

УДК 666.293

Импульсная светолучевая технология удаления старого стеклоэмалевого покрытия чугунных ванн*

А.Д. Алеутдинов

НИ Томский политехнический университет, пр. Ленина 30, Томск, Россия

a_alet@mail.ru

Статья поступила 12.12.2012, принята 16.04.2013

Описана технология скалывания старого или бракованного стеклоэмалевого покрытия с чугунных ванн для повторного эмалирования. Дана оценка параметров воздействия для термоударного разрушения покрытия путем импульсно-периодического воздействия мощным сфокусированным светом ксеноновой дуговой лампы. Описано устройство светолучевой установки и даны параметры технологического процесса очистки старого эмалевого покрытия. Указаны причины, по которым невозможно повторное эмалирование чугунных изделий без предварительного удаления старого или бракованного стеклоэмалевого покрытия. Приведены недостатки применяемых методов удаления и преимущества очистки импульсно-периодическим нагревом покрытия сфокусированным излучением дугового источника. Указаны особенности и ограничения параметров технологического процесса, которые обусловлены применением ксеноновой короткодуговой лампы в качестве источника светового излучения. Даны численные значения эффективности процесса удаления дефектного стеклоэмалевого покрытия при изменении параметров импульсно-периодического воздействия мощным сфокусированным светом ксеноновой дуговой лампы.

Ключевые слова: светолучевая технология, импульсно-периодическое воздействие, термоударное разрушение, стеклоэмалевое покрытие.

Pulse light-beam technology of removal of defective glass-enamel coating of cast-iron bathtub

A.D. Aleutdinov

National Research Tomsk Polytechnic University, 30 Lenin Avenue, Tomsk, Russia

a_aleut@mail.ru

Received 12.12.2012, accepted 16.4.2013

In the paper technology of removal of old glass-enamel coating from cast-iron bathtub for recurring enameling is described. The mathematical model of thermal shock destruction of coating by pulse-periodic effect of high-power focused radiation of xenon arc lamp is given. The design of light-beam plant is outlined, the parameters of technological process of stripping old enamel coating are determined. The reasons are showed, why it is impossible to re-enamel cast-iron items without preliminary removal of old or defective glass-enamel coating. Shortcomings of applying methods of removal and advantages of cleaning by pulse-periodic heating of coating by focused radiation of arc lamp are stated. The specifications and limitations of parameters of technological process, which caused by using of xenon short-arc lamp as a source of radiation, are discussed. Numerical characteristics of removal of old glass-enamel coating from cast-iron bathtub for different parameters of pulse-periodic effect of high-power focused radiation of xenon arc lamp are specified.

Keywords: light-beam technology, pulse-periodic action, thermal shock destruction, glass-enamel coating.

Введение. При эмалировании чугунных изделий, в том числе ванн, невозможен повторный обжиг в связи с газовыделением из чугуна, поэтому для повторного эмалирования чугунной отливки требуется полная очистка старого стеклоэмалевого покрытия (СЭП). Традиционно применяемые для этой цели методы дробеструйной обработки или термоударный метод нагревом газовой горелкой [1] имеют ряд недостатков. СЭП обладает высокой износостойкостью, его удаление дробеструйной обработкой весьма затруднительно, так как

подразумевает послойное разрушение всего объема покрытия, кроме того, при дробеструйной обработке дробь часто застревает в межзеренном пространстве чугуна и является новой причиной образования пороков СЭП. При очистке термоударным методом с помощью газовой горелки очень низка производительность и образуются прогары СЭП в связи с малой удельной мощностью воздействия факела.

Предлагаемый способ очистки. В качестве наиболее простого и универсального метода энергетического воздействия на СЭП с целью его скалывания в результате термоудара был использован импульсный светолучевой нагрев. При обработке эмалевого покрытия ТК-17

* Работа выполнена в рамках госзадания «Наука» (№ 7.1122.2011)

по чугуно сфокусированным некогерентным светом при поглощении излучения разогревается покровный слой. Вследствие перепада температур между СЭП и чугуном возникают значительные термические напряжения, приводящие к отрыву покрытия. При соответствующих параметрах воздействия разрушение происходит по границе раздела «покрытие – чугун», что и является оптимальным решением поставленной задачи.

