

О.В. ШАЛЫГИНА, канд. тех. наук, НТУ «ХПИ»

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ И ЭКОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА СТЕКЛОЭМАЛЕЙ

В статье дана характеристика технологическому процессу производства эмалированных изделий, который включает производство стеклоэмалевых фритт, порошков, шликеров, смесей RTU и RTM, изготовление металлических заготовок и подготовку их поверхности перед эмалированием, нанесение, сушку и обжиг покрытий, показана их существенная ресурсо- и энергоемкость. Приведен анализ энерго- и ресурсопотребления в эмалировочной отрасли. Показано, что для достижения максимального эффекта ресурсоэнергосбережения актуальным является проведение модернизаций всех стадий производственного процесса эмалирования. Описаны основные приоритетные направления развития эмалировочной отрасли Украины с учетом опыта европейских предприятий и действующих отечественных и европейских стандартов.

Ключевые слова: эмалирование, стеклоэмали, энергоресурсосбережение, энергопотребление, экологическая эффективность, фритта, порошковая электростатическая технология POESTA.

Введение. Эмалирование как отрасль имеет многолетнюю историю производства, которая неразрывно связана с мировым техническим прогрессом, развитием науки и усовершенствованием технологий. Однако в настоящее время остается целый комплекс проблем и задач, требующих эффективного решения. К приоритетным направлениям развития эмалировочных предприятий, как в Украине, так и в мире, относятся создание и внедрение энерго-, ресурсосберегающих и экологически эффективных технологий. Технологический процесс производства эмалированных изделий достаточно сложный и многостадийный и характеризуются существенной ресурсо- и энергоемкостью – таблица 1. [1, 2, 3]. Он включает производство стеклоэмалевых фритт, порошков, шликеров, смесей RTU (Ready to Use) и RTM (Ready to Mill), изготовление металлических заготовок и подготовку их поверхности перед эмалированием, нанесение, сушку и обжиг покрытий. В современных экономических условиях для достижения максимального эффекта ресурсоэнергосбережения актуальным является проведение модернизаций всех стадий производственного процесса эмалирования, начиная с операции составления шихты, плавки стеклоэмалей и заканчивая обжигом покрытий. В связи с этим модерни

© О.В. Шалыгина. 2014

зация производства стеклоэмалей и его автоматизация являются на сегодняшний день необходимым этапом развития эмалировочной промышленности в Украине. Кроме того, необходимо отметить, что производство стеклоэмалей и эмалированной продукции, как правило, рентабельно, быстро окупаемо и, следовательно, экономически выгодно, т.к. эта продукция не имеет срока годности.

Материалы и результаты исследований. Рассматривая процессы производства стеклоэмалей – фритт, порошков и смесей RTU и RTM, можно выделить следующие основные направления энерго- и ресурсосбережения: полная автоматизация процесса приготовления шихты с учетом взаимозаменяемости сырьевых материалов; использование в эмалеплавильных печах в качестве топлива смеси природный газ – кислород вместо традиционной смеси газ – воздух [4]; футеровка эмалеплавильных печей высокоплотными материалами, в частности муллитовыми и муллито-коррундовыми огнеупорами [5]; применение в печах высокоэффективных набивных футеровок; обжиг в малоинерционных печах, футерованных волокнистыми теплоизоляционными материалами с низкой теплопроводностью [6]; упрощение процесса подготовки поверхности металлических заготовок перед нанесением эмалевых покрытий; внедрение безотходных технологий нанесения покрытий [7]; применение энергоэкономных режимов обжига покрытий – однослойное эмалирование (1 C/1 F) или двухслойное с однократным обжигом (2 C/1 F) [8].

