

А. С. Попов¹, М. С. Попов¹, А. В. Ливишиц¹, Н. Г. Филиппенко¹, С. И. Попов¹

¹Иркутский государственный университет путей сообщения, Иркутск, Россия

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОЧИСТКИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОТ КРАСКИ И ОКИСНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ В ПОЛЕ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ

Аннотация. Одной из технологических операций при ремонте и подготовки для дальнейшей обработки изделия является его очистка. Различные методы очистки изделий, после нескольких циклов зачастую приводят к повреждению самой металлической поверхности, которая становится шероховатой, меняются её геометрические размеры и она становится непригодной для дальнейшего использования. Анализ существующих методов очистки определил метод лишенный этих недостатков. Он заключается в очистке металлических поверхностей от краски и окисных загрязнений без механического, высокотемпературного или химического воздействия на обрабатываемую поверхность, приводящих к изменению физико-механических параметров очищаемого металла. Это достигается за счет избирательного деструктивного воздействия высокочастотным излучением только на краску и окисные загрязнения. Был разработан и применён на промышленной установке модели УЗП-2500 алгоритм и автоматизированная система процесса очистки данным методом.

Ключевые слова: алгоритм, автоматизация, очистка металлической поверхности, высокочастотное излучение, диэлектрический нагрев.

A. S. Popov¹, M. S. Popov¹, A. V. Livshits¹, N. G. Filippenko¹, S. I. Popov¹

¹Irkutsk State University of Railway Engineering, Irkutsk, Russia

DEVELOPMENT OF ALGORITHM CLEANING OF METAL SURFACES FROM PAINT AND OXIDE CONTAMINATION IN A HIGH FREQUENCY FIELD

Annotation. One of the technological operations in the repair and preparation for further processing of the product is its cleaning. Various methods of cleaning products, after several cycles often lead to damage to the metal surface, which becomes rough, changing its geometric dimensions and it becomes unsuitable for further use. The analysis of the existing methods of cleaning determined the method devoid of these shortcomings. It consists in cleaning metal surfaces from paint and oxide pollution without mechanical, high-temperature or chemical influence on the processed surface, leading to changes in physical and mechanical parameters of the cleaned metal. This is achieved by selective destructive effect of high-frequency radiation only on the paint and oxide pollution. The algorithm and the automated system of cleaning process by this method were developed and applied on the industrial installation of model UZP-2500.

Keywords: algorithm, automation, metal surface cleaning, high-frequency radiation, dielectric heating.

Обзор существующих методов очистки металлических поверхностей

В процессе ремонтного производства возникает необходимость очистки поверхности металлических изделий от краски и образовавшихся окисных загрязнений. Методы обработки можно разделить на группы по физическому принципу воздействия на поверхность металлов.

Механическая обработка поверхности деталей проводится для удаления окисных пленок, ржавчины, неорганических загрязнений с поверхности металлов. Основными способами механической обработки поверхности являются шлифование, полирование, крацевание, чистка ручным или механическим инструментом, струйная абразивная и гидроабразивная обработка.

Недостатком данных технологических операции является то, что они сами могут вносить в поверхностный слой дефекты – прижоги, риски, микротрещины, в которых могут накапливаться остатки СОЖ. Если поверхность имеет сложную 3D геометрию поверхности,

то возникают сложности для реализации обработки. Мягкие металлы и сплавы сложно поддаются шлифованию.

Электро-контактная обработка металлов (ЭКО) основана на нагреве поверхности обрабатываемой детали электродом-инструментом и последующим удалением мягкого металла из зоны обработки механическим движением заготовки или инструмента. Нагрев обрабатываемой поверхности производится импульсными дугowymi разрядами. Под термическим воздействием происходит плавление металла, его испарение. Механическое воздействие производит удаление остатков расплавленного металла.

Электро-контактная обработка металла не имеет большой точности и не дает хорошее качество обработанной детали.