Оценка параметров воздействия. Расчетным путем нами выбраны возможные режимы скалывания СЭП, исходя из относительного удлинения СЭП [2] при его нагреве, которое, являясь полупрозрачной мутной средой, по толщине прогревается достаточно одномерно:

$$\varepsilon = \Delta l / l_0 = \alpha \Delta T, \quad (1)$$

где Δl , l_0 – удлинение и начальный размер; α – коэффициент температурного линейного расширения; ΔT – перепад температур; величина относительного увеличения температуры [3] определяется так:

$$\Delta T = \left\{ \left[2q_0(1-R) \right] / \lambda \right\} \sqrt{a\nu}, \quad (2)$$

где λ , a – коэффициенты тепло- и температуропроводности; ν – частота следования импульсов в Гц; q_0 – плотность падающего потока; R – коэффициент отражения СЭП. Удлинение верхнего слоя создает напряжения:

$$\sigma = E\varepsilon, \quad (3)$$

где E – модуль Юнга.

Подставив (1), (2) в (3), получим:

$$\sigma = \left[2\alpha E q_0 (1-R) / \lambda \right] \sqrt{a\nu}, \quad (4)$$

Так как $a = \lambda / C_p \rho$ (C_p – удельная теплоемкость), то

$$\sigma = \left[2\alpha E q_0 (1-R) / \lambda \right] \sqrt{\lambda \nu / C_p \rho}. \quad (5)$$

Формула (5) позволила оценить необходимую частоту следования импульсов для создания предельных напряжений в СЭП при воздействии светолучевого потока с заданной плотностью мощности.

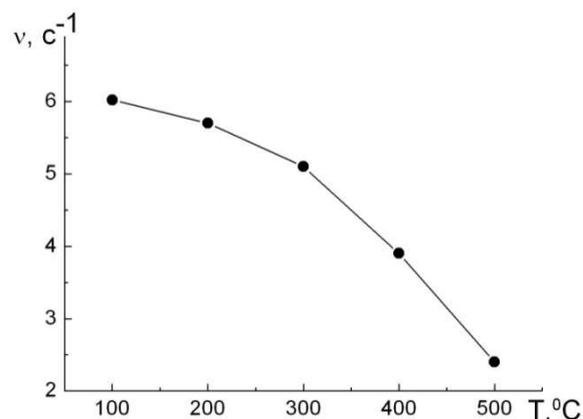
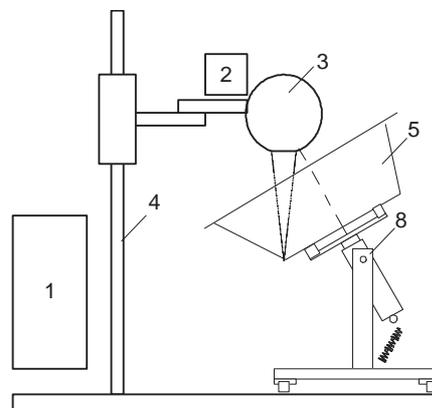


Рис. 1. Зависимость частоты следования импульсов светового потока от температуры нагрева покрытия

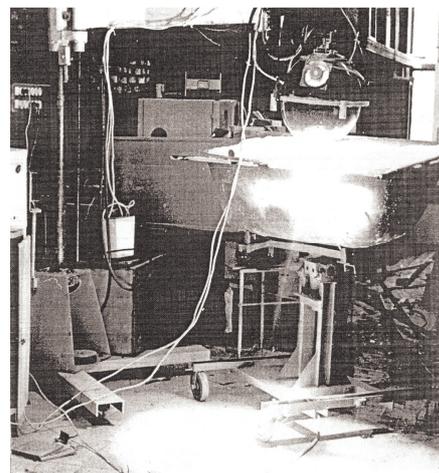
Исходные данные для эмали ТК-17: $\sigma = 40$ МПа; $E = 50 \cdot 10^4$ МПа; $\lambda = 0,71$ Вт/м·К; $\rho = 2200$ кг/м³; $\alpha = 5,1 \cdot 10^{-6}$ К⁻¹ [1, 4, 5]; $C_p = 0,69$ кДж/м·К; $(1-R) = 0,2$ (измерены нами). Задавшись возможностями оптического генератора при $q_0 = 1750$ Вт/см², требуемая частота следования импульсов в зависимости от температуры предварительного подогрева представлена на рис. 1.

Преимущества импульсно-периодического режима воздействия. Разрушение СЭП при интенсивном нагреве световым потоком возможно и при постоянном режиме воздействия, но, как правило, сопровождается микротрещинами, отшелушиванием и оплавлением мелких фрагментов эмали. На вогнутых участках поверхности оплавление может происходить без разрушения покрытия.

