

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ЗАЧИСТКИ ЛАКА НА КОНЦАХ МНОГОЖИЛЬНОГО МЕДНОГО ПРОВОДА ПО КРИТЕРИЯМ ОПТИМАЛЬНОСТИ

Пронин Д.А.

Калужский филиал Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), Калуга, Россия

Ключевые слова: катушка индуктивности, зачистка лака, оптимальность, обжиг, травление, гидроабразивная очистка, ультразвуковая очистка, гидроструйная обработка, лазерная зачистка.

Аннотация. В статье рассмотрены 7 методов для зачистки лака с конца многожильного медного провода и выбран наиболее оптимальный. Данная технология применима в процессе производства дросселей для электрошкафов для карьерных экскаваторов. Выбор осуществлялся по основным параметрам, озвученным на производстве: простоте, качестве и скорости зачистки.

ANALYSIS OF METHODS OF STRIPPING VARNISH AT THE ENDS OF A STRANDED COPPER WIRE ACCORDING TO OPTIMALITY CRITERIA

Pronin D.A.

Kaluga Branch of the Bauman Moscow State Technical University (National Research University), Kaluga, Russia

Keywords: inductance coil, varnish stripping, optimality, firing, etching, waterjet cleaning, ultrasonic cleaning, water jet treatment, laser stripping.

Abstract. The article considers 7 methods for stripping varnish from the end of a stranded copper wire and selects the most optimal one. This technology is applicable in the production of chokes for electric cabinets for quarry excavators. The choice was made according to the main parameters announced in production: simplicity, quality and speed of stripping.

На заводе ЗАО «ОбнинскЭнергоТех» возникло предложение оптимизировать процесс опрессовки концов провода силовых дросселей для электрошкафов карьерных экскаваторов. Необходимо выполнить качественную зачистку пучка медных проводов (порядка 500 шт.) от лака, затем опрессовать его, после чего покрыть весь дроссель (рис. 1) лаком в вакуумной камере и просушить его.

В данной работе будут рассмотрены существующие методы зачистки концов пучка медных проводов от лака и выбран рациональный метод для данной операции. Работа ведется в рамках освоения гранта УМНИК-2021 «Разработка автоматизированной системы хранения элеваторного типа совместно с вытяжным шкафом».

К рассмотрению предлагаются:

- механическая зачистка;
- обжиг лака;

- кислотное травление;
- ультразвуковая очистка;
- гидроструйная обработка;
- лазерная зачистка;
- щелочное травление в расплаве щелочи.

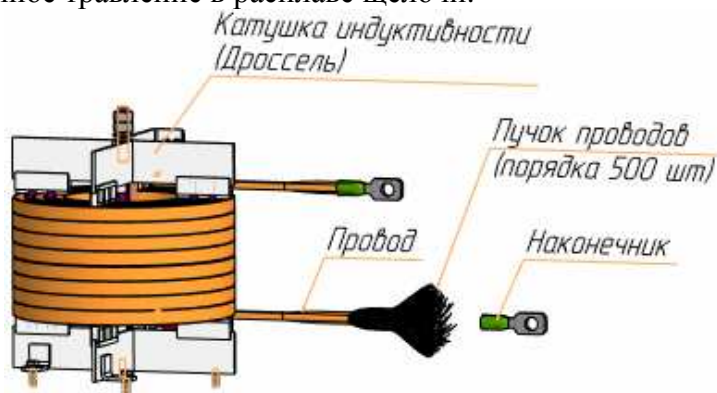


Рис. 1. Основные части дросселя, используемые в работе

Механическая зачистка проводится путем возвратно-поступательных движений наждачной бумагой вокруг пучка проводов (рис. 2). Метод не требует никакого специального оборудования и отличается наибольшей безопасностью. К недостаткам следует отнести возможность повреждения наружных проводов, а также провода, находящиеся внутри пучка, не подвергаются зачистке, что снижает токопроводность [1, 2]. В случае зачистки каждого провода время на обработку достигает более 80 минут, что недопустимо.

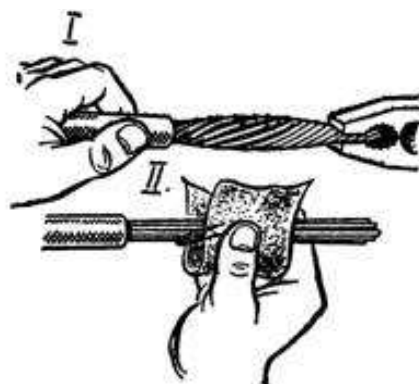


Рис.2. Схема процесса механической зачистки пучка проводов [3]

Обжиг лака подразумевает воздействие открытым пламенем на пучок проводов либо индукционный нагрев. Для этого не требуется сложное оборудование (рис. 3). Сложности возникают после обжига – необходимо удалить сажу с поверхности проводов, а также от высоких температур происходит разупрочнение проводов и их выгорание. Метод теплового воздействия на лак рационален в случае пайки проводов с лудящимся покрытием. Время – более часа на пучок с учетом зачистки от сажи.

