

ИЗМЕНЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ МНОГОЖИЛЬНЫХ КАБЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПЛАМЕНИ

Аушев И.Ю., Фомихина И.В., Веренич, Е.В., Рыжов М.Э.

Цель. Определить микротвердость и изменение микроструктуры металлических элементов многожильных кабельных изделий с алюминиевыми и медными жилами при воздействии пламени.

Методы. Металлография, дюротметрия, а также общенаучные методы исследования: анализ, синтез, сравнение и обобщение.

Результаты. Определены микроструктура, размеры и микротвердость зерен медных и алюминиевых металлических элементов кабельных изделий после воздействия пламени.

Область применения исследований. Результаты исследований могут быть использованы при подготовке специалистов в сфере предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций, а также в ходе проведения пожарно-технических экспертиз при расследовании причин пожаров.

Ключевые слова: кабельные изделия, аварийный режим работы, микроструктура, микротвердость, расследование пожаров.

(Поступила в редакцию 15 января 2025 г.)

Введение

Пожары, вызванные неисправностями в электропроводке, представляют собой одну из наиболее распространенных и значительных угроз пожарной безопасности в Республике Беларусь. Анализ статистических данных свидетельствует о том, что из общего числа пожаров около 25 % вызваны аварийными режимами работы электрической сети¹. При этом около 70 % от всех случаев пожаров приходится на жилой сектор, включая многоквартирные дома и частные домовладения. Оставшиеся случаи пожаров фиксируются на производственных объектах, складских помещениях и в других учреждениях.

Кабельные изделия считаются одними из самых пожароопасных компонентов электротехнического оборудования. Это связано с их конструктивными особенностями, которые предполагают сочетание горючих материалов (таких как изоляция, оболочки кабелей и другие полимерные компоненты) и потенциальных источников зажигания. Последние включают искры, электрические дуги, а также элементы, нагретые в результате протекания электрического тока, особенно при эксплуатации электрооборудования в условиях аварийных режимов работы [1].

Основными аварийными электрическими режимами, которые приводят к возникновению возгораний проводов и кабелей, являются:

1. Короткие замыкания (КЗ) – когда происходит непредусмотренный контакт токоведущих жил, что приводит к мгновенному выделению большого количества тепловой энергии.
2. Перегрузки – состояние, при котором через токоведущие части протекают токи, значительно превышающие номинальные значения. Это вызывает их перегрев.
3. Высокое переходное сопротивление – возникает в местах контактных соединений, где из-за слабого контакта выделяется значительное количество тепла.

В аварийных условиях протекание сверхтоков (токов, многократно превышающих номинальный уровень) по токопроводящим жилам и элементам электрической цепи создает критические температурные условия. Это может приводить к возгоранию кабелей, особенно

¹ Ежегодные отчеты о чрезвычайных ситуациях // Официальный сайт Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь. – 2024. – 15 янв. – Режим доступа: <https://mchs.gov.by/novosti-i-sobytiya/analitika>. – Дата доступа: 10.12.2024.

силовых и высоковольтных. При таких температурах выделяется достаточно энергии для начала термического разложения (пиролиза) изоляционных материалов, которое сопровождается выделением горючих газов. Эти газы, в свою очередь, служат топливом для развития открытого горения [2].

Процесс пиролиза электроизоляции начинается при относительно низких температурах, что делает такие материалы особенно уязвимыми в условиях аварийной эксплуатации. Нагрев токоведущих частей до критических температур и локальное повышение температуры в местах контактов из-за переходного сопротивления могут создавать условия для развития возгорания даже при кратковременных перегрузках.

Таким образом, кабельные изделия представляют собой объект повышенного пожароопасного риска, особенно при эксплуатации в неблагоприятных условиях или при несоблюдении норм технического обслуживания. Это подтверждает необходимость строгого контроля качества кабельной продукции, внедрения современных противопожарных стандартов и регулярного мониторинга состояния электрооборудования, чтобы минимизировать вероятность аварийных режимов и предотвратить развитие пожаров.

Основная часть

Тепловые повреждения проводников, вызванные прохождением сверхтока (перегрузки), напрямую зависят от степени кратности этого сверхтока по отношению к номинальному значению. При воздействии тока, кратность которого превышает допустимые пределы, токоведущая жила подвергается значительному нагреву на всем ее протяжении. Этот процесс сопровождается рядом изменений, которые имеют как физический, так и химический характер.

Одним из ключевых последствий воздействия сверхтоков является термическая деградация изоляции, прилегающей к токоведущей жиле. Это включает следующие этапы [1]: плавление изоляционного материала из-за локального перегрева; карбонизация – образование углеродистой корки на месте разрушения изоляции; отслоение изоляции от поверхности проводника вследствие потери ее адгезионных свойств.

