

УДК 614.841

doi: 10.34987/vestnik.sibpsa.2021.76.22.002

## ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ПРОКЛАДКИ МЕДНОЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДКИ НА ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЙ ПРОТЕКАНИЯ ТОКОВЫХ ПЕРЕГРУЗОК МЕТОДОМ МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

*Алдатов Ю.С.<sup>1</sup>; Крисанова В.Ю.<sup>1</sup>; Плотникова Г.В.<sup>2</sup>, к.х.н., доцент; Шеков А.А.<sup>2,3</sup>, к.х.н., доцент*

*<sup>1</sup>Экспертно-криминалистический центр МВД России*

*<sup>2</sup>Восточно-Сибирский институт МВД России*

*<sup>3</sup>ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России*

**Аннотация.** В статье представлены результаты металлографического исследования зон оплавлений медных проводников, полученных в результате имитации токовых перегрузок при прокладке непосредственно по поверхности стены и в поливинилхлоридных кабель-каналах разного размера. Установлено, что при прокладке проводников непосредственно по поверхности стены в зонах оплавлений формируются структуры, включающие зерна меди, имеющие дендритное строение. При прокладке проводников в кабель-каналах в зоне расплавления преимущественно формируются равноосные зерна меди, значительное количество макропор. Изменение структуры металла в зоне оплавления проводника при прокладке в кабель-каналах связано с изменением условий тепло- и газообмена.

**Ключевые слова:** расследование пожаров, пожарно-техническая экспертиза, электрические провода, токовые перегрузки, металлографический анализ

## INFLUENCE OF THE METHOD OF LAYING COPPER WIRING ON THE DETERMINATION OF CURRENT OVERLOAD CONDITIONS BY METALLOGRAPHIC ANALYSIS

*Aldatov Yu.S.<sup>1</sup>; Krisanova V.Yu.<sup>1</sup>; Plotnikova G.V.<sup>2</sup>, Ph.D. of Chemical Sciences, Docent;  
Shekov A.A.<sup>2,3</sup>, Ph.D. of Chemical Sciences, Docent*

*<sup>1</sup>Forensic Center of the Ministry of internal Affairs of Russia*

*<sup>2</sup>East Siberian Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia*

*<sup>3</sup>FSBEE HE Siberian Fire and Rescue Academy EMERCOM of Russia*

**Abstract.** The article presents the results of a metallographic study of copper conductor reflow zones obtained as a result of imitation of current overloads when laying directly on the wall surface and in PVC cable ducts of different sizes. It was found that when the conductors are laid directly on the wall surface in the reflow zones, structures are formed, including copper grains with a dendritic structure. When laying conductors in cable channels in the melting zone, equiaxed copper grains and a significant number of macropores are predominantly formed. The change in the structure of the metal in the zone of reflow of the conductor when laying in cable channels is associated with a change in the conditions of heat and gas exchange.

**Key words:** fire investigation, fire and technical expertise, electrical wires, current overload, metallographic analysis

Расследование преступлений, связанных с пожарами, представляет для органов дознания и следствия значительную сложность. Зачастую это обусловлено скрытым возникновением и протеканием первоначаль-

ного этапа развития горения [1], а также уничтожением следов преступления в процессе горения, тушения и последующей разборки завалов и конструкций. Затруднения вызывает установление технической причины пожара и обстоятельств его возникновения, без чего, как правило, невозможны квалификация преступления, определение его подследственности [2].

При установлении причины пожара особое внимание уделяется исследованию электрической проводки, так как более четверти возгораний возникает по причине теплового проявления электрического тока при аварийном режиме работы электрооборудования [3]. Это связано с потенциальной пожарной опасностью электрической проводки, которая характеризуется сочетанием горючей среды (изоляция проводов, оболочка кабелей и т.п.) и источников зажигания (электрическая дуга, искры, нагретые электрическим током жилы и т.п.), возникающих при работе электрооборудования.