Кислотное травление проводится в растворе сильных кислот, способных растворять лак [5]. Важным преимуществом является проникание раствора по всему пучку проводов и их качественная зачистка, а также сохранение структуры проводов (рис. 4). Растворы кислот могут иметь вредные испарения, для защиты нужна вентиляция помещения. Кроме того кислоты необходимо вымывать после из пучка, чтобы она не воздействовала на провода при нагрузке электрическим током под наконечником. Время – около 10 минут.

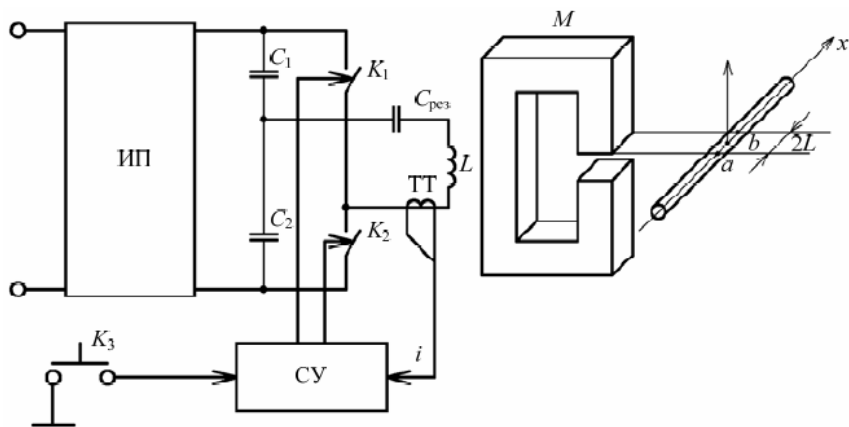


Рис. 3. Функциональная схема устройства зачистки лакированных проводов [4]

Ультразвуковая зачистка проводится в ванной со специальным раствором. При воздействии ультразвука образуются микропузырьки (пустоты) в жидкости, которые схлопываются вблизи поверхности детали и очищают её. Покрытия из лака обычно кавитационно стойкие и хорошо связаны с поверхностью [7, 8]. Для их очистки нужны достаточно агрессивные растворы, которые будут растворять загрязнение, но при этом велика вероятность окисления медных проводов. Метод подходит для очистки габаритных деталей от загрязнений (рис. 5), например, во время техобслуживания. Время – около 40 минут.

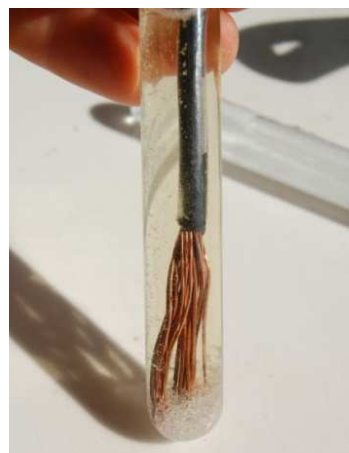


Рис. 4. Кислотное травление провода [6]

Гидроструйная обработка проводится путем воздействия струи жидкости под высоким давлением. При этом происходит обработка большего числа проводов в пучке, не изменяется структура проводов. Метод безопасен и экологичен. Среди недостатков отмечена необходимость специального оборудования, а также недостаточная степень зачистки от лака ввиду его хорошего сцепления с поверхностью. Метод больше подходит для зачистки от загрязнений [10, 11]. Также для обработки необходимо помещать весь дроссель в камеру (рис. 6), а значит, его необходимо затем тщательно просушивать. Время – около 80 минут.

Лазерная зачистка относится к современным методам очистки поверхностей металлов. Среди преимуществ замечена малая трудоемкость, сохранение структуры провода, безопасность и экологичность [13]. Имеется переносное оборудование. Недостатком является высокая стоимость лазерного оборудования и сложность настройки режимов [14]. Метод больше подходит для обширных поверхностей даже сложной формы (рис. 7), чем для пучка проводов – ввиду их количества они перекрывают лазерный луч и препятствуют качественной зачистке. Время – около 20 минут.