Кроме того, на поверхности токоведущей жилы возникают характерные признаки, которые позволяют экспертам идентифицировать факт протекания сверхтоков. Эти признаки включают: локальные оплавления металла в местах максимального тепловыделения; вздутия или утолщения проводника, вызванные тепловым расширением; образование «шеек» – сужений проводника в местах интенсивного нагрева; фрагментацию – разрывы или расслоения структуры металла вследствие термических и механических нагрузок. Эти изменения свидетельствуют о том, что по проводнику проходил ток, величина которого превышала номинальное значение в 3–4 раза и более. Такие экстремальные условия эксплуатации не только ведут к разрушению самого проводника, но и значительно повышают риск возгорания. Плавление и карбонизация изоляции сопровождаются выделением горючих газов, которые могут стать причиной дальнейшего развития пожара.

Таким образом, диагностика повреждений токоведущих жил и изоляции в условиях перегрузки играет важную роль в пожарно-технических экспертизах. Идентификация вышеописанных признаков позволяет не только определить факт перегрузки, но и установить ее возможное значение, что способствует более точному восстановлению картины произошедшего инцидента.

Одним из наиболее изученных электрических пожароопасных режимов является КЗ, что обусловлено его значением как с пожарно-профилактической, так и с экспертно-криминалистической точек зрения. Первые исследования, посвященные анализу следов, оставляемых КЗ, были проведены и опубликованы В. Хагемайером в 1960-х гг. [3]. В дальнейшем значительный вклад в развитие данных исследований был внесен специалистами ВНИИПО МВД СССР под руководством профессора Г.И. Смелкова. Именно тогда была разработана

теоретическая основа, объясняющая связь электрических аварийных режимов с возникновением пожаров, а также создана первая методика инструментального анализа момента возникновения КЗ на медных и алюминиевых проводниках. Эта методика позволила, как тогда считалось, дифференцировать дуговые оплавления, вызванные так называемыми первичными и вторичными КЗ [1; 2].

Первичные короткие замыкания (ПКЗ) возникают до пожара или в его начальной стадии. Их отличительной особенностью является то, что повреждения проводников и изоляции происходят в условиях нормальной окружающей среды: при комнатной температуре и стандартном составе атмосферы (21 % кислорода и 79 % азота) [4; 5].

Вторичные короткие замыкания (ВКЗ) появляются в процессе уже развивающегося пожара. В этом случае воздействие высокой температуры и обгорание изоляции приводят к возникновению замыканий между фазой и нулем или между фазами. Для таких ситуаций характерны повышенная температура окружающей среды (выше 200 °С), насыщенность атмосферы продуктами разложения горючих веществ (СО, СО₂) и снижение концентрации кислорода.

При расследовании пожаров ключевое внимание уделяется именно ПКЗ, поскольку они могут быть причиной возгорания. ВКЗ, как правило, возникают в результате воздействия огня и служат следствием развивающегося пожара. Однако без применения специальных инструментальных методов исследований дифференциация ПКЗ и ВКЗ невозможна. Поэтому при проведении пожарно-технических экспертиз участки проводов с характерными оплавлениями изымаются и направляются в лабораторию для дальнейшего анализа.

Анализ литературных источников показал, что в настоящее время на практике для определения причастности к возникновению пожара кабельных изделий наиболее часто используются следующие методы [6]:

- морфологический анализ визуально и методом электронной микроскопии, с помощью которой ведется поиск специфических структур в виде искривленных и закругленных кристаллов, которые образуются, соответственно, при ПКЗ и ВКЗ;

- металлография, заключающаяся в изучении микроструктуры металлов и сплавов, их макроструктуры;

- рентгеноструктурный анализ, в основе которого лежит явление дифракции рентгеновских лучей на трехмерной кристаллической решетке исследуемого проводника.

Применение этих методов позволяет:

- выявить локальные изменения структуры металла, характерные для дуговых оплавлений;

- установить температурный режим и динамику процессов, вызванных КЗ;

- подтвердить или опровергнуть версию о первичности КЗ в контексте рассматриваемого пожара.

Таким образом, методики анализа дуговых оплавлений, особенно тех, что связаны с ПКЗ, играют ключевую роль в установлении причинно-следственных связей между аварийными режимами в электрических системах и пожарами. Исследование электродуговых оплавлений проводников занимает центральное место в проведении пожарно-технических экспертиз, поскольку версия о возникновении пожара вследствие аварийных режимов в электропроводке рассматривается практически в каждом случае возгорания. Такие исследования позволяют выявить ПКЗ как возможную причину пожара. Однако, несмотря на значимость и широкое применение этих методик, практика расследования пожаров выявляет ряд существенных проблем, связанных с интерпретацией полученных данных.

В ряде случаев характерные признаки, указывающие на наличие ПКЗ, обнаруживаются на нескольких проводниках одновременно, включая те, которые находятся за пределами предполагаемого очага пожара [7]. Это затрудняет установление истинного места возникновения короткого замыкания и причину возгорания.

Результаты, полученные с использованием различных исследовательских методов (например, металлографии, рентгеноструктурного анализа и визуальной морфологии), могут существенно различаться. Иногда они даже противоречат фактическим данным о развитии пожара, что вызывает трудности в формировании однозначного экспертного заключения [8].