Установление причинно-следственной связи между аварийным режимом работы электрической сети и возникновением пожара, относится к компетенции судебных пожарно-технических экспертов. При этом перед экспертом, как правило, стоят две задачи:

- установить природу разрушения проводника (механическое, внешнее термическое воздействие, тепловое проявление электрического тока вследствие аварийного режима работы электросети);
- определить условия окружающей среды, при которых произошло разрушение проводника от теплового проявления электрического тока (температура окружающей среды и состав атмосферы).

Исследование зон оплавлений электрических проводников, изымаемых с мест пожаров, проводится в соответствии с методиками [4, 5], основы которых разработаны еще в 80-90-х годах [6-9].

В подавляющем большинстве случаев на исследование с мест происшествий, связанных с пожарами, поступают медные проводники. В соответствии с методикой [5] «объектами экспертного исследования могут быть медные кабельно-проводниковые изделия, однопроволочные и многопроволочные, одножильные и многожильные медные проводники (в том числе луженые), а также кабельные изделия площадью поперечного сечения более 0,3 мм<sup>2</sup>, проложенные открытым или закрытым способом».

В работе [4] в качестве объектов исследования определены «концевые участки токоведущих жил одножильных и многожильных медных электрических проводов с однопроволочными и многопроволочными жилами, находившиеся в зоне очага пожара (иногда – за ее пределами), которые предположительно оплавлены (расплавлялись)».

В соответствии с пунктом 2.1.4 «Правил устройства электроустановок» (ПУЭ) выделяют следующие виды электропроводок:

- открытая – проложенная по поверхности стен, потолков, по фермам и другим строительным элементам зданий и сооружений;
- скрытая – проложенная внутри конструктивных элементов зданий и сооружений (в стенах, полах, фундаментах, перекрытиях).

Прокладка проводов и кабелей при открытой электропроводке может проводиться следующими способами: непосредственно по поверхности конструктивных элементов зданий и сооружений, на струнах, тросах, роликах, изоляторах, в трубах, коробах, электротехнических плинтусах и наличниках и т. п.

На сегодняшний день одним из распространенных является способ прокладки проводов в поливинилхлоридных кабель-каналах, гладких и гофрированных трубах. Условия тепло- и газообмена при аварийном режиме работы электрической сети для проводников, проложенных непосредственно по поверхности конструктивных элементов и в ограниченном внутреннем объеме кабель-каналов и труб, отличаются, что может оказывать влияние на формирование оплавлений.

В связи с этим, целью работы является исследование структуры металла в зонах оплавлений, вызванных токовыми перегрузками медных проводников, проложенных непосредственно по поверхности стены и в кабель-каналах различного размера.

Для моделирования перегрузки электрической сети использовался нагрузочный трансформатор электросварочного аппарата «BestWeld PR300». Медные одножильные однопроволочные проводники в поливинилхлоридной изоляции (сечение 1,5 мм<sup>2</sup>, длина 30 см), размещенные горизонтально на поверхности

стены непосредственно и в кабель-каналах размерами 12x12 мм, 16x16 мм, 25x16мм, 40x16 мм, подвергались токовым нагрузкам 65 А, 80 А, 150 А, 200 А и 300 А при нормальных условиях окружающей среды. Кратность перегрузки составила соответственно 2,8; 3,5; 6,5; 8,7; 13 для проводников, размещенных непосредственно на поверхности стены, и 3,4; 4,2; 7,9; 10,5; 15,8 для проводников, размещенных в кабель-каналах. При моделировании токовых перегрузок проводников, проложенных в кабель-каналах, концы кабель-канала неплотно герметизировались асбестом (рис. 1).

