

УДК 343.983

DOI <https://doi.org/10.32782/forensic.science.2026.3.13>

Олена Федулова

судовий експерт,

Український науково-дослідний інститут спеціальної техніки
та судових експертиз СБУ

<https://orcid.org/0009-0007-4802-6663>



Олександр Кошель

кандидат технічних наук, судовий експерт,

Науково-дослідний центр незалежних судових експертиз
Міністерства юстиції України

<https://orcid.org/0000-0002-0421-7800>

РОЗВИТОК, ВДОСКОНАЛЕННЯ І ПРОБЛЕМИ ДОСЛІДЖЕНЬ КОРОТКИХ ЗАМИКАНЬ НА ПРОВІДНИКАХ ПІД ЧАС РОЗСЛІДУВАННЯ ПОЖЕЖ

У статті висвітлено актуальність проблеми встановлення причинно-наслідкового зв'язку між пожежею і коротким замиканням провідників, що пов'язано зі статистикою пожеж у приміщеннях з електропроводкою та електричним устаткуванням. Зазначено, що електричні провідники є одним із небагатьох носіїв слідової інформації, які залишаються після нищівної дії пожежі завдяки порівняно високій температурі плавлення металу.

Простежено еволюційний шлях розвитку експертизи з дослідження коротких замикань на провідниках, вилучених із місць пожеж, від її заснування до експертного сьогодення. Показано конструктивний вплив критичного підходу й узагальнення досвіду експертної практики на розвиток і зміни методичного забезпечення експертних досліджень оплавлень коротких замикань.

Розгорнуто основні принципи та підходи до проведення дослідження оплавлень коротких замикань на провідниках відповідно до останніх затверджених методик. Розглянуто проблему спірної достовірності ряду положень наявних методик щодо встановлення прямого або зворотного причинно-наслідкового зв'язку між пожежею та коротким замиканням на електричних провідниках. Вказано на некоректність прямої прив'язки структури металу оплавлення КЗ до пожежі.

Наголошено на важливості врахування впливу відпалу на структуру оплавлень короткого замикання в умовах пожежі з метою уникнення помилок в оцінці цієї структури і, як наслідок, формування неправильного загального висновку.

На прикладі випадків з експертної практики представлено певні нестыковки існуючих методичних постулатів щодо причинно-наслідкового зв'язку між рядом структурних ознак металу оплавлення КЗ і перебігом змін параметрів навколишнього середовища в умовах реальної пожежі. Акцен-

товано увагу на необхідності поглибленого підходу до теоретичного фундаменту цього напрямку досліджень в аспекті аналізу й оцінки металографічних досліджень, процесів направленої кристалізації, росту та формування зерна тощо.

Наголошено на обов'язковості комплексного підходу до вирішення експертних задач зі встановлення причини пожежі.

Висловлено стурбованість ризиками спрощеного підходу, за якого оцінка структури на етапі формування остаточного висновку зводиться до формального порівняння геометрії зерен досліджуваного зразка із цими ознаками на «еталонних» зображеннях, а не є наслідком глибокого ретельного аналізу з урахуванням зовнішніх факторів, виявлених під час огляду місця пожежі, законів кристалізації на досліджуваному оплавленні КЗ тощо.

Запропоновано практичні поради з вирішення питань під час зазначених експертних досліджень для досягнення їх повноти й достовірності.

Ключові слова: судова експертиза, розслідування пожежі, коротке замикання, провідники, оплавлення, градієнт температур, металографія, мікроструктура, відпал, направлена кристалізація.

Постановка проблеми. Дослідження провідників, які могли стати причиною пожежі, розпочалося у 1970-80-х роках і має чималий шлях застосування й розвитку методології та інструментальних засобів.

Розслідування причин пожеж за своєю сутністю є комплексним дослідженням, яке поєднує результати дослідження події, які проводяться за декількома експертними напрямками експертами різних спеціальностей - пожежно-технічної, електротехнічної та металознавчої.

Досягнення повноти й достовірності судових експертних досліджень коротких замикань (КЗ) на початковій стадії застосування таких досліджень у розслідуванні причин і обставин виникнення пожеж забезпечувала обов'язкова участь у комплексному дослідженні спеціалістів у галузі пожежотехніки, а також металознавців, які після проведення окремих спеціальних досліджень наданого слідством комплексу відомостей щодо обставин події, доказів у справі доходили консенсусу й кінцевого висновку про причинно-наслідковий зв'язок пожежі і КЗ.

За час розвитку форма реалізації спільної роботи експертів зазнавала змін, і на сьогодні металознавча експертиза проводиться окремо від інших експертів, що може призвести до того, що будуть втрачені суттєві для експертного висновку дані про умови конкретної пожежі.

Представлено практичні дослідження, у яких відбулися зміни мікроструктур оплавлень під впливом температурних умов конкретних пожеж, що потребує додаткової роботи з трактування наявних ознак і реконструкції подій.

Залежно від обізнаності з обставинами справи інтерпретація результатів досліджень може суттєво відрізнятись. Серед основних причин розгляду обставин події є необхідність аналізу наявності впливу відпалу або прискореного охолодження.

Мета статті. На підставі узагальнення експертного досвіду і профільної наукової бази показати актуальність проблеми перегляду методичного забезпечення експертних досліджень коротких замикань на провідниках під час розслідування пожеж.

Висвітлити важливість критичного мислення й ризики спрощеного підходу до встановлення причинно-наслідкового зв'язку між пожежею і коротким замиканням.

