

**Ю. Н. ЕЛИСЕЕВ**, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник Исследовательского центра экспертизы пожаров, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 193079, г. Санкт-Петербург, Октябрьская наб., 35; e-mail: eliseev@mail.ru)

**Т. П. СЫСОЕВА**, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник Исследовательского центра экспертизы пожаров, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 193079, г. Санкт-Петербург, Октябрьская наб., 35; e-mail: syisik@mail.ru)

**С. В. СКОДТАЕВ**, старший научный сотрудник Исследовательского центра экспертизы пожаров, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 193079, г. Санкт-Петербург, Октябрьская наб., 35; e-mail: ficentre@mail.ru)

**А. Ю. ПАРИЙСКАЯ**, старший научный сотрудник Исследовательского центра экспертизы пожаров, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 193079, г. Санкт-Петербург, Октябрьская наб., 35; e-mail: ficentre@mail.ru)

**Я. В. РОЩИНА**, научный сотрудник Исследовательского центра экспертизы пожаров, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 193079, г. Санкт-Петербург, Октябрьская наб., 35; e-mail: ficentre@mail.ru)

**Е. В. КАЛАЧ**, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры естественно-научных дисциплин, Воронежский институт — филиал Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России (Россия, 394052, г. Воронеж, ул. Краснознаменная, 231; e-mail: EVKalach@gmail.com)

УДК 614.841

## СОЕДИНЕНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ПРОВОДНИКОВ МЕТОДОМ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СВАРКИ. ПОЖАРНАЯ ОПАСНОСТЬ

Рассмотрены преимущества соединения проводников автотранспортных средств методом ультразвуковой сварки. Проанализированы основные пожароопасные аварийные режимы работы, которые могут возникнуть в местах соединения и привести к возгоранию транспортных средств. На примере реально происшедших пожаров легковых автомобилей показана возможность установления факта некачественно выполненных работ по сварке проводников с возникновением горения. Для определения причастности аварийных режимов работы, имевших место в сварном соединении проводников транспортного средства, с его возгоранием предложено использовать металлографические исследования мест соединений. Приведены основные признаки, позволяющие установить вид аварийного режима работы, ставшего причиной возгорания.

**Ключевые слова:** ультразвуковая сварка; пожар; транспортные средства; проводники; пожарно-техническая экспертиза.

**DOI:** 10.18322/PVB.2018.27.10.38-45

### Введение

Действующие правила устройства и эксплуатации электрооборудования [1] допускают соединение жил проводов и кабелей только при помощи опрессовки, сварки, пайки или сжимов. Все указанные способы соединения имеют свои достоинства и недостатки. В технической литературе [2, 3] отмечено, что в настоящее время все большее применение в различных отраслях промышленности находит ультразвуковая сварка металлов, в том числе проводников.

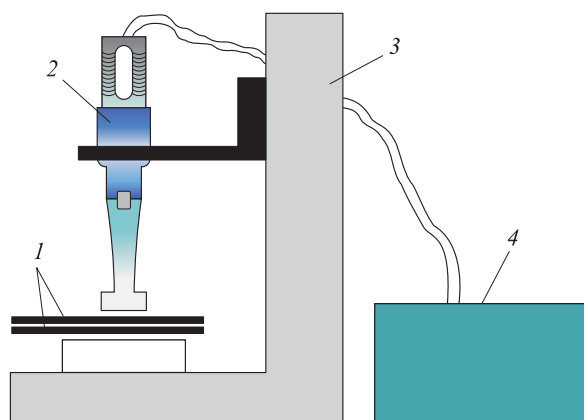
По сравнению с другими методами ультразвуковая сварка имеет ряд преимуществ. Прежде всего это сокращение времени проведения работ и высокая прочность соединения, которая достигается при незначительном температурном воздействии, оказываемом непосредственно на свариваемые детали,

т. е. соединение металлов происходит без достижения температуры их плавления [3].

В основу соединения медных проводников ультразвуком положены высокочастотные (более 20 кГц) колебания. Свариваемые проводники сжимаются, а энергия колебаний создает напряжения, растяжения и сжатия, что приводит к пластической деформации изделий в зоне их соприкосновения, разогреву и, как следствие, соединению [4].

