

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 ПЛАВКОГО ЭЛЕМЕНТА АВТОМОБИЛЬНОГО ПРЕДОХРАНИТЕЛЯ

Показано, что пожары автотранспортных средств относятся к особо тяжелым происшествиям, поэтому проблема повышения пожарной безопасности автотранспортных средств очень актуальна. Приведены результаты исследования на растровом электронном микроскопе JSM-6390LV образцов плавких вставок автомобильных предохранителей электрической сети с напряжением 12 В, подвергшихся внешнему высокотемпературному воздействию и токовой перегрузке. Даны снимки поверхностей оплавления плавких вставок автомобильных предохранителей, подвергшихся воздействию тока перегрузки и высоких температур. Установлены характерные диагностические признаки, позволяющие идентифицировать причину повреждения при пожаре (высокотемпературное воздействие, токовая перегрузка) плавких вставок автомобильных предохранителей в электрической цепи с напряжением 12 В. Установлено, что выявленные признаки являются устойчивыми и не подвержены изменениям в естественных условиях хранения автомобиля, поврежденного в результате термовоздействия.

Ключевые слова: пожар; предохранитель; плавкая вставка; токовая перегрузка; медь; алюминий; цинк; растровая электронная микроскопия; диагностический признак; микрослед; пожарно-техническая экспертиза.

DOI: 10.18322/PVB.2017.26.11.21-30

Введение

Пожары причиняют значительный материальный ущерб, в частности уничтожение или повреждение имущества, а также приводят к гибели и ранению людей. Ущерб от пожаров в промышленно развитых странах превышает 1 % национального дохода и имеет тенденцию к постоянному росту [1–3]. Пожары автотранспортных средств относятся к особо тяжелым происшествиям. В частности, в промышленно развитых странах пожары автомобилей составляют от 5 до 15 % от общего числа пожаров, при этом гибель людей достигает 6–12 % от общего числа погибших при пожарах. В связи с этим проблема повышения пожарной безопасности автотранспортных средств очень актуальна [4–6].

Данное обстоятельство подтверждается мировой практикой отзыва автотранспортных средств, в частности 231 тысячи внедорожников General Motors из-за угрозы воспламенения вследствие короткого замыкания в дверях. Отзыву подлежат Chevrolet Trailblazer, GMC Envoy, Buick Rainier, SAAB 9-7x, Isuzu Ascender, Chevrolet Trailblazer EXT и GMC Envoy XL 2005–2007 модельных годов. Основная их часть эксплуатируется в США, 3546 внедорожников зарегистрировано в Канаде, 4876 — в Мексике, еще порядка 30 тысяч — в других странах. По данным Рос-

стандарта официальный представитель Jeep, Dodge и Chrysler в России компания “ЭфСиЭй Рус” отзывает 3019 автомобилей из-за вероятности короткого замыкания. Отзыву подлежат модели Jeep Compass, Jeep Patriot, Dodge Caliber и Chrysler Sebring, реализованные с апреля 2010 г. по декабрь 2015 г.

Кроме того, на сайте Росстандарта размещена информация о том, что ПАО “АвтоВАЗ” отзывает 19 668 автомобилей Lada Xray, проданных с февраля 2016 г. Причиной отзыва автомобилей Lada Xray является возможное перетирание жгута проводов двигателя о кромку аккумуляторной площадки. Как сообщает Росстандарт, Ульяновский автомобильный завод (входящий в группу “Соллерс”) отзывает в России почти 149,6 тыс. автомобилей УАЗ “Патриот”, “Пикап”, “Карго” из-за некорректной укладки жгутов проводов датчика кислорода, трубок сцепления и тормозных шлангов.

Уместно напомнить, что по данным агентства Reuters немецкий автомобильный концерн Daimler объявил, что отзовет 1 млн. новых моделей Mercedes-Benz по всему миру из-за риска их возгорания. В сообщении компании Daimler сказано, что всего был зафиксирован 51 случай возгорания, которое, по предварительной информации компании, происходит из-за бракованных предохранителей. В сообщении отме-

чается также, что производство и реализация новых автомобилей приостановлены. Отзыв затронет автомобили классов C и E, а также классов CLA, GLA и GLC, выпущенных в 2015–2017 гг. И этот перечень можно продолжить.

Как правило, современный легковой автомобиль имеет два, а то и три блока предохранителей, поэтому большинство цепей электрооборудования (электродвигатели, лампы, электронные устройства) защищены плавкими предохранителями.

Таким образом, разработка мероприятий по предотвращению пожаров на автотранспорте имеет важное значение. Одним из видов профилактических мероприятий является пожарно-техническая экспертиза.

По мнению автора [7], 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.