Шляхом розбору нестандартних випадків умов коротких замикань на провідниках, взятих з експертної практики, запобігти недостовірності висновків, запропонувати практичні поради з вирішення питань під час експертних досліджень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження провідників, які могли стати причиною пожежі, має 50-річний шлях застосування та розвитку. На сьогодні продовжується пошук додаткових способів дослідження провідників з ознаками короткого замикання з метою отримання надійних висновків щодо природи виникнення досліджуваного оплавлення. Відбувається постійний розвиток цього напрямку, який, зокрема, відображає прогрес інструментальних досліджень: застосування електронної мікроскопії, можливостей комп'ютерного аналізу кількісних параметрів морфології та структур оплавлень з пожеж та отриманих у лабораторних експериментах. За цими напрямками опубліковано

чимало досліджень. Зокрема, можна навести ряд робіт зарубіжних експертів за останні роки [1-5].

У роботі [1] проведено ґрунтовні дослідження морфології поверхні та мікроструктури оплавлень КЗ на мідному дроті, зібраних із реальних пожеж, та відмічається «недостатність металознавчого дослідження реальних випадків (пожеж)» (с. 12). Показано, що зміни в мікроструктурі внаслідок високотемпературного впливу ускладнюють встановлення умов, за яких утворилося коротке замикання.

Для диференціації первинного та вторинного короткого замикання в дослідженні [2] структури оплавлень, отриманих на електронному мікроскопі, аналізувалися за допомогою комп'ютерної обробки зображень. Підтверджено можливість отримувати надійні дані стосовно природи оплавлень, при цьому підкреслено, що «...також можуть спостерігатися умови, що вказують на більш поширену, тривалу деградацію внаслідок впливу високої температури» [2, с. 7].

Результати цих робіт підтверджують зроблений у статті [10] висновок про те, що існує небезпека прийняття рівновісної крупнозернистої безвтектичної структури оплавлень КЗ після відпалу й рекристалізації в умовах пожежі за вихідну (утворену безпосередньо після оплавлення КЗ) рівновісну структуру, що характеризує застигання оплавлення в безкисневому високотемпературному середовищі.

Унаслідок розширення застосування нових провідних матеріалів виникла актуальність дослідження біметалевих провідників. У роботі [9] представлені результати морфологічних і металографічних досліджень біметалевих алюмомідних провідників із місця пожежі, показані особливості структур, що утворюються в оплавленнях, і методологію їх аналізу.

Додаткових складнощів дослідженням додає зміна стандартів провідникових виробів і потрапляння в обіг контрафактної продукції. У статті [11] рекомендовано додаткове дослідження вмісту кисню в мідних провідниках.

Виклад основного матеріалу. З огляду на статистику пожеж у приміщеннях з електропроводкою та електричним устаткуванням актуальність проблеми встановлення причинно-наслідкового зв'язку між пожежею і коротким замиканням провідників є оче-

видною. Вона посилюється тим фактом, що електричні провідники є одним із небагатьох носіїв слідової інформації, що залишаються після нищівної дії пожежі завдяки порівняно високій температурі плавлення металу.

Створені у 70-80-х роках минулого століття перші універсальні методики, присвячені причинно-наслідковому зв'язку між пожежею і коротким замиканням, мали чіткий алгоритм послідовних дій і етапів щодо відбору й дослідження мідних і алюмінієвих провідників з ознаками оплавлення короткого замикання (КЗ). Наукову базу зазначеному методичному забезпеченню було покладено групою науковців у складі Л. С. Митрічева, А. І. Колмакова, Б. В. Степанова, Г. І. Смелкова, О. Р. Расинської, А. Ю. Мокряка, І. Д. Чешко, що представляли на той час провідні профільні науково-дослідні інститути.

Сутність закладених у зазначені експертні посібники методів полягала в дослідженні складу, структурних та фазових змін, що відбуваються в провідниках у разі короткого замикання на різних етапах пожежі. При цьому використання якісних критеріїв оцінки результатів, отриманих різноманітними інструментальними методами, протестованими засновниками на спеціальних стендах із залученням лабораторного устаткування, дало змогу виділити і простежити умови утворення оплавлень КЗ. Це, на думку авторів, давало підстави визначити первинність або вторинність виникнення короткого замикання щодо виникнення пожежі, тобто встановити причинно-наслідковий зв'язок між двома зазначеними явищами. Формулювання питань експертам пропонувалось у такій редакції: «Якщо оплавлення провідника відбулося внаслідок короткого замикання, то це було первинне чи вторинне коротке замикання». Використовувались усталені аббревіатури ПКЗ (первинне) і ВКЗ (вторинне) щодо моменту виникнення пожежі коротке замикання.

Слід зауважити, що автори робили акцент на обов'язковому комплексному підході до проведення експертизи. Встановлення причинного зв'язку короткого замикання й пожежі мало відбуватися лише за участі фахівців, які мали спеціальні знання в галузі пожежотехніки й металознавства.

З набуттям досвіду впровадження цих методик в експертну практику, за статисти-

кою достовірності отриманих висновків, стало зрозуміло, що узагальнений підхід щодо деяких позицій не завжди спрацьовує, а сама універсальність підходу є сумнівною. Різноманіття умов реальних пожеж очевидно виходило за рамки умов, обмежених лабораторними стендами, що обумовило необхідність додаткових досліджень у цьому напрямі.

Однією з перших підстав для спростування дієвості ряду тверджень зазначених вище методик, а саме для спростування достовірності методу рентгеноструктурного аналізу (згідно з методикою достатнього для надання остаточного висновку), стали результати проведених у 2002 році науковими співробітниками КНДІСЕ експериментальних досліджень. Досліди проводились на 40 мідних і 40 алюмінієвих провідниках зі штучними оплавленнями КЗ, утвореними на спеціальному моделювальному стенді в кисневому (звичайних умовах) та відновлюваному (в умовах пожежі) середовищах [6]. За підсумками проведених досліджень більше половини результатів не підтвердили заявлений методом причинно-наслідковий зв'язок. Найбільш продуктивний у плані швидкості та зручності застосування метод рентгеноструктурного аналізу, що засновувався на порівнянні інтегральних інтенсивностей кісневмістких фаз у структурі мідного провідника на різновіддалених від оплавлення КЗ ділянках, виявився непридатним, попри те що був заявлений у методиках як достатній для надання остаточного висновку.