Химическая и электрохимическая очистка металлических поверхностей. Химическую и электрохимическую очистку металла от ржавчины и поверхностных загрязнений производят методом кислотного или щелочного травления. Травление подразумевает размещение обрабатываемой детали в ёмкости с растворами кислоты или щелочи с водой и проводится в специальных помещениях. Под воздействием растворов происходит разрушение загрязнения и травление поверхности обрабатываемой детали. Щелочное травление, как правило, применяется при разрушении оксидов железа. Процесс щелочного травления происходит в результате взаимодействия раствора NaOH с оксидами железа. Для ускорения процесса и улучшения качества очистки в ёмкости с раствором располагают электроды, одним из которых очищаемая деталь. При подаче на электроды постоянного напряжения в растворе происходит процесс поляризации, на поверхности электродов образуются газовые пузырьки, которые отрываясь от поверхности металла, уносят часть загрязнения, тем самым очищая поверхность [1].

К недостаткам можно отнести то, что процесс является экологически неблагоприятным, требуются расходные материалы (кислоты, щелочи), требуются особые меры предосторожности и техническая оснастка.

Вакуумно-дуговая обработка. Воздействие вакуумного дугового разряда на поверхность металлического изделия — катода осуществляется в области катодных пятен (КП), формирующихся на его поверхности и создающих среду существования вакуумного дугового разряда. Внутри камеры находится катод (обрабатываемая деталь) и анод. На катоде — отрицательный потенциал, на аноде, соответственно — положительный. При подаче напряжения на поверхности катода возникает эмиссионный центр (ЭЦ). Происходит микровзрыв эмиссионного центра. Затем происходит появление анодной плазмы и её распространения в разрядный промежуток. Плазма заполняет весь объем межэлектродного пространства, явление взрывной электронной эмиссии прекращается и разряд переходит в дугу [2].

Наличие вакуумной камеры удорожает и усложняет технологический процесс. При обработке тонкого материала возможно изменение его геометрических размеров, что вводит ограничения по толщине обрабатываемого материала не менее 3-4 мм. Вакуум при дуговой обработке необходим для предотвращения повторного окисления, т.к. процесс проходит при высоких температурах (~300-600 °C) и очищаемые поверхности окисляются при наличии кислорода [2].

Лазерная обработка. В основе механизма лазерной очистки поверхности металла, лежат такие физические процессы как испарение и абляция материала с образованием плазмы, а также быстрое тепловое расширение и возникновение ударных волн. Лазерную очистку можно, по механизму удаления, условно разделить на три группы [3]: испарительная лазерная очистка, ударно-механическая лазерная очистка, влажная лазерная очистка. Испарительная лазерная очистка основана на различии коэффициентов поглощения света загрязнения и металла, практически у всех загрязнений он на несколько порядков ниже, чем у металлов. В связи с этим, лазерный луч проходит загрязнения насквозь и поглощается материалом подложки, в результате чего металлическая поверхность разогревается до температуры сублимации, и образовавшиеся пары металла испаряются, разрушая слой

загрязнения [4]. Ударно-механическая лазерная очистка. Для предотвращения разрушения поверхностных слоев или возникновения в них нежелательных физических и химических изменений в результате избыточного теплового воздействия, ударно-механическая лазерная очистка проводится в низкоэнергетических режимах (недостаточных для сублимации материала металлической поверхности). Поглощение лазерного излучения происходит загрязняющими частицами, пленками и поверхностными слоями основного материала. Как следствие возникает ударная волна в материале (и в воздухе), а также взрывное удаление имеющихся газов и образующихся паров [5]. Влажной лазерной очистке подвергают поверхности, предварительно покрытые тонким слоем жидкости. Лазерное излучение поглощается жидкостью, происходит её кипение и испарение с последующим разрушением и выносом загрязнения [6].