Схема типовой ультразвуковой сварочной установки показана на рис. 1. Основными ее частями являются:

- ультразвуковой генератор, преобразующий ток электрической сети в ток высокой частоты;
- пресс с ультразвуковым преобразователем, в котором происходит преобразование колебаний



**Рис. 1.** Схема установки для ультразвуковой сварки проводников: 1 — свариваемые проводники; 2 — ультразвуковой преобразователь; 3 — механический пресс; 4 — ультразвуковой генератор

**Fig. 1.** The scheme of installation for ultrasonic welding of conductors: 1 — welded conductors; 2 — ultrasonic transducer; 3 — mechanical press; 4 — ultrasonic generator

электрического тока высокой частоты в механические колебания, передаваемые свариваемым проводникам.

Весь процесс сварки занимает несколько секунд. При этом не требуется какой-либо предварительной подготовки изделий к соединению, необходимо только снять изоляцию на незначительном участке. Все это делает данный метод соединения проводников одним из самых перспективных в настоящее время.

В то же время соблности все необходимые условия технологического процесса при производстве сварочных работ по соединению проводников очень часто бывает затруднительно, особенно при проведении ремонтных работ или работ по установке дополнительного оборудования на транспортных средствах. В первую очередь это связано с ограниченным пространством в месте проведения сварочных работ. Кроме того, одним из условий качественного соединения является низкое содержание влаги в свариваемых деталях, в противном случае можно получить дефектное сварочное соединение проводников.

Целью настоящей работы являлась оценка возможности выявления после пожара признаков, указывающих на причастность некачественно выполненного соединения проводников методом ультразвуковой сварки к возгоранию транспортного средства.

Для достижения указанной цели необходимо было решить следующие задачи:

- провести анализ пожаров, происшедших на автомобильном транспорте в результате некачественно выполненного соединения проводников методом ультразвуковой сварки;
- выявить характерные признаки, указывающие на причастность к возникновению горения некачественного соединения.

## Материалы и методы исследования

В промышленно развитых странах, в том числе в России, доля пожаров автотранспортных средств, происшедших по электротехническим причинам, составляет от 30 до 40 % от общего количества возгораний [5]. По всем видам электротехнической продукции первое место по числу пожаров с большим опережением занимают проводники и места их соединения [6–9].

Наибольшую пожарную опасность мест соединения проводников методом ультразвуковой сварки представляют случаи, когда процесс сварки завершен не в полном объеме (“несплавление”) или, наоборот, когда имело место слишком длительное воздействие ультразвука на проводники.

В случае “несплавления” жил при прохождении через данное место электрического тока может возникнуть такой вид аварийного режима работы, как большое переходное сопротивление (БПС), так называемый “плохой контакт”. Отметим, что данный вид аварийного режима работы электросети, наряду с коротким замыканием, является одним из самых распространенных режимов, приводящих к пожару, как в нашей стране, так и за рубежом [10–17]. Увеличение активного сопротивления в месте перехода тока из одной токоведущей жилы в другую в свою очередь ведет к повышению температуры [18, 19].

В настоящей статье в качестве материалов для исследования были выбраны медные многожильные проводники, соединенные между собой методом ультразвуковой сварки. Исследование данных образцов проводилось в лабораторных условиях методом металлографического анализа.