У подальшому цей метод в експертних установах України не використовувався.

Також, згідно з першими методиками, наявність понад 50 % евтектики, двофазного окисного сплаву $\text{Cu} + (\text{Cu} - \text{Cu}_2\text{O})$ у структурі нетравленої поверхні шліфа металу оплавлення КЗ мідного провідника, що відповідає вмісту кисню (O_2) понад 0,27 %, було ознакою, достатньою для остаточного висновку про первинність короткого замикання відносно моменту виникнення пожежі. Попри це, в експертній практиці мали місце неодноразові випадки присутності значної кількості евтектики на фоні рівновісної структури зерна, властивій умовам утворення в розжареному середовищі.

На рисунку 1 представлено випадок, де структура оплавлення КЗ мідного провідника, вилученого під час огляду будинку з місця

осередку пожежі, має майже суцільну евтектику на фоні укрупнених рівновісних зерен. З погляду зазначених вище методик цей випадок є своєрідним структурним оксимороном.

Для уникнення невідповідностей, корегуючи теоретичне підґрунтя з досвідом експертної практики, вимоги чинної на даний час методики [7] змінили статус евтектики на ознаку, участь якої є необхідною в комплексі з іншими в загальній доказовій базі, але не достатньою для надання остаточного висновку.

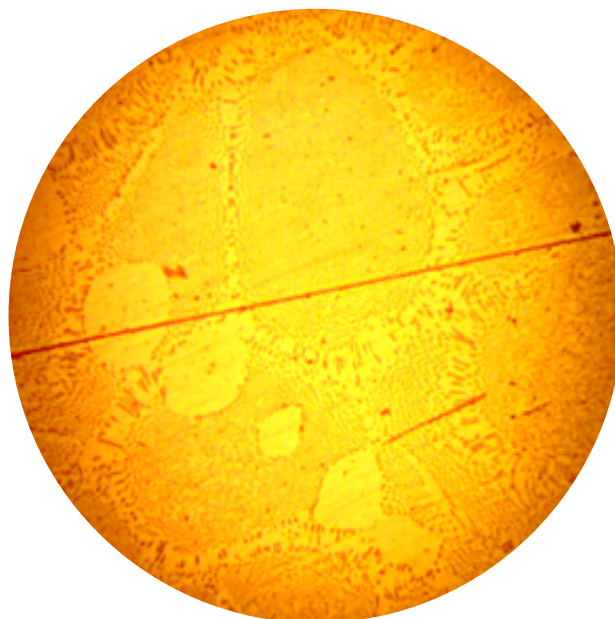


Рис. 1. Структура оплавлення (евтектика на фоні рівновісних зерен) 200х (зразок з експертної практики)

Загалом дослідження провідників з оплавленнями КЗ зводиться до таких основних етапів [7]:

- візуального огляду й морфологічного аналізу, в процесі якого власне і встановлюється належність виявленого на провіднику оплавлення до наслідків короткого замикання, де основними факторами є локальність оплавлення та його форма;

- дослідження стану ізоляції (за наявності) провідника на прилеглий до оплавлення КЗ ділянці. Порівняння ступеня теплового ураження ізоляційного покриття зсередини і ззовні надає беззаперечні підстави для визначення того, в розжареному чи «холодному» середовищі виникло це коротке замикання. Значущим «недоліком» зазначеного дослідження є те, що в переважній більшості випадків ізо-

ляція, температура плавлення якої близько 200 °С, в умовах пожежі не зберігається;

- визначення придатності металу провідника з оплавленнями КЗ для подальшого металознавчого дослідження (тест на крихкість);
- проведення металографічного аналізу, що базується на законах направленої кристалізації металу і дає можливість за геометрією зерна встановити наявність або відсутність достатнього градієнта температур між оплавленням КЗ і середовищем застигання, що, зі свого боку, свідчить про стан середовища (холодний або розжарений), у якому застигав розплавлений коротким замиканням метал.

Таким чином, у найбільш частому випадку відсутності ізоляції надійним вирішальним методом віднесення оплавлення КЗ до первинного (ПКЗ) чи вторинного (ВКЗ) став металографічний аналіз оплавлених КЗ ділянок.

Цей метод достатньо трудомісткий, потребує певних навичок пробопідготовки, громіздкого лабораторного устаткування й вартісної приборної бази. При цьому, оскільки загальний алгоритм методик достатньо зрозумілий, в експертній практиці почала втілюватись ідея щодо можливості підготовки універсального експерта на базі носія спеціальних знань у галузі пожежотехніки, який би здійснював весь комплекс досліджень: від проведення огляду місця пожежі, визначення її осередку, фронту розповсюдження полум'я, загальної оцінки участі електропроводки в події, кваліфікованого відбору фрагментів з оплавленнями і аж до проведення металознавчих досліджень оплавлень КЗ.

Тобто, маючи у своєму розпорядженні весь комплекс вихідних даних, був спроможний одноосібно провести дослідження і сформулювати висновки щодо причинно-наслідкового зв'язку між пожежею і коротким замиканням.

Попри зручність та інші незаперечні переваги, ця універсальність має небезпеки, при таманні будь-якому спрощеному підходу до рішення складних питань. До того ж фахова комплексність, на якій наголошували засновники методичного забезпечення, за цих обставин повною мірою не виконується.