Ультразвуковая очистка проходит в диапазоне частот от 20 до 80 кГц. В жидкой среде при воздействии на металл ультразвуковых волн, происходит эффект кавитации. При схлопывании кавитационных пузырьков происходят мощные гидравлические удары, которые ослабляют молекулярные силы между частицами загрязнения и основным материалом, в результате чего с очищаемой детали срываются инородные тела, загрязняющие поверхность. Данный метод позволяет производить очистку деталей сложной формы, которые не подлежат очистке другими способами [7].

К недостаткам способа относятся: относительно медленный процесс очистки; сложность очистки труб, полностью забитых отложениями или имеющих локальную закупорку в виде пробок [8].

Очистка металлических поверхностей от краски и окисных загрязнений в поле высокой частоты осуществляется без механического, высокотемпературного или химического воздействия на объект очистки, приводящих к изменению физико-механических параметров очищаемого металла. Это даёт преимущества перед методами рассмотренными выше. Это достигается за счет избирательного деструктивного воздействия высокочастотным излучением только на краску и окисные загрязнения. Схема устройства для очистки металлических поверхностей от краски и окисных загрязнений представлена на рисунке 1.

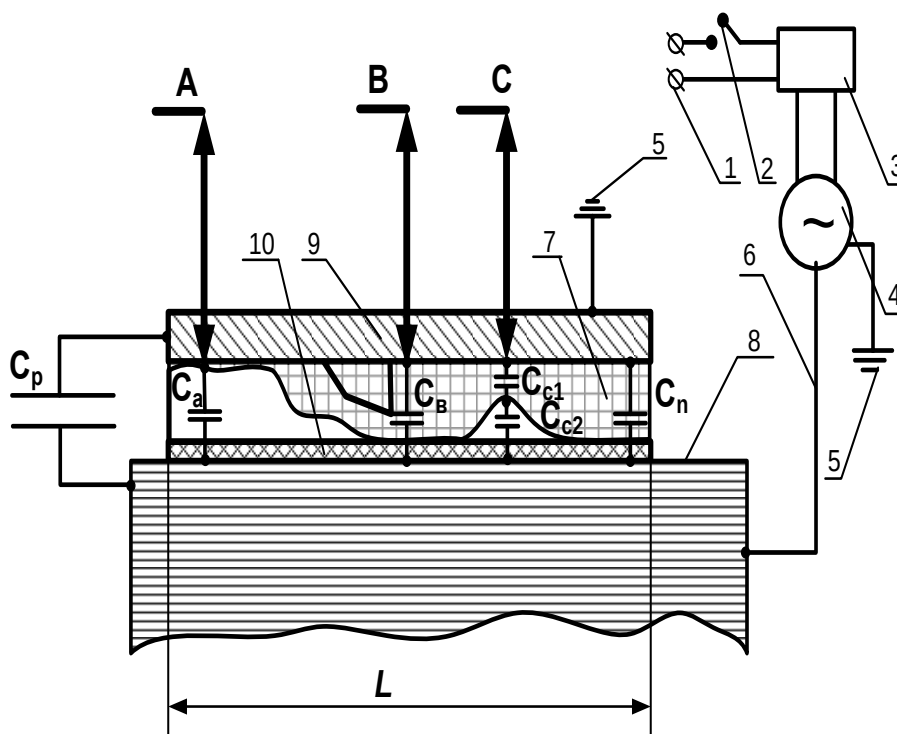


Рисунок 1 Схема устройства для очистки металлических поверхностей от краски и окисных загрязнений
 1 – силовая цепь подключения высокочастотного генератора; 2 – коммутационный элемент;
 3 – устройство регулирования мощности высокочастотного генератора;

**4 – высокочастотный генератор; 5 – заземление (низкопотенциальный контур);
6 – коаксиальный кабель-волновод; 7 – краска и окисные загрязнения;
8 – высокопотенциальный электрод; 9 – низкопотенциальный электрод (с очищаемой металлической поверхностью); 10 – изолирующая вставка**

