

А. И. НЕДОБИТКОВ, канд. техн. наук, доцент, кафедра информатики и математики, Казахский гуманитарно-юридический инновационный университет (Республика Казахстан, 070014, г. Усть-Каменогорск, ул. Астана, 48; e-mail: a.nedobitkov@mail.ru)

УДК 656.13;614.84

ПРИЗНАКИ ЭЛЕКТРОДУГОВОГО ПРОЦЕССА ПРИ ЭКСПЕРТНОМ ИССЛЕДОВАНИИ ПОСЛЕ ПОЖАРА МЕДНОЙ КОНТАКТНОЙ ПЛАСТИНЫ АВТОМОБИЛЬНОГО БЛОКА ПРЕДОХРАНИТЕЛЕЙ

Показана актуальность проблемы повышения пожарной безопасности автотранспортных средств. Приведены результаты исследования на растровом электронном микроскопе JSM-6390LV образцов медной контактной пластины автомобильного монтажного блока, используемого в электрической сети с напряжением 12 В и подвергшегося внешнему воздействию высоких температур и сверхтока. Даны снимки поверхностей оплавления медной контактной пластины автомобильного блока предохранителей после воздействия сверхтока и высоких температур. Приведены характерные диагностические признаки, позволяющие идентифицировать причину повреждения при пожаре (воздействие высоких температур, электродуговой процесс) медной контактной пластины автомобильного блока предохранителей. Установлено, что выявленные признаки являются устойчивыми и не подвержены изменениям в естественных условиях хранения автомобиля. Показано, что при выборе автомобильных предохранителей необходимо учитывать не только номинальное значение силы тока, но и материал изготовления, чтобы избежать образования недопустимой гальванической пары.

Ключевые слова: пожар; блок предохранителей; большое переходное сопротивление, сверхток; медь; цинк; растровая электронная микроскопия; диагностический признак; микрослед; пожарно-техническая экспертиза, недопустимая гальваническая пара.

DOI: 10.18322/PVB.2018.27.11.30-40

Введение

Пожары, являясь тяжелой чрезвычайной ситуацией (ЧС), наносят значительный ущерб экономике государств, в частности в промышленно развитых странах ущерб от пожаров превышает 1 % национального дохода и имеет тенденцию к постоянному росту [1–3]. Пожары на автотранспортных средствах относятся к особо тяжелым ЧС.

В работах [4–13] показано, что отдельные элементы электросистемы автомобиля могут служить источником возгорания в случае возникновения аварийного режима в какой-либо функциональной цепи.

В современном легковом автомобиле, имеющем, как правило, несколько блоков предохранителей, большинство цепей электрооборудования (электродвигатели, лампы, электронные устройства) защищены плавкими предохранителями. Так, например, автомобиль Mercedes-Benz S 500 2016 г. выпуска конструктивно имеет около 80 блоков управления различными электрическими устройствами, каждый из которых защищен предохранителем. В случае пожара на автомобиле на поверхности разрушения

медных, алюминиевых и цинковых плавких вставок автомобильных предохранителей могут фиксироваться признаки, позволяющие идентифицировать механизм образования повреждений — электродуговой либо высокотемпературный [12].

Это обстоятельство имеет важное значение для пожарно-технической экспертизы, которая является одним из видов профилактических мероприятий, направленных на предотвращение пожаров [6, 12].

По мнению автора [8], экспертиза пожаров “основана на комплексе специальных знаний, необходимых для исследования места пожара, отдельных конструкций, материалов, изделий и их обгоревших остатков в целях получения информации, необходимой для установления очага пожара, его причины, путей распространения горения, природы обгоревших остатков, а также для решения некоторых других задач, возникающих в ходе анализа причин, вызвавших пожар”.

Как наглядно показано авторами [7, 8, 10, 11], если “в очаговой зоне обнаружены характерные признаки разрушения токоведущих проводов, то неизбежно возникает вопрос о механизме повреждения

(электродуговой или тепловой) и, в частности, о первичности или вторичности короткого замыкания”. Данный вопрос далеко не прост. Попытки решить его инструментальными методами предпринимались криминалистами еще в 50-е годы прошлого столетия [7, 8, 10, 11, 13, 14]. Несмотря на это апробированная и научно обоснованная универсальная методика отсутствует до настоящего времени, удалось лишь решить пока ряд частных задач [4–24].

В [6, 12] даны ссылки на работу [23], авторы которой на основе результатов многочисленных экспериментов пришли к выводу, что образование круглых медных глобул с четкими линиями разграничения, так называемых “наплывов”, происходит на проводах не только под напряжением, но и без него. Эксперименты показали, что на некоторых проводах под напряжением возникает дуга, приводящая к образованию таких глобул, а у некоторых проводов без напряжения она отсутствует, но наблюдаются эти характерные наплывы [23]. Наплывы на некоторых проводах под напряжением, изученные под микроскопом, имели пористую структуру с большим количеством внутренних поровых пространств, в то время как в наплывах на других проводах последние отсутствовали. Авторы [23] отмечают, что эта же тенденция характерна и для проводов без напряжения. Таким образом, ни по одному из изученных физических аспектов наплывов у образцов проводов под напряжением и без него не обнаружено каких-либо значительных отличий [23]. Трудность визуальной дифференциации оплавлений медных проводников отмечена и в работе [10]. Это мнение в той или иной форме поддерживают такие исследователи, как V. Babrauskas, Kuan-Heng Liu, Yung-Hui Shih, Guo-Ju Chen и др., предлагая альтернативные методы исследования.

Настоящая работа, являясь продолжением исследования, проведенного автором [12], также посвящена установлению признаков, позволяющих идентифицировать причину разрушения медной контактной пластины автомобильного блока предохранителей.

Целью работы является разработка научно обоснованного метода исследования медной контактной пластины автомобильного блока предохранителей, подвергнутой воздействию как токовой перегрузки, так и высоких температур.

Исходя из этого поставлены следующие задачи исследования:

- доказать, что на поверхности разрушения медной контактной пластины под действием сверхтока могут быть выявлены признаки, позволяющие идентифицировать электродуговой процесс;
- показать, что высокая температура и развитие пожара на легковом автомобиле не приводят к

оплавлению медной контактной пластины автомобильного блока предохранителей;

- подтвердить предположение, что признаки, выявленные на поверхности разрушения медной контактной пластины автомобильного блока предохранителей, подвергнутой протеканию сверхтока, являются устойчивыми и не подвержены изменениям в естественных условиях хранения автомобиля (без умышленного уничтожения признаков);
- показать, что растровую микроскопию можно использовать при исследовании медной контактной пластины автомобильного блока предохранителей в качестве основного метода.