Реальные пожары характеризуются многостадийным развитием, влиянием многочисленных факторов (например, температуры, состава горючих газов, наличия кислорода), которые сложно моделировать в лабораторных условиях. Это затрудняет воспроизведение условий, при которых происходило замыкание, и корректное установление его характера (первичного или вторичного).

Существующие методики, хотя и предоставляют базу для анализа электродуговых оплавлений, не являются универсальными [9]. Их применение требует учета множества факторов, таких как: локализация повреждений на проводниках; условия воздействия высоких температур и продуктов горения; взаимодействие материалов, участвовавших в пожаре. Эти аспекты зачастую делают результаты исследований неоднозначными, что подчеркивает необходимость дальнейшего совершенствования методологических подходов.

Для повышения точности экспертиз необходимо: разрабатывать более сложные лабораторные модели, учитывающие влияние многостадийных процессов, происходящих при реальных пожарах; совмещать методы металлографии, рентгеноструктурного анализа и цифровой микроскопии с новыми подходами, такими как компьютерное моделирование развития аварийных режимов; разрабатывать стандарты по оценке достоверности выводов, полученных при использовании разных методик, чтобы минимизировать вероятность ошибок и противоречий.

Таким образом, исследование электродуговых оплавлений остается ключевым инструментом в области пожарной экспертизы. Однако для достижения большей точности и универсальности методик требуется дальнейшее развитие научных подходов, учитывающих сложность и многообразие условий, возникающих при реальных пожарах.

В работах [1; 2; 4; 7; 10; 11] авторы изучали одиночные и двухжильные кабельные изделия, покрытые изоляцией, а также одиночные проводники без изоляции [3]. В данной статье предлагается рассмотреть изменение микроструктуры трех- и четырехжильных кабельных изделий при их нагревании пламенем, имитирующим воздействие пожара (без учета газообразных факторов пожара) методами металлографического и дюрOMETрического анализов.

Исследования проводились в испытательной лаборатории Университета гражданской защиты (аттестат аккредитации № ВУ/112 1.01.02), а также в испытательном центре Института порошковой металлургии имени академика О.В. Романа на базе отделения «Исследования и испытания материалов», аккредитованном на техническую компетентность и независимость (аттестат аккредитации № ВУ/112.02.1.0.0263).

Для приготовления микрошлифов от проводников со следами воздействия дуги короткого замыкания отрезались участки с оплавлением длиной 10–15 мм и заливались в эпоксидную смолу. Приготовление шлифов осуществлялось по классической методике: шлифовка на абразивных шкурках, начиная с крупнозернистой, переходя на мелкозернистые не менее чем в 4–5 переходов. Продолжительность обработки одной шкуркой определялась качеством обработанной поверхности – каждая последующая обработка на поверхности металла должна была полностью вывести риски предыдущей обработки.

После обработки с поверхности шлифа удалялись продукты обработки (частицы абразива) путем протирки ветошью. После шлифовки проводилась полировка на алмазных пастах до зеркального блеска, соответствующего не менее чем 10-му классу чистоты. Травление микрошлифа для выявления микроструктуры осуществлялось травителями. Медные проводники травили 3 %-ным раствором хлорного железа $FeCl_3$ в этиловом спирте, алюминиевые – 10 %-ным водным раствором плавиковой кислоты HF . После травления остатки раствора

удаляли ватным тампоном, смоченным этиловым спиртом, затем промывали спиртом и высушивали фильтровальной бумагой. Для лучшего выявления микроструктуры процессы полировки и травления повторяли несколько раз до четкого ее выявления, при этом снимали поверхностный слой металла глубиной 2×10^{-1} мкм, искажающий микроструктуру.

Микроструктура изучалась на нетравленных и травленных шлифах на световом микроскопе MeF-3 фирмы Reichert (Австрия) при увеличении $\times 100$, $\times 500$. Величина зерна определялась в соответствии с ГОСТ 21073.1². ДюрOMETрические исследования (измерение микротвердости по Виккерсу) проводились на микротвердомере Micromet II фирмы Buehler-Met (Швейцария) с нагрузкой 50 г в соответствии с ГОСТ 9450³.

Для исследования были подготовлены 2 типа кабелей длиной 1 м: с алюминиевой и медной жилами.

Кабель АВВГнг(А) 3×25 ОК 6 кВ предназначен для передачи и распределения электроэнергии в стационарных установках на номинальное переменное напряжение 6 кВ частоты 50 Гц, прокладки в сухих и влажных производственных помещениях, на специальных кабельных эстакадах, в блоках, а также для прокладки на открытом воздухе. Конструкция кабеля: 3 алюминиевые токопроводящие жилы сечением 25 мм²; изоляция из поливинилхлоридного пластиката; внутренняя оболочка выпрессована с заполнением промежутков между жилами из ПВХ пластиката пониженной горючести; поясная изоляция выпрессована из ПВХ пластиката пониженной горючести минимальной толщиной 0,9 мм; электропроводящий экран наложен обмоткой из ленты, изготовленной из электропроводящей прорезиненной ткани номинальной толщиной 0,3 мм, с перекрытием; металлический экран из двух медных лент; оболочка из ПВХ пластиката пониженной горючести.