## Результаты и их обсуждение

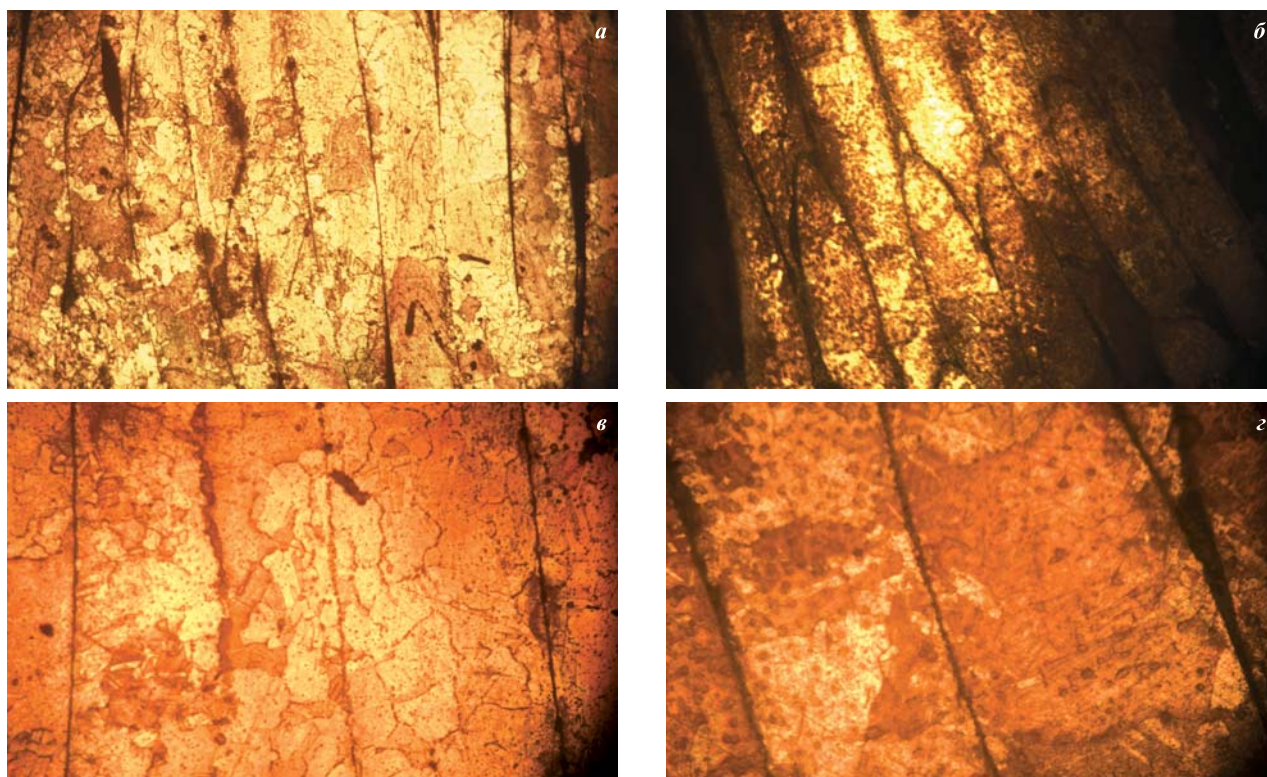
Для установления причастности плохой сварки к возникновению пожара необходимы металлографические исследования соединения. На рис. 2 для сравнения приводятся микроструктуры соединений при качественно выполненной сварке и в случае, когда имело место “несплавление” жил.

Из рис. 2 видно, что при качественно выполненной сварке наблюдается сплавление отдельных участков проволок в месте соединения, а в случае “некачественного” соединения жил — четко выраженные границы между жилами в проводнике.

Данный признак предлагается использовать в пожарно-технической экспертизе в целях установления “некачественного” соединения проводников.

### Исследования пожара автомобиля LADA Largus

В качестве примера пожара, возникшего по вышеуказанной причине, можно привести возгорание автомобиля LADA Largus 2016 г. выпуска с пробегом



**Рис. 2.** Микроструктура жил в месте соединения при 50-кратном (а, б) и 200-кратном (в, г) увеличении: а, в — качественное соединение; б, г — “несплавление” жил в месте соединения

**Fig. 2.** Microstructure of veins in a junction at 50<sup>th</sup> multiple (a, b) and the 200<sup>th</sup> multiple (v, g) increase: a, v — high-quality connection; b, g — “not alloyage” I lived in a junction

менее 10 тыс. км. В процессе движения водитель транспортного средства обратил внимание на дым, выходящий из моторного отсека. Остановившись, он обнаружил пламенное горение в его левой части.

В ходе дальнейшего исследования поврежденного автомобиля было установлено, что непосредственно в очаге пожара из возможных источников зажигания присутствовали только элементы электропроводки автомобиля. Одно из соединений проводников было выполнено методом ультразвуковой сварки (рис. 3), и в ходе лабораторного металлографического исследования было установлено, что имело место “несплавление” жил.