Следует указать, что подавляющее число выводов судебных экспертов относительно технических причин возникновения пожаров на автотранспорте носит предположительный (вероятностный) характер, что не позволяет разрабатывать и внедрять конкретные инженерные решения [8]. Это можно объяснить многими причинами, в том числе отсутствием научно обоснованных методик.

Как наглядно показано автором [7], 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. По мнению многих авторов, данный вопрос далеко не прост. Попытки решить его с помощью инструментальных методов криминалисты предпринимали еще в 50-х годах прошлого столетия [7]. К сожалению, апробированная и научно обоснованная универсальная методика отсутствует до настоящего времени, несмотря на наличие ряда решенных частных задач [9–14].

Например, авторы работы [15] на основе многочисленных экспериментальных данных приходят к выводу, что круглые медные глобулы с четкими линиями разграничения, традиционно определяемые как “наплывы”, образовывались не только на проводах под напряжением, но и без напряжения. На некоторых проводах под напряжением возникала дуга, приводящая к образованию круглых медных глобул

с четкими линиями разграничения. В то же время у некоторых проводов без напряжения дуга отсутствовала, но эти характерные наплывы наблюдались [15]. Под микроскопом наплывы некоторых проводов под напряжением были пористые и содержали большое количество внутренних поровых пространств, в то время как в других наплывах поровые пространства отсутствовали. Авторы [15] отмечают, что эта же тенденция была характерна и для проводов без напряжения.

В работе [15] наглядно показано, что при изучении образцов под растровым электронным микроскопом установлено отсутствие тенденций в структуре зерна или химических составах. Внутренние зерновые структуры наплывов были исследованы на предмет структурных размеров, пористости и основных изменений. Ни один из изученных физических аспектов наплывов не показал каких-либо отличительных особенностей между проводами под напряжением и без него [15].

В то же время необходимо отметить, что в работе [14] приведены фактические данные, позволяющие по характеру излома медного проводника в зоне наплыва дифференцировать причину разрушения, обусловленную электродуговым или тепловым процессом. Настоящая работа также посвящена установлению признаков, позволяющих идентифицировать причину разрушения плавкой вставки автомобильного предохранителя.

Следует указать, что при осмотре места пожара одним из первоочередных действий является визуальное исследование аппаратов защиты электросети, в том числе автомобиля [6, 7, 12, 16]. Если блок предохранителей полностью не выгорел при пожаре, дознаватель обязан в первую очередь отыскать и осмотреть состояние предохранителей, что может позволить определить электрическую цепь, проходящую в очаге пожара. В работе [6] отмечается, что при возникновении в электрической цепи сверхтока плавкий предохранитель должен отключить аварийный ток прежде, чем возникнут какие-либо нарушения в цепи. При этом плавкий элемент предохранителя расплавляется, теряет целостность, и на образовавшемся промежутке иницируется электрическая дуга. По мере развития дуги на ней происходит постепенное увеличение падения напряжения, которое приводит к уменьшению тока в цепи вплоть до его прекращения. В этом случае необходимо зафиксировать в протоколе осмотра состояние плавких предохранителей (сработал, не сработал) [7, 12]. В работе [6] указывается, что процесс перегорания плавкого элемента бортовой сети автомобиля в основном определяется только процессом плавления. Например, при плавлении проводника концы его разрушенных участков оплавлены и име-

ют на концах капли застывшего металла. При относительно малых токах короткого замыкания форма капель близка к шарообразной. Такую форму концов можно объяснить стягиванием жидкого металла под действием сил поверхностного натяжения, если имеет место смачивание между жидким и твердым металлом. При больших величинах сверхтока металл плавкого элемента расплавляется и разбрызгивается в виде жидких капель, которые могут обладать большой кинетической энергией [6]. К сожалению, практическая деятельность по расследованию причин пожаров автомобилей свидетельствует о том, что сотрудники органов дознания крайне редко изымают предохранители, а если они есть, то исследуются только визуально и при “перегорании” не конкретизируется причина, а просто фиксируется *“аварийный режим работы в защищаемой данным предохранителем электросети”*. Однако практика показывает, что даже при карбонизированном корпусе блока предохранителей имеется возможность определить состояние плавких вставок и причину их разрушения. В частности, на рис. 1 показан карбонизированный корпус монтажного блока моторного отсека автомобиля Skoda Rapid и результат эксперимента по нагреву его медной плавкой вставки.

Плавкий элемент в ходе эксперимента приобрел светло-красный цвет, что соответствует примерно 800 °С (см. рис. 1, в). При температуре пламени горелки в среднем 1982 °С медная плавкая вставка сохраняла целостность около 10 мин, после чего произошло ее пластичное разрушение под действием силы тяжести.

Целью работы является разработка научно обоснованного метода исследования плавких вставок автомобильных предохранителей, разрушенных сверхтоком или внешним высокотемпературным воздействием в процессе эксплуатации, для установления причины их повреждения в ходе пожарно-технической экспертизы.