Стисло фізична сутність металографічного дослідження оплавлень КЗ електричних провідників полягає у такому.

Фронтом застигання оплавлення КЗ, відповідно до [8], управляє направлена кристалізація. Кристалізація іде виключно в напрямку переміщення зони охолодження, що обумовлює орієнтацію утворюваних зерен. При цьому центр кристалізації, «затравка», що задає структуру усьому зростаючому кристалу, перебуває переважно на прилеглий до оплавлення поверхні провідника. Саме температурний градієнт, наявність умови високої різниці температур між твердою і рідкою фазами, є необхідним для процесу направленої кристалізації, а отже, і для утворення витягнутих у бік охолодження зерен - дендритів (рис. 2).

Таким чином, зрозуміло, чому дендритна структура, дрібнозернистість, наявність виражено витягнутих до поверхні оплавленої КЗ ділянки зерен у структурі (рис. 3-5) є свідченнями нерозжареного навколишнього середовища.

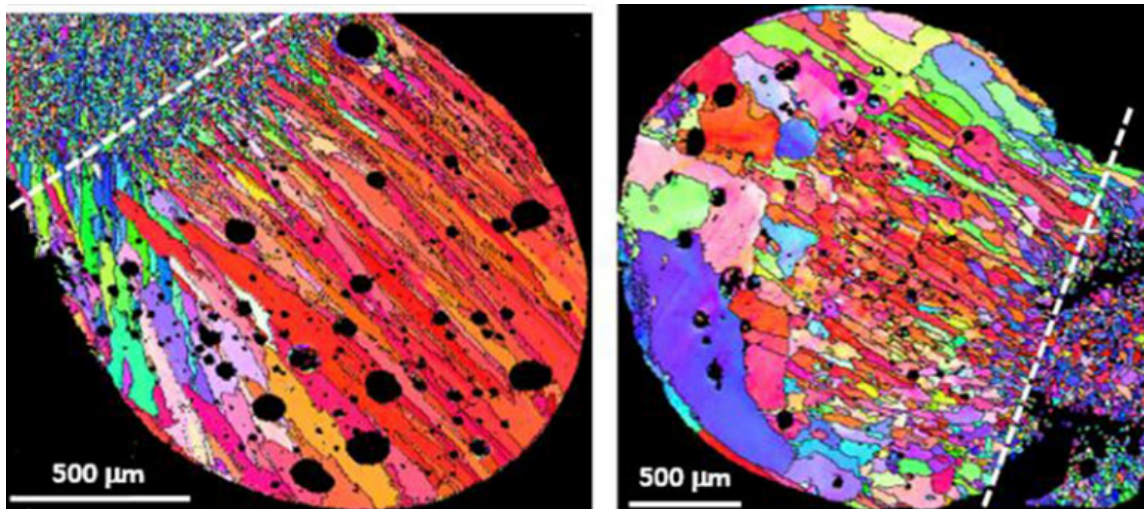


Рис. 2. Направлена кристалізація оплавлення короткого замикання в бік провідника (границя оплавлення показана пунктиром) [2]

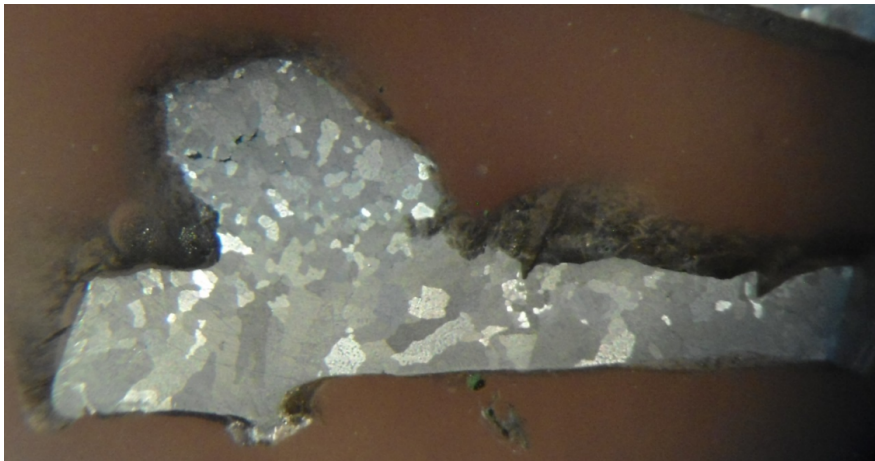


Рис. 3. Дендритні утворення в структурі оплавлення КЗ алюмінієвого провідника 100× (зразок з експертної практики)

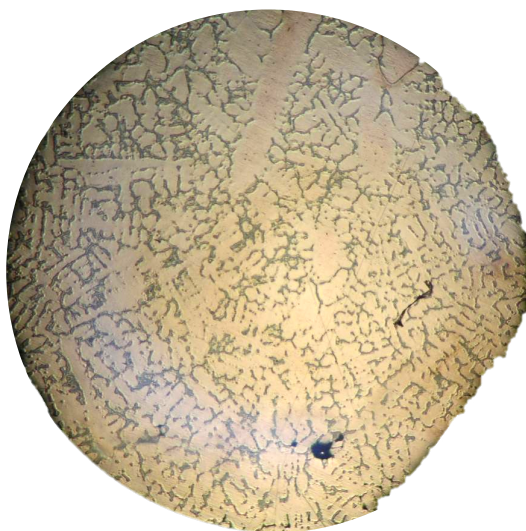


Рис. 4



Рис. 5

Рис. 4, 5. Дендритна дрібнодисперсна структура в майже чистій міді (вміст кисню близько 0,05 %) оплавлень КЗ мідних провідників, що відповідає швидкому застиганню в умовах інтенсивного тепловідводу 200× (зразки з експертної практики)

За відсутністю достатнього градієнта температур між розплавленим КЗ металом і навколишнім середовищем направлена кристалізація унеможливується, застигання триває довший проміжок часу, що відображається на структурі укрупненим зерном та його рівноважною формою (рис. 6).