Представленная конструкция устройства образует рабочий конденсатор между высокопотенциальным электродом 8 и низкопотенциальным электродом 9. Изолирующая вставка 10, предотвращает непосредственный контакт электродов и компенсирует неровности и погрешности изготовления очищаемой металлической поверхности изделия. После включения высокочастотного генератора ВЧ-энергия, текущая по коаксиальному кабелю-волноводу 6, и приходящая на высокопотенциальный электрод 8 с одной стороны и через заземленный низкопотенциальный электрод с другой стороны, формирует высокочастотное поле, реализующее диэлектрический нагрев в рабочем конденсаторе (9, 10), которое воздействует на краску и окисные материалы 7, загрязняющие металлическую поверхность 9. За счет диэлектрического нагрева краска и окисные материалы 7 нагреваются и начинают разрушаться, превращаясь в золотоподобную массу, что сопровождается их отслаиванием и удалением с очищаемой металлической поверхности 9 [9-10].

Преимуществом данного метода является энергоэффективность процесса очистки, т. к. разогреву подвергается только загрязняющая поверхность краски и окисные загрязнения без внешнего подвода тепла, и не оказывается на очищаемую металлическую поверхность температурного а, следовательно, и физико-химического воздействия. Данный метод обладает безинерционностью, избирательностью и саморегуляцией процесса.

Отсутствие автоматизированной системы очистки металлических поверхностей от краски и окисных загрязнений в поле высокой частоты представляло собой недостаток данного метода обработки.

В связи с этим целью настоящего исследования стала работа по созданию автоматизированной системы и разработки алгоритма управления процессом очистки.

Автоматизированная система очистки металлических поверхностей от краски и окисных загрязнений в поле высокой частоты и алгоритм её работы

Принципиальная схема автоматизированной, в рамках настоящего исследования, установки представлена на рисунке 2. В разработанной АСУ на установке был смонтирован шаговый двигатель (исполнительный механизм) для изменения ёмкости переменного конденсатора 12. Программируемый контроллер 11 (на базе микропроцессора АТМЕГА 328) осуществляет управление процессом очистки по разработанному алгоритму (представленному ниже).