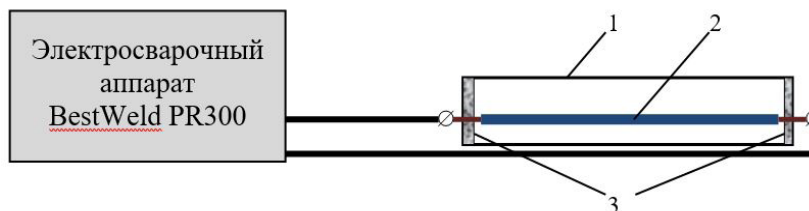


Рис. 1. Схема проведения эксперимента: 1 – кабель-канал, 2 – медный проводник, 3 – асбест

Полученные образцы исследовали в зонах оплавлений методом металлографического анализа. Подготовка шлифов осуществлялась на шлифовально-полировальном станке «Полилаб» в соответствии с методикой [10]. Исследование микрошлифов проводили на металлографическом микроскопе «Микромет Мет». Изображение шлифа получали с помощью видеоокуляра DCM 610 с последующей обработкой компьютерной программой ScopePhoto.

В результате исследования установлено, что при размещении проводников непосредственно на поверхности стены жилы имеют протяженные участки поверхностного оплавления с характерными для перегрузки зонами утолщений и утончений. У проводников преимущественно формируются концевые оплавления конусообразной формы (рис. 2а), за исключением концевого оплавления шарообразной формы с крупной порой в центре, полученного при 300 А (рис. 2б, 3е).



Рис. 2. Локальные оплавления, формируемые при перегрузках проводников, размещенных непосредственно на поверхности стены: а – конусообразное, б – шарообразное

В зонах оплавлений присутствуют зерна меди, имеющие дендритное строение, которые формируются при нормальных условиях окружающей среды (рис. 3). Поверхность оплавлений пористая с незначительным количеством пор.

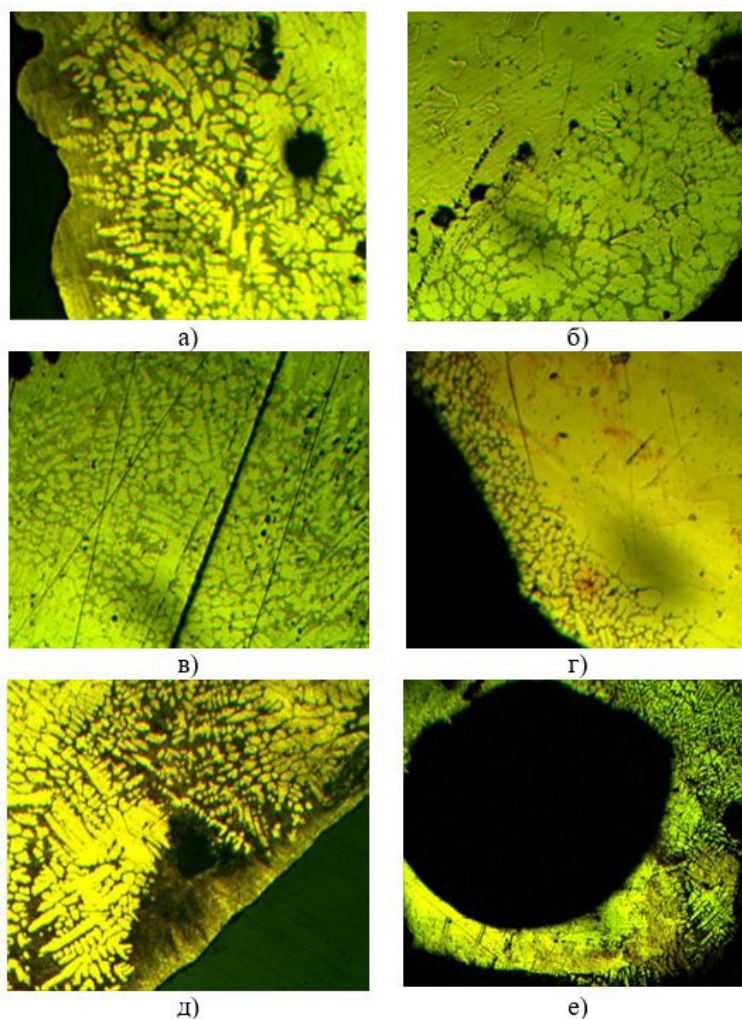
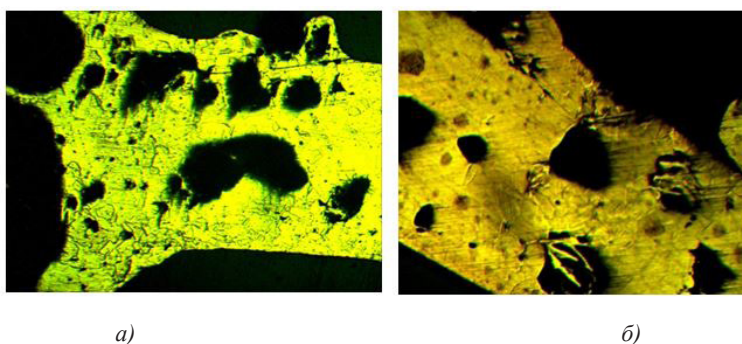


