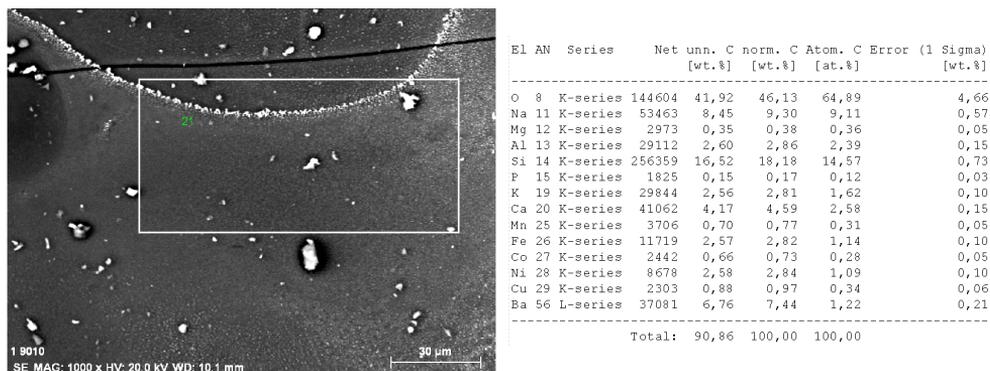


Рис. 11. Результаты анализа внутренней поверхности пузырька размером 700 мкм в зоне его роста (прямоугольником обозначено поле анализа)

Таким образом, увеличению размера пузырька, первоначально образовавшегося в слое стеклоэмалевого покрытия по какой-либо причине [5], способствует ее ячеистая структура. Причем, чем больший размер будет у первоначального пузырька и чем большее количество мелких пузырьков будет захвачено большим пузырьком в процессе его роста, тем большее количество газов будет находиться в его атмосфере и тем больше будет его относительное увеличение, связанное с объемным температурным расширением газа при обжиге. Следовательно, увеличению размеров внутренних дефектов слоя грунтовой стеклоэмали будет способствовать количество обжигов стеклоэмалевого покрытия, длительность обжига, пиропластичные свойства стеклоэмали, а также распределение и размер пузырьков внутри слоя. При этом необходимо отметить, что одновременно с ростом пузырька на его внутренней поверхности происходят процессы, связанные с увеличением концентрации атомов железа, вероятно, растворенного с поверхности покрываемого металла, а также образование структур, обогащенных атомами никеля.

В отличие от грунтовой стеклоэмали преимущественный размер пузырьков в слое покровной эмали составляет 3–10 мкм, причем их содержание в массиве стеклоэмали относительно невелико, однако встречаются пузырьки и относительно больших размеров. Как видно по результатам анализа внутренней поверхности пузырька размером около 75 мкм (рис. 12), ее состав значительно отличается от состава грунтовой эмали, т.е. этот пузырек образовался именно в слое покровной эмали, а не поднялся из слоя грунта. Содержание атомов железа на поверхности данного пузырька составляет 3,8 мас. %.

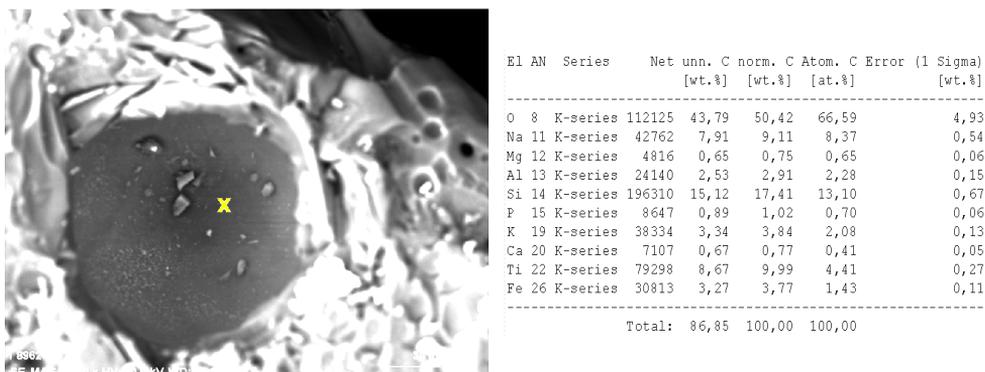


Рис. 12. Результаты анализа внутренней поверхности пузырька размером около 75 мкм в слое покровной эмали (крестиком обозначена точка анализа)