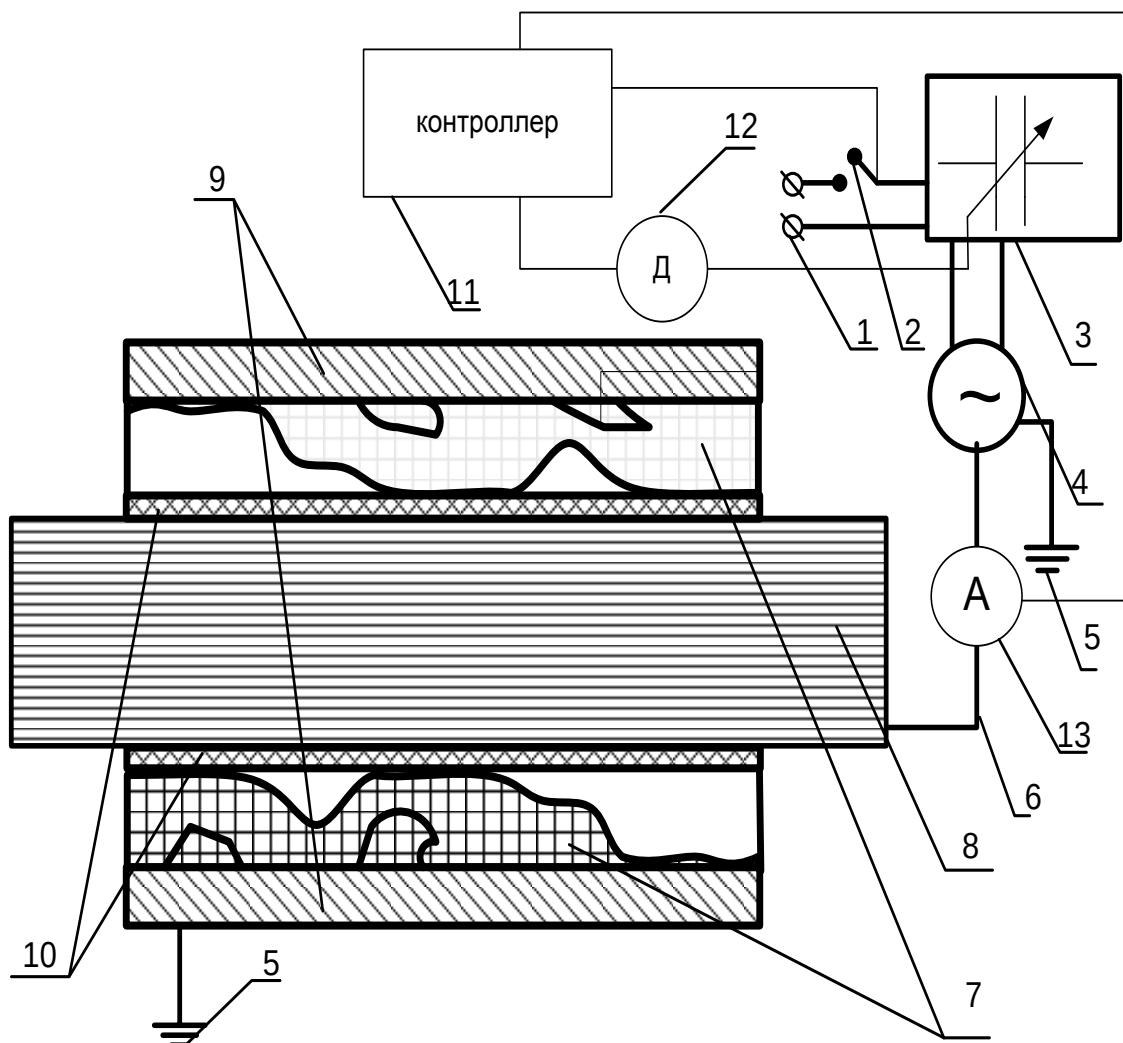


Рисунок 2 Схема автоматизированного устройства для очистки металлических поверхностей от краски и окисных загрязнений

- 1 – силовая цепь подключения высокочастотного генератора; 2 – коммутационный элемент;
 3 – устройство регулирования мощности высокочастотного генератора;
 4 – высокочастотный генератор; 5 – заземление (низкопотенциальный контур);
 6 – коаксиальный кабель-волновод; 7 – краска и окисные загрязнения;
 8 – высокопотенциальный электрод; 9 – низкопотенциальный электрод (с очищаемой металлической поверхностью); 10 – изолирующая вставка; 11 – контроллер; 12 – шаговый двигатель для изменения ёмкости подстроечного конденсатора; 13 – амперметр.

За основу алгоритма были взяты разработки, представленные в работах [9, 10].
 Алгоритм процесса автоматизированной очистки представлен на рисунке 3.

