Сошина Т.О., Мухамадьярова В.Р. Влияние температуры и времени термической обработки на структуру эмалевого покрытия / Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. – 2019. – Т. 21, № 2. – С. 82–87. DOI: 10.15593/2224-9877/2019.2.10

Soshina T.O., Mukhamadyarova V.R. Influence of temperature and time of thermal processing on the structure of enamel coating // *Bulletin PNRPU. Mechanical engineering, materials science*, 2019, vol. 21, no. 2, pp. 82–87. DOI: 10.15593/2224-9877/2019.2.10

ВЕСТНИК ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение
Т. 21, № 2, 2019
Bulletin PNRPU. Mechanical engineering, materials science
http://vestnik.pstu.ru/mm/about/inf/

DOI: 10.15593/2224-9877/2019.2.010
УДК 667.6:666.293.51

Т.О. Сошина[1], В.Р. Мухамадьярова[2]

[1] Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Лысьвенский филиал, Лысьва, Россия
[2] ПАО «Лысьвенский завод эмалированной посуды», Лысьва, Россия

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И ВРЕМЕНИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ ЭМАЛЕВОГО ПОКРЫТИЯ

Эмалевые покрытия характеризуются высокой стойкостью к воздействию агрессивных сред, газовой и атмосферной коррозии, органических и минеральных кислот в широком интервале значений температуры, обладают хорошими гигиеническими свойствами. Срок службы эмалевых покрытий может существенно сокращаться при нарушении целостности покрытия. Рассмотрена проблема возникновения дефектов эмалевого покрытия, разрушающих целостность эмали. Среди дефектов эмалевых покрытий наиболее распространены «пузырь эмали» и «посторонние включения», характеристики дефектов зависят от химического состава эмали и температурных процессов нагрева и выдержки в печи. Цель работы – установление влияния времени и температуры обжига на структуру и дефектность эмалевого покрытия. Дефекты поверхности эмалевого покрытия изучены с помощью металлографических исследований и методов сканирующей электронной микроскопии. Элементный анализ покрытий изучен методом рентгеновского энергодисперсионного микроанализа. Образцы эмалевых покрытий были термически обработаны при значениях температуры 820, 830, 840, 850, 860 и 880 °С в течение 2, 3, 4 и 5 мин. Показан химический состав дефектов эмалевого покрытия. Установлено влияние температуры и времени термической обработки на структуру и дефектность эмалевого покрытия. Показано, что с увеличением температуры обжига от 820 до 880 °С дефект «пузырь эмали» приобретает ярко выраженный характер, начинает более четко просматриваться ячеистая структура эмали, размеры пузырей постепенно увеличиваются, становится больше пузырей относительно небольших размеров. Увеличение времени термической обработки от 2 до 5 мин приводит к укрупнению пузырей, ячеистая структура эмали становится более выраженной. Длительный обжиг не приведет к исправлению дефектов покрытия. Установлены оптимальные технологические параметры термической обработки эмалевых покрытий: температура обжига 820 °С и время обжига 2–3 мин.

Ключевые слова: коррозионные свойста, гигиеничские свойства, эмалевые покрытия, элементный состав покрытия, микроструктура, дефект «пузырь эмали», дефект «постороннее включение», ячеистая структура покрытия, морфология поверхности покрытия, режимы термической обработки, время обжига, температура обжига, размер пузырей.

T.O. Soshina[1], V.R. Mukhamadyarova[2]

[1] Perm National Research Polytechnic University, Lysvensky branch, Lysva, Russian Federation
[2] JSC “ Lysva Plant of Enamelware”, Lysva, Russian Federation