Огнестойкий кабель ЭМПзнг(А)-FRHF 4×1,5–0,15/0,25 предназначен для прокладки в сухих и влажных производственных помещениях, а также для прокладки на открытом воздухе. Конструкция кабеля: 4 медные многопроволочные токопроводящие жилы сечением 1,5 мм² в изоляции белого цвета из керамообразующей кремнийорганической резины, с заполнением из кремнийорганического компаунда белого цвета. Поверх сердечника наложен экран в виде оплетки из медных проволок и оболочка из полимерной композиции, не содержащей галогенов.

Для исследования микроструктур металлических элементов кабельного изделия вырезались наиболее характерные участки оплавлений, сравниваемые с исходными (рис. 1). Образцы подвергались воздействию открытого пламени в помещении при комнатной температуре без воздействия газообразных продуктов, имитирующих пожар. Для кабеля АВВГнг(А) 3×25 ОК 6 кВ использовалась пропан-бутановая смесь, время воздействия пламени – 40 мин. Для кабеля ЭМПзнг(А)-FRHF 4×1,5–0,15/0,25 – спиртовой раствор, время воздействия пламени – 25 мин. Кабели располагались открыто в стандартном составе атмосферы. Время воздействия пламени подбиралось с учетом предполагаемого завершения процессов рекристаллизации металлов токопроводящих жил.

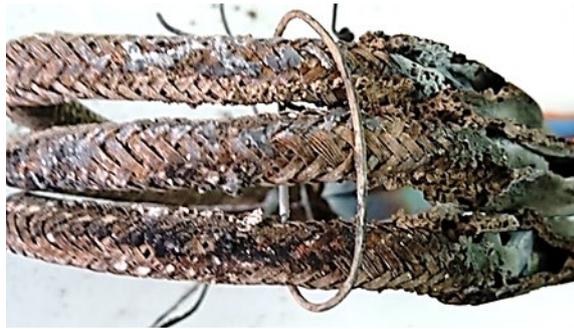
Образцы маркировались следующим образом:

- 1А, 1С – исходные алюминиевые и медные проводники соответственно;
- 2А – алюминиевые проводники в металлическом кожухе;
- 2С – медные проводники в металлической оплетке;
- 3А, 3С – алюминиевые и медные проводники с остатками полимера.

Вырезанные фрагменты заливались в эпоксидную смолу, смешанную с отвердителем в пропорции 10:1. Готовились шлифы (рис. 2) и после травления проводился микроструктурный анализ. Методика приготовления шлифов и составы травителей приведены выше.

² Металлы цветные. Определение величины зерна методом сравнения со шкалой микроструктур: ГОСТ 21073.1–75. – Введ. 01.07.1976. – М.: Госстандарт, 1975. – 12 с.

³ Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников: ГОСТ 9450–76. – Введ. 01.01.1977. – М.: Госстандарт, 1976. – 36 с.



a – медные проводники в металлической оплетке (2С)



б – медные проводники с остатками полимера (3С)



в – алюминиевые проводники в металлическом кожухе (2А)



г – алюминиевые проводники с остатками полимера (3А)

Рисунок 1. – Характерные участки оплавлений проводников



a – исходные медные проводники (1С)



б – медные проводники в металлической оплетке (2С)



в – медные проводники с остатками полимера (3С)



г – исходные алюминиевые проводники (1А)