Материалы и методы

Исследования проводились в Региональной университетской лаборатории инженерного профиля “ІРГЕТАС” Восточно-Казахстанского государственного технического университета им. Д. Серикбаева на растровом электронном микроскопе JSM-6390LV с приставкой для энергодисперсионного микроанализа. Поверхности разрушения медной контактной пластины подвергались анализу без предварительной пробоподготовки.

В настоящей работе рассматривается фактический пример исследования разрушенной медной контактной пластины автомобильного блока предохранителей, изъятый с места пожара. Как правило, в моторном отсеке располагаются силовые предохранители, в салоне автомобиля и багажном отсеке — предохранители, защищающие цепи вспомогательного оборудования.

В работе [12] приведены полученные Елисеевым данные, показывающие, что максимальная температура поверхности капота легкового автомобиля, получившего термические повреждения при пожаре, согласно картам расчетного и фактического распределений термических поражений не превышает 950 °С. Общепринято считать, что среднеобъемная температура во второй фазе пожара на легковом автомобиле достигает 850–950 °С [12]. В связи с этим в настоящей статье под высокотемпературным воздействием подразумевается именно этот диапазон температур.

На рис. 1 показан принцип установки плавкого предохранителя в медную контактную пластину автомобильного блока предохранителей. Как следует из рис. 1, ножки контактной медной пластины в результате внешнего высокотемпературного воздействия повреждений не имеют, в то время как материал предохранителя полностью расплавился.

Общеизвестно, что автомобильные предохранители могут изготавливаться из алюминия, цинка и меди. Температура плавления цинка равна 419,5 °С,

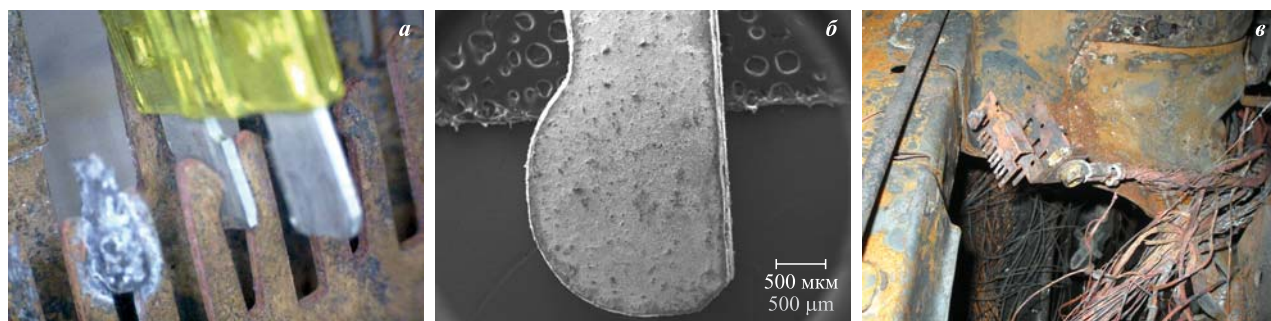


Рис. 1. Принцип установки плавкого предохранителя в медную контактную пластину автомобильного блока предохранителей (а), состояние ножки контактной медной пластины после высокотемпературного воздействия, увеличение 30[×] (б), общий вид контактной медной пластины автомобильного блока предохранителей после высокотемпературного воздействия (в)

Fig. 1. The principle of installation of the fuse in the copper contact plate of the automotive fuse box (a), condition of the pin of the contact copper plate after high temperature exposure, increase of 30[×] (b), general view of the copper contact plate of an automotive fuse box (v)

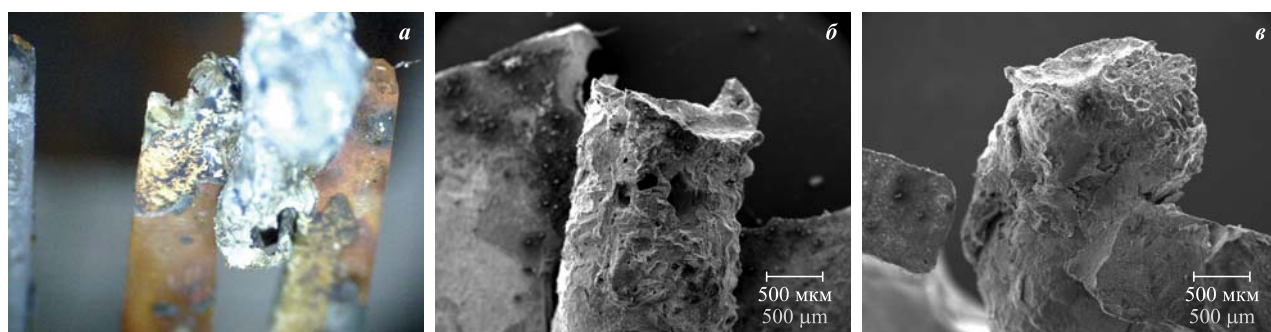


Рис. 2. Повреждения ножек контактной медной пластины с сохранившимся оплавленным фрагментом предохранителя: а — общий вид; б — вид сбоку, увеличение 30[×]; в — вид сверху, увеличение 30[×]

Fig. 2. Damage of legs of pin copper plate with the saved fire-polished fragment of safety device: a — general view; б — end-view, increase of 30[×]; в — top view, increase of 30[×]

алюминия — 660 °С, а меди — 1083 °С. Сравнивая температуры их плавления с диапазоном температур при пожаре легкового автомобиля (850–950 °С), можно сделать вывод, подтверждаемый практикой, что предохранители, выполненные из цинка и алюминия, в результате пожара легкового автомобиля расплавятся, а медная контактная пластина сохранит внешнюю целостность.

Результаты и их обсуждение

В настоящей работе проведено исследование следующих случаев повреждений ножек контактной медной пластины автомобильного блока предохранителей:

- повреждения с сохранением оплавленных фрагментов предохранителя;
- повреждения в виде косого среза;
- повреждения в виде прямого среза;
- повреждения в виде косого среза с образованием шаровидного оплавления.