**Рис. 3.** Вид соединения проводников методом ультразвуковой сварки после пожара автомобиля LADA Largus

**Fig. 3.** Type of connection of conductors by method of ultrasonic welding after the fire of the LADA Largus car

Как было установлено в процессе судебного разбирательства, возгорание автомобиля действительно произошло в результате некачественно выполненной сварки (Никитенко В. А. Техническое заключение № 62. — Оренбург : ФГБУ СЭУ ФПС ИПЛ по Оренбургской области, 2016. — 8 с.).

#### Недостатки длительного воздействия ультразвука в процессе сварки

Слишком долгое воздействие ультразвука в процессе сварки на соединяемые проводники также может привести в дальнейшем к возникновению горения. С одной стороны, при этом происходит более качественное соединение, а с другой — слишком сильный нагрев проводников. В процессе нагревания проволоки, изготовленной методом холодной деформации, происходят рекристаллизационные процессы. Они приводят к изменению физико-механических свойств металла, в частности к уменьшению стойкости металлоизделия к изгибу, что в свою очередь может вызвать механические повреждения проводника в непосредственной близости от места соединения (обрыв жил) [19, 20].

Как известно, все проводники на транспортных средствах медные многожильные, и выход из строя части из них (обрыв нескольких жил) может привести к возникновению локальной токовой пере-

грузки. В случае потери сечения проводника более чем на 50 % температура на поврежденном участке достигает значений, достаточных для воспламенения окружающих материалов, и в первую очередь изоляции [21]. Отметим, что при данном виде аварийного режима работы электросети не происходит срабатывания предохранителей, установленных на транспортных средствах.

**Исследования пожара автомобиля Suzuki-swift 2012 г. выпуска**

Описанный выше механизм возникновения горения и привел к пожару легкового автомобиля Suzuki-swift.

Из представленных на экспертизу документов следовало, что владелец автомобиля установил на транспортном средстве предпусковой подогреватель двигателя Webasto, при этом соединение проводников проводилось методом ультразвуковой сварки.

В процессе прогрева двигателя в г. Оренбурге произошло возгорание внутри моторного отсека (первое использование подогревателя после установки). Горение было ликвидировано владельцем с помощью подручных средств (рис. 4).

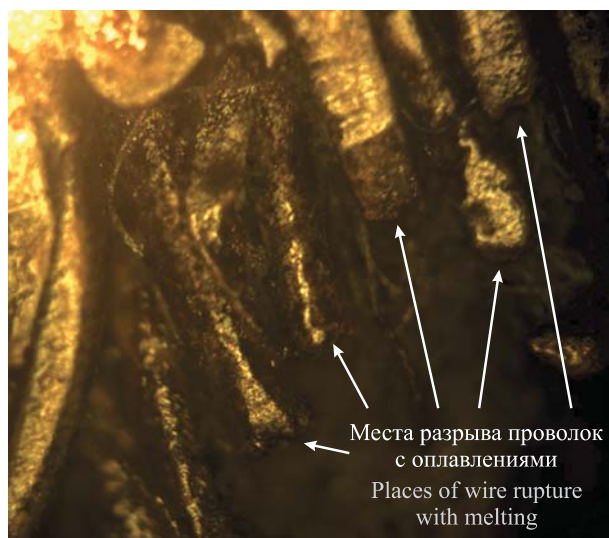
Очаг происшедшего пожара находился в правой части моторного отсека, в месте установки предпускового подогревателя. Один из проводников, которым осуществлялось подключение подогрева-



**Рис. 4.** Вид поврежденного огнем автомобиля Suzuki-swift  
**Fig. 4.** A type of the Suzuki-swift car damaged by fire



**Рис. 5.** Вид соединения проводников методом ультразвуковой сварки после пожара автомобиля Suzuki-swift  
**Fig. 5.** A type of connection of conductors by method of ultrasonic welding after the fire of the Suzuki-swift car



**Рис. 6.** Вид места разрыва проводников после пожара автомобиля Suzuki-swift (50-кратное увеличение)

**Fig. 6.** A view of the place of a rupture of conductors after the fire of the Suzuki-swift car (the 50<sup>th</sup> multiple increase)

теля к бортовой сети транспортного средства, имел многочисленные повреждения проводочек непосредственно возле места соединения (рис. 5).

При исследовании места разрыва проводников на металлографическом микроскопе при 50-кратном увеличении было установлено, что места разрыва оплавлены и закопчены, т. е. исследуемый проводник был поврежден еще до пожара (рис. 6).