Исходя из указанной цели поставлены следующие задачи исследования:

- провести экспериментальные исследования по электродуговому и высокотемпературному разрушению плавких вставок автомобильных предохранителей;
- доказать, что на поверхности разрушения плавких вставок автомобильных предохранителей могут быть выявлены признаки, позволяющие идентифицировать электродуговой или высокотемпературный механизм образования повреждений;
- установить, что признаки, выявленные на поверхностях разрушения плавких вставок автомобильных предохранителей, являются устойчивыми и не подвержены изменениям в естественных условиях хранения (без умышленного уничтожения признаков);

- показать, что растровую микроскопию можно использовать при исследовании плавких вставок автомобильных предохранителей в качестве основного метода.

В настоящей статье рассматриваются фактические примеры исследования плавких вставок автомобильных предохранителей штекерного типа с номинальным током срабатывания 50, 30, 25, 20, 15 и 10 А, подвергшихся высокотемпературному воздействию и токовой перегрузке. Предохранители, подвергшиеся токовой перегрузке, изымались из реально эксплуатируемых автомобилей, в том числе подвергшихся возгоранию. Высокотемпературное воздействие моделировалось на газовой горелке по аналогии с испытательной установкой, описанной в работе [15]. Как и в работе [15], адиабатическая температура для горелки составляет в среднем 1982 °С (3600 F), а температура пламени в среднем 1300 °С.

Исследования осуществлялись в Региональной университетской лаборатории инженерного профиля “IPGETAC” Восточно-Казахстанского государственного технического университета им. Д. Серикбаева с использованием растрового электронного микроскопа JSM-6390LV с приставкой энергодисперсионного микроанализа. Поверхности разрушения плавких вставок автомобильных предохранителей подвергались анализу без предварительной пробоподготовки.

Фрагменты плавких вставок автомобильных предохранителей, представленные на рис. 2, а, 2, б и 2, в, имеют классические признаки, описанные в работах [6, 7, 16] для случаев короткого замыкания или токовой перегрузки проводников. При этом визуальных отличий, обусловленных материалом предохранителя, не выявлено. На рис. 2, г приведен фрагмент плавкой вставки, выполненной из меди и подвергшейся высокотемпературному воздействию.

В работе [13] приведены карты расчетного и фактического распределений термических поражений капота легкового автомобиля, при этом максимальная температура не превышает 950 °С. Обычно принято считать, что среднеобъемная температура во второй фазе пожара легкового автомобиля достигает 850–950 °С, поэтому в настоящей статье под высокотемпературным воздействием подразумевается именно этот диапазон.

Из сравнения данных, приведенных на рис. 2, следует вывод, что визуально установить отличия в разрушении плавких вставок предохранителей, подвергшихся токовой перегрузке или высокотемпературному воздействию, затруднительно или даже невозможно, что подтверждает результаты работы [15], доказывающие тот факт, что расплавленный металл стремится принять шаровидную форму.



Рис. 1. Общий вид карбонизированного корпуса монтажного блока моторного отсека автомобиля Skoda Rapid (а), состояние плавких вставок предохранителей при вскрытом корпусе (б), фрагмент эксперимента по нагреванию плавкой вставки медного предохранителя (в)

Fig. 1. General view of the carbonized housing of the engine compartment assembly of the Skoda Rapid car (a), the state of the fuse links of the fuses with the housing opened (b), experiment on heating the fuse link of a copper fuse (v)

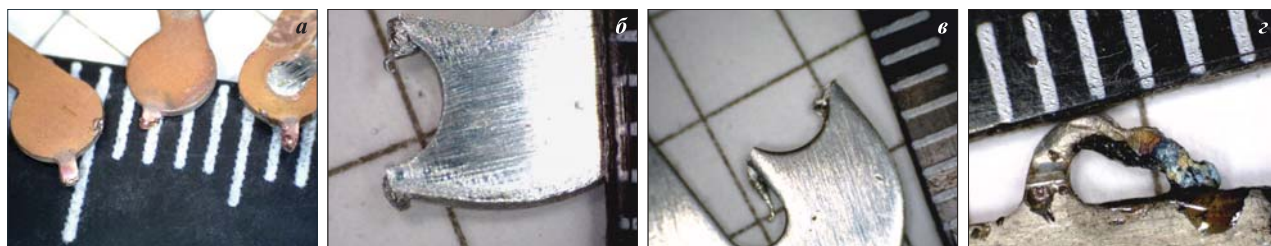


Рис. 2. Общий вид фрагментов плавких вставок автомобильных предохранителей из меди (а), цинка (б) и алюминия (в), подвергшихся токовой перегрузке (а–в), и вставок из меди, подвергшихся высокотемпературному воздействию (г)

Fig. 2. General view of fragments of fusible insertions of motor-car safety devices from a copper (a), zinc (b) and aluminium (v), exposed to the current overload (a–v), and insertions from a copper, exposed to the high temperature influence (g)

Морфологический анализ методом растровой электронной микроскопии

В ходе морфологического исследования фрагментов плавких вставок автомобильных предохранителей при помощи растрового микроскопа JSM-6390LV с небольшим ($\leq 50\times$) увеличением установлены признаки, характерные только для электродугового или высокотемпературного процессов разрушения (рис. 3).