На рис. 2 показано повреждение ножек контактной медной пластины, при котором сохранился оплавленный фрагмент предохранителя.

Как следует из рис. 2, у оплавленного фрагмента предохранителя на виде сбоку наблюдается наличие пор, а на виде сверху — лунок, характерных для токовой перегрузки. На рис. 3 показано расположение точек на поверхности оплавленного фрагмента предохранителя, в которых выполнен микроанализ. Результаты микроанализа участка, приведенного на рис. 3, представлены в табл. 1 и 2.

Как следует из табл. 1, содержание цинка в плавком автомобильном предохранителе, выполненном из цинка, снижается в оплавленном фрагменте по направлению сверху вниз с 85,92 до 23,96 %. Это свидетельствует о том, что в самом начале процесса оплавления предохранителя произошло образование на поверхности ножки контактной пластины расплавленной капли меди, которая под действием силы тяжести стекала вниз. Образование расплавленной капли меди на локальном участке говорит о наличии электродугового процесса. Наличие на расплавленном материале цинкового плавкого предохранителя меди свидетельствует о массопереносе, также характерном для электродугового процесса.

Из табл. 2 видно, что содержание меди в ножке контактной пластины, выполненной из меди, уве-

Таблица 1. Результаты микроанализа участка на рис. 3,а
Table 1. The results of the microanalysis of the section shown in Fig. 3,а

Номер точки измерения Measurement point number	Содержание химического элемента, % масс. Content of chemical element, % by mass					
	O	Al	Si	Ca	Cu	Zn
Спектр 1 Range 1	11,82				2,26	85,92
Спектр 2 Range 2	16,91	0,88			1,50	80,71
Спектр 3 Range 3	12,52				56,31	31,17
Спектр 4 Range 4	16,48	0,68	0,43	0,36	58,10	23,96

личивается по направлению сверху вниз с 5,49 до 71,29 %. Это свидетельствует о наличии на поверхности ножки каплей цинка, а значит, о массопереносе. А как уже отмечалось выше, массоперенос является характерным признаком электродугового процесса.

На рис. 4 показано повреждение ножек контактной медной пластины в виде косого среза, при этом фрагмент автомобильного предохранителя не сохранился.

Из сравнения рис. 4 с рис. 1,б следует вывод, что область контакта в виде закругленной части ножки медной пластины отсутствует. Локальное выгорание области контакта является признаком электродугового процесса, идентифицируемого как большое переходное сопротивление. В работе [24] отмечается, что пожарная опасность электрического соединения в режиме “плохого контакта” способна проявиться при номинальных значениях электрического тока или даже ниже их. В данном режиме переходное сопротивление и падение на нем напряжения в десятки и сотни раз превышают нормативные значения (падение напряжения составляет единицы вольт вместо долей милливольт, а рассеиваемая электрическая мощность — сотни ватт). Вероятными источниками зажигания при этом являются нагретые проводники, электрическая дуга, раскаленные или горящие частицы [24].

Таблица 2. Результаты микроанализа участка на рис. 3,б
Table 2. The results of the microanalysis of the section shown in Fig. 3,б

Номер точки измерения Measurement point number	Содержание химического элемента, % масс. / Content of chemical element, % by mass								
	O	Mg	Al	Si	S	Fe	Cu	Zn	Sn
Спектр 1 / Range 1	16,86		2,94				71,29	6,24	2,68
Спектр 2 / Range 2	27,84	0,53	1,92	2,54	0,69		60,01	3,94	2,54
Спектр 3 / Range 3	19,18		0,41		0,26		77,73	1,44	0,97
Спектр 4 / Range 4	38,16	7,04		1,38	0,21	1,39	5,49	31,15	

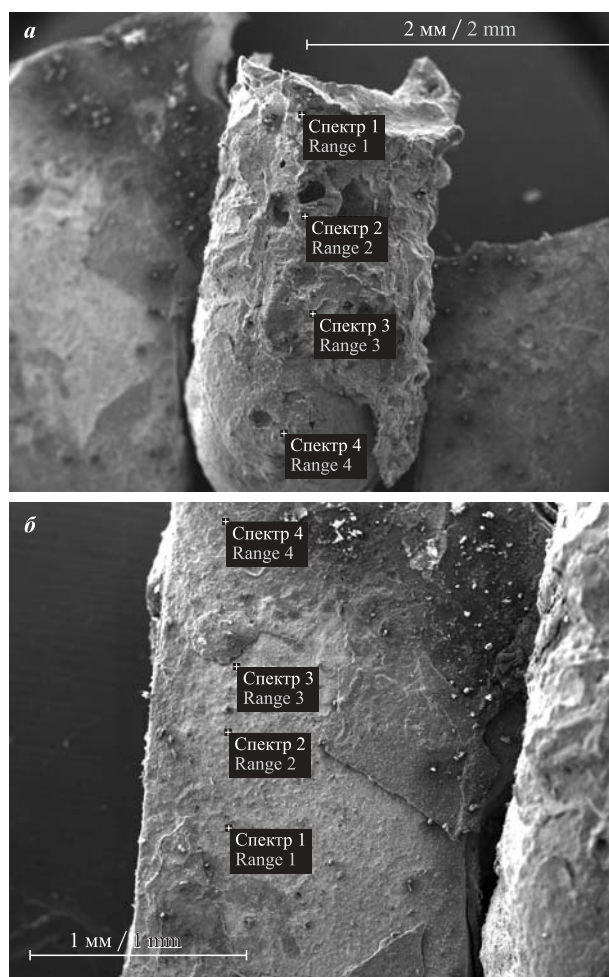


Рис. 3. Расположение точек, в которых был выполнен микроанализ, на поверхности оплавленного фрагмента предохранителя (а) и ножки контактной пластины (б)

Fig. 3. The location of the points at which the microanalysis was performed on the surface of the fused fragment of the fuse (а) and on the surface of the pin of the contact plate (b)

На рис. 4,в видно, что на участке повреждения выделяются области с различным рельефом поверхности. В табл. 3 приведены результаты микроанализа на поверхности разрушения, из которых следует, что на участке с гладкой поверхностью содержание меди достигает 63,44 %, в то время как на участках с шероховатой поверхностью содержание цинка составляет 24,92–31,11 %. Это говорит о том,