Принимая во внимание это и другие данные по факту пожара, сделали окончательный вывод о том, что причиной данного пожара явилась локальная токовая перегрузка в месте соединения проводников (Елисеев Ю. Н. Заключение эксперта № Э/23-17. — СПб. : ИЦЭП ВНИИПО МЧС России, 2010. — 15 с.).

**Заключение**

Таким образом, показана возможность возникновения горения транспортных средств в результате некачественно выполненного соединения проводников методом ультразвуковой сварки. При этом отмечено, что к пожару могут привести случаи, когда процесс сварки завершен не в полном объеме (“несплавление” жил) или, наоборот, когда имело место слишком длительное воздействие ультразвуковых волн на соединяемые проводники.

В том случае если при исследовании поврежденного огнем автомобиля непосредственно в очаге пожара находятся проводники, соединение которых произведено методом ультразвуковой сварки, необходимо изымать данное соединение для дальнейшего лабораторного металлографического исследования.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила устройства электроустановок: все действующие разделы шестого и седьмого изданий с изменениями и дополнениями. — Новосибирск : Норматика, 2018. — 462 с.
2. Чернышов Г. Г. Сварочное дело. Сварка и резка металлов : учебник. — М. : Академия, 2013. — 496 с.
3. Куташов Д. А., Свичкарь А. С., Шестель Л. А. Соединение медных проводов с помощью ультразвуковой сварки // Техника и технологии машиностроения : материалы IV Международной студенческой научно-практической конференции (25–30 марта 2015 г., г. Омск). — Омск : Омский государственный технический университет, 2015. — С. 140–142.
4. Холопов Ю. В. Оборудование для ультразвуковой сварки. — Л. : Энегроатомиздат, 1985. — 168 с.
5. Чешко И. Д., Плотников В. Г. Анализ экспертных версий возникновения пожара : в 2 кн. — СПб. : Типография “Береста”, 2010. — Кн. 1. — 708 с.
6. Brushlinsky N. N. Formulating statistics for a safer planet // Fire International. — July 1996. — P. 16–21.
7. Hylton J. G. Haynes, Gary P. Stein. U. S. Fire Department Profile–2015. — Quincy, MA : National Fire Protection Association, April 2017. — 39 p. URL: <https://www.nfpa.org/-/media/Files/News-and-Research/Fire-statistics/Fire-service/osfdprofile.ashx> (дата обращения: 10.07.2018).
8. Les Statistiques des Services d’Incendie et de Secours. Direction generale de la securite civile et de la gestion des crises. Edition 2015. — 78 p. URL: <https://www.interieur.gouv.fr/content/download/90819/706317/file/StatsSDIS15BD.pdf> (дата обращения: 10.07.2018).
9. Brushlinsky N. N., Ahrens M., Sokolov S. V., Wagner P. World Fire Statistics. Center of Fire Statistics of CTIF. — 2016. — Report No. 21. — 60 p. URL: [http://ctif.org/sites/default/files/ctif\\_report21\\_world\\_fire\\_statistics\\_2016.pdf](http://ctif.org/sites/default/files/ctif_report21_world_fire_statistics_2016.pdf) (дата обращения: 05.07.2018).
10. Недобитков А. И. Экспертное исследование автомобильных латунных кабельных наконечников провода массы // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2015. — Т. 24, № 6 — С. 29–36.
11. Severy D. M., Blaisdell D. M., Kerkhoff J. F. Automotive collision fires // SAE Technical Paper Series. — 1974. — No. 741180. DOI: 10.4271/741180.
12. Quintiere J. G. Fundamentals of fire phenomena. — Chichester : John Wiley and Sons, Ltd., 2006. — 439 p. DOI: 10.1002/0470091150.
13. Beyler C., Carpenter D., Dinunno P. Introduction to fire modeling // Fire Protection Handbook / Cote A. E. — 20<sup>th</sup> ed. — Quincy, MA : National Fire Protection Association, 2008. — 3680 p.
14. Okamoto K., Watanabe N., Hagimoto Y., Chigira T., Masano R., Miura H., Ochiai S., Satoh H., Tamura Y., Hayano K., Maeda Y., Suzuki J. Burning behavior of sedan passenger cars // Fire Safety Journal. — 2009. — Vol. 44, Issue 3. — P. 301–310. DOI: 10.1016/j.firesaf.2008.07.001.
15. Елисеев Ю. Н., Плотников В. Г., Скودтаев С. В. Особенности исследования электропроводки автомобиля на месте пожара // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. — 2016. — № 4. — С. 8–12.
16. Скودтаев С. В., Копкин Е. В., Бардулин Е. Н. Анализ практики исследования пожаров автомобилей судебно-экспертными учреждениями федеральной противопожарной службы МЧС России // Проблемы управления рисками в техносфере. — 2017. — № 2(42). — С. 117–124.
17. Мокряк А. Ю., Тумановский А. А., Парийская А. Ю. Разработка электронного каталога макро- и микроструктур оплавлений токоведущих электротехнических изделий, изымаемых с мест пожаров // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. — 2017. — № 3. — С. 54–62.
18. Чешко И. Д., Лебедев К. Б., Мокряк А. Ю. Экспертное исследование после пожара контактных узлов электрооборудования в целях выявления признаков больших переходных сопротивлений : метод. реком. — М. : ВНИИПО, 2008. — 60 с.
19. Применение инструментальных методов и технических средств в экспертизе пожаров : сб. метод. реком. / Под ред. И. Д. Чешко, А. Н. Соколовой. — СПб. : СПб филиал ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2008. — 279 с.
20. Елисеев Ю. Н., Чешко И. Д., Плотников В. Г. Усовершенствование методики исследования кабельных изделий на месте пожара // Расследование пожаров : сб. ст. — 2016. — Вып. 5. — С. 93–98.
21. Елисеев Ю. Н., Мокряк А. Ю., Скودтаев С. В. Возникновение пожароопасного аварийного режима в электросети при механическом повреждении проводника тока // Проблемы управления рисками в техносфере. — 2017. — № 1(41). — С. 65–72.