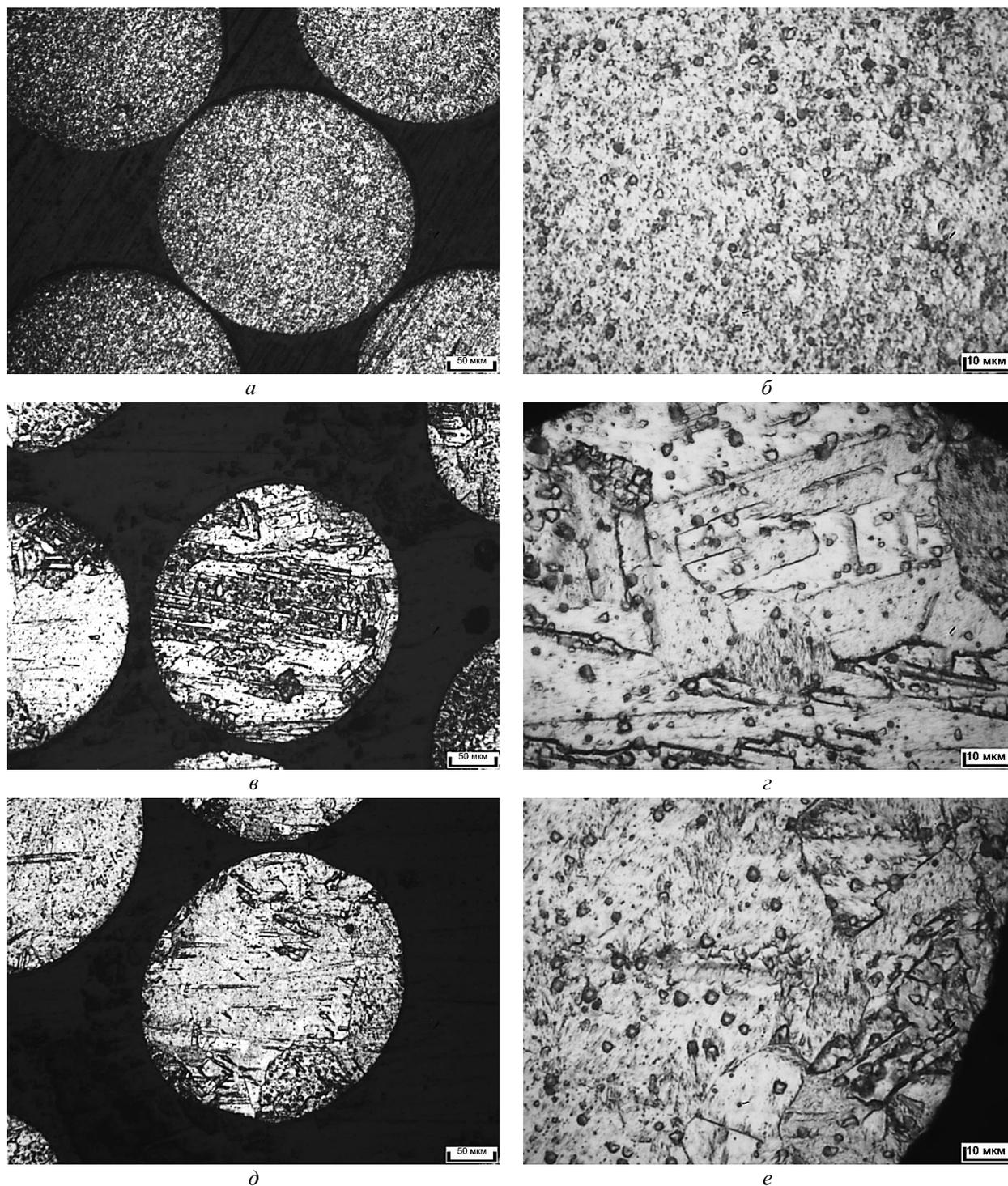
д – алюминиевые проводники в металлическом кожухе (2А)



е – алюминиевые проводники с остатками полимера (3А)

Рисунок 2. – Шлифы с медными и алюминиевыми проводниками, подготовленные к исследованию микроструктуры

Микроструктура медных проводников представлена на рисунке 3.



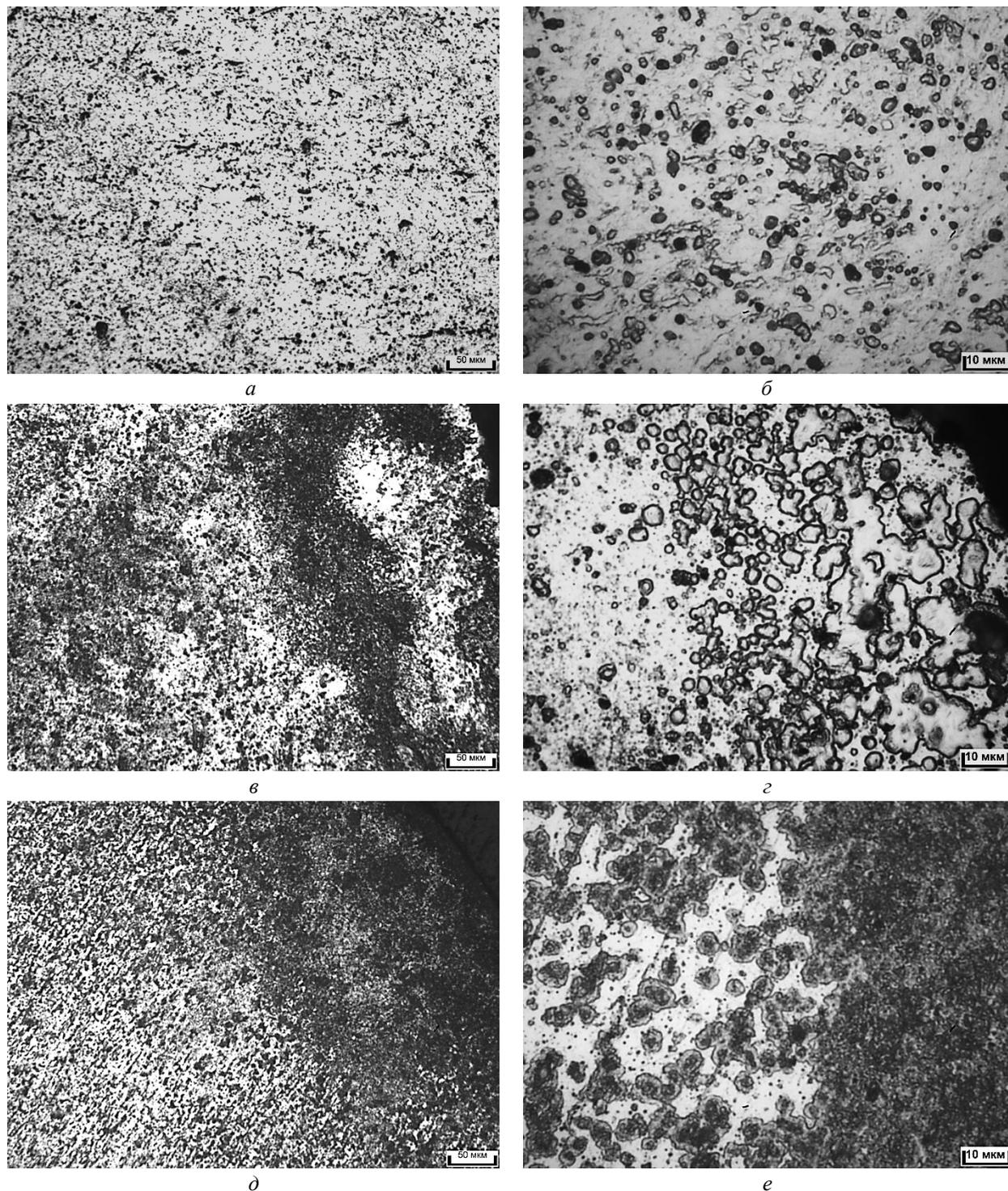
а, б – исходные (1С); *в, г* – в металлической оплетке (2С); *д, е* – с остатками полимера (3С)