Процессы оптимизации производства стеклоэмалей происходят в той сфере, которая связана с множеством других областей, таких как энергетика, использование тепла отходящих газов (рекуперация тепла), экология (очистка воздуха и отходящих газов) и экономика производства (снижение производственных затрат), что позволяет более комплексно использовать все меры для улучшения технологических процессов. Растущую комплексность в эмалировочной отрасли можно преодолеть путем широкого применения измерительной техники и автоматического регулирования. Учитывая то, что в производстве стеклоэмалевой шихты представлены все основные процессы приготовления многокомпонентных смесей, начиная от приема сырьевых материалов, их транспортирования, обработки, хранения и, заканчивая дозированием, смешиванием,

транспортированием смеси, стеклоэмалевую шихту целесообразно рассматривать как базовую смесь для получения качественных конкурентоспособных изделий и синтеза новых видов стеклоэмалевых и композиционных покрытий. Следовательно, именно постоянство состава и рецептурная точность приготовления шихты в значительной мере определяет качество эмалированных изделий.

Автоматизация технологических процессов охватывает практически все сферы производства стеклоэмалей. Несмотря на то, что большое количество эмалеплавильных печей управляются посредством автоматизированных систем, огромное влияние на качество и стоимость стеклоэмалей оказывает выбор применяемой топливной смеси.

Для плавки стеклоэмалевых фритт и глазурей промышленные предприятия применяют печи периодического ПД и непрерывного действия НД, работающие на смеси природного газа и воздуха или природного газа и кислорода. Выбор типа печи зависит от многих факторов, основными из которых являются планируемая производительность и ассортимент производимых составов фритт. Тип теплоносителя определяется его экологическими и экономическими преимуществами.

По данным крупнейшего эмалировочного предприятия Украины ОАО «Новомосковская посуда» – производителя стеклоэмалевых фритт и эмалированной посуды – при использовании в качестве теплоносителя смеси природного газа и воздуха для плавки 1 т стеклоэмалевой фритты необходимо $600 - 650 \text{ м}^3$ природного газа; для грануляции расплава – $1,5 \text{ м}^3$ воды; для обжига в электрической конвейерной печи стеклоэмалевых покрытий – $3500 - 4000 \text{ кВт} \cdot \text{час}$ электроэнергии на 1 т изделий [9].

Данные предприятия «ЕМО FRITE» (Словения) – одного из ведущих европейских производителей стеклоэмалевых фритт, порошков, смесей RTU и RTM – свидетельствуют о значительном преимуществе применения кислородного сжигания топлива по сравнению со смесью природного газа и воздуха – рис. 1 [10]. Расход топливной смеси в ротационной эмалеплавильной печи периодического действия продуктивностью 450 – 500 кг фритты за 1 плавку составляет: природный газ + воздух → $60 - 70 \text{ м}^3/\text{час}$ газа + $7000 \text{ м}^3/\text{час}$ воздуха; природный газ + кислород → $20 - 30 \text{ м}^3/\text{час}$ газа + $40 \text{ м}^3/\text{час}$ кислорода. В пересчете на плавку

1 т фритты расход топливной смеси составляет: природного газа 115–230 м³ и кислорода 200–400 м³ – табл. 1.

Таблица 1. Энергоресурсопотребление в эмалировочной отрасли

Технологический процесс		Удельный расход на 1 т продукции			
		Природ. газ, м ³	Электро-энергия, кВт	Вода, м ³	Кислород, м ³
1	Подготовка сырья: сушка песка	3,05	–	–	–
2	Плавка фритт				
2.1	- теплоноситель газ + воздух	600 – 650	–	1,5	–
2.2	- теплоноситель газ + кислород	115 – 230	–	1,5	200 – 400
3	Производство порошков				
3.1	в вибромельнице НД	–	600 – 800	–	–
3.2	в ротационной мельнице ПД	–	150 – 200	–	–
4	Производство шликеров	–	35 – 40	0,4-0,6	–
5	Производство RTU	–	35 – 40	–	–

Предприятие «MEFRIT» (Чешская Республика) также применяет кислородно-топливную технологию, как в ваннных печах непрерывного действия, так и в ротационных периодического действия.