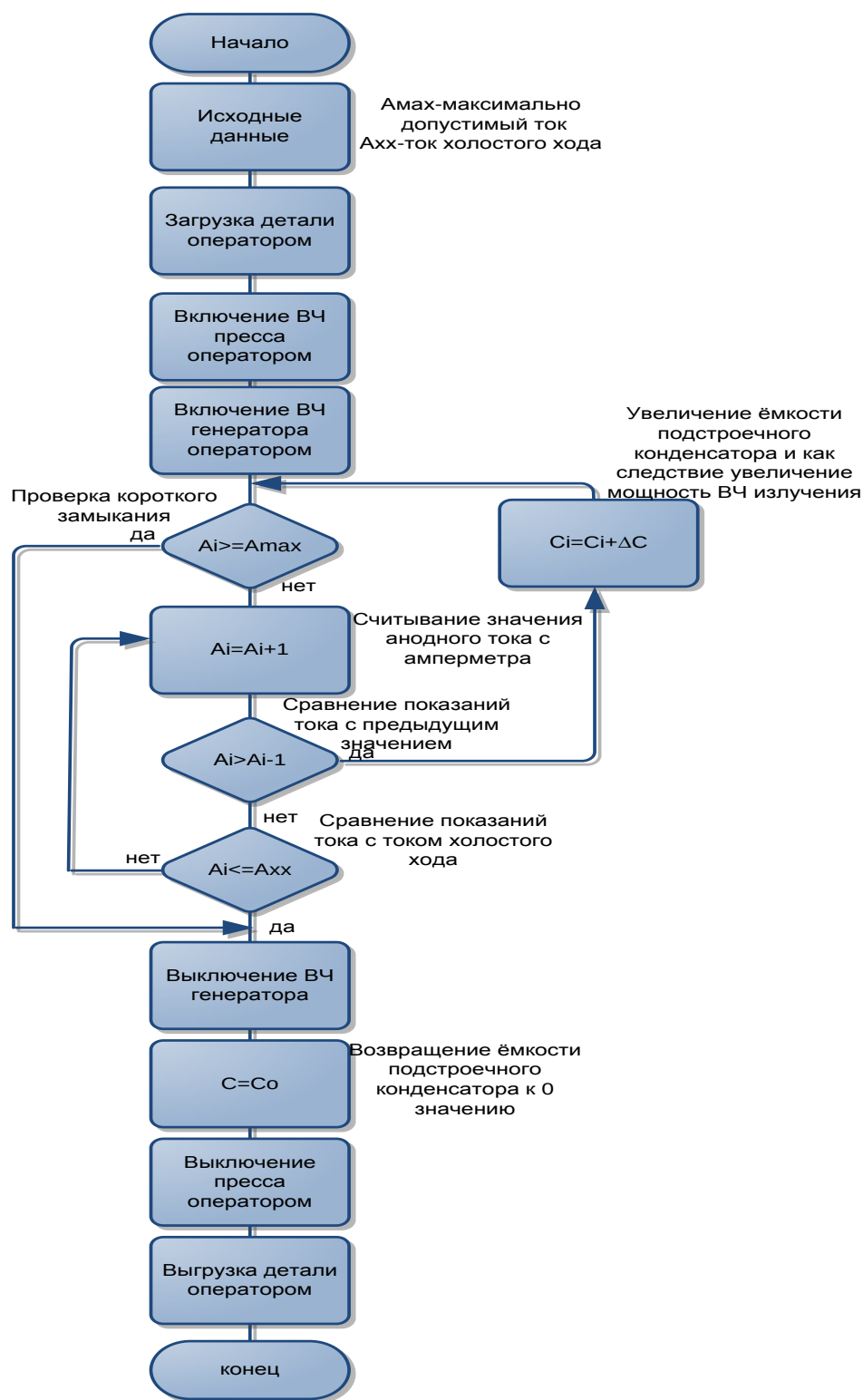


Рисунок 3 Алгоритм автоматизированной очистки металлических поверхностей в поле ВЧ

Исходные данные (значения анодного тока, тока холостого хода и тока предпробойного состояния) вводятся в программу управления вручную и были получены в ходе экспериментальных исследований. Процесс ввода осуществляется после загрузки оператором обрабатываемой заготовки и включения ВЧ генератора. Контроллер, сравнивая предыдущее значение анодный ток, с последующим (снимая показания с амперметра) рассчитав положительную динамику роста, производит постепенное повышение мощности установки. По достижению тока оптимального или максимально-возможного значения

процесс увеличения мощности прекращается. На данном режиме работы ВЧ-генератора производится очистка металлической поверхности до полного удаления загрязнения или окисной пленки. После окончания очистки анодный ток принимает значение холостого хода (принцип саморегулирования), контроллер производит отключение установки и возвращает ёмкость переменного конденсатора в начальное положение.

Заключение

Апробация алгоритма работы была осуществлена на промышленном оборудовании УЗП-2500 при обработке образца из чугуна и показала удовлетворительные результаты качества ВЧ очистки металлических поверхностей.