В частности, при высокотемпературном воздействии отмечаются такие признаки, как произволь-

ная форма, пористость, складки застывшего металла, образующиеся при разрушении плавкой вставки под действием силы тяжести (см. рис. 3,г). В случае же электродугового процесса отмечается округлая форма или косой срез, гладкая, без газовых пор, поверхность (см. рис. 3,а–3,в).

По терминологии микротрасологии перечисленные выше признаки являются микроследами, наглядно доказывающими воздействие высоких температур или электродугового процесса на исследуемую плавкую вставку предохранителя.

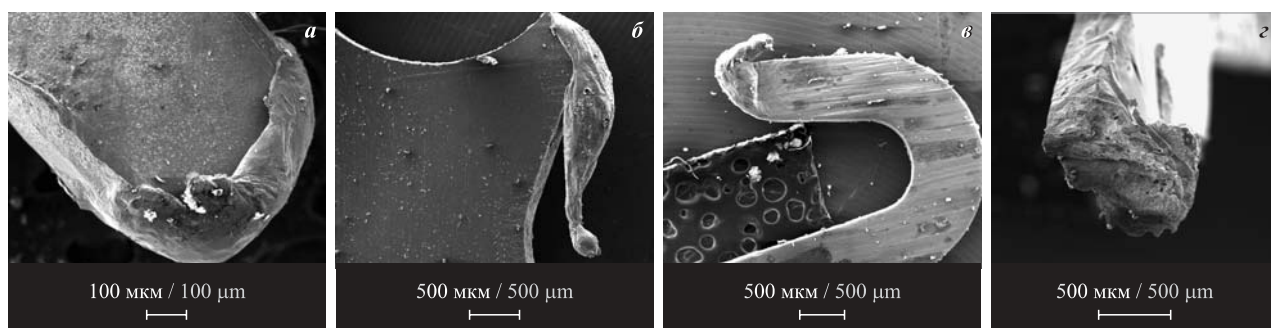


Рис. 3. Вид фрагментов плавких вставок предохранителя, подвергшихся токовой перегрузке (а–в) и высокотемпературному воздействию (г): а — из меди, увеличение $150\times$; б — из цинка, увеличение $37\times$; в — из алюминия, увеличение $35\times$; г — из меди, увеличение $50\times$

Fig. 3. Type of fragments of the fusible insertions of safety device, exposed to the current overload (a–v) and high temperature influence (g): a — from a copper, increase of $150\times$; b — from zinc, increase of $37\times$; v — from an aluminium, increase of $35\times$; g — from a copper, increase of $50\times$

Необходимо напомнить, что в работе [12] приведен снимок алюминиевого проводника со следами большого переходного сопротивления в виде волнообразных наплывов и микрооплавлений. Следует