Рис. 5. Внешний вид ультразвуковой ванны [9]



Рис. 6. Внешний вид установки для гидроструйной очистки [12]

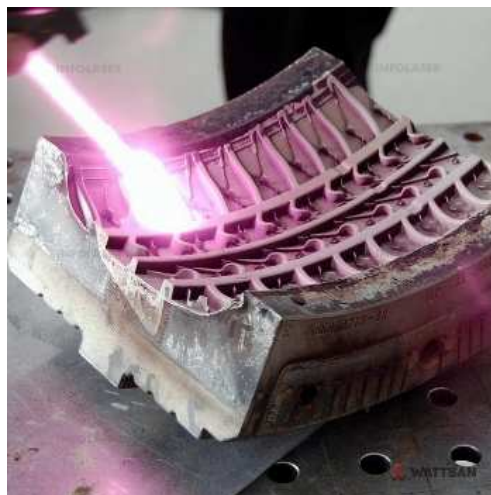


Рис. 7. Процесс лазерной очистки [15]

Щелочное травление в расплаве щелочи по своему принципу отчасти похоже на кислотное травление. Преимуществами являются: безусловно высокая скорость зачистки пучка проводов от лака, качественная зачистка благодаря прониканию расплава в весь пучок, а также сохранение структуры проводов, поскольку щелочь не реагирует с медью [5]. Среди недостатков отмечена необходимость промывки пучка в воде, а также повышенные требования к технике безопасности из-за работы с высокотемпературными веществами (рис. 8). Время – около 5 минут.



Рис. 8. Щелочная ванна с расплавом щелочи [16]

В ходе данной работы установлено, что наиболее оптимальный метод для качественной зачистки пучка медных проводов является щелочное травление в расплаве щелочи, успешно применяемое на ЗАО «ОбнинскЭнергоТех» [17]. На заводе была разработана ванна для щелочи оригинальной конструкции, лакирование проводится в вакуумной камере. В целях оптимизации процесса ведутся работы по гранту УМНИК-2021 «Разработка автоматизированной системы хранения элеваторного типа совместно с вытяжным шкафом» [18] при поддержке Фонда Содействия Инновациям, договор 17691ГУ/2022 от 12.05.2022.

Список литературы

1. Mousokhranov M.V., Kalmykov V.V., Logutenkova E.V. The influence of technological parameters on physical and mechanical properties of surfaces // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019, p. 012054.
2. Musokhranov M.V., Kalmykov V.V., Malyshev E.N. Experimental research of variability of surface energy value of Fe37-3Fn, C45 and 41Cr4 steels // International Journal of Applied Engineering Research. 2017, vol. 12, no. 17, pp. 6428-6433.
3. Электрические сети, оборудование электроустановок [Электронный ресурс] – URL: <https://forca.ru/>
4. Калинин Р.Г., Семенов В.Д., Федотов В.А. Эффективность нагрева медного провода в зазоре индуктора поперечного магнитного поля для зачистки от лаковой изоляции // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2014. – № 1(31). – С. 74-77.

5. Ахметов Н.С. Неорганическая химия: Учебное пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1975. – 672 с.
6. Как быстро очистить медный провод от окисла [Электронный ресурс] – URL: <https://sdelaysam-svoimirukami.ru/4790-kak-bystro-ochistit-mednyj-provod-ot-okisla.html>.
7. Ankuda E.S., Kalmykov V.V., Musokhranov M.V., Sokolova I.D. Wear resistant coatings for tool steels // AIP Conference Proceedings. 3. "III International Scientific Practical Conference "Breakthrough Technologies and Communications in Industry and City", ВТСИ 2020". 2021, p. 020005.
8. Logutenkova E.V., Kalmykov V.V., Mousokhranov M.V. Formation of adhesive properties of surfaces of multicomponent materials // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019, p. 012047.
9. Установка для ультразвуковой очистки (мойки) деталей тягового подвижного состава (ТПС) [Электронный ресурс] – URL: <https://svth.ru/tovar/installation-for-ultrasonic-cleaning>.
10. Пушкарев А.Е., Головин К.А., Сафронов В.В. О гидроструйной очистке поверхностей // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2002. – №8. – С. 206-207.
11. Kalmykov V.V., Musokhranov M.V., Logutenkova E.V., Malyshev E.N., Gorbunov A.K. Generation of surface energy in metals using row-by-row microdeformation // International Journal of Applied Engineering Research. 2017, vol. 12, no. 24, pp. 15621-15626.
12. Официальный сайт компании ООО Гидроабразив, Екатеринбург [Электронный ресурс] – URL: <https://www.gidroabraziv.com/>
13. Филипов А. И., Шапарев А.В. Лазерная очистка металла // Поколение будущего: Взгляд молодых ученых-2019: Сборник научных статей 8-й Международной молодежной научной конференции, в 6-х томах. Том 5. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2019. – С. 229-232.
14. Зоренко Д.А., САЕ-моделирование лазерно-кислородного раскроя стального листового проката // Journal of Advanced Research in Technical Science. – 2020. – №22. – С. 5-8.
15. Wattsan – официальный сайт производителя лазерных и фрезерных станков [Электронный ресурс] – URL: <https://wattsan.ru/>
16. Официальный сайт Производственной металлообрабатывающей компании «Ионмет» [Электронный ресурс] – URL: <https://ionmet.ru/salt-barium-alkaline>
17. Официальный сайт ЗАО «ОбнинскЭнергоТех» [Электронный ресурс] – URL: <https://www.obninskenergotech.ru/>
18. Пронин Д.А. Разработка автоматизированной системы хранения элеваторного типа совместно с вытяжным шкафом // Молодежная конференция «ИННОСТАРТ-2021»: Тезисы итогового мероприятия по Программе «Участник молодежного научно-инновационного конкурса 2021».– Обнинск, 2021. – С. 70-72.