Таким образом, разработанный в рамках настоящего исследования, алгоритм позволяет производить очистку на максимально допустимой мощности, не допуская пробоя между электродами, что соответствует режиму энергоэффективной работы оборудования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Динамика стравливания окалины с низкоуглеродистой стали в кислотах / Т. К. Коростелева [и др.] 1989. Т. 25, № 3. С. 405.
- 2 Сенокосов Е. С., Сенокосов А. Е. Плазма, рожденная Марсом // Металлоснабжение и сбыт. 2001. № 4. С. 50-52.
- 3 Лазерная очистка в машиностроении и приборостроении / В. П. Вейко, В. Н. Смирнов, А. М. Чирков, Е. А. Шахно. СПб: НИУ ИТМО, 2013. 103 с.
- 4 Вейко В. П., Либенсон М. Н. Лазерная обработка. Л.: Лениздат. 1973. С. 192.
- 5 Вейко В. П., Шахно Е. А. Индуцированное лазером локальное осаждение тонких пленок // Оптический журнал. 1998. Т. 65, № 10. С. 102-107.
- 6 Лукьянчук Б. С., Жэнг Ю. В. Лу И. Ф. К вопросу о механизме сухой лазерной очистки // Известия РАН, сер. физ. 2001. Т. 65, № 4. С. 591-600.
- 7 Вайншток И. С. Ультразвук и его применение в машиностроении. М.: МАШГИЗ, 1958. 140 с.
- 8 Ультразвуковая технология / Под ред. В. А. Аграната. — М.: Машиностроение, 1974. — 503 с.
- 9 Лившиц А. В., Филиппенко Н. Г., Каргапольцев С. К. Высокочастотная обработка полимерных материалов. Организация систем управления. // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование Иркутск: Изд-во ИрГУПС, 2013. 172 с.
- 10 Исследования жидкофазного наполнения полимеров и композитов на их основе моторными маслами. Исследования жидкофазного наполнения полимеров и композитов на их основе моторными маслами / Д. В. Буторин, Н. Г. Филиппенко, А. В. Лившиц, С. И. Попов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – Иркутск: ИрГУПС, 2017. № 2(54). – С. 60-66 0,44/0,3 Н.Г. Филиппенко, А.В. Лившиц, С. И. Попов.

REFERENCES

- 1 Dinamika stravlivaniya okaliny s nizkouglirodistoi stali v kislotah [Dynamics of scale bleaching from low-carbon steel in acids] /T. K. Korosteleva [et al.] 1989. Vol. 25, no. 3. P. 405.
- 2 Senokosov, E. S., Hay, A. E., Plazma, rozhdennaya Marsom [Plasma, born of Mars] // Metallosnabzhenie i sbyt [metal supply and sales]. 2001. no. 4. P. 50-52.
- 3 lazernaya ochistka v mashinostroenii i priborostroenii [Laser cleaning in mechanical engineering] / V. P. Veiko, V. N. Smirnov, A. M. Chirkov, E. A., Sahno. SPb: ITMO, 2013. 103 p.
- 4 V. P. Veiko, M. N. Libenson. Lazernaya obrabotka [The laser treatment.] L.: Lenizdat [Lenizdat.] 1973. P. 192.
- 5 Veiko V. P., Shakhno E. A. Indycirovannoe lazerom local'noe osazhdenie tonkih plenok [laser-Induced local deposition of thin films] // Opticheskii zhurnal [Optical journal]. 1998. Vol. 65, no. 10. P. 102-107.

6 Luk'yanchuk B. S., Zheng Yu Lu I. F. K voprosy o mehanizme suhoi lazernoi ochistki [on the mechanism of dry laser cleaning] // Izvestiya ran, ser. Phys. 2001. Vol. 65, no. 4. P. 591-600.

7 Weinstock I. S. Ul'trazvuk i ego priminenie v mashinostroenii [ultrasound And its application in mechanical engineering.] M: MASHGIZ, 1958. 140c.