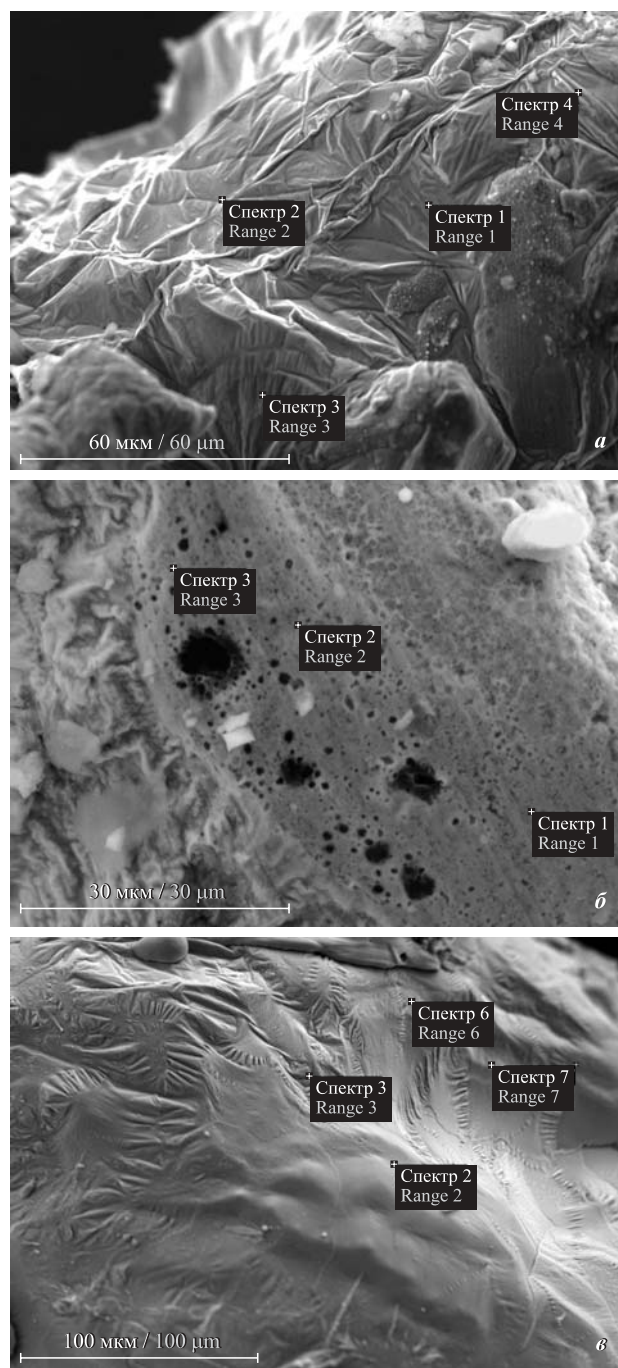


Рис. 4. Вид фрагментов плавких вставок предохранителя из цинка (*а, б*) и алюминия (*в*), подвергшихся токовой перегрузке: *а* — волнообразные наплывы, увеличение 950 $\times$; *б* — микрооплавления, увеличение 1900 $\times$; *в* — волнообразные наплывы, увеличение 550 $\times$

Fig. 4. Type of fragments of fusible insertions of safety device from the zinc (*a, b*) and aluminium (*v*), exposed to the current overload: *a* — undulating influxes, increase of 950 $\times$; *b* — microscopic burn-offs, increase of 1900 $\times$; *v* — undulating influxes, increase of 550 $\times$

указать, что при увеличении свыше 200 $\times$ волнообразные наплывы и микрооплавления наблюдаются на поверхности разрушения вследствие воздействия электродугового процесса на плавкие вставки предохранителей, выполненные не только из алюминия, но и из цинка (рис. 4).

В табл. 1–3 приведены результаты микроанализа для участков, изображенных на рис. 4.

В случае токовой перегрузки на поверхности предохранителей, выполненных из цинка или алюминия, наблюдаются шарообразные капли металла (рис. 5). Результаты микроанализа данного участка приведены в табл. 4.

Резюмируя изложенное, можно сделать вывод, что по терминологии микротрасологии такие признаки на поверхности разрушения плавких вставок предохранителей, выполненных из алюминия и цинка, как волнообразные наплывы, микрооплавления и шарообразные капли металла, являются микроследами электродугового процесса.

На рис. 6 приведен вид поверхности разрушения плавкой вставки медного предохранителя, подверг-

Таблица 1. Результаты микроанализа участка, приведенного на рис. 4, *а*

Table 1. The results of the microanalysis of the section shown in fig. 4, *a*

Номер точки измерения Measurement point number	Химический элемент, % масс. Chemical element, % by mass						
	O	Mg	Al	Si	Ti	Cu	Zn
Спектр 1 Range 1	1,81	0,18	3,14	0,23	0,11	0,23	94,31
Спектр 2 Range 2	1,72	0,79	11,31	0,06	0,33	0,00	85,80
Спектр 3 Range 3	2,01	0,00	1,89	0,37	0,13	0,00	95,60
Спектр 4 Range 4	2,19	0,65	9,73	0,25	0,23	0,00	86,94

Таблица 2. Результаты микроанализа участка, приведенного на рис. 4, *б*

Table 2. The results of the microanalysis of the section shown in fig. 4, *b*

Номер точки измерения Measurement point number	Химический элемент, % масс. Chemical element, % by mass					
	O	Al	P	Ti	Cu	Zn
Спектр 1 Range 1	7,56	0,79	2,04	6,71	0,50	82,41
Спектр 2 Range 2	7,40	0,68	1,54	6,44	0,58	83,37
Спектр 3 Range 3	9,68	0,69	1,06	6,79	0,46	81,32

Таблица 3. Результаты микроанализа участка, приведенного на рис. 4,в

Table 3. The results of the microanalysis of the section shown in fig. 4,в

Номер точки измерения Measurement point number	Химический элемент, % масс. Chemical element, % by mass			
	O	Mg	Al	Cu
Спектр 2 Range 2	23,06	3,84	71,38	1,72
Спектр 3 Range 3	25,82	3,40	60,26	10,53
Спектр 6 Range 6	20,73	4,03	72,84	2,40
Спектр 7 Range 7	28,28	3,73	56,80	11,18