Согласно результатам анализа массива покровной эмали (рис. 13), измеренное содержание атомов веществ в массиве эмали близко к содержанию атомов веществ на внутренней поверхности достаточно большого пузырька размером около 75 мкм. Это не соответствует тенденциям для пузырьков в слое грунтовой эмали, внутренняя поверхность которых обычно обогащена железом, и чем больше размер пузырька, тем больше содержание атомов железа на их поверхности. Таким образом, можно сделать вывод о том, что процессы, протекающие при росте пузырьков внутри слоя покровной эмали, отличаются от процессов при их росте в слое грунтовой эмали.

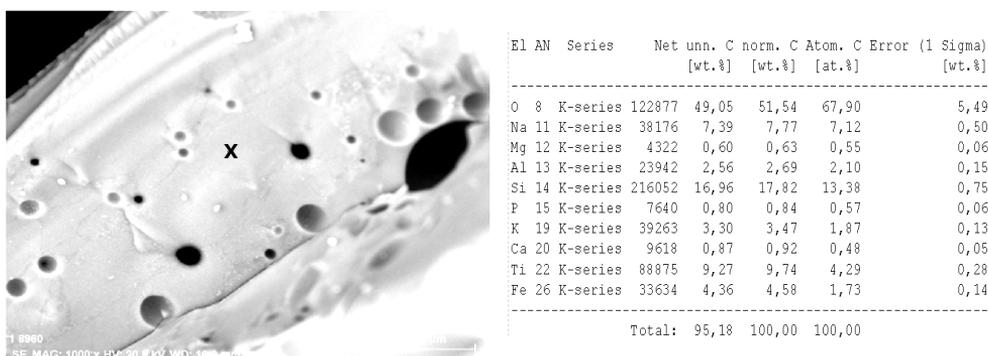


Рис. 13. Результаты анализа массива покровной эмали (крестиком обозначена точка анализа)

## Выводы

1. Внутренние дефекты стеклоэмалевого покрытия (пузырьки размером 150–200 мкм и более) в исследуемых экспериментальных образцах были расположены в слое грунтовой эмали.

2. Увеличению размера пузырьков в слое грунтовой эмали способствует его ячеистая структура.

3. Внутренняя поверхность пузырьков в слое грунтовой эмали обычно обогащена атомами железа, причем, чем больше размер пузырька, тем выше их содержание. В свою очередь увеличение атомов железа на внутренней поверхности пузырьков соответствует образованию на ней структур, обогащенных атомами никеля.

4. Состав внутренней поверхности пузырьков покровной эмали практически соответствует составу массива покровной эмали, следовательно, процессы, протекающие при росте пузырьков внутри слоя покровной эмали, отличаются от процессов при их росте в слое грунтовой эмали.

## Список литературы

1. Кузнецов М.В. Противокоррозионная защита трубопроводов резервуаров. – М.: Недра, 1992. – 240 с.

2. Жаростойкие покрытия для защиты стальных проточных теплообменников / Ю.Д. Баринов [и др.] // Тр. 12-го Всесоюз. совещ. по жаростойким покрытиям. – Л.: Наука, 1987. – С. 126–128.

3. Majumdar A., Jana S. Glass and glass–ceramic coatings, versatile materials for industrial and engineering applications // Bull. Mater. Sci. – 2001. – Vol. 24, No. 1. – P. 69–77.

4. Структурно-логическая схема формирования защитного покрытия в системе «стекло – сталь» / Ю.Л. Савин [и др.] // Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. Наука и прогресс транспорта. – 2010. – № 31. – С. 193–197.