INFLUENCE OF TEMPERATURE AND TIME OF THERMAL PROCESSING ON THE STRUCTURE OF ENAMEL COATING

Enamel coatings are characterized by high resistance to aggressive media, gas and atmospheric corrosion, organic and mineral acids in a wide range of temperatures, and have good hygienic properties. The service life of enamel coatings can be significantly reduced in violation of the integrity of the coating. The problem of the occurrence of enamel coating defects that destroy the integrity of enamel is considered. Among the defects of enamel coatings “enamel bubble” and “foreign inclusions” are most common and the characteristics of defects depend on the chemical composition of the enamel and the temperature of the heating and aging processes in the furnace. The purpose of the work is to establish the influence of time and temperature of burning on the structure and defects of the enamel coating. Defects of the surface of the enamel coating were studied using metallographic studies and methods of scanning electron microscopy. Elemental analysis of coatings was studied by X-ray energy dispersive microanalysis. Samples of enamel coatings were thermally treated at temperatures of 820 °C, 830 °C, 840 °C, 850 °C, 860 °C, and 880 °C and for a time of 2 minutes, 3 minutes, 4 minutes, and 5 minutes. The chemical composition of the enamel coating defects is shown. The influence of temperature and heat treatment time on the structure and defect of the enamel coating has been established. It is shown that with an increase in firing temperature from 820 °C to 880 °C, the enamel bubble defect becomes pronounced, the enamel cellular structure begins to be more clearly seen, the size of the bubbles gradually increases, the number of bubbles of relatively small size becomes larger. An increase in heat

treatment time from 2 minutes to 5 minutes leads to the enlargement of bubbles, the cellular structure of the enamel becomes more pronounced. Long-firing will not lead to the correction of coating defects. The optimal technological parameters of heat treatment of enamel coatings were established: firing temperature of 820 °C and firing time 2...3 minutes.

Keywords: corrosive properties, hygienic properties, enamel coatings, elemental coating composition, microstructure, enamel bubble defect, foreign inclusion defect, cellular coating structure, coating surface morphology, heat treatment modes, calcining time, calcination temperature, bubble size.

Стеклоэмалевые покрытия изучались многими исследователями [1–7] и получили широкое применение в машиностроении [8–10], химической и легкой промышленности для защиты металлов и сплавов от воздействия агрессивных сред, газовой и атмосферной коррозии, с целью придания изделиям эстетичного вида [11–13]. Эмалевые покрытия обладают хорошими гигиеническими свойствами, стойкостью к воздействию органических и минеральных кислот в широком интервале значений температуры, что способствует получению в сосудах продуктов высокой степени чистоты [14–18]. Срок службы эмалевых покрытий достаточно большой, однако он может существенно сокращаться в случае нарушения целостности покрытия, слабой адгезии между покрытием и металлической основой [19–22]. Дефектность эмалевых покрытий во многом зависит от химического состава эмали и температурных процессов нагрева и выдержки в печи [23, 24].

В цехе эмалированной посуды ПАО «Лысьвенский завод эмалированной посуды» отделом технического контроля в период с ноября по декабрь 2017 г. были зафиксированы показатели дефектности эмалевых покрытий, приведенные на рис. 1.

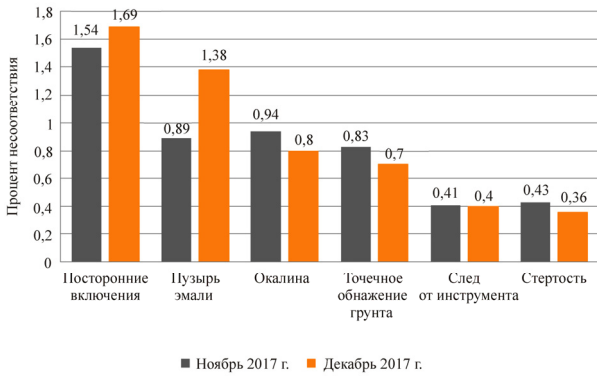


Рис. 1. Дефекты эмалевых покрытий

При ближайшем рассмотрении графика видно, что дефекты «пузырь эмали» и «посторонние включения» наиболее распространены. На поверхности грунтов могут оставаться гигроскопичные водорастворимые вещества и загрязнения, которые, абсорбируя воду и растворяясь, поднимают пленку краски и образуют пузыри. Пузыри могут быть разных размеров и плотности, они возникают в различных местах как под отдельными слоями лакокрасочных материалов, так и под всем покрытием. Температурная выдержка покрытия в печи способна уменьшить количество и размеры пузырей. В связи с этим целью данной работы является установление влияния времени и температуры отжига на структуру и дефектность эмалевого покрытия.