References

1. Mousokhranov M.V., Kalmykov V.V., Logutenkova E.V. The influence of technological parameters on physical and mechanical properties of surfaces // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019, p. 012054.
2. Musokhranov M.V., Kalmykov V.V., Malyshev E.N. Experimental research of variability of surface energy value of Fe37-3Fn, C45 and 41Cr4 steels // International Journal of Applied Engineering Research. 2017, vol. 12, no. 17, pp. 6428-6433.

3. Electrical networks, electrical installation equipment [Electronic resource] – URL: <https://forca.ru/>
4. Kalinin R.G., Semenov V.D., Fedotov V.A. Efficiency of heating copper wire in the gap of a transverse magnetic field inductor for stripping from lacquer insulation // Reports of Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics. 2014, no. 1(31), pp. 74-77.
5. Akhmetov N.S. Inorganic chemistry: A textbook for universities. – 2nd ed., reprint and additional – M.: Higher School, 1975. – 672 p.
6. How to quickly clean copper wire from oxide [Electronic resource] – URL: <https://sdelaysam-svoimirukami.ru/4790-kak-bystro-ochistit-mednyj-provod-ot-okisla.html>.
7. Ankuda E.S., Kalmykov V.V., Musokhranov M.V., Sokolova I.D. Wear resistant coatings for tool steels // AIP Conference Proceedings. 3. "III International Scientific Practical Conference "Breakthrough Technologies and Communications in Industry and City", BTCI 2020". 2021, p. 020005.
8. Logutenkova E.V., Kalmykov V.V., Mousokhranov M.V. Formation of adhesive properties of surfaces of multicomponent materials // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019, p. 012047.
9. Installation for ultrasonic cleaning (washing) of parts of traction rolling stock (TPS) [Electronic resource] – URL: <https://svth.ru/tovar/installation-for-ultrasonic-cleaning>.
10. Pushkarev A.E., Golovin K.A., Safronov V.V. On hydrojet cleaning of surfaces // Mining information and analytical Bulletin. 2002, no. 8, pp. 206-207.
11. Kalmykov V.V., Musokhranov M.V., Logutenkova E.V., Malyshev E.N., Gorbunov A.K. Generation of surface energy in metals using row-by-row microdeformation // International Journal of Applied Engineering Research. 2017, vol. 12, no. 24, pp. 15621-15626.
12. The official website of LLC Hidroabraziv, Yekaterinburg [Electronic resource] – URL: <https://www.gidroabraziv.com/>
13. Filipov A. I., Shaparev A.V. Laser metal cleaning // Generation of the future: The view of young scientists-2019: Collection of scientific articles of the 8th International Youth Scientific Conference, in 6 volumes. Volume 5. – Kursk: Southwest State University, 2019. – P. 229-232.
14. Zorenko D.A., CAE-modeling of laser-oxygen cutting of steel sheet products // Journal of Advanced Research in Technical Science. 2020, no.22, pp. 5-8.
15. Wattsan – official website of the manufacturer of laser and milling machines [Electronic resource] – URL: <https://wattsan.ru/>
16. The official website of the Ionmet Production Metalworking Company [Electronic resource] – URL: <https://ionmet.ru/salt-barium-alkaline>
17. The official website of CJSC Obninskenergotekh [Electronic resource] – URL: <https://www.obninskenergotekh.ru/>
18. Pronin D.A. Development of an automated elevator-type storage system together with a fume hood // Youth conference "INNOSTART-2021": Abstracts of the final event under the Program "Participant of the Youth scientific and Innovative Competition 2021". – Obninsk, 2021. – pp. 70-72.

Пронин Данила Алексеевич – магистрант	Pronin Danila Alekseevich – master's student
DanSham4ik@yandex.ru	

Received 02.11.2022