Материал поступил в редакцию 16 июля 2018 г.

Для цитирования: Елисеев Ю. Н., Сысоева Т. П., Скодтаев С. В., Парийская А. Ю., Рощина Я. В., Калач Е. В. Соединение автомобильных проводников методом ультразвуковой сварки. Пожарная опасность // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 10. — С. 38–45. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.10.38-45.

## CONNECTION OF AUTOMOBILE CONDUCTORS BY ULTRASONIC WELDING. FIRE HAZARD

**Yu. N. ELISEEV**, Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher of Research Center for Fire Examination, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Oktyabrskaya Emb., 35, Saint Petersburg, 193079, Russian Federation; e-mail: eliseev@mail.ru)

**T. P. SYSOEVA**, Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher of Research Center for Fire Examination, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Oktyabrskaya Emb., 35, Saint Petersburg, 193079, Russian Federation; e-mail: syisik@mail.ru)

**S. V. SKODTAEV**, Senior Researcher of Research Center for Fire Examination, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Oktyabrskaya Emb., 35, Saint Petersburg, 193079, Russian Federation; e-mail: ficentre@mail.ru)

**A. Yu. PARIYSKAYA**, Senior Researcher of Research Center for Fire Examination, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Oktyabrskaya Emb., 35, Saint Petersburg, 193079, Russian Federation; e-mail: ficentre@mail.ru)

**Ya. V. ROSHCINA**, Researcher of Research Center for Fire Examination, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Oktyabrskaya Emb., 35, Saint Petersburg, 193079, Russian Federation; e-mail: ficentre@mail.ru)

**E. V. KALACH**, Candidate of Technical Sciences, Docent, Associate Professor of Department of Natural Science Disciplines, Voronezh Institute – Branch of Ivanovo Fire and Rescue Academy of State Firefighting Service of Emercom of Russia (Krasnoznamennaya St., 231, Voronezh, 394052, Russian Federation; e-mail: EVKalach@gmail.com)

### ABSTRACT

**Introduction.** Nowadays ultrasonic welding of metals including conductors is widely used. The connection of copper conductors by ultrasound is based on high-frequency oscillations.

**Materials and methods.** Copper stranded conductors interconnected by ultrasonic welding were chosen as the materials for the study. The study of these samples was carried out in the laboratory by metallographic analysis.