Технология получения и методика исследования эмалевых покрытий

Испытания эмалевых покрытий проведены в соответствии с требованиями ГОСТ Р 52569–2006 «Фритты. Технические условия» и ГОСТ 24788–2001 «Посуда хозяйственная стальная эмалированная. Общие технические условия» [25, 26]. Образцы 60×100 мм были вырезаны из готовых изделий после проведения всей технологической цепочки нанесения покрытия. На предварительно обезжиренную поверхность наносят слой грунтовой эмали, которая представляет собой смесь нескольких марок фритт ФГТ1С-52015, ФГТ1С-3262, ФГЛ2С-3211, ФГТ2С-3313, ГД-4265. Грунтовую эмаль наносят методом окунания, слой сушат при температуре 120 °С и обжигают в проходной конвейерной печи при скорости конвейера от 3,0 до 3,6 м/мин. Затем наносят слой эмали марки ФПвБС-300.

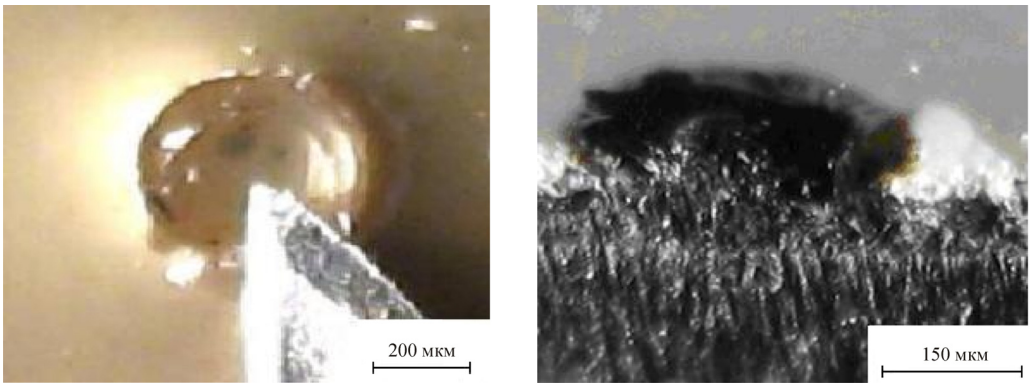
Исследование дефектов поверхности покрытия проведено с использованием металлографического микроскопа МЕТАМ-ЛВ, сканирующего электронного микроскопа высокого разрешения S-3400N HITACHI с приставкой для рентгеновского энергодисперсионного микроанализа посредством спектрометра XFlash 4010 Bruker. Исследования дефектов проводились на образце эмали «Белые ночи». Образцы пластинок были термически обработаны при разных значениях температуры и в течение разного времени: образцы, термически обработанные в течение 2 мин при 820, 830, 840, 850, 860 и 880 °С, а также образцы, термически обработанные при 850 °С в течение 2, 3, 4 и 5 мин.

Результаты и обсуждение

Изучение морфологии поверхности эмалевых покрытий выявило наличие дефектов «постороннее включение» (рис. 2). Согласно результатам анализа поверхности дефекта (рис. 3, *а*) он является однородным и в основном состоит из специфического по составу и однородного по структуре соединения алюминия, кремния и кислорода с небольшими добавками натрия, калия и титана.

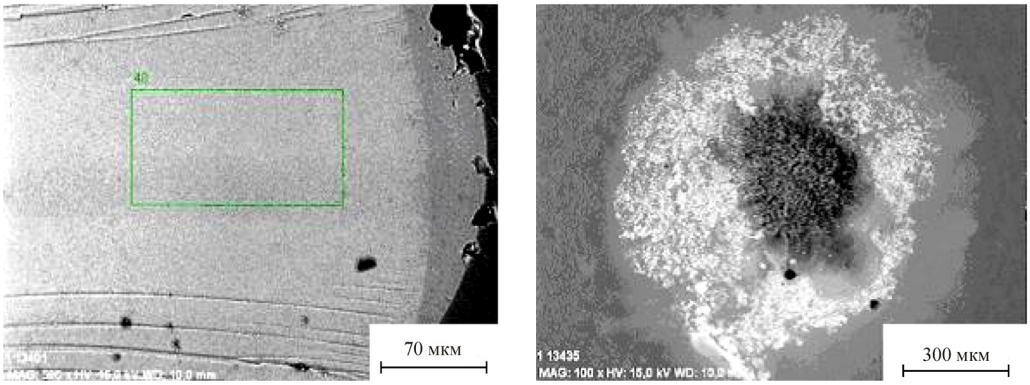
Элементный анализ темного центра дефекта (рис. 3, *б*) показал наличие большого количества натрия, фтора и железа. Набор других элементов специфичен для эмалевого покрытия [5, 10]. Светлое поле вокруг темного центра представляет собой следы кристаллизации. Анализ также показал наличие большого количества натрия, фтора и железа. Причем содержание железа больше, чем в темном центре. Дефект классифицируется как постороннее включение окалины.