Нижче, на рисунку 7, наведено структуру оплавлення КЗ мідного провідника, вилученого з місця пожежі за фактом підпалу.

Структурні особливості оплавлень КЗ біметалічних провідників детально викладено в [9], але фактично зерна в цих оплавленнях формуються за тим же принципом.

Загалом (за відсутності ізоляції) алгоритм існуючої на цей час методики [7] після від-

бору придатних для дослідження в повному обсязі провідників з ознаками короткого замикання зводиться до оцінки геометричних особливостей структури оплавлених КЗ ділянок електричних провідників у контексті причинно-наслідкового зв'язку структури й умов навколишнього середовища на момент її утворення, а саме:

- наявність достатньої кількості евтектики - двофазного окисного сплаву $\text{Cu} + (\text{Cu} - \text{Cu}_2\text{O})$ у сукупності з дендритною, виражено витягнутою формою зерен свідчить про кристалізацію в нерозжареному кисневмісткому середовищі (відповідає ПКЗ);
- структура, що складається з рівноважних укрупнених зерен із відсутньою евтектичною

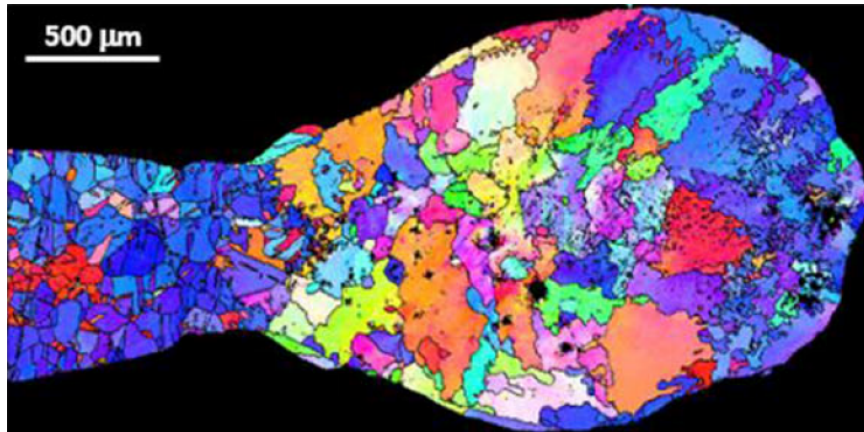


Рис. 6. Укрупнені рівновісні зерна, сформовані в умовах відсутності направленої кристалізації, у структурі оплавлення КЗ [2]

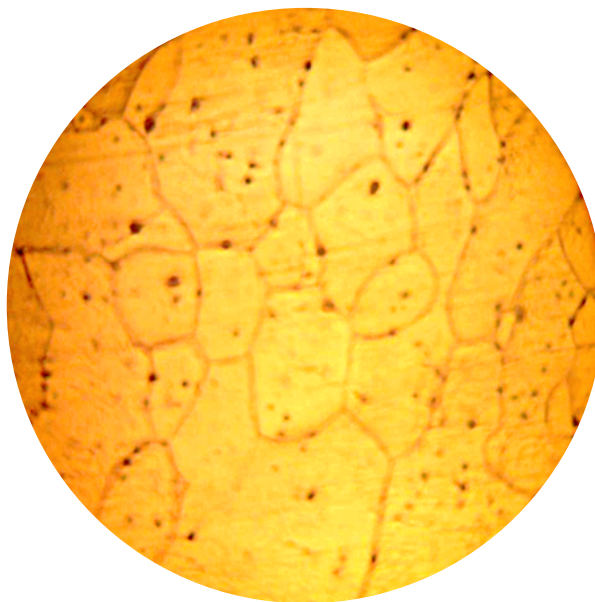


Рис. 7. Рівновісна структура оплавлення КЗ мідного провідника, утворена в розжареному середовищі (зразок з експертної практики), 200×

складовою свідчить про застигання в розжареному відновлюваному (безкисневому) середовищі (відповідає умовам пожежі, ВКЗ).

Попри очевидну зручність, цей спрощений підхід має ряд небезпечних ризиків.

Один із таких ризиків ретельно описаний в [10] і стосується провідників, що зазнали тривалого відпалу в умовах пожежі. Актуальність питання полягає у висвітленні й обґрунтуванні небезпеки традиційного підходу до обговорюваної проблеми, а саме можливості хибної оцінки рівновісної крупнозернистої беззвтектичної структури оплавлень короткого замикання після їх відпалу й рекристалізації зі знищенням первісних структурних ознак у розжареному середовищі пожежі як вихідної (утвореної безпосередньо після

оплавлення короткого замикання) рівновісної структури, з подальшим хибним висновком про те, що досліджуване КЗ відбулося в безкисневому високотемпературному середовищі.

Уникнути подібних ризиків можна шляхом порівняння структури оплавлення КЗ і неоплавленої ділянки провідника. Остання має характерну двійничкову структуру, а у випадку її збереження в досліджуваному зразку структура оплавлення КЗ має доказову цінність. Якщо метал електричного дроту зазнав рекристалізації, дослідження оплавлення КЗ зі зрозумілих причин втрачає сенс. Чинна методика [7] згадує як факт про вихідну двійничкову структуру провідника, але не вимагає обов'язкового виявлення на

етапі металографічного дослідження цієї ознаки, вкрай важливої, на думку авторів, особливо у випадках, коли наявна структура оплавлення КЗ складається з рівновісних укрупнених зерен.