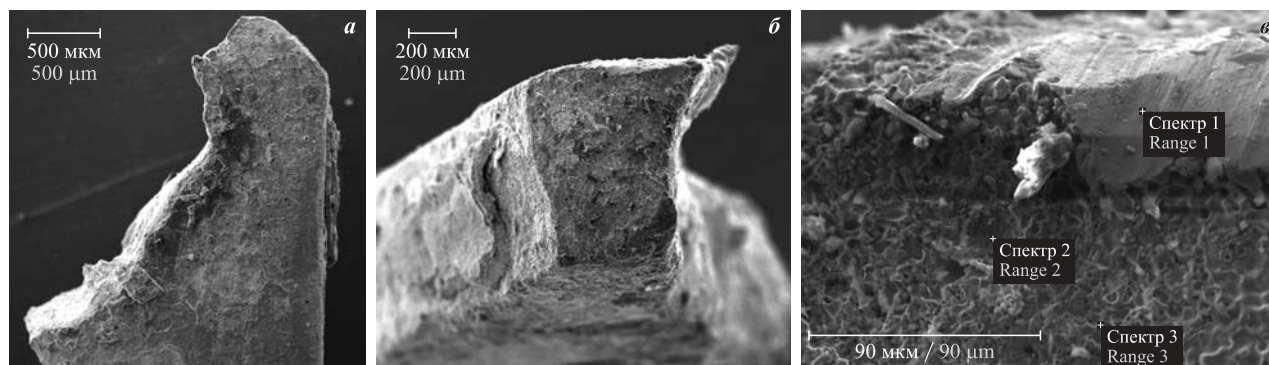


Рис. 4. Повреждение ножек медной контактной пластины в виде косого среза: *a* — вид сбоку, увеличение 35 \times ; *б* — вид сверху, увеличение 60 \times ; *в* — точки микроанализа на поверхности повреждения

Fig. 4. Damage to the legs of the copper contact plate in the form of an oblique cut: *a* — end-view, increase of 35 \times ; *b* — top view, increase of 60 \times ; *v* — points of microanalysis on the surface of damage

Таблица 3. Результаты микроанализа участка на рис. 4, *в*
Table 3. The results of the microanalysis of the section shown in Fig. 4, *v*

Номер точки измерения Measurement point number	Содержание химического элемента, % масс. Content of chemical element, % by mass					
	O	Mg	P	Ni	Cu	Zn
Спектр 1 Range 1	3,56				63,44	33,00
Спектр 2 Range 2	21,04	7,44	5,57	0,43	40,60	24,92
Спектр 3 Range 3	26,30	7,59	7,33		26,70	31,11

что поверхность разрушения ножки медной контактной пластины покрыта оксидами цинка, что свидетельствует о массопереносе в ходе электродугового процесса.

На рис. 5 показано повреждение ножек контактной медной пластины в виде прямого среза, при этом фрагмент автомобильного предохранителя не сохранился. Сравнивая рис. 5 с рис. 1, *б*, можно сделать вывод, что область контакта в виде закругленной части ножки медной пластины отсутствует. Локальное выгорание области контакта является признаком электродугового процесса, идентифицируемого как

большое переходное сопротивление. На поверхности разрушения выделяются участки с ровной поверхностью (см. рис. 5, *б*).

В табл. 4 представлены результаты микроанализа участка, приведенного на рис. 5, *в*. Из табл. 4 следует, что поверхность разрушения ножки медной контактной пластины покрыта оксидами и частицами цинка, процентное содержание которого достигает 61,25 %. Указанное обстоятельство свидетельствует о массопереносе в процессе электродугового процесса. В то же время отмечается наличие участков, на которых оксиды цинка практически отсутствуют, а процентное содержание меди достигает 59,74 %.

На рис. 6 показано повреждение ножек контактной медной пластины в виде косого среза с образованием шаровидного оплавления, а в табл. 5 — результаты микроанализа участка, приведенного на рис. 6, *в* и 6, *г*.

Из табл. 5 следует, что шаровое оплавление представляет собой каплю меди, покрытую оксидами цинка. Следует отметить, что в работе [10] описан механизм формирования следов протекания сверхтоков по медному проводнику, при этом отмечается образование вздутий или шаровых оплавлений. Из табл. 5 также следует, что плавкий автомобильный предохранитель был выполнен из цинка. Ис-

Таблица 4. Результаты микроанализа участка на рис. 5, *в*

Table 4. The results of the microanalysis of the section shown in Fig. 5, *v*

Номер точки измерения Measurement point number	Содержание химического элемента, % масс. / Content of chemical element, % by mass									
	O	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Fe	Cu	Zn
Спектр 1 / Range 1	15,72		0,78				0,62	0,62	59,74	22,36
Спектр 2 / Range 2	15,42		1,21	1,57			0,61	0,61	56,54	24,66
Спектр 3 / Range 3	19,39		1,18	0,99	0,55				52,21	25,68
Спектр 4 / Range 4	55,50	0,83	1,87	4,23	6,44	0,58	1,32	1,32	3,42	15,13
Спектр 5 / Range 5	12,06		0,86	1,14	7,46		1,12	1,12	9,53	61,25