5. Петцольд А., Пешманн Г. Эмаль и эмалирование: справ.: пер. с нем. – М.: Металлургия, 1990. – 576 с.

6. Development of Iron Oxide-Rich Frits and Glazes for Application on Ceramic Tiles / G.A. Rosales, T. Poirier, J.P. Cosp, J. Lira-Olivares<sup>1</sup>, J.B. Carda Castello // Interceram: International Ceramic Review. – 2011. – № 1. – P. 48–52.

7. Effect of Fluxing Additives in Iron-rich Frits and Glazes in the  $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{--SiO}_2\text{--CaO--Al}_2\text{O}_3$  System / G. Rosales-Sosa, T. Poirier, J. Lira-Olivares, J.B. Carda-Castello // *Interceram: International Ceramic Review*. – 2013. – № 2. – P. 126–130.

### References

1. Kuznetsov M.V. Protivokorroziionnaya zashchita truboprovodov rezervuarov [Corrosion protection of pipelines and tanks]. Moscow: Nedra, 1992. 240 p.

2. Barinov Ju.D. [et al.]. Zharostojkie pokrytiya dlya zashchity stal'nykh protochnykh teploobmennikov [Heat-resistant coatings for steel plate heat exchanger protection]. *Trudy 12-go Vsesoyuznogo soveshchaniya po zharostojkim pokrytiyam*. Leningrad: Nauka, 1987, pp. 126–128.

3. Majumdar A., Jana S. Glass and glass–ceramic coatings, versatile materials for industrial and engineering applications. *Bull. Mater. Sci.*, 2001, vol. 24, no. 1, pp. 69–77.

4. Savin Ju.L. [et al.]. Strukturno-logicheskaya skhema formirovaniya zashchitnogo pokrytiya v sisteme «steklo-stal'» [Structurally-logic diagram for a protective coating forming in the "glass-steel" system]. *Vestnik Dnepropetrovskogo natsional'nogo universiteta zheleznodorozhnogo transporta. Nauka i progress transporta*, 2010, no. 31, pp. 193–197.

5. Pettsol'd A., Peshmann G. Emal' i emalirovanie [Enamel and enamelling]. Moscow: Metallurgiya, 1990. 576 p.

6. Rosales G.A., Poirier T., Cosp J.P., Lira-Olivares J., Carda Castello J.B. Development of Iron Oxide-Rich Frits and Glazes for Application on Ceramic Tiles. *Interceram: International Ceramic Review*, 2011, no. 1, pp. 48–52.

7. Rosales-Sosa G., Poirier T., Lira-Olivares J., Carda-Castello J.B. Effect of Fluxing Additives in Iron-rich Frits and Glazes in the  $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{--SiO}_2\text{--CaO--Al}_2\text{O}_3$  System. *Interceram: International Ceramic Review*, 2013, no. 2, pp. 126–130.

Получено 22.12.2015

### Об авторах

**Русанова Наталья Леонидовна** (Лысьва, Россия) – главный технолог ПАО «Лысьвенский завод эмалированной посуды» (618900, Пермский край, г. Лысьва, ул. Металлистов, 1; e-mail: rusanova@lpec.ru).

**Саулин Дмитрий Владимирович** (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры химических технологий Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: [sdv\\_perm@mail.ru](mailto:sdv_perm@mail.ru)).

#### **About the authors**

**Nataliya L. Rusanova** (Lysva, Russian Federation) – Chief Process Engineer, Lysva Plant of Enameled Cookware JSC (1, Metallistov str., Lysva, Perm region, 618990; e-mail: [rusanova@lpec.ru](mailto:rusanova@lpec.ru))

**Dmitrij V. Saulin** (Perm, Russian Federation) – Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Chemical Technologies, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation; e-mail: [sdv\\_perm@mail.ru](mailto:sdv_perm@mail.ru)).