Рисунок 3. – Микроструктура медных проводников, х100, х500

В ходе экспериментальных исследований установлено, что медные проводники (рис. 3) в исходном состоянии (1С) имеют мелкозернистую микроструктуру с размером зерна 2–8 мкм (средний 5 мкм). На участке металлической оплетки (2С) наблюдаются рекристаллизационные процессы с увеличением размера зерна от 10 до 150 мкм (средний 80 мкм). На участке с остатками полимера (3С) рекристаллизация проходит не полностью: присутствуют места с мелкозернистой микроструктурой с размером зерна 5–20 мкм и крупнозернистой микроструктурой от 50 до 100 мкм, средний размер зерна проводника составляет 60 мкм. Развитие

рекристаллизационных процессов в проводниках, находящихся в зоне пожара, подтверждается уменьшением микротвердости. Средняя микротвердость исходного медного проводника составляет 700 МПа, проводника в металлической оплетке – 500 МПа, проводника с остатками полимера – 600 МПа.

Микроструктура алюминиевых проводников представлена на рисунке 4.



а, б – исходные (1А); *в, г* – в металлической оплетке (2А); *д, е* – с остатками полимера (3А)

Рисунок 3. – Микроструктура алюминиевых проводников, x100, x500

Алюминиевые проводники (рис. 4) в исходном состоянии (1А) имеют мелкозернистую микроструктуру с размером зерна 2–5 мкм (средний 4 мкм). На участке металлического

кожуха (2А) и с остатками полимера (3А) наблюдается зональная перекристаллизация, связанная с частичным оплавлением проводников. Присутствуют участки с увеличением размера зерна до 30 мкм (2А) и до 15 мкм (3А). В зонах перекристаллизации микротвердость уменьшается до 300 МПа по сравнению с исходной микротвердостью 400–450 МПа.

Заключение

Результаты исследования показали, что тепловое воздействие пламени оказывает значительное влияние на микроструктуру токоведущих жил кабельных изделий, а защитная оболочка, оплетка, броня кабеля в течение некоторого времени защищают жилы от температурного воздействия, задерживают процессы рекристаллизации, перекристаллизации и оплавления. Рекристаллизация и перекристаллизация зерен проводников может являться признаком ВКЗ. При этом микротвердость в зонах рекристаллизации понижается до 40–50 %, что объясняется разупрочняющими процессами, происходящими в кабеле при воздействии температуры пламени. Зоны перекристаллизации свидетельствуют о частичном оплавлении проводников.

Результаты экспериментов подтверждают важность учета конструктивных особенностей кабельных изделий при проведении пожарно-технических экспертиз. Изучение микроструктурных изменений проводников позволяет не только выявлять зоны воздействия пламени, но и дифференцировать их характер (ПКЗ или ВКЗ).

Представляет практический интерес влияние газообразных факторов пожара на изменение микроструктуры и микротвердости токоведущих жил многожильных кабельных изделий сложной конструкции. Дальнейшее совершенствование методик микроструктурного анализа позволит обеспечить более глубокое понимание процессов, происходящих в кабельных изделиях в условиях пожара, а также повысить точность дифференцирования момента возникновения короткого замыкания при проведении пожарно-технических экспертиз.