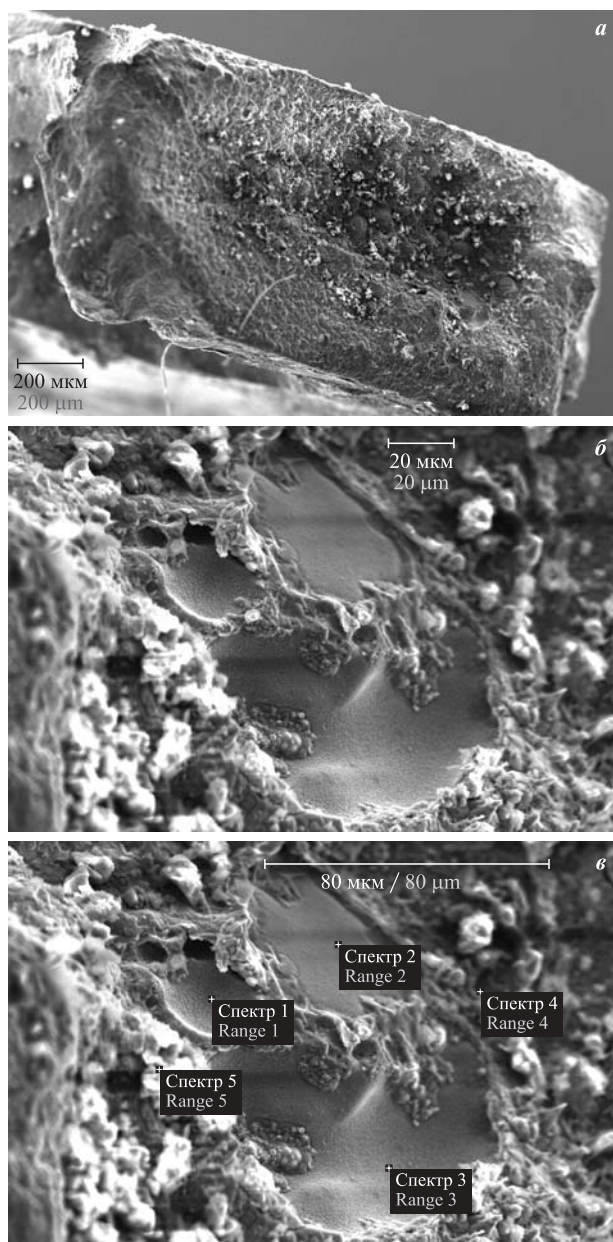


Рис. 5. Повреждение ножек медной контактной пластины в виде прямого среза: *а* — общий вид, увеличение 70[×]; *б* — участок с ровным рельефом, увеличение 650[×]; *в* — точки микроанализа на поверхности повреждения

Fig. 5. Damage to the legs of the copper contact plate in the form of a straight cut: *a* — general view, increase of 70[×]; *b* — section with a smooth relief, increase of 650[×]; *v* — points of microanalysis on the surface of damage

ходя из вышеизложенного вполне закономерным является вывод, что по ножке медной контактной пластины протекал сверхток. Однако в штатном режиме при протекании сверхтока в электрической цепи цинковый плавкий предохранитель должен был обесточить данную цепь. Таким образом, причиной возникновения электродугового процесса в контакте медная ножка — цинковый предохранитель является большое переходное сопротивление, вызывающее в том числе электрическую дугу [24].

Таблица 5. Результаты микроанализа участка на рис. 6, в и 6, г
Table 5. The results of the microanalysis of the section shown in Fig. 6, v and 6, g

Номер точки измерения Measurement point number	Содержание химического элемента, % масс. Content of chemical element, % by mass						
	O	Mg	Al	P	Fe	Cu	Zn
Спектр 1 Range 1	0,29		0,98			62,73	36,00
Спектр 3 Range 3	23,45	9,55	2,58			31,70	27,14
Спектр 4 Range 4	27,57	9,13	0,35		0,34	30,08	24,09
Спектр 5 Range 5	25,97	7,08		4,29		31,87	30,35
Спектр 6 Range 6	14,64					47,63	37,73
Спектр 7 Range 7	34,69	10,27		7,94	0,87	23,77	22,46

В свете изложенного необходимо подчеркнуть, что на поверхности разрушения всех исследованных в данной работе образцов, как медных, так и цинковых, встречались лунки, являющиеся характерным признаком протекания сверхтока (рис. 7) [6].

Таким образом, можно сделать вывод, что в соответствии с терминологией микротрасологии такие признаки на поверхности разрушения медной контактной пластины автомобильного блока предохранителей, как лунки, оплавления в виде косого и прямого среза, вздутия или шаровые оплавления, а также массоперенос, являются микроследами электродугового процесса.

Необходимо напомнить также, что согласно ГОСТ 9.005–72 контакт медь (ее сплавы) — цинк (его сплавы) является недопустимым, так как эти металлы образуют недопустимую гальваническую пару, т. е. во влажной среде пара цинк — медь будет разрушаться под действием коррозии. Очевидно, что коррозионные повреждения в контакте цинк — медь вызовут явление большого переходного сопротивления, что подтверждается результатами настоящего исследования.

Исследованные образцы медной контактной пластины автомобильного блока предохранителей хранились 3 мес. (что больше среднего срока расследования дел о пожарах), в разных условиях (в помещении без упаковки, в помещении в герметичной упаковке, в уличных условиях без доступа воды в жидком агрегатном состоянии, т. е. без погружения в воду). При сравнении образцов установлено, что выявленные признаки являются устойчивыми и не подвержены изменениям в естественных условиях хранения (без умышленного уничтожения признаков).