Изломы образцов эмалевых покрытий, полученные в интервале экспериментальных значений температуры и времени обжига (рис. 4, 5), позволяют классифицировать дефекты как пузыри эмали, которые имеют относительно большие размеры: 400–600 мкм (крупные пузыри), 100–300 мкм (пузыри средних размеров) и 50–100 мкм (мелкие пузыри). Некоторые дефекты продавили грунт практически до основного металла (см. рис. 4, *б*).



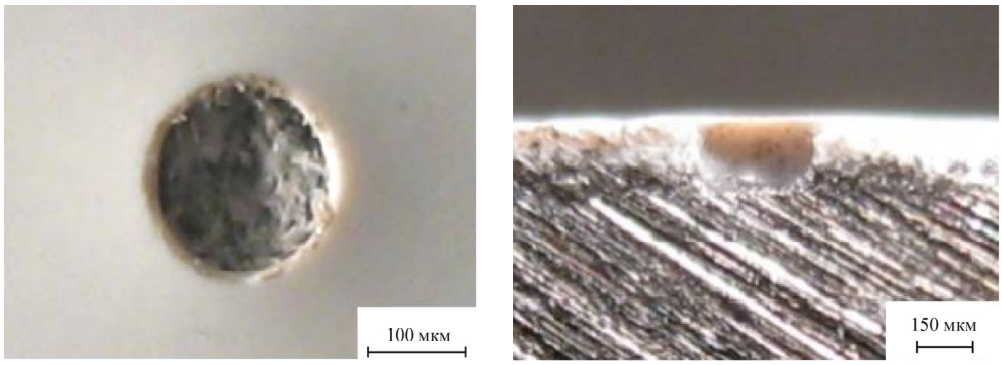
а *б*

Рис. 2. Дефекты поверхности эмалевых покрытий: *а* – постороннее включение прозрачного фрагмента (контакт острия иглы и поверхности дефекта); *б* – постороннее включение окалины



а *б*

Рис. 3. Морфология поверхности эмалевых покрытий



а *б*

Рис. 4. Дефекты поверхности эмалевых покрытий: *а* – пузырь эмали с выходом на поверхность покрытия; *б* – скрытый пузырь эмали

Эмалевые покрытия, полученные при температуре обжига 820 °С, имеют ровную структуру, практически без мелких пузырей (см. рис. 5, *а*). Ячеистая структура эмали четко не просматривается. Пузыри средних размеров в основном расположены ближе к грунту. Увеличение температуры обжига до 830 °С приводит к появлению пузырей крупных размеров (см. рис. 5, *б*). Пузыри средних размеров выражены более четко и в основном расположены ближе к грунту. При температуре обжига 840 °С ячеистая структура эмали ровная, четко не выражена, с небольшим количеством мелких пузырьков (см. рис. 5, *в*). Пузыри средних размеров в основном располагаются группами. Крупные пузырьки в основном одиночные и расположены в центральной части слоя эмали.