Импульсный режим позволяет существенно увеличить интенсивность воздействия и дает возможность обеспечить более равномерный прогрев покрытия по глубине без оплавления поверхности, что вызывает наибольшие термоградиентные напряжения на границе «чугун – СЭП». Кроме того, эта граница, являясь очевидным концентратором напряжений, в процессе многократного прохождения волн термодетонации неизбежно будет накапливать микроповреждения, что и вызовет, в результате, отделение покрытия. Таким образом, удаление старого или дефектного СЭП чугуных изделий импульсно-периодическим нагревом сфокусированным излучением дугового источника имеет, видимо, характер усталостного разрушения.



a)



б)

Рис. 2. Схематическое устройство установки (а) и внешний вид работающей установки (б)

Описание экспериментальной установки и параметров процесса. Импульсный локальный нагрев в заданном режиме осуществляли с помощью разработанной нами оптико-лучевой установки (рис. 2) [5], содержащей импульсный источник питания 1, генератор лучистой энергии 3, блок поджига 2, колонну сварочного полуавтомата типа «Т-31021» 4, поворотную тележку 8, на которой крепится ванна 5. Возможность работы ксеноновой лампы в импульсном режиме достигается использованием импульсного источника пи-

тания 1, который содержит трехфазный трансформатор, выпрямитель, устройство управления током лампы и задающий генератор, позволяющий регулировать длительность и частоту следования импульсов тока. Особенности режима горения дуги в ксеноновой лампе не позволяют реализовать импульсный режим с полным прерыванием свечения между импульсами – для уверенного горения дуги необходима постоянная составляющая тока. Таким образом реализован пульсирующий режим светового потока. Темновой ток регулировался в диапазоне 15-200 А.

Таблица 1

Параметры очистки стеклоэмалевого покрытия

Место очистки	I_m, A	τ, c	ν, c^{-1}	t, c	S, cm^2	Примечание
Стенка	400	1,5	0,15	60	160	Частичное оплавление СЭП
Стенка	450	1,5	0,15	60	200	
Стенка	450	1,0	0,25	60	300	Скалывание
Стенка	500	1,0	0,25	60	320	
Стенка	500	0,5	0,5	60	320	
Стенка	550	0,5	0,5	60	140	Частичное оплавление СЭП
Стенка	600	0,5	0,5	60	80	
Дно	400	1,5	0,15	60	60	Скалывание
Дно	400	1,5	0,25	60	80	Частичное оплавление
Дно	450	1,5	0,15	60	120	Скалывание
Дно	450	1,0	0,25	60	140	
Дно	500	1,0	0,15	60	145	
Дно	500	1,0	0,25	60	140	
Дно	500	0,5	0,5	60	140	
Дно	550	0,5	0,5	60	80	
Дно	600	0,5	0,5	60	30	Оплавление СЭП
Борт	400	1,5	0,15	60	80	Частичное оплавление
Борт	400	1,5	0,25	60	120	Оплавление СЭП
Борт	450	1,5	0,15	60	200	Частичное оплавление
Борт	450	1,0	0,25	60	240	Скалывание
Борт	500	1,0	0,25	60	260	
Борт	500	1,0	0,5	60	280	Оплавление СЭП
Борт	500	0,5	0,5	60	280	Скалывание
Борт	550	0,5	0,5	60	150	Частичное оплавление
Борт	600	0,5	0,5	60	80	Оплавление СЭП

Тепловой поток от генератора лучистой энергии с ксеноновой лампой ДКСШРБ-10000 имеет нижнюю и верхнюю границы. Нижняя граница связана со стационарным режимом горения лампы, а верхняя граница зависит от термических напряжений в подложке и частоты следования импульсов. Величина светового потока прямо пропорциональна току лампы. Были определены следующие основные параметры: ток импульса I – 450-500 А, длительность импульса τ – 0,5-1 с, которая

входит в общее время между импульсами τ_0 , тогда частота следования импульсов ν – 0,15-0,5 c^{-1} соответствует соотношению $1/\tau_0$.

Оптимизация параметров воздействия. Необходимо отметить, что с увеличением частоты следования импульсов (при сохранении или недостаточном уменьшении длительности) происходит более сильный прогрев поверхности, что может привести при более высоких частотах не к скалыванию, а к оплавлению.