Потребление топливной смеси на производство 1 т фритты на этом предприятии составляет: 150–200 м³ природного газа и 330–400 м³ кислорода [11] (рис. 1)

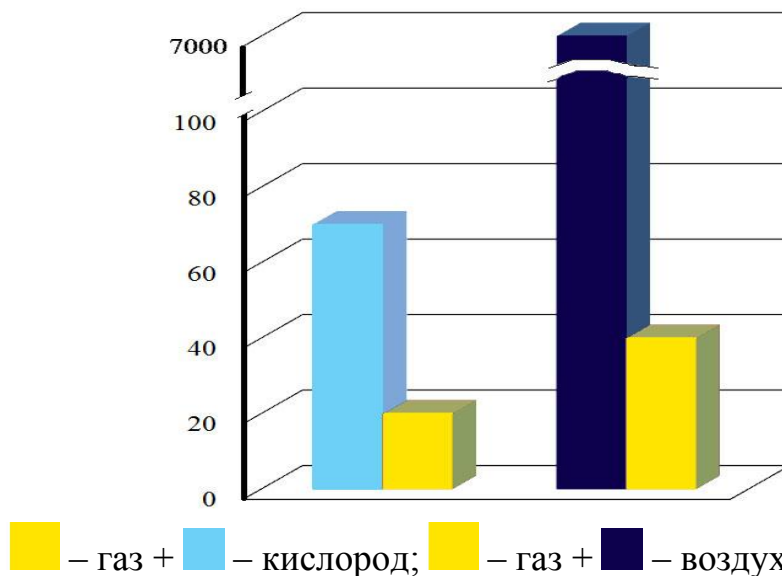
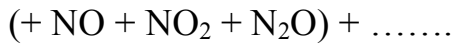
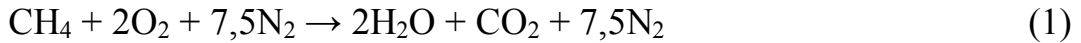


Рис. 1. Сравнительный расход топливных смесей на плавку эмалевых фритт

Затраты на энергоносители для плавления стеклоэмалей вносят весомый вклад в себестоимость эмалированной продукции вне зависи-

мости от применяемой технологии эмалирования.

Кислородно-топливное сжигание. Главным преимуществом сжигания природного газа с кислородом является исключение азота из данного процесса и значительное снижение объемов продуктов сгорания. Эти положения ярко иллюстрируются реакциями сгорания природного газа с воздухом (1) и природного газа и с кислородом (2):



Экологические преимущества этой технологии заключаются в значительном снижении эмиссии не только соединений азота, но и пылевидных частиц. Продукты сгорания на выходе из печи подвергаются специальной очистке и фильтрации в соответствии с эмиссионными нормами [12], максимально допустимые показатели которых при плавке стекол и стекломатериалов (фритт, глазурей, флюсов и др.) приводятся в пункте 3.10.2.2 европейского стандарта BREF2000 [12] – таблица 2 [4].

Таблица 2. Уровень эмиссии продуктов сгорания топлива при производстве фритт

Продукт эмиссии	Концентрация, мг/м ³	Количество выбросов на 1 т расплава
Пылевидные частицы	5 – 30	3 – 16
Оксиды азота NO _x	500 – 700	384 – 431
Оксиды серы SO ₂	200 – 800	123 – 393
Хлориды (HCl)	30	19
Фториды (HF)	5	3,3

Важным фактором процесса кислородно-топливного сгорания является также повышение эффективности перехода тепла в стекломассу, что обусловлено значительным снижением объема продуктов сгорания и, соответственно ограничением потерь тепла из пространства печи. Статистические показатели уровня эмиссии продуктов сгорания топлива при производстве стеклоэмалевых фритт приведены в таблице 3 [4].

На процесс переноса тепла в стекломассу оказывает влияние также тип применяемых горелок, правильный выбор которых определяет излучательную способность, силу света пламени, а, следовательно, потребление топлива и качество готовой продукции – стеклоэмалевой фритты.

Срок службы огнеупоров плавильной печи также в значительной степени зависит от конструкции горелок.