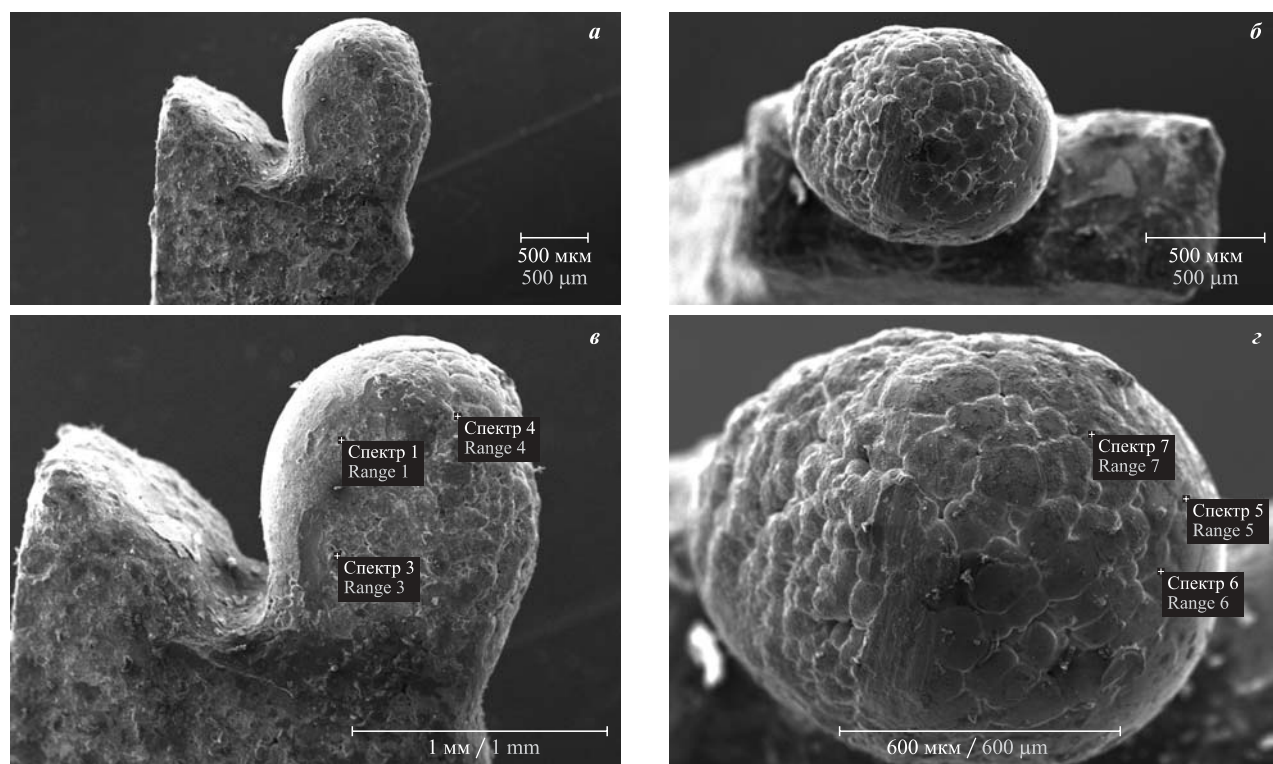


Рис. 6. Повреждение ножек медной контактной пластины в виде косого среза с образованием шаровидного оплавления: *а* — общий вид, увеличение 37 \times ; *б* — вид сверху, увеличение 50 \times ; *з* — точки микроанализа на поверхности повреждения

Fig. 6. Damage to the legs of the copper contact plate in the form of an oblique cut with the formation of spherical melting: *a* — general view, increase of 37 \times ; *b* — top view, increase of 50 \times ; *v, g* — points of microanalysis on the surface of damage

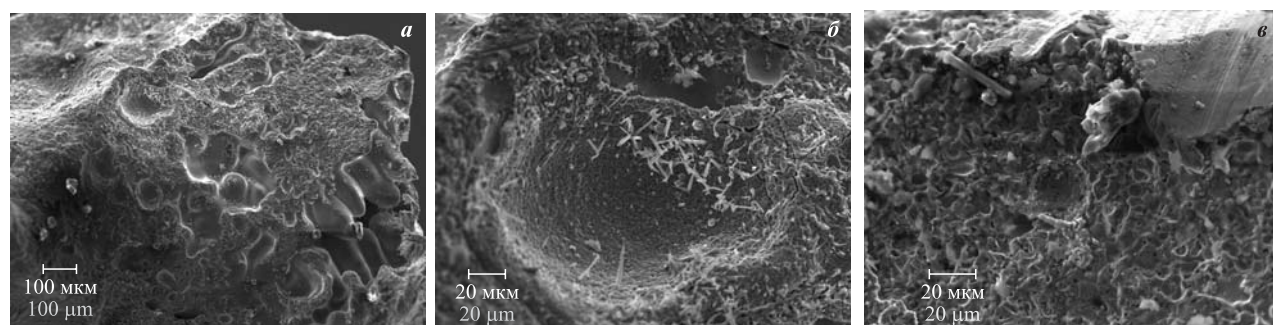


Рис. 7. Лунки на поверхности разрушения, наблюдаемые при исследовании образцов при увеличении 100 \times (*а*), 550 \times (*б*) и 700 \times (*в*)

Fig. 7. Wells on the surface of the destruction of the studied samples at increase of 100 \times (*a*), 550 \times (*b*) and 700 \times (*v*)

Таким образом, в результате исследования методом растровой микроскопии фрагментов медной контактной пластины автомобильного блока предохранителей, подвергшихся высокотемпературному воздействию или протеканию сверхтока, установлены характерные признаки, позволяющие идентифицировать процесс, который привел к их разрушению.

В заключение необходимо отметить, что, по мнению И. Д. Чешко [8], использование результатов инструментальных исследований в качестве “промежуточного продукта” в экспертном исследовании по пожару не снижает их ценности как важнейшего источника объективной информации, без которой выводы о причине пожара будут малоубедительными.

Заключение

Доказано, что на поверхности разрушения медной контактной пластины автомобильного блока предохранителей могут фиксироваться признаки, позволяющие идентифицировать электродуговой или высокотемпературный механизм образования повреждений. В частности, такие признаки, как прямой или косой срез, лунки, вздутия или шаровые оплавления, являются микроследами электродугового процесса, в данном случае — большого переходного сопротивления.

Кроме того, наглядно показано, что температура пожара на легковом автомобиле 850–950 °С не вы-

зывает изменения формы медной контактной пластины автомобильного блока предохранителей.

Показано, что растровую микроскопию можно использовать при исследовании фрагментов медной контактной пластины автомобильного блока предохранителей в качестве не только вспомогательно-го, но и основного метода исследования.

Настоящим исследованием установлено, что признаки, выявленные на поверхностях разрушения медной контактной пластины автомобильного блока предохранителей, являются устойчивыми и не под-

вержены изменениям в естественных условиях хранения (без умышленного уничтожения признаков).