ЛИТЕРАТУРА

1. Экспертное исследование после пожара медных проводников: методические рекомендации / А.Ю. Мокряк [и др.]. – СПб.: СПб. УГПС МЧС России, 2019. – 149 с. – EDN: HJXXJU.
2. Смелков, Г.И. Пожарная безопасность электропроводок / Г.И. Смелков. – М.: ООО «КАБЕЛЬ», 2009. – 328 с.
3. Hagemuer, W. Die metallographische Untersuchung von Kupferleitern als Methode zur Unterscheidung zwischen primären und sekundären Kurzschlüssen / W. Hagemuer // Schriftenreihe der Deutsch Volkspolizei. – 1963. – № 7–12. – S. 1160–1170.
4. Митричев, Л.С. Исследование медных и алюминиевых проводников в зонах короткого замыкания и термического воздействия: метод. рекомендации / Л.С. Митричев, А.И. Колмаков, Б.В. Степанов. – М.: ВНИИ МВД СССР, 1986. – 43 с.
5. Смелков, Г.И. Методы определения причастности к пожарам аварийных режимов в электротехнических устройствах / Г.И. Смелков, А.А. Александров, В.А. Пехотиков. – М.: Стройиздат, 1980. – 59 с.
6. Чешко, И.Д. Технические основы расследования пожаров: метод. пособие / И.Д. Чешко. – М.: ВНИИПО, 2002. – 330 с.
7. Чешко, И.Д. Эволюция методики определения первичности-вторичности оплавлений медных проводников, вызванных коротким замыканием / И.Д. Чешко, А.Ю. Мокряк, А.В. Мокряк. – Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России. – 2018. – № 3. – С. 39–45. – EDN: YKVZYT.
8. Каргапольцева, Е.В. Проблемы исследования зон оплавлений алюминиевых проводников методами элементного анализа при производстве пожарно-технической экспертизы / Е.В. Каргапольцева, А.А. Шеков. – Актуальные проблемы безопасности в техносфере. – 2024. – № 1 (13). – С 18–21. – DOI: 10.34987/2712-9233.2024.63.22.004. – EDN: NNSMIH.
9. Таубкин, И.С. О надежности методики установления причинной связи токовой перегрузки электропроводки с возникновением пожара / И.С. Таубкин, А.Р. Саклантй. – Теория и практика

- судебной экспертизы. – 2019. – № 1 (14). – С. 106–115. – DOI: 10.30764/1819-2785-2019-14-1-106-115. – EDN: ZRYDAQ.
10. Ильющенко, А.Ф. Структура алюминиевых проводников с оплавлениями для определения момента возникновения короткого замыкания при проведении пожарно-технических экспертиз / А.Ф. Ильющенко, И.В. Фомихина, В.М. Юнчиц. – Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2012. – № 2 (32). – С. 110–117. – EDN: WCNSDV.
11. Громов, В.Н. Исследование расположения дендритных структур в оплавлениях медных проводников токами первичного короткого замыкания в экспертизе / В.Н. Громов, М.А. Галишев, Т.П. Сысоева. Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России, 2013. – № 3. – С. 1–7. – EDN: RSMMEB.

**Изменение микроструктуры металлических элементов многожильных
кабельных изделий при воздействии пламени**

**Changes in the microstructure of metallic elements of multi-core cable
products when exposed to flame**

Аушев Игорь Юрьевич

кандидат технических наук, доцент
Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», кафедра
промышленной безопасности, доцент
Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, г. Минск, Беларусь
Email: ai@ucp.by
SPIN-код: 2558-7937

Igor Yu. Aushev

PhD in Technical Sciences, Associate Professor
State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Chair of Industrial Safety,
Associate Professor
Address: Mashinostroiteley str., 25,
220118, Minsk, Belarus
Email: ai@ucp.by
ORCID: 0000-0003-4425-2085
ScopusID: 57614157700

Фомихина Ирина Викторовна

доктор технических наук,
доцент
Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», кафедра
промышленной безопасности, профессор
Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, Беларусь, г. Минск
Email: ivfom@tut.by
SPIN-код: 5660-6815

Irina V. Fomikhina

Grand PhD in Technical Sciences,
Associate Professor
State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Chair of Industrial Safety, Professor
Address: Mashinostroiteley str., 25,
220118, Belarus, Minsk
Email: ivfom@tut.by
ORCID: 0009-0007-2164-412X
ScopusID: 6507443284

Веренич Евгений Владимирович

Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», учебно-методический
центр, методист
Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, г. Минск, Беларусь

Evgeniy V. Verenich

State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Educational and Methodological Center,
Methodist
Address: Mashinostroiteley str., 25,
220118, Minsk, Belarus

Рыжов Максим Эрнестович

Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», факультет
техносферной безопасности, курсант
Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, г. Минск, Беларусь

Maksim E. Ryzhov

State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Faculty of Technosphere Safety, cadet
Address: Mashinostroiteley str., 25,
220118, Minsk, Belarus

CHANGES IN THE MICROSTRUCTURE OF METALLIC ELEMENTS OF MULTI-CORE CABLE PRODUCTS EXPOSED TO FLAME

Aushev I.Yu., Fomikhina I.V., Verenich E.V., Ryzhov M.E.

Purpose. To determine the microhardness and changes in the microstructure of metal elements of multi-core cable products with aluminum and copper cores when exposed to flame.