Рис. 3. Структуры металла в зоне оплавлений медных проводников, сформированные при размещении проводника непосредственно на поверхности стены и кратности перегрузки: и нагрузке: а – 65 А, б – 80 А, в – 150 А, г – 200 А, д, е – 300 А

При прокладке проводника в поливинилхлоридном кабель-канале формируются концевые оплавления шарообразной формы. При этом в отличие от проводника, проложенного открыто, проводники в кабель-каналах имеют значительное количество макропор в зоне оплавления и в сечении жилы, особенно на границе оплавление-проводник (рис. 4).



а) б)  
Рис. 4. Макропоры на границе оплавление-проводник:  
а - кабель-канал размером 16х16 мм, 80 А; б – кабель-канал размером 12х12 мм, 150 А

Структура металла в зонах оплавлений равноосная, за исключением образцов, полученных в кабель-каналах размером 16х16 мм при кратности перегрузки 3,4 и 40х16 мм – 4,2, имеющих форму дендритов, а также 16х16 мм – 7,9 и 25х16 мм – 15,8, имеющих равноосную структуру с незначительным количеством равномерно распределенного эвтектического сплава (табл.).



Формирование преимущественно равноосной структуры металла и значительного количества пор у проводников, проложенных в кабель-каналах, обусловлено изменением условий тепло- и газообмена.

При нагревании жилы проводника токами перегрузки происходит разложение поливинилхлоридной изоляции с выделением газообразных продуктов, таких как HCl, ароматические и алифатические углеводороды, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub> [11], а также CO<sub>2</sub> и CO. Снижение концентрации кислорода в результате окисления продуктов разложения и вытеснения воздуха из ограниченного объема кабель-канала, а также присутствие в зоне оплавления проводника оксида углерода (II) приводит к исчезновению эвтектики по границам зерен меди. Помимо этого, наличие небольших количеств водорода может способствовать образованию газовых пор и раковин по границам и внутри тела зерен меди [12].

**Таблица. Результаты металлографического анализа проводников, проложенных в поливинилхлоридных кабель-каналах**

№ п/п	Размер кабель-канала, мм	I, А	Равноосная структура	Дендриты	Равномерно распределенный эвтектический сплав	Поры в оплавлении	Поры в сечении проводника	Вздутия на поверхности проводника
1	12x12	65	+	-	-	+	+	+
2	12x12	80	+	-	-	+	+	+
3	12x12	150	+	-	-	+	+	+
4	12x12	200	+	-	-	+	+	-
5	12x12	300	+	-	-	+	+	-
6	16x16	65	+	+	-	+	+	+
7	16x16	80	+	-	-	+	+	-
8	16x16	150	+	-	+	-	+	+
9	16x16	200	+	-	-	+	+	-
10	16x16	300	+	-	-	+	+	-
11	25x16	65	+	-	-	+	+	-
12	25x16	80	+	-	-	+	+	-
13	25x16	150	+	-	-	+	+	+
14	25x16	200	+	-	-	+	+	-
15	25x16	300	+	-	+	+	-	+
16	40x16	65	+	-	-	+	+	-
17	40x16	80	+	+	-	+	+	-
18	40x16	150	+	-	-	+	+	-
19	40x16	200	+	-	-	+	-	+
20	40x16	300	+	-	-	+	+	-