Ще однією зміною, яку автори пропонують внести до методики експертних досліджень, є віднесення ознак наявності чи відсутності евтектики (окисного сплаву $\text{Cu} + (\text{Cu} - \text{Cu}_2\text{O})$) у структурі оплавлення КЗ до таких, що не мають доказової цінності. Річ у тім, що останні опубліковані дослідження щодо визначення вмісту кисню в металі оплавлення КЗ проводились у 70-х роках минулого сторіччя - часи, коли стандарти виготовлення провідникової продукції були достатньо високими й не допускали надлишкової присутності O_2 .

На цей час зміна стандартів металу під час виготовлення провідників, потрапляння в широкий обіг контрафактної продукції [11] уможлиблюють підвищений початковий вміст кисню в міді провідникових дротів, зразки з оплавленнями КЗ яких потрапляють експертам як речові докази. Це призводить до недостовірності висновків, оснований на оцінці кількісних показників наявної евтектичної фази в структурі. При цьому в металі провідника надлишковий кисень може бути присутній первісно, а не потрапляти з навколишнього середовища. Узагальнення експертного досвіду щодо дослідження структури оплавлень КЗ мідних провідників, коли спостерігалася рясна евтектика на фоні рівновісних зерен (за фактом підпалу), підтверджує сумніви в цінності зазначеної структурної ознаки.

У будь-якому випадку доказова доцільність наявності окисних фаз у металі оплавлення КЗ потребує додаткових наукових досліджень.

Окрему увагу необхідно приділити глобальним ризикам спрощеного підходу за висвітленим вище алгоритмом до вирішення питання взаємозв'язку між структурою оплавлення КЗ і зовнішнім середовищем, у якому це КЗ відбулося.

Зазвичай в умовах пожежі розжареність температури повітря корелюється з розжареністю провідника, що і формує зрозумілу редакцію «умови навколишнього середовища». Але з експертної практики відомі непоодинокі випадки виключень.

Наведемо приклади тільки тих з них, де обставини й першопричини пожежі були

відомі заздалегідь, а призначення експертизи досудовим слідством мало радше протокольний характер.

Випадок 1. За множинних свідків автовежа врізалась у повітряну лінію, утворивши на ній механічні пошкодження з порушенням цілісності алюмінієвого кабелю. Дійство супроводжувалося феєрверком іскор унаслідок численних коротких замикань на його провідниках. Фрагменти кабелю з вигорілою ізоляцією і оплавленнями КЗ було вилучено з місця події і доставлено для експертного дослідження (рис. 8, 9). Під час дослідження, а саме металографічного аналізу оплавлень КЗ, було встановлено рівновісний характер структури металу, відсутність вираженого градієнта температур між металом оплавлень КЗ і неоплавленими ділянками провідників і, відповідно до [7], сформовано висновок про те, що коротке замикання утворилося в умовах розжареного середовища (характерного для умов пожежі). Можна тільки уявити собі розгубленість слідчого у справі за такого перебігу обставин, коли він фактично отримав документальне заперечення очевидного факту.

Випадок 2. Пожежа в готелі зі встановленим осередком у кімнаті, де під час огляду було виявлено ввімкнутий у розетку кип'ятильник з ТЕНОм, приплавленим до дна металевої кружки. Вилучений із місця події провідник з ознаками КЗ, що раніше забезпечував живлення нагрівального елемента (спіралі ТЕНу), було надано експертам. Ізоляція провідника відсутня.

Під час металографічного дослідження оплавленої КЗ ділянки провідника було встановлено рівновісний характер зерен у структурі металу, відсутність вираженого градієнта температур між металом оплавлень КЗ і неоплавленими ділянками провідника. Відповідно до [7] сформовано висновок - коротке замикання утворилося в умовах розжареного середовища (характерного для умов пожежі). Висновок фактично спростовував причетність короткого замикання на кип'ятильнику до виникнення пожежі.

Випадок 3. З метою пошкодження чужого майна було здійснено підпал складського приміщення, при цьому факт підпалу було встановлено й доведено в процесі слідства. Вилучені з місця події фрагменти провідників з оплавленнями КЗ, що раніше належали



Рис. 8

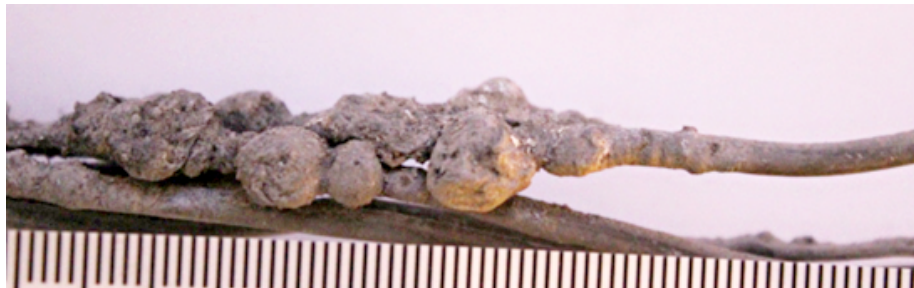


Рис. 9

Рис. 8, 9. Численні оплавлення КЗ на провідниках алюмінієвого кабелю, локалізовані на його незначній за розміром ділянці (фото з експертної практики)

підведеному до будівлі повітряному кабелю, було надано на експертне дослідження. На заключному етапі експертизи під час металографічних досліджень у структурі металу оплавлення КЗ виявлено дендритні утворення, витягнуті в бік провідника, що свідчило, відповідно до [7], про наявний суттєвий градієнт температур між оплавленням і провідником, а отже, про нерозжарене навколишнє середовище, у якому відбулося коротке замикання. Зрозуміло, що цей висновок своєю невідповідністю встановленим обставинам справи додав труднощів розслідуванню.