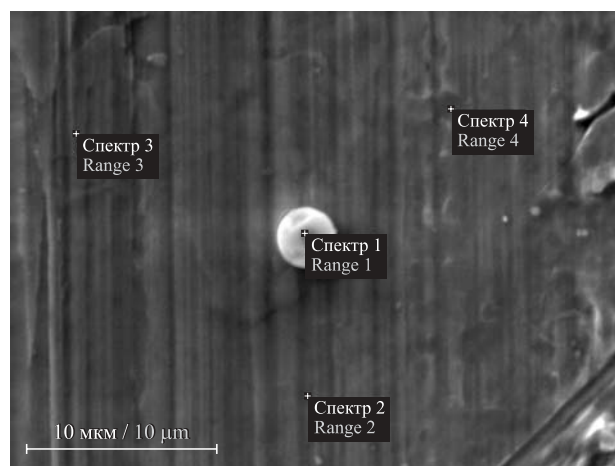


Рис. 5. Шарообразные капли металла на поверхности предохранителя из цинка, подвергнутого токовой перегрузке

Fig. 5. Ball-shaped metal droplets on the surface of a zinc fuse, overloaded with current

шегося эксперименту (см. рис. 1,в и 3,з). В табл. 6 представлены результаты микроанализа.

Как видно из рис. 6, поверхность разрушения обладает сложным рельефом, насыщенным порами. Несмотря на то что основной материал плавкой вставки — медь, участки чистой меди на поверхности разрушения практически не встречаются, так как покрыты соединениями более легкоплавких элементов, в частности олова, конструктивно присутствующего на данном участке (см. табл. 6).

Следовательно, такие признаки на поверхности разрушения медной плавкой вставки, как ярко выраженный рельеф, пористость и наличие более легкоплавких элементов, не относящихся к основному составу предохранителя, являются характерными для высокотемпературного механизма разрушения.

Исследованные образцы плавких вставок автомобильных предохранителей хранились 3 мес. (что

Таблица 4. Результаты микроанализа участка, приведенного на рис. 5

Table 4. The results of the microanalysis of the section shown in fig. 5

Номер точки измерения Measurement point number	Химический элемент, % масс. Chemical element, % by mass			
	Al	Fe	Zn	O
Спектр 1 Range 1	4,29	0,51	73,30	21,90
Спектр 2 Range 2	4,23	0,27	73,65	21,86
Спектр 3 Range 3	3,88	0,38	74,05	21,69
Спектр 4 Range 4	3,97	0,44	73,87	21,73

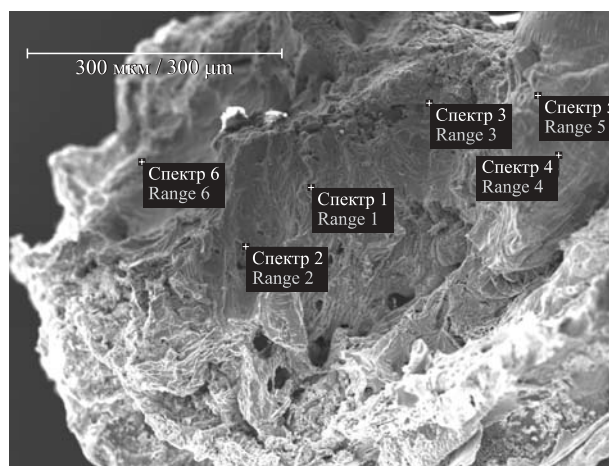


Рис. 6. Вид поверхности разрушения медной плавкой вставки при увеличении 200× (см. рис. 3,з)

Fig. 6. Surface of destruction by copper fuse insert, magnification 200× (fig. 3,з)

превышает средний срок расследования дел о пожарах) в разных условиях (в помещении на открытом воздухе, в помещении в герметичной упаковке, в уличных условиях без доступа воды в жидком агрегатном состоянии (не погружались в воду)). При сравнении образцов установлено, что выявленные признаки являются устойчивыми и не подвержены изменениям в естественных условиях хранения (без умышленного уничтожения признаков).

Таким образом, в результате исследования методом растровой микроскопии фрагментов плавких вставок автомобильных предохранителей, подвергшихся высокотемпературному воздействию или токовой перегрузке, установлены характерные признаки, позволяющие идентифицировать процесс, приведший к их разрушению.

В заключение необходимо отметить, что, по мнению И. Д. Чешко [7], использование результатов ин-

Таблица 5. Результаты микроанализа участка, приведенного на рис. 6

Table 5. The results of the microanalysis of the section shown in fig. 6

Номер точки измерения Measurement point number	Химический элемент, % масс. Chemical element, % by mass				
	O	Mg	Al	Cu	Sn
Спектр 1 Range 1	15,22	3,23	0,49	6,81	74,25
Спектр 2 Range 2	16,66	5,05	8,51	30,86	38,92
Спектр 3 Range 3	20,26	3,16	18,72	26,25	31,60
Спектр 4 Range 4	9,90	5,46	1,66	59,37	23,61
Спектр 5 Range 5	7,41	0,00	1,24	57,05	34,30
Спектр 6 Range 6	8,48	3,90	0,31	45,77	41,54

струментальных 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 медных, алюминиевых и цинковых плавких вставок автомобильных предохранителей могут фиксироваться признаки, позволяющие идентифицировать элект-

родуговой или высокотемпературный механизм образования повреждений.