8 Ul'trazvukovay tehnologiya [Ultrasonic technology] / edited by V. A. Agranat. - Moscow: Mashinostroenie [Mechanical Engineering], 1974. - 503 p.

9 Livshits A.V., Filippenko N. G., Kargapol'tsev S. K. Vysokochastotnaya obrabotka polimernykh materialov. Organizatsiya system upravleniya. [high-Frequency processing of polymeric materials. Organization of management systems.] Irkutsk: publishing house of the Irkutsk State Transport University, 2013. 172 p.

10 Issledovaniya zhidkofaznogo napolneniya polimerov i kompozitov na ih osnove motornymi maslami [Studies of liquid-phase filling of polymers and composites based on motor oils] / D. V. Butorin, N. G. Filippenko, V. Livshits, S. I. Popov / Sovremenniy tehnologii. Sistemniy. Analiz. [Modern technologies. System analysis. Modeling.] – Irkutsk: Irkutsk State Transport University, 2017. № 2 (54). - P. 60-66 0,44/0,3 N.D. Filippenko, V. Livshits, S. Popov.

Информация об авторах

Попов Александр Сергеевич - аспирант кафедры АПП, Иркутский государственный университет путей сообщения, тел. 638395149, e-mail: ifpister@gmail.com.

Попов Максим Сергеевич - аспирант кафедры АПП, Иркутский государственный университет путей сообщения, тел. 638395149, e-mail: ifpister@gmail.com.

Лившиц Александр Валерьевич - д. т. н., профессор, проректор по научной работе, Иркутский государственный университет путей сообщения, тел. 638395362, e-mail: livnet@list.ru.

Филиппенко Николай Григорьевич - к. т. н., доцент кафедры АПП, Иркутский государственный университет путей сообщения, тел. 638395149, e-mail: ifpi@mail.ru.

Попов Сергей Иванович - к. т. н., доцент кафедры АПП, Иркутский государственный университет путей сообщения, тел. 638395149, e-mail: popovs@irgups.ru.

Authors

Popov Aleksandr Sergeevich - postgraduate student of the Department of APP, Irkutsk State Transport University, tel 638395149, e-mail: ifpister@gmail.com.

Maxim S. Popov - postgraduate student of the Department of APT, Irkutsk State Transport University, phone 638395149, e-mail: ifpister@gmail.com.

Livshits, Aleksandr V. - Ph. D., Professor, Vice-rector on scientific work, Irkutsk State Transport University, tel 638395362, e-mail: livnet@list.ru.

Filippenko Nikolay G.-Ph. D., associate Professor of the Department of APT, Irkutsk State Transport University, phone 638395149, e-mail: ifpi@mail.ru.

Popov Sergey Ivanovich - candidate of technical Sciences, Professor of the AMS, Irkutsk State Transport University, tel 638395149, e-mail: popovs@irgups.ru.

Для цитирования

Разработка алгоритма очистки металлических поверхностей от краски и окисных загрязнений в поле высокой частоты [Электронный ресурс] / А. С. Попов, М. С. Попов, А. В. Лившиц, Н. Г. Филиппенко, С. И. Попов // Молодая наука Сибири: электрон. науч. журн. — 2018. — №1. — Режим доступа: <http://mnv.irgups.ru/toma/11-2018>, свободный. — Загл. с экрана. — Яз. рус., англ. (дата обращения: 21.09.2018).

For citation

A. S. Popov, M. S. Popov, A. V. Livshits, N. G. Filippenko, S. I. Popov Razrabotka algoritma ochistki metallicheskih poverhnostei ot kraski i okisnyh zagryazneni v pole vysokoi

chastoty [Development of an algorithm for cleaning metal surfaces from paint and oxide contamination in the high-frequency field]. *Molodaya nauka Sibiri: ehlektronnyj nauchnyj zhurnal* [Young science of Siberia: electronic scientific journal], 2018, no. 1. [Accessed 21/09/18].