Насправді, у разі неспрошеного підходу до вирішення кожної з трьох наведених ситуацій, дотримання вимог повноцінного комплексного дослідження із залученням фахівців у галузі пожежотехніки й металознавства, сумісного обговорення ними результатів досліджень кожної з галузей перед формуванням остаточних загальних висновків ці висновки мали б зовсім інше змістовне наповнення.

Насамперед для оцінки результатів металографічних досліджень із технічного погляду насамперед слід було враховувати, що теплопровідність металу провідника наба-

гато вища за теплопровідність повітря. Тому завжди домінуючий вплив на умови кристалізації оплавлення КЗ буде здійснювати саме температура металу провідника на момент застигання цього оплавлення. Зазвичай в умовах пожежі розжареність температури повітря корелюється з розжареністю провідника, що і формує зрозумілу редакцію «умови навколишнього середовища». Але автоматичне розуміння під «навколишнім середовищем» у температурному аспекті наявності (або відсутності) умов пожежі, в оточенні яких відбувалося КЗ, буде грубою помилкою, що і доводять наведені вище приклади з експертної практики.

У перших двох випадках провідники на момент короткого замикання були розжарені внаслідок подій і під час процесів, не пов'язаних із пожежею.

У першому випадку провідник був миттєво нагрітий численними локалізованими короткими замиканнями. Слід зазначити, що зазвичай оплавлення КЗ на провідниках мають одиничний характер. Але у випадку 1 унаслідок механічної руйнівної дії на багатодрововий кабель під напругою на його незначній за розміром ділянці одночасно утворилися численні оплавлення КЗ. Це призвело до мит-

тевого нагріву цієї ділянки й унеможливило достатній тепловідвід у процесі кристалізації металу оплавлень КЗ.

У другому випадку джерелом нагріву був нагрівальний прилад (перегрітий за критичного неексплуатаційного режиму роботи), живлення якого здійснював досліджуваний провідник.

У третьому випадку незважаючи на те, що ділянка провідника з оплавленням КЗ перебувала в осередку пожежі, інтенсивний тепловідвід відбувався в бік основної ділянки повітряного кабелю, що розташована поза будинком (отже, поза температурним впливом пожежі).

Таким чином, джерелом нагріву і причиною наявного або відсутнього на момент застигання краплі КЗ тепловідводу може бути як і сам провідник, так і нагрівальний прилад, інші ситуаційні обставини, що і висвітлюють наведені приклади.

Викладені випадки в експертній практиці поодинокі, але, попри свою нестандартність, вони трапляються, і це необхідно враховувати як під час формування експертного висновку зокрема, так і в методичному забезпеченні напряму, що розглядається, загалом.

Досвід експертної практики висвітлює численні нестиковки існуючих «універсальних» методичних тверджень щодо причинно-наслідкового зв'язку між визначеним рядом

структурних ознак металу оплавлень КЗ і перебігом змін параметрів навколишнього середовища в умовах реальної пожежі. А, як відомо, *usus magister est optimus* («досвід – найкращий учитель»).

Висновки. У цій статті автори просують думку про небезпеку спрощеного підходу до вирішення складних питань, яким є обговорюване в цій роботі, про ризики алгоритмізації досліджень, що потребують комплексного фахового підходу та глибокого аналізу, про сумнівну користь підготовки універсальних виконавців комплексних досліджень з різних за сутністю галузей знань.

Також автори вважають за доцільне переглянути положення чинної методики з метою її вдосконалення, а саме, залишивши все корисне, скасувати положення, згідно з якими необхідне дослідження ознак, що не мають доказової цінності. Натомість потрібно доповнити методику новими позиціями, що враховують перевірений часом і експертним досвідом новий актуальний науковий і практичний матеріал.

У роботі запропоновано практичні поради з виконання експертних досліджень коротких замикань на провідниках, що загалом сприятиме оптимізації процесу під час цих досліджень, повноті й достовірності експертного висновку.

Список використаної літератури:

1. Sachana S., Morishita K., Miyahara H. Microstructural Examination of Molten Marks on Copper Wire for Fire Investigation. *Forensic Sciences*. 2023. Vol. 3 (1). P. 12-19. DOI: 10.3390/forensicsci3010002.
2. Park J., Kang J., Lee E. P., Ko Y. H., Bang S. B. New Approach to Distinguish Copper Molten Marks Based on Quantitative Microstructure Analysis Using Electron Backscatter Diffraction. *Fire Technology*. 2021. Vol. 57, No. 4. P. 1667-1682. <https://doi.org/10.1007/s10694-020-01076-9>.
3. Svare M., Nic Daeid N., Hanke N. W. Forensic Examination of Post-Fire Damaged Electrical Conductors by Quantitative Measurement. *Journal of the National Academy of Forensic Engineers*. 2023. Vol. 40, No. 1. P. 41-55.
4. Wang L., Mo Y., Meng Q. Application of Secondary Short Circuit Fuse Mark in Fire Cause Investigation. *Journal of Physics: Conference Series*. 2023. Vol. 2468, No. 1, art. 012060. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2468/1/012060>.
5. Riyanto S. A., Ferdian D. Forensic Investigation of Electrical Conduct Copper Bead Microstructure as an Effort to Identify Causes of Fire. *Jurnal Mesin Nusantara*. 2023. Vol. 6, No. 2. P. 179-192. <https://doi.org/10.21776/jmn.v6i2.18>.
6. Розробка методичних рекомендацій дослідження слідів коротких замикань з метою встановлення їх причетності до пожежі : звіт про НДР № ДР 11.5.7-98/ КНДІСЕ; керівник В. П. Підгайний. Київ, 2002. 66 с.
7. Буханченко О. А. Методика дослідження електричних провідників з ознаками короткого замикання / Буханченко О. А., Гуралюк І. В., Запорожець Є. В. Київ : ДНДЕКЦ МВС України, 2014. 111 с.
8. Афтанділянц Є. Г., Зазимко О. В., Лопатько К. Г. Наноматеріалознавство : підручник. Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2015. 550 с.