В частности, такие признаки, как округлая форма или косой срез, гладкая, без газовых пор поверхность, волнообразные наплывы и микроплавления, являются микроследами электродугового процесса.

С другой стороны, такие признаки, как произвольная форма, пористость, ярко выраженный рельеф и складки застывшего металла, образующиеся при разрушении плавкой вставки под действием силы тяжести, наличие на поверхности разрушения более легкоплавких элементов, не относящихся к основному составу предохранителя, являются признаками высокотемпературного воздействия.

Показано, что растровую микроскопию можно использовать при исследовании плавких вставок автомобильных предохранителей не только в качестве вспомогательного метода, но в ряде случаев и в качестве основного.

Настоящим исследованием установлено, что признаки, выявленные на поверхностях плавких вставок автомобильных предохранителей, являются устойчивыми и не подвержены изменениям в естественных условиях хранения (без умышленного уничтожения признаков).

Полученные результаты могут быть использованы при экспертном исследовании плавких вставок автомобильных предохранителей, изымаемых с мест пожаров, установлении механизма их повреждения и, в конечном счете, причины пожара автомобиля. В свою очередь, 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. Богатищев А. И. Комплексные исследования пожароопасных режимов в сетях электрооборудования автотранспортных средств : дис. ... канд. техн. наук. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2002. — 269 с.
7. Чешко И. Д. Экспертиза пожаров (объекты, методы, методики исследования). — 2-е изд., стереотип. — СПб. : СПб ИПБ МВД РФ, 1997. — 562 с.
8. Судебная экспертиза: типичные ошибки / Под. ред. Е. Р. Россинской. — М. : Проспект, 2014. — 544 с.
9. 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.

10. 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.
11. 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.
12. Экспертное исследование после пожара контактных узлов электрооборудования в целях выявления признаков больших переходных сопротивлений : методические рекомендации / К. Б. Лебедев, А. Ю. Мокряк, И. Д. Чешко. — М. : ВНИИПО, 2008. — 29 с.
13. Елисеев Ю. Н. Экспертная дифференциация причин возникновения пожара легкового автомобиля в результате поджога и технической неисправности, связанной с розливом горючих жидкостей : дис. ... канд. техн. наук. — СПб. : СПб. филиал ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2007. — 172 с.
14. 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 (in Russian).
15. Richard J. Roby, Jamie McAllister. Forensic investigation techniques for inspecting electrical conductors involved in fire // Final Technical Report for Award No. 239052. — Columbia : Combustion Science & Engineering, Inc., 2012.
16. Галишиев М. А., Кондратьев С. А., Чешко И. Д., Шаранов С. В., Воронова В. Б. Руководство к практическим и лабораторным занятиям по расследованию и экспертизе пожаров : учебное пособие. — СПб. : Санкт-Петербургский институт ГПС МЧС России, 2003. — 110 с.

Материал поступил в редакцию 3 сентября 2017 г.

Для цитирования: 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.

English

ARC PROCESS FEATURES AT POST FIRE EXPERT EXAMINATION OF CAR FUSE ELEMENTS

NEDOBITKOV A. I., 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

The data given in the article indicate that vehicle fires belong to super severe accidents therefore the problem of improving the fire safety of vehicles is very relevant.

In particular, Reuters reports that the German car concern Daimler has recalled 1 million new Mercedes-Benz models around the world in 2017 due to the risk of ignition caused by defective fuses. Daimler note in their report that in total 51 cases of fire have been recorded consequently car production and sale are suspended.

These are the reasons why development of fire prevention actions for cars is of high importance. Fire investigation is one of the preventive actions.

The article reports that the overwhelming number of firefighting experts' findings concerning the technical routes of car fires is of a presumable (probabilistic) nature. This does not allow developing and implementing specific engineering solutions. This can be explained by many reasons including the lack of scientifically based methods.

In detail, the problem of identifying the electric arc or thermal processes that cause destruction of a car fuse conductor or fuse strip has not been unequivocally solved despite the fact that attempts to

solve this problem using instrumental control have been undertaken by criminologists since the fifties of the last century and there is a number of particular solutions.