**Results and discussion.** In case of a poor contact at the connection point, a large transient resistance may occur when an electric current passes through a given point and cause fire.

To establish the involvement of a poor adhesion to the occurrence of a fire, it is necessary to conduct metallographic studies of the compound. With qualitatively performed welding, fusion of individual sections of wires at the junction site is observed, while in the case of a “poor” connection, clearly defined boundaries are observed.

A very long exposure to ultrasound in the welding process on the connected conductors leads to a decrease in the plasticity of the conductor, which in turn leads to the fracture of the veins near the junction and, as a consequence, to the emergence of local current overload. Where the places of rupture after the fire are melted and smoked, indicates that the test conductor was damaged even before the ignition of the vehicle.

**Conclusion.** Thus, the possibility of vehicle combustion as a result of a poorly executed connection of conductors by ultrasonic welding is shown. It is noted that the fire can be caused by uncompleted welding (“non-fusion” of the conductors), or vice versa when an impact of ultrasonic waves on the conductors to be connected has been too long.

It is necessary to withdraw this connection directly at the seat of fire for further laboratory metallographic research.

**Keywords:** ultrasonic welding; fire; transport means; guides; fire and technical expertise.

## REFERENCES

1. *Pravila ustroystva elektroustanovok: vse deystvuyushchiye razdely shestogo i sedmogo izdaniy s izmeneniyami i dopolnениyami* [Electrical installation rules: all active sections of the sixth and seventh editions with amendments and additions]. Novosibirsk, Normatika Publ., 2018. 462 p. (in Russian).
2. Chernyshov G. G. *Svarochnoye delo. Svarka i rezka metallov* [Welding. Welding and cutting of metals]. Moscow, Academiya Publ., 2013. 496 p. (in Russian).
3. Kutashov D. A., Svichkar A. S., Shestel L. A. Connecting copper wires with ultrasonic welding. In: *Tekhnika i tekhnologii mashinostroyeniya. Materialy IV Mezhdunarodnoy studencheskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Engineering and Technology of Mechanical Engineering. Materials of the IV International Student's Scientific and Practical Conference]. Omsk, Omsk State Technical University Publ., 2015, pp. 140–142 (in Russian).
4. Kholopov Yu. V. *Oborudovaniye dlya ultrazvukovoy svarki* [Equipment for ultrasonic welding]. Leningrad, Energoatomizdat, 1985. 168 p. (in Russian).
5. Cheshko I. D., Plotnikov V. G. *Analiz ekspertnykh versiy vozniknoveniya pozhara* [Analysis of expert versions of the occurrence of a fire]. Saint Petersburg, Printing house Beresta, 2010, book 1. 708 p. (in Russian).
6. Brushlinsky N. N. Formulating statistics for a safer planet. *Fire International*, July 1996, pp. 16–21.
7. Hylton J. G. Haynes, Gary P. Stein. *U. S. Fire Department Profile–2015*. Quincy, MA, National Fire Protection Association, April 2017. 39 p. Available at: <https://www.nfpa.org/-/media/Files/News-and-Research/Fire-statistics/Fire-service/osfdprofile.ashx> (Accessed 10 July 2018).
8. *Les Statistiques des Services d'Incendie et de Secours. Direction generale de la securite civile et de la gestion des crises*. Edition 2015. 78 p. Available at: <https://www.interieur.gouv.fr/content/download/90819/706317/file/StatsSDIS15BD.pdf> (Accessed 10 July 2018).
9. Brushlinsky N. N., Ahrens M., Sokolov S. V., Wagner P. *World Fire Statistics*. Center of Fire Statistics of CTIF, 2016, report No. 21. 60 p. Available at: [http://ctif.org/sites/default/files/ctif\\_report21\\_world\\_fire\\_statistics\\_2016.pdf](http://ctif.org/sites/default/files/ctif_report21_world_fire_statistics_2016.pdf) (Accessed 5 July 2018).
10. Nedobitkov A. I. Expert research of automobile brass cable lug wire weight. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2015, vol. 24, no. 6, pp. 29–36 (in Russian).
11. Severy D. M., Blaisdell D. M., Kerkhoff J. F. Automotive collision fires. *SAE Technical Paper Series*, 1974, no. 741180. DOI: 10.4271/741180.
12. Quintiere J. G. *Fundamentals of fire phenomena*. Chichester, John Wiley and Sons, Ltd., 2006. 439 p. DOI: 10.1002/0470091150.
13. Beyler C., Carpenter D., Dinunno P. Introduction to fire modeling. In: Cote A. E. (ed.). *Fire Protection Handbook*. 20<sup>th</sup> ed. Quincy, MA, National Fire Protection Association, 2008. 3680 p.
14. Okamoto K., Watanabe N., Hagimoto Y., Chigira T., Masano R., Miura H., Ochiai S., Satoh H., Tamura Y., Hayano K., Maeda Y., Suzuki J. Burning behavior of sedan passenger cars. *Fire Safety Journal*, 2009, vol. 44, issue 3, pp. 301–310. DOI: 10.1016/j.firesaf.2008.07.001.
15. Eliseev Yu. N., Plotnikov V. G., Skodtaev S. V. Features of the survey on the site wiring car fire. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta Gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby MChS Rossii / Herald of Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia*, 2016, no. 4, pp. 8–12 (in Russian).
16. Skodtaev S. V., Kopkin E. V., Bardulin E. N. Analysis of studies of fires of vehicles judicial expert institution of Federal Fire Service of Emercom of Russia. *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere / Problems of Technosphere Risk Management*, 2017, no. 2(42), pp. 117–124 (in Russian).
17. Mokryak A. Yu., Tumanovskiy A. A., Pariyskaya A. Yu. The development of an electronic catalog of macro- and microstructures of reflows of current-carrying electrical products taken from the fires. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta Gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby MChS Rossii / Herald of Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom*, 2017, no. 3, pp. 54–62 (in Russian).
18. Cheshko I. D., Lebedev K. B., Mokryak A. Yu. *Ekspertnoye issledovaniye posle pozhara kontaktnykh uzlov elektrooborudovaniya v tselyakh vyyavleniya priznakov bolshikh perekhodnykh soprotivleniy* [Expert research after the fire of the contact points of electrical equipment in order to identify signs of large transient resistance]. Moscow, VNIPO Publ., 2008. 60 p. (in Russian).