Таблица 3. Статистические показатели уровня эмиссии продуктов сгорания топлива при производстве фритт

Продукт эмиссии	Концентрация, мг/м ³	Количество выбросов на 1 т расплава
Пылевидные частицы	5 – 850	0,1 – 9,0
Оксиды азота (как NO ₂)	290 – 2000	0,4 – 16,0
Оксиды серы (как SO ₂)	<5 – 4000	0,4 – 32,0
Хлориды (HCl)	0,1 – 20	<0,01 – 0,16
Фториды (HF)	0,1 – 200	<0,001 – 0,8
Металлы	<1 – 25	<0,01 – 0,2

Стеклоэмалевая фритта является промежуточным продуктом в сложном технологическом цикле производства эмалированных изделий. Технологии нанесения покрытий определяют состояние стеклоэмалевого материала, наносимого на поверхность металлических изделий – порошок или шликер. Говоря об энерго- и ресурсосбережении необходимо учитывать расходы ресурсов на этих стадиях технологического процесса. Порошковая электростатическая технология нанесения стеклоэмалевых покрытий (POESTA) на сегодняшний день является наиболее современным вариантом по целому комплексу характеристик: практическая безотходность материала покрытия (рекуперация порошка), возможность максимального упрощения процесса подготовки поверхности металла перед эмалированием, высокая экологичность процесса (отсутствие пылевых выбросов, сточных вод и химических загрязнений) и др. Тем не менее, процесс изготовления стеклоэмалевых порошков для технологии POESTA характеризуется определенными энергозатратами.

Расход электроэнергии на производство стеклоэмалевых порошков с гидрофобными кремнийорганическими капсулянтами по традиционной технологии, а именно в вибромельнице непрерывного действия, оснащенной камерой капсулирования порошка, производительностью 150 кг порошка в час составляет 150–200 кВт/час, т.е. на 1 т порошка – 600–800 кВт [10] – таблица 1. С целью интенсификации процесса помола и снижения энергозатрат передовые предприятия – производители стеклоэмалевых фритт и порошков из них, в частности «ЕМО FRITE», разрабатывают новые технологии получения стеклоэмалевых порошков с гид-

рофобными капсулянтами. Так, изготовление тонкодисперсных стеклоэмалевых порошков в ротационных мельницах периодического действия и их гидрофобизация (капсуляция) при температурах, не превышающих температуры естественного нагрева в процессе помола, обеспечивает возможность снижения энергозатрат в среднем на 45 – 50 %.

Важнейшей проблемой на сегодняшний день является также повышение экологической эффективности и безопасности промышленных производств. Это в значительной мере касается и эмалировочной отрасли, на предприятиях которой «горячими» точками до сих пор остаются участки составления шихт, эмалеплавильные цеха, отделения подготовки поверхности металла перед эмалированием и нанесения покрытий. Производители стеклоэмалевых фритт и глазурей, так же, как и предприятия других отраслей, постоянно сталкиваются с ужесточением природоохранного законодательства. Вопросы рационального использования энергии привлекают внимание экологов, особенно в связи с проблемой глобального изменения климата. Выбросы диоксида углерода неразрывно связаны с использованием ископаемых теплоносителей. Поэтому любые меры по сокращению энергопотребления могут дать позитивные результаты в области охраны окружающей среды.

В Евросоюзе регламентирующая роль принадлежит Директиве ЕС о комплексном контроле и предотвращении загрязнения (IPPC Directive 2008/1/EC) и Налогу на выбросы CO₂ и потребление энергии [12]. В соответствии с этими документами предприятия должны внедрять методы предотвращения и сокращения загрязнения окружающей среды, в том числе и связанные с процессами энергопотребления. В настоящее время, после вступления в силу Киотского протокола, эмалировочные производства, относящиеся к наиболее энергоемким отраслям, стоят перед необходимостью изыскания дополнительных мер снижения энергопотребления и сокращения выбросов парниковых газов. Кроме того современные отечественные и европейские экологические и санитарно-гигиенические нормы жестко контролируют степень, регламентируют ограничивают содержание в составах фритт оксидов тяжелых металлов Ni, Zn, Sr, Cd, Pb и др. [13,14, 15].

Выводы. С учетом опыта европейских предприятий и действующих стандартов европейской ассоциации, можно определить основные приоритетные направления развития эмалировочной отрасли Украины.