The article provides findings of the car fuse strip sample examination at the JSM-6390LV scanning electron microscope for 12 V electric circuit exposed to external high temperature and current overload. It also gives images of the strip fused surface for car fuses made of copper, zinc, aluminum, and those exposed to the overload current and high temperature. The typical diagnostic features in the form of wave-like inflows and micro-fusing have been found. They are used to identify the cause of fire damage (high temperature, current overload) of fuse strips in the 12 V electrical circuit. It has been found that the revealed features are stable and they are not subject to any changes in the natural storage conditions of a car damaged by thermal exposure.

The data given in the article can be used by experts when examining fuse strips taken from the locations of vehicle fires, determining the nature of their damage and, ultimately, finding the cause of the car fire.

Keywords: fire; fuse; fuse strip; current overload; copper; aluminum; zinc; scanning electron microscopy; diagnostic feature; ultratrace; fire investigation.

REFERENCES

1. Brushlinskiy N. N., Sokolov S. V., Wagner P. *Chelovechestvo i pozhary* [Humanity and fires]. Moscow, IPTs Maska Publ., 2007. 142 p. (in Russian).
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, pp. 301–310. DOI: 10.1016/j.firesaf.2008.07.001.
6. Bogatishchev A. I. *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).
7. Cheshko I. D. *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).
8. Rossinskaya E. R. (ed). *Sudebnaya ekspertiza: tipichnyye oshibki* [Judicial examination: typical mistakes]. Moscow, Prospekt Publ., 2014. 544 p. (in Russian).
9. Delplace M., Vos E. 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.
10. 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, pp. 125–147. DOI: 10.1177/1042391504036450.
11. 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, pp. 1051–1070. DOI: 10.1007/s10694-014-0455-9.
12. Lebedev K. B., Mokryak A. Yu., Cheshko I. D. *Ekspertnoye issledovaniye posle pozhara kontaknykh uzlov elektrooborudovaniya v tselyakh vyyavleniya priznakov bolshikh perekhodnykh soprotivleniy. Metodicheskiye rekomendatsii* [Expert research after the fire of the contact points of electrical equipment in order to identify signs of large transient resistance: Methodological recommendations]. Moscow, VNIPO Publ., 2008. 29 p. (in Russian).
13. Eliseev U. N. *Expert differentiation of the causes of the fire of a car as a result of arson and a technical malfunction associated with bottling of flammable liquids*. Cand. tech. sci. diss. Saint Petersburg, 2007. 172 p. (in Russian).

14. Nedobitkov A. I. Fractography of car electric circuit copper conductor fractures. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 2, pp. 21–27. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.02.21-27 (in Russian).
15. Richard J. Roby, Jamie McAllister. Forensic investigation techniques for inspecting electrical conductors involved in fire. *Final Technical Report for Award No. 239052*. Columbia, Combustion Science & Engineering, Inc., 2012.
16. Galishev M. A., Kondratyev S. A., Cheshko I. D., Sharapov S. V., Voronova V. B. *Rukovodstvo k prakticheskim i laboratornym zanyatiyam po rassledovaniyu i ekspertize pozharov* [Guide to practical and laboratory studies to investigate and expertise fires]. Saint Petersburg, Saint Petersburg Institute of State Fire Service of Emercom of Russia Publ., 2003. 110 p.

For citation: Nedobitkov A. I. Arc process features at post fire expert examination of car fuse elements. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 11, pp. 21–30 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2017.26.11.21-30.



Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет книгу

Д. Г. Пронин, Д. А. Корольченко

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАЗМЕРОВ ПОЖАРНЫХ ОТСЕКОВ В ЗДАНИЯХ И СООРУЖЕНИЯХ : монография.

— М. : Издательство "ПОЖНАУКА", 2014. — 104 с. : ил.



Изложены современные подходы к нормированию площадей пожарных отсеков и раскрыты требования к ним. Предложен метод научно-технического обоснования размеров пожарных отсеков с учетом вероятностного подхода на основе расчета пожарного риска. Рассмотрены возможности расчета вероятностных показателей, используемых в разработанном методе. Представлены основные достижения в данном направлении отечественной и зарубежной науки; приведены сведения о положительных и отрицательных сторонах действующей системы технического регулирования.

Монография ориентирована на научных и инженерных работников, занимающихся вопросами проектирования противопожарной защиты зданий и сооружений, а также на научных и практических работников пожарной охраны, преподавателей и слушателей учебных заведений строительного и пожарно-технического профиля, специалистов страховых компаний, занимающихся вопросами оценки пожарного риска.

Монография рекомендуется к использованию при выполнении научно-исследовательских и нормативно-технических работ по оптимизации объемно-планировочных и конструктивных решений зданий и сооружений, в том числе тех, на которые отсутствуют нормы проектирования, а также при проведении оценки страхования пожарных рисков.

Разработанный метод расчета может быть положен в основу технических регламентов и сводов правил в области строительства и пожарной безопасности.

121352, г. Москва, а/я 43; тел./факс: (495) 228-09-03; e-mail: info@fire-smi.ru