19. Cheshko I. D., Sokolova A. N. (ed.). *Primeneniye instrumentalnykh metodov i tekhnicheskikh sredstv v ekspertize pozharov* [The use of instrumental methods and technical tools in the examination of fires]. Saint Petersburg, Saint Petersburg Branch of VNIPO Publ., 2008. 279 p. (in Russian).
20. Eliseev Yu. N., Cheshko I. D., Plotnikov V. G. Improvement of the methods for examining cable products at the site of a fire. *Rassledovaniye pozharov. Sbornik statey / Investigation of fires. Collection of articles*, 2016, no. 5, pp. 93–98 (in Russian).
21. Eliseev Yu. N., Mokryak A. Yu., Skodtaev S. V. Creating fire emergency mode in the electrical mechanical damage current conductor. *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere / Problems of Technosphere Risk Management*, 2017, no. 1(41), pp. 65–72 (in Russian).

**For citation:** Yu. N. Eliseev, T. P. Sysoeva, S. V. Skodtaev, A. Yu. Pariyskaya, Ya. V. Roshchina, E. V. Kalach. Connection of automobile conductors by ultrasonic welding. Fire hazard. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 10, pp. 38–45 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.10.38-45.



## Издательство «ПОЖНАУКА»

Г. И. Смелков, В. Н. Черкасов,  
В. Н. Вережкин, В. А. Пехотиков, А. И. Рябиков

# ЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ во взрывопожароопасных зонах

## Справочное пособие



Приводятся новые, отвечающие современной нормативной базе, требования по классификации горючих смесей и пожаровзрывоопасных зон; рекомендации по выбору и использованию оборудования, включая кабельные изделия во взрывопожароопасных зонах.

Издание предназначено для инженерно-технических работников, занимающихся проектированием и монтажом электроустановок, работников пожарной охраны и специалистов широкого профиля в качестве учебного пособия для подготовки и повышения квалификации в области пожаровзрывобезопасности электроустановок.

121352, г. Москва, а/я 6; тел./факс: (495) 228-09-03; e-mail: info@fire-smi.ru