Полученные результаты могут быть использованы при экспертном исследовании медных контактных пластин автомобильного блока предохранителей, изымаемых с мест пожаров, установлении механизма их повреждения и, в конечном счете, причины пожара автомобиля. Знание технической причины пожара даст возможность разработать профилактические мероприятия и технические решения, направленные на ее устранение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брушлинский Н. Н., Соколов С. В., Вагнер П. Человечество и пожары. — М. : ООО “ИПЦ Маска”, 2007. — 142 с.
2. Quintiere J. G. Fundamentals of fire phenomena. — England, Chichester : John Wiley and Sons Ltd, 2006. DOI: 10.1002/0470091150.fmatter.
3. Beyler C., Carpenter D., Dinunno P. Introduction to fire modeling. Fire Protection Handbook. — 20th ed. — Quincy : National Fire Protection Association, 2008.
4. Severy D., Blaisdell D., Kerkhoff J. Automotive collision fires // SAE Technical Paper 741180, 1974. DOI: 10.4271/741180.
5. Katsuhiro Okamoto, Norimichi Watanabe, Yasuaki Hagimoto, Tadaomi Chigira, Ryoji Masano, Hitoshi Miura, Satoshi Ochiai, Hideki Satoh, Yohsuke Tamura, Kimio Hayano, Yasumasa Maeda, Jinji Suzuki. Burning behavior of sedan passenger cars // Fire Safety Journal. — 2009. — Vol. 44, No. 3. — P. 301–310. DOI: 10.1016/j.firesaf.2008.07.001.
6. Недобитков А. И. Фрактография изломов медных проводников автомобильной электрической цепи // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2016. — Т. 25, № 2. — С. 21–27. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.02.21-27.
7. Богатищев А. И. Комплексные исследования пожароопасных режимов в сетях электрооборудования автотранспортных средств : дис. ... канд. техн. наук. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2002. — 269 с.
8. Чешко И. Д. Экспертиза пожаров (объекты, методы, методики исследования). — 2-е изд., стереотип. — СПб. : СПб ИПБ МВД РФ, 1997. — 562 с.
9. Чешко И. Д., Мокряк А. Ю., Скодтаев С. В. Механизм формирования следов протекания сверхтоков по медному проводнику // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. — 2015. — № 1. — С. 41–46.
10. Мокряк А. Ю. Установление природы оплавлений медных проводников и латунных токоведущих изделий при экспертизе пожаров на объектах энергетики : дис. ... канд. техн. наук. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2018. — 140 с.
11. Смелков Г. И., Чешко И. Д., Плотников В. Г. Экспериментальное моделирование пожароопасных аварийных режимов в электрических проводах // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. — 2017. — № 3. — С. 121–128.
12. Недобитков А. И. Признаки электродугового процесса при экспертном исследовании после пожара плавкого элемента автомобильного предохранителя // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2017. — Т. 26, № 11. — С. 21–30. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.11.21-30.
13. Смелков Г. И. Пожарная безопасность электропроводок. — М. : ООО “Кабель”, 2009. — 328 с.
14. Babrauskas V. Arc beads from fires: Can ‘cause’ beads be distinguished from ‘victim’ beads by physical or chemical testing? // Journal of Fire Protection Engineering. — 2004. — Vol. 14, No. 2. — P. 125–147. DOI: 10.1177/1042391504036450.
15. Delplace M., Vos E. Electric short circuits help the investigator determine where the fire started // Fire Technology. — 1983. — Vol. 19, No. 3. — P. 185–191. DOI: 10.1007/bf02378698.
16. Wright S. A., Loud J. D., Blanchard R. A. Globules and beads: what do they indicate about small-diameter copper conductors that have been through a fire? // Fire Technology. — 2015. — Vol. 51, No. 5. — P. 1051–1070. DOI: 10.1007/s10694-014-0455-9.
17. Babrauskas V. Arc mapping: a critical review // Fire Technology. — 2018. — Vol. 54, Issue 3. — P. 749–780. DOI: 10.1007/s10694-018-0711-5.

18. Hoffmann D. J., Swonder E. M., Burr M. T. Arc faulting in household appliances subjected to a fire test // Fire Technology. — 2016. — Vol. 52, Issue 6. — P. 1659–1666. DOI: 10.1007/s10694-015-0556-0.
19. Kuan-Heng Liu, Yung-Hui Shih, Guo-Ju Chen, Jaw-Min Chou. Microstructural study on oxygen permeated arc beads // Journal of Nanomaterials. — 2015. — Article ID 373861. — 8 p. DOI: 10.1155/2015/373861.
20. Lewis K. H., Templeton B. Morphological variation in copper arcs during post-arc fire heating // Proceedings of 3rd International Symposium on Fire Investigation Science & Technology. — Sarasota : National Association of Fire Investigators, 2008. — P. 183–195.
21. Murray I., Ajersch F. New metallurgical techniques applied to fire investigation // Fire & Materials '2009. — London : Interscience Communications Ltd., 2009. — P. 857–869.
22. Carey N. J. Developing a reliable systematic analysis for arc fault mapping : Ph. D. diss. — Strathclyde, United Kingdom : University of Strathclyde, 2009.
23. Roby R. J., McAllister J. Forensic investigation techniques for inspecting electrical conductors involved in fire // Final Technical Report for Award No. 239052. — Columbia : Combustion Science & Engineering, Inc., 2012.
24. Экспертное исследование после пожара контактных узлов электрооборудования в целях выявления признаков больших переходных сопротивлений : метод. реком. / К. Б. Лебедев, А. Ю. Мокряк, И. Д. Чешко. — М. : ВНИИПО, 2008. — 29 с.

Материал поступил в редакцию 7 октября 2018 г.

Для цитирования: Недобитков А. И. Признаки электродугового процесса при экспертном исследовании после пожара медной контактной пластины автомобильного блока предохранителей // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 11. — С. 30–40. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.11.30-40.

English

SIGNS OF ARC PROCESS DURING CONDUCT OF AN EXPERT STUDY AFTER FIRE OF A COPPER CONTACT PLATE OF A CAR FUSE BLOCK

A. I. NEDOBITKOV, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Informatics and Mathematics, Kazakh Humanitarian Law Innovative University (Astana St., 48, Ust-Kamenogorsk, 070014, Kazakhstan; e-mail: a.nedobitkov@mail.ru)

ABSTRACT

Introduction. The data covered in the present article evidence that a problem of improvement of fire safety of motor vehicles is very important. The aim of the article is to develop a scientifically-based method of examination of copper contact plates of car fuse blocks, which could be employed during fire-technical examination in order to identify causes of their damages.

Materials and methodology. Researches have been conducted with the use of JSM-6390LV scanning electron microscope equipped with an add-on device for energy dispersive spectroscopy. Surfaces of failure of parts of the copper contact plate of the car fuse block have been analyzed without prior sample preparation.

Results and discussion. Based on analysis of practical data it has been proven that temperature of fire of a light motor vehicle in the range of 850–950 °C does not cause change in form of the copper contact plate of the car fuse block. It has been shown in a laboratory environment that contacts of the copper plate of the car fuse block have signs of overcurrent flow caused by high transient resistance. Transient resistance, in turn, is caused by inadmissible *copper – zinc* galvanic pair. The paper provides results of examination of parts of the copper contact plate of the car fuse block, which have different modes of failure. It has been proven that not only nominal value of current intensity shall be used for selection of car fuses, but also material of manufacture.

Conclusion. A method of differentiation of failures caused by fire (high-temperature impact, arc process) of the copper contact plate of the car fuse block has been proposed. The arc process is characterized by such indicators as straight or beveled cut, craters, swelling, ball-like meltback, or mass-transfer. It has been determined that signs identified at surfaces of failure of the copper contact plate of the car fuse block are persistent and are not exposed to changes under natural conditions of storage.