Таким образом, установлено, что в зонах оплавлений медных проводников, полученных в кабель-каналах при токовых перегрузках в нормальных условиях окружающей среды, увеличивается вероятность формирования равноосной структуры меди.

Для того, чтобы исследования пожарно-технического эксперта были объективны и достоверны, следователям (дознавателям) необходимо в ходе осмотра места пожара и опроса очевидцев определять и фиксировать способ прокладки электропроводки. Признаками прокладки проводки в кабель-каналах будет наличие их обгоревших фрагментов на стене либо полу, крепежных элементов (шурупов) на стене, расположенных на одной высоте с определенным интервалом.

### Литература

1. Пахомов М.Е. Техничко-криминалистическое обеспечение раскрытия и расследования преступлений, связанных с пожарами // Вестник Волгоградской академии МВД России. 2015. № 1 (32). С. 112–115.

2. Туртаев Ю.Г., Сметанкина Г.И. Расследование преступлений, связанных с пожарами. Актуальность установления причин пожара // Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. 2016. Т. 1. № 1 (7). С. 52–55.
3. Матюшин Ю.А., Чечетина Т.А. Обстановка с пожарами в Российской Федерации в 2017 году // Пожарная безопасность. 2018. № 1. С. 126–144.
4. Типовые экспертные методики исследования вещественных доказательств. Ч.2 / Под ред. А.Ю. Семенова, общ. ред. В.В. Мартынова. - М.: ЭКЦ МВД России, 2012. - 800 с.
5. Мокряк А.Ю., Пеньков В.В., Чешко И.Д. и др. Экспертное исследование оплавлений медных проводников, изымаемых с места пожара: Учебное пособие. – М.: ЭКЦ МВД России, 2015. - 80 с.
6. Смелков Г.И., Александров А.А., Пехотиков В.А. Методы определения причастности к пожарам аварийных режимов в электротехнических устройствах. - М.: Стройиздат, 1980. – 58 с.
7. Митричев Л.С., Колмаков А.И., Степанов Б.В. и др. Исследование медных и алюминиевых проводников в зонах короткого замыкания и термического воздействия: метод. рекомендации. - М.: ВНИИ МВД СССР, 1986. – 43 с.
8. Колмаков А.И., Степанов Б.В., Зернов С.И. и др. Диагностика причин разрушения металлических проводников, изъятых с мест пожаров: метод. рекомендации. - М.: ЭКЦ МВД РФ, 1992. – 32 с.
9. Граненков Н.М., Зернов С.И., Колмаков А.И. и др. Экспертное исследование металлических изделий (по делам о пожарах): учеб. пособие / под ред. А.И. Колмакова. - М.: ЭКЦ МВД России, 1993. - 104 с.
10. Колмаков А.И. Методика приготовления металлографических шлифов металлических объектов, поступающих на экспертизу: метод. рекомендации. – М.: ЭКЦ МВД России, 1997. – 16 с.
11. McNeil I.C., Memetea L., Cole W. J. A study of the products of PVC thermal degradation // Polymer Degradation and Stability. 1995. V. 49. P. 181–191.
12. Чешко И.Д., Плотников В.Г. Анализ экспертных версий возникновения пожара: монография: в 2 кн. - СПб.: ООО «Тип. «Береста», 2010. - Кн. 1. - 705 с.