Перспективы развития эмалировочных предприятий неразрывно связаны с новыми инновационными требованиями, которые касаются практически всех стадий технологического процесса эмалирования: автоматизация и механизация производственных процессов; внедрение ресурсоэнергосберегающих технологий нанесения; минимизация отходов материалов (стеклоэмалевых порошков, шликеров, металла и химикатов для подготовки его поверхности и др.); разработка стеклоэмалевых фритт, не содержащих оксиды тяжелых металлов и др. ограниченных к применению компонентов; снижение стоимости стеклоэмалей по сырьевым материалам, унифицирование их составов и переход на энергосберегающие режимы обжига; повышение экологичности процессов: снижение выбросов фторидов за счет применения современных методов очистки отходящих газов, переход на бескислотную подготовку поверхности металлов перед эмалированием, использование автоматизированных систем нанесения покрытий с замкнутым циклом материала и др.

Список литературы: 1. *Петцольд А.* Эмаль и эмалирование: Справ.изд. / *А. Петцольд, Г. Пешманн* – М.: Металлургия, 1990. – 516 с. 2. *Анненков В.З.* Об особенностях работы и модернизации производства эмалировочных предприятий Украины в современных экономических условиях / *В.З. Анненков* // Информац. Вестник ОО «УАЭ» «Стеклоэмаль и эмалирование металлов», №4. – С. 17 – 22. 3. *Pavlas Josef.* Materials for the enameled coating preparation and its production / *Josef Pavlas, Juri Masita* // Collection of lectures «Enamels and enamelling technology», MEFRIT, 2008. – P. 5 – 15. 4. *Viduna Jan* Oxy-fuel melting –environmental benefits, latest burner technology for frit producers, field results / *Jan Viduna, Piotr Skawinski* // Collection of lectures «Enamels and enamelling technology», MEFRIT, 2008. – P. 52 – 57. 5. *Коледа И.В.* Использование периклазоуглеродистых изделий в рабочей футеровке сталеразливочных ковшей / Огнеупорное производство / На предприятиях и в институтах / *И. В. Коледа* // Черная металлургия: Бюллетень научно-технической и экономической информации. – 15/10/2004. – № 10. – с. 67-68. 6. *Киселева Т.С.* Повышение эффективности работы печей на примере печей сушки и обжига эмали / *Т.С. Киселева, М.Н. Киселев, Ю.И. Котлицкая* // Информац. Вестник ОО «УАЭ» «Стеклоэмаль и эмалирование металлов», № 6. – С. 43 – 48. 7. *Quadri I.* Powder Electrostatic Charge / *I. Quadri, Jane Li* // Proc. Of 21th Intern. Enameller Congr.; Shanghai, 2008. – P. 171 – 180. 8. *Шалигіна О.В.* Грунтові фрити для електростатичного емалювання побутової техніки з маловуглецевих сталей: автореф. дис. на здобуття наук. Ступеня канд. техн. наук : спец. 05.17.11 «Технологія тугоплавких неметалічних матеріалів» / *О.В. Шалигіна*. – Харків, 2006. – 179 с. 9. *Самойленко И.И.* Достижения и перспективы производства стеклоэмалей на предприятии ООО «Новомосковская посуда» / *И.И. Самойленко* // Информа-

мац. Вестник ОО «УАЭ» «Стеклоэмаль и эмалирование металлов», № 7. – С. 13 – 15. **10.** Павлин Томаш Производство эмалей и фритт / Томаш Павлин, Боян Споленак // Информац. Вестник ОО «УАЭ» «Стеклоэмаль и эмалирование металлов», №6. – С. 49 – 51. **11.** Павлас Йозеф Сырье для получения эмалей и их производство / Йозеф Павлас. Йиржи Машиита // Информац. Вестник ОО «УАЭ» «Стеклоэмаль и эмалирование металлов», № 4. – С. 82 – 91. **12.** <http://www.ec.europa.eu/environment/ippc/index.htm> **13.** European Directives REACH 1907/2006 (an. v.11): [Electronic resource]. – European agency for safety and health the work: <https://osha.europa.eu/en/legislation/directives/exposure-to-chemical-agents-and-chemical-safety> **14.** <http://www.iris.eionet.europa.eu/> **15.** Bragina L. Powder electrostatic enameling of household appliances [Electronic resource] / L. Bragina, O. Shalygina, N. Kuryakin, V. Annenkov, N. Guzenko, K. Kupriyanenko, V. Hudyakov, A. Landik // Book of abstracts of the 5 th Baltic Conference on Silicate Materials. – Riga: RTU Publishing House. – 2011. – P. 1 – 12.