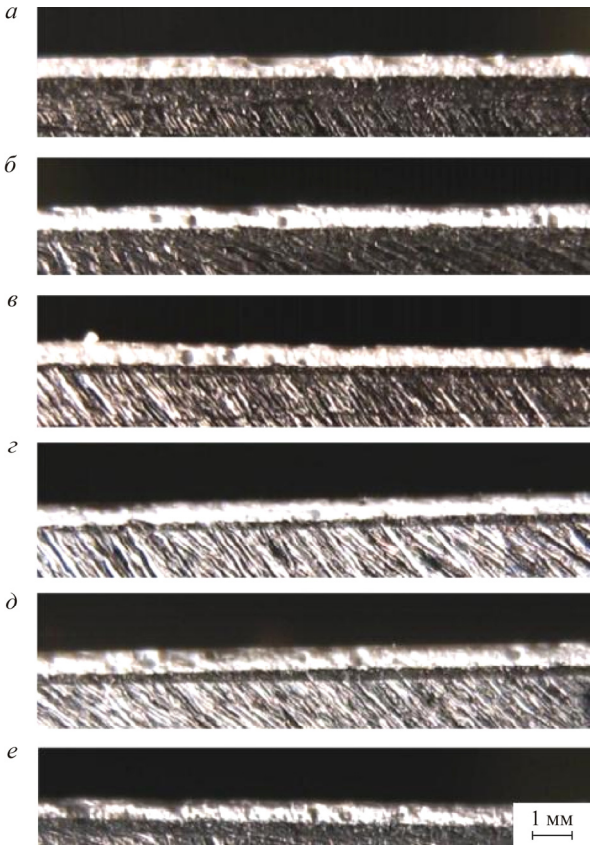


Рис. 5. Изломы образцов эмалевых покрытий, полученные при температуре обжига: *а* – 820 °С; *б* – 830 °С; *в* – 840 °С; *г* – 850 °С; *д* – 860 °С; *е* – 880 °С

Ячеистая структура эмали, полученная при температуре обжига 850 °С, выражена более четко, чем при температуре 840 °С (см. рис. 5, *г*). Пузырьки мелких и средних размеров отошли от грунта и расположены ближе к центру слоя эмали, а также по толщине слоя. Крупные пузырьки в основном одиночные и расположены, как правило, в центральной части слоя эмали. Дальнейшее увеличение температуры обжига до 880 °С не изменяет стурктуру эмалевого покрытия (см. рис. 5, *д*, *е*). Размер крупных пузырьков приблизился к пузырькам среднего размера, вероятно, по причине увеличения размера средних пузырьков, но размер отдельных больших пузырьков стал больше, чем при температуре 860 °С, и они расположены в центральной части слоя эмали.

Изучение структуры эмали, полученной при времени обжига 2 и 3 мин, показало наличие мелких пузырьков, располагающихся по толщине слоя (рис. 6, *а*, *б*). Ячеистая структура эмали выражена четко. Пузырьки средних размеров отошли от грунта и расположены ближе к центру слоя эмали, а также по толщине слоя. Крупные пузырьки в основном одиночные и расположены, как правило, в центральной части слоя эмали.

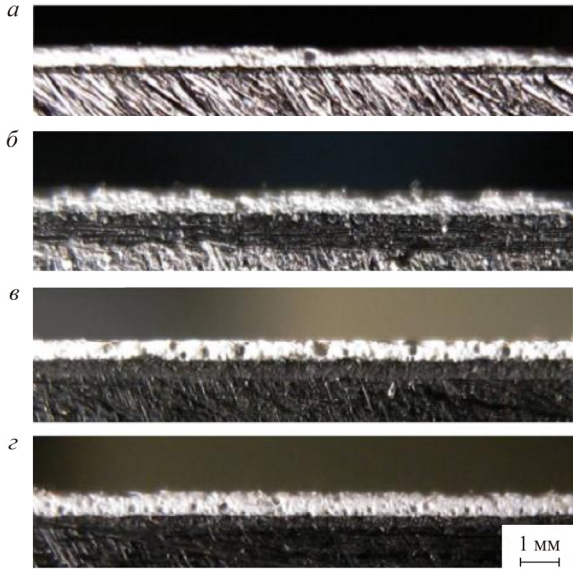


Рис. 6. Изломы образцов эмалевых покрытий, полученные при времени обжига: *а* – 2 мин; *б* – 3 мин; *в* – 4 мин; *г* – 5 мин

Увеличение времени термической обработки до 4 мин привело к увеличению размера пузырьков, которые располагаются в массиве слоя ближе к центру (рис. 6, *в*). В образце покрытия, полученном при времени термической обработки 5 мин, стали более четко просматриваться мелкие пузырьки и ячеистая структура слоя, так как увеличился их размер. Пузырьки располагаются ближе к грунту (рис. 6, *г*).

Заключение

Исследование структуры эмалевого покрытия показало, что с увеличением температуры обжига дефект пузырь эмали приобретает ярко выраженный характер, начинает более четко просматри-

ваться ячеистая структура эмали. Средние пузырьки, располагающиеся при низких значениях температуры ближе к слою грунта, постепенно смещаются в объем эмали и немного увеличиваются в размерах. Большие пузырьки в основном располагаются в центре слоя покровной эмали, и с увеличением температуры их размеры постепенно увеличиваются, но при этом становится больше больших пузырьков относительно небольших размеров.