The information given in the article could be useful for specialists performing expert studies of car copper contact plates sampled from places of fires of motor vehicles, for identification of nature of their failures and, eventually, for identification of causes of fires of motor vehicles.

Keywords: fire; fuse block; high transient resistance; overcurrent; copper; zinc; scanning electron microscopy; diagnostic signs; ultratrace; fire-technical examination; inadmissible copper-zinc galvanic pair.

REFERENCES

1. N. N. Brushlinskiy, S. V. Sokolov, P. Wagner. *Chelovechestvo i pozhary* [Humanity and fires]. Moscow, IPTs Maska Publ., 2007. 142 p. (in Russian).
2. J. G. Quintiere. *Fundamentals of fire phenomena*. England, Chichester, John Wiley and Sons Ltd, 2006. DOI: 10.1002/0470091150.fmatter.
3. C. Beyler, D. Carpenter, P. Dinunno. *Introduction to fire modeling. Fire Protection Handbook*. 20th ed. Quincy, National Fire Protection Association, 2008.
4. D. Severy, D. Blaisdell, J. Kerkhoff. Automotive collision fires. *SAE Technical Paper 741180*, 1974. DOI: 10.4271/741180.
5. Katsuhiko Okamoto, Norimichi Watanabe, Yasuaki Hagimoto, Tadaomi Chigira, Ryoji Masano, Hitoshi Miura, Satoshi Ochiai, Hideki Satoh, Yohsuke Tamura, Kimio Hayano, Yasumasa Maeda, Jinji Suzuki. Burning behavior of sedan passenger cars. *Fire Safety Journal*, 2009, vol. 44, no. 3, pp. 301–310. DOI: 10.1016/j.firesaf.2008.07.001.
6. A. I. Nedobitkov. Fractography of car electric circuit copper conductor fractures. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 2, pp. 21–27 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2016.25.02.21-27.
7. A. I. Bogatishchev. *Comprehensive research of fire hazardous modes in mains of electrical equipment of vehicles*. Cand. tech. sci. diss. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2002. 269 p. (in Russian).
8. I. D. Cheshko. *Ekspertiza pozharov (obyekty, metody, metodiki issledovaniya)* [Examination of fire (objects, methods, methods of research)]. Saint Petersburg, Saint Petersburg Institute of Fire Safety of Ministry of the Interior of Russian Federation Publ., 1997. 562 p. (in Russian).
9. I. D. Cheshko, A. Yu. Mokryak, S. V. Skodtaev. Formation mechanism of excess currents passage traces in copper conductors. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta Gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby MChS Rossii / Herald of St. Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia*, 2015, no. 1, pp. 41–46 (in Russian).
10. A. Yu. Mokryak. *Determination of the nature of melting of copper conductors and brass current-carrying products in the examination of fires at power facilities*. Cand. tech. sci. diss. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2018. 140 p. (in Russian).
11. G. I. Smelkov, I. D. Cheshko, V. G. Plotnikov. Experimental modeling of fire-alarm emergency modes in electrical wires. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta Gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby MChS Rossii / Herald of St. Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia*, 2017, no. 3, pp. 121–128 (in Russian).
12. A. I. Nedobitkov. Arc process features at post fire expert examination of car fuse elements. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 11, pp. 21–30 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2017.26.11.21-30.
13. G. I. Smelkov. *Pozharnaya bezopasnost elektroprovodok* [Fire safety of wirings]. Moscow, Cable LLC Publ., 2009. 328 p. (in Russian).
14. V. Babrauskas. Arc beads from fires: Can ‘cause’ beads be distinguished from ‘victim’ beads by physical or chemical testing? *Journal of Fire Protection Engineering*, 2004, vol. 14, no. 2, pp. 125–147. DOI: 10.1177/1042391504036450.
15. M. Delplace, E. Vos. Electric short circuits help the investigator determine where the fire started. *Fire Technology*, 1983, vol. 19, no. 3, pp. 185–191. DOI: 10.1007/bf02378698.
16. S. A. Wright, J. D. Loud, R. A. Blanchard. Globules and beads: what do they indicate about small-diameter copper conductors that have been through a fire? *Fire Technology*, 2015, vol. 51, no. 5, pp. 1051–1070. DOI: 10.1007/s10694-014-0455-9.
17. V. Babrauskas. Arc mapping: a critical review. *Fire Technology*, 2018, vol. 54, issue 3, pp. 749–780. DOI: 10.1007/s10694-018-0711-5.
18. D. J. Hoffmann, E. M. Swonder, M. T. Burr. Arc faulting in household appliances subjected to a fire test. *Fire Technology*, 2016, vol. 52, issue 6, pp. 1659–1666. DOI: 10.1007/s10694-015-0556-0.

19. Kuan-Heng Liu, Yung-Hui Shih, Guo-Ju Chen, Jaw-Min Chou. Microstructural study on oxygen permeated arc beads. *Journal of Nanomaterials*, 2015, article ID 373861. 8 p. DOI: 10.1155/2015/373861.
20. K. H. Lewis, B. Templeton. Morphological variation in copper arcs during post-arc fire heating. In: *Proceedings of 3rd International Symposium on Fire Investigation Science & Technology*. Sarasota, National Association of Fire Investigators, 2008, pp. 183–195.
21. I. Murray, F. Ajersch. New metallurgical techniques applied to fire investigation. In: *Fire & Materials '2009*. London, Interscience Communications Ltd., 2009, pp. 857–869.
22. N. J. Carey. *Developing a reliable systematic analysis for arc fault mapping*. Ph. D. diss. Strathclyde, United Kingdom, University of Strathclyde, 2009.
23. R. J. Roby, J. McAllister. Forensic investigation techniques for inspecting electrical conductors involved in fire. In: *Final Technical Report for Award No. 239052*. Columbia, Combustion Science & Engineering, Inc., 2012.
24. K. B. Lebedev, A. Yu. Mokryak, I. D. Cheshko. *Ekspertnoye issledovaniye posle pozhara kontaknykh 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. 29 p. (in Russian).

For citation: A. I. Nedobitkov. Signs of arc process during conduct of an expert study after fire of a copper contact plate of a car fuse block. *Pozharovzryvobezopasnost' / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 11, pp. 30–40 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.11.30-40.



Издательство «ПОЖНАУКА»



Г. И. Смелков, В. Н. Черкасов,
В. Н. Веревкин, 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