Methods. Metallography, durometry, as well as general scientific research methods: analysis, synthesis, comparison and generalization.

Findings. The microstructure, dimensions and microhardness of grains of copper and aluminum metal elements of cable products after exposure to flame were determined.

Application field of research. The research results can be used in training specialists in the field of emergency prevention and response, as well as in conducting fire-technical expertise during the investigation of fire causes.

Keywords: cable products, emergency operation mode, microstructure, microhardness, fire investigation.

(The date of submitting: January 15, 2025)

REFERENCES

1. Mokryak A.Yu., Cheshko I.D., Pariyskaya A.Yu., Plotnikov V.G., Skodtaev S.V., Mokryak A.V. *Ekspertnoe issledovanie posle pozhara mednykh provodnikov: metodicheskie rekomendatsii* [Expert examination of copper conductors after a fire: methodological recommendations]. Saint-Petersburg State Fire Service University of EMERCOM of Russia, 2019. 149 p. (rus). EDN: HJXXJU.
2. Smelkov G.I. *Pozharnaya bezopasnost' elektroprovodok* [Fire safety of electrical wiring]. Moscow: Kabel', 2009. 328 p. (rus)
3. Hagemuer W. Die metallographische Untersuchung von Kupferleiternals Method zur Untercheidung-zwischenprimaren und sekundaren Kurzschlussen. *Schriftenreihe der Deutsch Volkspolizei*, 1963. No. 7–12. S. 1160–1170.
4. Mitrichev L.S., Kolmakov A.I., Stepanov B.V. *Issledovanie mednykh i alyuminievykh provodnikov v zonakh korotkogo замыкания и termicheskogo vozdeystviya*: [Study of copper and aluminum conductors in short-circuit and thermal impact zones]: methodical recommendations. Moscow: All-Russian Research Institute of the Ministry of Internal Affairs of the USSR, 1986. 43 p. (rus)
5. Smelkov G.I., Aleksandrov A.A., Pekhotikov V.A. *Metody opredeleniya prichasnosti k pozharam avarinykh rezhimov v elektrotekhnicheskikh ustroystvakh* [Methods for determining the involvement of emergency modes in electrical devices in fires]. Moscow: Stroyizdat, 1980. 59 p. (rus)
6. Cheshko I.D. *Tekhnicheskie osnovy rassledovaniya pozharov* [Technical fundamentals of fire investigation]: methodological manual. Moscow: VNIPO EMERCOM of Russia, 2002. 330 p. (rus)
7. Cheshko I.D., Mokryak A.Yu., Mokryak A.V. Evolyutsiya metodiki opredeleniya pervichnosti-vtorichnosti oplavleniy mednykh provodnikov, vyzvannykh korotkim замыканием [Evolution of the methodology of distinguishing «victim» from «cause» beads of copper conductors by short circuit]. *Vestnik Saint-Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia*, 2018. No. 3. Pp. 39–45. (rus). EDN: YKVZYT.
8. Karapol'tseva E.V., Shekov A.A. Problemy issledovaniya zon oplavleniy alyuminievykh provodnikov metodami elementnogo analiza pri proizvodstve pozharno-tekhnicheskoy ekspertizy [Problems of studying melt zones of aluminum conductors using elemental analysis methods during fire-technical examination]. *Actual problems of safety in the technosphere*, 2024. No. 1 (13). Pp. 18–21. (rus). DOI: 10.34987/2712-9233.2024.63.22.004. – EDN: NNSMIH.
9. Taubkin I.S., Saklantiy A.R. O nadezhnosti metodiki ustanovleniya prichinnoy svyazi tokovoy peregruzki elektroprovodki s vzniknoveniem pozhara [Reliability of the method for establishing causation between electrical circuit overload and fire ignition]. *Theory and Practice of Forensic Science*, 2019. Vol. 14, No. 1. Pp. 106–115. (rus). DOI: 10.30764/1819-2785-2019-14-1-106-115. EDN: ZRYDAQ.
10. Il'yushchenko A.F., Fomikhina I.V., Yunchits V.M. Struktura alyuminievykh provodnikov s oplavleniyami dlya opredeleniya momenta vzniknoveniya korotkogo замыкания при provedenii pozharno-tekhnicheskikh ekspertiz [Structure of melted aluminum conductors for determining the moment of occurrence of a short circuit during fire-technical examinations]. *Emergency Situations: Prevention and Elimination*, 2012. Vol. 32, No 2, Pp. 110–117. (rus). EDN: WCNSDV.

11. Goromov V.N., Galishev M.A., Sysoeva T.P. Issledovanie raspolozheniya dendritnykh struktur v oplavleniyakh mednykh provodnikov tokami pervichnogo korotkogo zamykaniya v ekspertize [Study of the location of the dendritic structures in the reflow of copper conductors of the primary short-circuit currents in the examination]. *Vestnik Saint-Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia*, 2012. No 3. Pp. 1–7. (rus). EDN: RSMMEB.

Copyright © 2025 Aushev I.Yu., Fomikhina I.V., Verenich E.V., Ryzhov M.E.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.