Установлено, что увеличение времени термической обработки в основном изменяет структуру эмали, мелкие пузырьки несколько укрупняются и ячеистая структура эмали становится более выраженной. Следовательно, длительный обжиг не приведет к исключению дефектов покрытия.

Список литературы

1. Эмалировочное производство / О.Р. Лазуткина, А.К. Казак, В.В. Диденко, Т.В. Мирова / Урал. федер. ун-т. – Екатеринбург, 2010. – 127 с.

2. Солнцев С.С. Защитные технологические и тугоплавкие эмали. – М.: Машиностроение, 1984. – 256 с.

3. Низкотемпературные покровные эмали для стали и алюминия / О.Р. Лазуткина, А.К. Казак, Е.А. Пушкарева, И.Ф. Хайрисламова // Стекло и керамика. – 2008. – № 2. – С. 32–33.

4. Волокитин О.Г., Верещагин В.И. Особенности физико-химических процессов получения высокотемпературных силикатных расплавов // Известия вузов. Химия и химическая технология. – 2013. – Т. 56, № 8. – С. 71–76.

5. Vitreous enamel coating on steel substrates / K. Hrabovska, J. Podjuklova, K. Barcova, L. Dobrovodska, K. Pelikanova // Solid State Phenomena. – 2009. – Vol. 147–149. – P. 856–860.

6. Avaliacao do esmalte dental humano submetido ao tratamento clareador por meio de Microscopia Eletrônica de Varredura / C. Baptista, C. Pagani, A.R. Benetti, F.S. Matuda // J. of Appl. Oral Sci. – 2005. – Vol. 13, no. 2. – P. 204–211.

7. Cement-modified enamel coating for enhanced corrosion resistance of steel reinforcing bars / F. Tang, G. Chen, J.S. Volz, R.K. Brow, M.L. Koenigstein // Cement and Concrete Composites. – 2013. – Vol. 35, no. 1. – P. 171–180.

8. Шалыгина О.В., Брагина Л.Л., Миронова Г.И. Однофритные безникелевые стеклоэмалевые покрытия, получаемые по технологии POESTA // Стекло и керамика. – 2014. – № 6. – С. 38–42.

9. Optimizing the migration behavior of enamel coatings used as food contact, kongresi / K. Benzesik, M. Ipekci, A. Yesilcubuk, F.C. Sahin, O. Yucel // Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi. – 2018. – P. 437–440.

10. Microstructure and corrosion resistance of enamel coatings applied to smooth reinforcing steel / F. Tang, G. Chen, J.S. Volz, R.K. Brow, M.L. Koenigstein // Construct. and Build. Materials. – 2012. – Vol. 35. – P. 376–384.

11. Effect of chemically reactive enamel coating on bonding strength at steel/mortar interface / D. Yan, S. Reis, X. Tao, G. Chen, R.K. Brow, M.L. Koenigstein // Construct. and Build. Materials. – 2012. – Vol. 28, no. 1. – P. 512–518.

12. Corrosion resistance and mechanism of steel rebar coated with three types of enamel / F. Tang, G. Chen, R.K. Brow, J.S. Volz, M.L. Koenigstein // Corros. Sci. – 2012. – Vol. 59. – P. 157–168.

13. Lazutkina O.R. Substrate metal oxidation mechanisms for the appearance of defects in enamel coatings // Glass and Ceramics. – 2012. – Vol. 69, no. 11–12. – P. 416–419.

14. Bubble structure of enamel coatings and its determination / V. Benes, V. Bousea, M. Slamova, V. Suchanm, K. Volenikc // Ceramics – Silikaty. – 1994. – Vol. 38. – P. 4–8.

15. Conde A., Damborenea J.J. Electrochemical impedance spectroscopy for studying the degradation of enamel coatings // Corros. Sci. – 2002. – Vol. 44, no. 7. – P. 1555–1567.

16. Conde A., Damborenea J.J. Monitoring of vitreous enamel degradation by electrochemical noise // Surf. Coat. Technol. – 2002. – Vol. 150, no. 2–3. – P. 212–217.

17. Local bond strength of vitreous enamel coated rebar to concrete / C. Wu, G. Chen, J.S. Volz, R.K. Brow, M.L. Koenigstein // Construct. and Build. Materials. – 2012. – Vol. 35. – P. 428–439.