Bibliography (transliterated): **1.** Pettsold A. *Emal i emalirovanie*: Sprav.izd. . A. Pettsold, G. Peshmann – Moscow.: Metallurgiya, 1990. – 516 p. **2.** Annenkov V.Z. Ob osobennostyah raboty i modernizatsii proizvodstva emalirovochnykh predpriyatiy Ukrainyi v sovremennykh ekonomicheskikh usloviyakh. V.Z. Annenkov . Informats. Vestnik OO "UAE" "Stekloemal i emalirovanie metallov", No. 4. – P. 17–22. **3.** Pavlas Josef. Materials for the enameled coating preparation and its production . Josef Pavlas, Juri Masita. Collection of lectures "Enamels and enamelling technology", MEFRIT, 2008. – P. 5–15. **4.** Viduna Jan. Oxy-fuel melting –environmental benefits, latest burner technology for frit producers, field results. Jan Viduna, Piotr Skawinski . Collection of lectures "Enamels and enamelling technology", MEFRIT, 2008. – P. 52–57. **5.** Koleda I.V.. I. V. Koleda . Chernaya metallurgiya: Byulleten nauchno-tehnicheskoy i ekonomicheskoy informatsii. – 15.10.2004 . – No. 10. – P. 67-68. Print **6.** Kiseleva T.S. Povyishenie effektivnosti raboty pechey na primere pechey sushki i obzhiga emali. T.S. Kiseleva, M.N. Kiselev, Yu.I. Kotlitskaya . Informats. Vestnik OO "UAE" "Stekloemal i emalirovanie metallov", No. 6. – P. 43–48. **7.** Quadri I. Powder Electrostatic Charge. I. Quadri, Jane Li . Proc. Of 21 th Intern. Enameller Congr.; Shanghai, 2008. – P. 171–180. **8.** ShaligIna O.V. Gruntovi friti dlya elektrostatchnogo emalyuvannya pobutovoi tehniky z malovugletsevih staley: avtoref. dis. na zdobuttya nauk. Stupenya kand. tehn. nauk : spets. 05.17.11 "Tehnologiya tugoplavkikh nemetalichnih materialiv". O.V. ShaligIna. – Kharkov, 2006. – 179 p. **9.** Samoylenko I.I. Dostizheniya i perspektivy proizvodstva stekloemaley na predpriyatii OOO "Novomoskovskaya posuda" / I.I. Samoylenko . Informats. Vestnik OO "UAE" "Stekloemal i emalirovanie metallov", No. 7. – P. 13 – 15. **10.** Pavlin Tomash. Proizvodstvo emaley i fritt. Tomash Pavlin, Boyan Spolenak . Informats. Vestnik OO "UAE" "Stekloemal i emalirovanie metallov", No. 6. – P. 49–51. **11.** Pavlas Yozef. Syire dlya polucheniya emaley i ih proizvodstvo Yoz. Pavlas. Yirzhi Mashita. Informats. Vestnik OO "UAE" "Stekloemal i emalirovanie metallov", No. 4. – P. 82–91. **12.** <http://www.ec.europa.eu/environment/ippc/index.htm> **13.** European Directives REACH 1907/2006 (an. v.11): [Electronic resource]. – European agency for safety and health the work: <https://osha.europa.eu/en/legislation/directives/exposure-to-chemical-agents-and-chemical-safety> **14.** <http://www.iris.eionet.europa.eu/> **15.** Bragina L. Powder electrostatic enameling of household appliances [Electronic resource] . L. Bragina, O. Shalygina, N. Kuryakin, V. Annenkov, N. Guzenko, K. Kupriyanenko, V. Hudyakov, A. Landik . Book of abstracts of the 5 th Baltic Conference on Silicate Materials. – Riga: RTU Publishing House. 2011. – P. 1–12.

Поступила (received) 06.11.14