Величина максимального импульсного тока лампы зависит от длительности импульса и ограничена рабочими параметрами лампы, так как лампа в этом случае работает в критическом режиме. Чем выше значение импульсного тока, тем меньше должна быть длительность одного импульса, чтобы сохранить ресурс работы лампы. Нижний интервал длительности импульса связан с созданием микротрещин в СЭП, приводящих к раскрашиванию покрытия, а не к его скалыванию. Одной из причин этого, на наш взгляд, является изменение поглощательной способности и теплофизических параметров СЭП при предварительном подогреве лампой в стационарном режиме и в процессе скалывания. В связи с этим интервал частоты импульсов снижен до $0,15-0,5 \text{ с}^{-1}$.

Результаты. Качество очистки поверхности от СЭП, а также отсутствие растрескивания чугунной подложки оценивали визуально. Общее время скалывания (очистки) для ванны оценивалось по формуле

$$t = t_b + t_s + t_d, \quad (6)$$

где t , t_b , t_s , t_d – время очистки ванны, борта, стенок и днища соответственно. Время очистки определяется соотношением площади очистки S к площади очистки за 1 минуту V . Время общей очистки t оказалось 90 минут. С учетом времени подготовки опыта общее время составило 110 мин. на одно изделие. Технологические параметры снятия СЭП с ванн даны в таблице 1, а технологическая схема – на рис. 2. Кроме того, разработанная установка может быть успешно применена для локальной заправки дефектов стеклоэмалевых покрытий на стальных холодных изделиях.

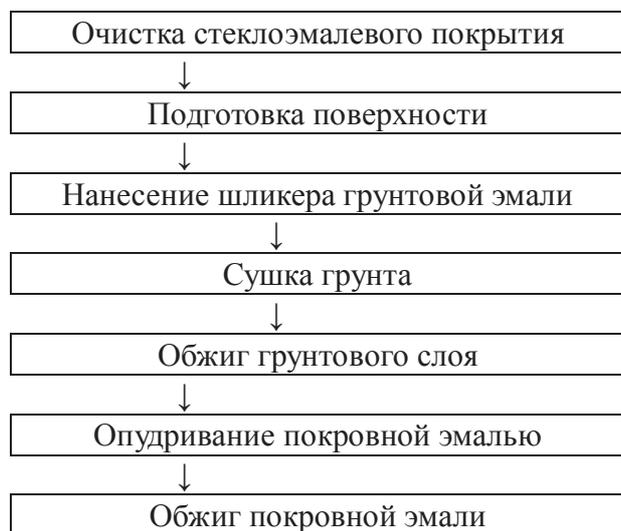


Рис. 3. Технологическая схема реэмалирования чугунных ванн с использованием светолучевой установки очистки старого покрытия

Выводы

Предложен способ термоударного разрушения стеклоэмалевого покрытия на чугуне путем импульсно-периодического воздействия мощным потоком света от ксеноновых дуговых ламп.

Разработана установка скалывания и даны параметры технологического процесса очистки старого эмалевого покрытия.

Литература

1. Варгин В.В. Эмалирование металлических изделий. М.; Машиностроение, 1972, 496 с.
2. Солнцев С.С. Защитные технологические покрытия и тугоплавкие эмали. М.; Машиностроение, 1984. 241 с.
3. Холодильник Н. Н. Эмалирование стальных и чугунных изделий. М.; Госстройиздат, 1962, 352 с.
4. Петцольд А., Пешман Г. Эмаль и эмалирование: Справочник. М. Металлургия, 1990. – 576 с.
5. Романов Б.П., Артиш А.С., Зуев А.М., Алеутдинов А.Д. Способ удаления стеклоэмалевых покрытий с металлических изделий: А.с. 1791466. Рос. Федерация. Заявка № 4710609, 03.06.1989; опубл. 30.01.1993, Б.И. № 4.

References

1. Vargin V.V. Emalirovanie metallicheskih izdelei. M.: Mashinostroenie, 1972. 496 s.
2. Solncev S.S. Zashitnye tehnologicheskie pokrytija i tugoplavkie emali. M.Mashinostroenie, 1984. 241 s.
3. Holodilnik N.N. Emalirovanie stalnyh i chugunnyh izdelii. M.Gosstroizdat, 1962. 352 s.
4. Petsold A. Peshman G. Emal i emalirovanie: Spravochnik. M. Metallurgija, 1990. 576 s.
5. A.s. 1791466 (Rossija) Sposob udaleniya stekloemalovyh pokrytii s metallicheskih izdelii / B.P. Romanov, A.S. Artish, A.M. Zuev, A.D. Aleutdinov I dr. 1993. BI № 4.