18. Lee S.H., Oh W.K., Kim J.G. Acceleration and quantitative evaluation of degradation for corrosion protective coatings on buried pipeline. P. II. Application to the evaluation of polyethylene and coal-tar enamel coatings // Prog. Org. Coat. – 2013. – Vol. 76. – P. 784–789.

19. Алеутдинов А.Д. Устранение дефектов стеклоэмалевого покрытия воздействием сфокусированного светового излучения // Известия вузов. Физика. – 2013. – Т. 56, № 1/2. – С. 285–286.

20. Al-Hasso F. Glass coatings by combustion flame spraying: the microstructure and Properties // Universal J. of Materials Sci. – 2013. – Vol. 1, no. 3. – P. 149–158.

21. Effect of bleaching agents on the hardness and morphology of enamel / G.C. Lopes, L. Bonissoni, L.N. Baratieri, L.C. Vieira, J.S. Monteiro // J. Esthet Restor Dent. – 2002. – Vol. 14. – P. 24–30.

22. The effect of a vital bleaching technique on enamel surface morphology and the bonding of composite resin to enamel / A.L. Josey, I.A. Meyers, K. Romaniuk, A.L. Symons // J. Oral Reahabil. – 1996. – Vol. 23. – P. 244–250.

23. Effect of thermal treatment on the property of enamel coating on steel substrate / A. Bachara, A. Mabrouka, D.D.S. Menesesa, E. Verona, Y. Sadallahd, P. Echeguta, F. Bentisse // J. of Materials and Environmental Sci. – 2017. – Vol. 8, I. 11. – P. 3884–3891.

24. Berdzenishvili I.G. Functional corrosion-resistant enamel coatings and their adherence strength // Acta Physica Polonica. – 2012. – Vol. 121. – P. 178–180.

References

1. Lazutkina O.R., Kazak A.K., Didenko V.V., Mirova T.V. Emalirovochnoe proizvodstvo [Enamelling production]. Ural'skii federal'nyi universitet. Ekaterinburg, 2010, 127 p.

2. Solntsev S.S. Zashchitnye ekhnologicheskie i tugoplavkie email [Protective technological and refractory enamels]. Moscow: Mashinostroenie, 1984, 256 p.

3. Lazutkina O.R., Kazak A.K., Pushkare-va E.A., Khairislamova I.F. Nizkotemperaturnye pokrovnye emali dlia stali i aliuminiia [Low-temperature enamels for steel and aluminium]. *Steklo i keramika*, 2008, no. 2, pp. 32–33.

4. Volokitin O.G., Vereshchagin V.I. Osobennosti fiziko-khimicheskikh protsessov polucheniia vysokotemperaturnykh silikatnykh rasplavov [Features of physico-chemical processes for obtaining high-temperature silicate melts]. *Izvestiia vuzov. Khimiia i khimicheskaia tekhnologiia*, 2013, vol. 56, no. 8, pp. 71–76.

5. Hrabovska K., Podjuklova J., Barcova K., Dobrovodska L., Pelikanova K. Vitreous enamel coating on steel substrates. *Solid State Phenomena*, 2009, vol. 147–149, pp. 856–860.

6. Baptista C., Pagani C., Benetti A.R., Matuda F.S. Avaliacao do esmalte dental humano submetido ao tratamento clareador por meio de Microscopia Eletrônica de Varredura. *Journal of Appl. Oral Science*, 2005, vol. 13, no. 2, pp. 204–211.

7. Tang F., Chen G., Volz J.S., Brow R.K., Koenigstein M.L. Cement-modified enamel coating for enhanced corrosion resistance of steel reinforcing bars. *Cement and Concrete Composites*, 2013, vol. 35, no. 1, pp. 171–180.

8. Shalygina O.V., Bragina L.L., Mironova G.I. Odnofritnye beznikelevye stekloemalevye pokrytiia, poluchaemye po tekhnologii POESTA [Single-fraith nickel-free glass enamel coatings based on POESTA technology]. *Steklo i keramika*, 2014, no. 6, pp. 38–42.

9. Benzesik K., Ipekci M., Yesilcubuk A., Sahin F.C., Yucel O. Optimizing the migration behavior of enamel coatings used as food contact, kongresi. *Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi*, 2018, pp. 437–440.

10. Tang F., Chen G., Volz J.S., Brow R.K., Koenigstein M.L. Microstructure and corrosion resistance of enamel coatings applied to smooth reinforcing steel. *Construct. and Build. Materials*, 2012, vol. 35, pp. 376–384.

11. Yan D., Reis S., Tao X., Chen G., Brow R.K., Koenigstein M.L. Effect of chemically reactive enamel coating on bonding strength at steel/mortar interface. *Construction and Building Materials*, 2012, vol. 28, no. 1, pp. 512–518.

12. Tang F., Chen G., Brow R.K., Volz J.S., Koenigstein M.L. Corrosion resistance and mechanism of steel rebar coated with three types of enamel. *Corrosion Science*, 2012, vol. 59, pp. 157–168.

13. Lazutkina O.R. Substrate metal oxidation mecha-nisms for the appearance of defects in enamel coatings. *Glass and Ceramics*, 2012, vol. 69, no. 11–12, pp. 416–419.

14. Benes V., Bousea V., Slamova M., Suchanm V., Volenikc K. Bubble structure of enamel coatings and its deter-mination. *Ceramics – Silikaty*, 1994, vol. 38, pp. 4–8.

15. Conde A., Damborenea J.J. Electrochemical impedance spectroscopy for studying the degradation of enamel coatings. *Corros Science*, 2002, vol. 44, no. 7, pp. 1555–1567.

16. Conde A., Damborenea J.J. Monitoring of vitreous enamel degradation by electrochemical noise. *Surf. Coat. Technol*., 2002, vol. 150, no. 2, pp. 212–217.

17. Wu C., Chen G., Volz J.S., Brow R.K., Koenigstein M.L. Local bond strength of vitreous enamel coated rebar to concrete. *Construction and Building Materials*, 2012, vol. 35, pp. 428–439.

18. Lee S.H., Oh W.K., Kim J.G. Acceleration and quantitative evaluation of degradation for corrosion protective coatings on buried pipeline. P. II. Application to the evaluation of polyethylene and coal-tar enamel coatings. *Prog. Org. Coat*., 2013, vol. 76, pp. 784–789.

19. Aleutdinov A.D. Ustranenie defektov steklo-emalevogo pokrytiia vozdeistviem sfokusirovannogo svetovogo izlucheniia. *Izvestiia vuzov. Fizika*, 2013, vol. 56, no. 1/2, pp. 285–286.

20. Al-Hasso F. Glass coatings by combustion flame spraying: the microstructure and Properties. *Universal Journal of Materials Science*, 2013, vol. 1, no. 3, pp. 149–158.

21. Lopes G.C., Bonissoni L., Baratieri L.N., Vieira L.C., Monteiro J.S. Effect of bleaching agents on the hardness and morphology of enamel. *Journal Esthet Restor Dent*., 2002, vol. 14, pp. 24–30.

22. Josey A.L., Meyers I.A., Romaniuk K., Symons A.L. The effect of a vital bleaching technique on enamel surface morphology and the bonding of composite resin to enamel. *Journal Oral Reahabil*, 1996, vol. 23, pp. 244–250.

23. Bachara A., Mabrouka A., Menesesa D.D.S., Verona E., Sadallahd Y., Echeguta P., Bentisse F. Effect of thermal treatment on the property of enam-el coating on steel substrate. *Journal of Materials and Environmental Science*, 2017, vol. 8, iss. 11, pp. 3884–3891.

24. Berdzenishvili I.G. Functional corrosion-resistant enamel coatings and their adherence strength. *Acta Physica Polonica*, 2012, vol. 121, pp. 178–180.

Получено 17.04.2019
Опубликовано 20.06.19

Сведения об авторах

Сошина Татьяна Олеговна (Лысьва, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры технических дисциплин Лысвенского филиала Пермского национального исследовательского политехнического университета; e-mail: soshtanya@rambler.ru.

Мухамадьярова Вероника Рифовна (Лысьва, Россия) – инженер ПАО «Лысьвенский завод эмалированной посуды».

About the authors

Tatyana O. Soshina (Lysva, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Technical Disciplines, Perm National Research Polytechnic University, Lysvensky Branch, e-mail: soshtanya@rambler.ru.

Veronika R. Mukhamadyarova (Lysva, Russian Federation) – Engineer, JSC "Lysva Plant of Enamelware".