9. Кошель О. Ю., Федулова О. Ф., Приступа В. В. Особливості дослідження біметалевих провідників із ознаками короткого замикання. Криміналістика і судова експертиза : міжвідом. наук.-метод. зб. Київ. НДІ судових експертиз. Київ : Видавництво Ліра-К, 2018. Вип. 67. С. 417-425. DOI: 10.33994/kndise.2022.67.42.
10. Федулова О. Ф. Особливості експертного дослідження оплавлень короткого замикання на провідниках, що зазнали тривалого відпалу в умовах пожежі. *Криміналістичний вісник : наук.-практ. зб. ДНДЕКЦ МВС України*. Київ, 2017. Вип. 28. С. 97-106.
11. Кошель О. Ю. Дослідження контрафактних провідників із ознаками короткого замикання. *Криміналістика і судова експертиза : міжвідомчий наук.-метод. зб.* Київ : Київський НДІ судових експертиз, 2021. Вип. 67. С. 410-417.

References:

1. Sachana, S., Morishita, K., Miyahara, H. (2023). Microstructural Examination of Molten Marks on Copper Wire for Fire Investigation. *Forensic Sciences*, 3 (1), 12-19. <https://doi.org/10.3390/forensicsci3010002>.
2. Park, J., Kang, J., Lee, E. P., Ko, Y. H., Bang, S. B. (2021). New Approach to Distinguish Copper Molten Marks Based on Quantitative Microstructure Analysis Using Electron Backscatter Diffraction. *Fire Technology*, 57 (4), 1667-1682. <https://doi.org/10.1007/s10694-020-01076-9>.
3. Svare, M., Nic Daeid, N., Hanke, N. W. (2023). Forensic Examination of Post-Fire Damaged Electrical Conductors by Quantitative Measurement. *Journal of the National Academy of Forensic Engineers*, 40 (1), 41-55.
4. Wang, L., Mo, Y., Meng, Q. (2023). Application of Secondary Short Circuit Fuse Mark in Fire Cause Investigation. *Journal of Physics: Conference Series*, 2468 (1), art. 012060. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2468/1/012060>.
5. Riyanto, S. A., Ferdian, D. Forensic Investigation of Electrical Conduct Copper Bead Microstructure as an Effort to Identify Causes of Fire. *Jurnal Mesin Nusantara*, 6 (2), 179-192. <https://doi.org/10.21776/jmn.v6i2.18>.
6. Rozrobka metodychnych rekomendatsii doslidzhennia slidiv korotkykh zamykann z metoiu vstanovlennia yikh pryhiltelnosti do pozhezh: zvit pro NDR № DR 11.5.7-98/ KN DISE; kerivnyk V. P. Pidhainyi (2002). Kyiv. 66 p.
7. Bukhanchenko, O. A. (2014). Metodyka doslidzhennia elektrychnykh providnykiv z oznakamy korotkoho zamykannia. Bukhanchenko O. A., Huraliuk I. V., Zaporozhets Ye. V. Kyiv: DNDEKTS MVS Ukrainy. 111 p.
8. Aftandilianets, Ye. H., Zazymko, O. V., Lopatiako, K. H. Nanomaterialoznavstvo: pidruchnyk. Kherson: OLDI-PLIUS. 550 p.
9. Koshel, O. Yu., Fedulova, O. F., Prystupa, V. V. (2018). Osoblyvosti doslidzhennia bimetalevykh providnykiv iz oznakamy korotkoho zamykannia. *Kriminalistyka i sudova ekspertyza : mizhvidomch. nauk.-metod. zb.* Kyivskiy NDI sudovykh ekspertyz. Kyiv: Vydavnytstvo Lyra-K, 67, 417-425. <https://doi.org/10.33994/kndise.2022.67.43>.
10. Fedulova, O. F. (2017). Osoblyvosti ekspertnoho doslidzhennia oplavlen korotkoho zamykannia na providnykakh, shcho zaznali tryvaloho vidpalu v umovakh pozhezh. *Kriminalistychnyi visnyk: nauk.-prakt. zb.* DNDEKTS MVS Ukrainy. Kyiv. 28, 97-106.
11. Koshel, O. Yu. (2021). Doslidzhennia kontrafaktnykh providnykiv iz oznakamy korotkoho zamykannia. *Kriminalistyka i sudova ekspertyza: mizhvidomchyi nauk.-metod. zb.* Kyiv: Kyivskiy NDI sudovykh ekspertyz. 67, 410-417. <https://doi.org/10.33994/kndise.2022.67.42>.

Olena Fedulova, Oleksandr Koshel. Development, advancement, and current challenges in the examination of short circuits in conductors for fire investigation purposes

The article highlights the relevance of the problem of establishing a causal relationship between a fire and a short circuit in conductors, which is associated with fire statistics in premises with electrical wiring and equipment. It is noted that electrical conductors are among the few carriers of trace information that remain after the destructive effects of fire due to the relatively high melting temperature of metal.

The evolutionary path of the development of forensic examinations of short circuits in conductors recovered from fire scenes is traced, from its inception to the present state of expert practice. The constructive influence of a critical approach and the generalization of expert practice on

the development and modification of methodological support for the examination of short-circuit melting is demonstrated.

The main principles and approaches to the examination of molten marks in conductors are elaborated in accordance with the latest approved methodologies. The issue of the disputed reliability of a number of provisions in existing methodologies regarding the establishment of a direct or reverse causal relationship between a fire and a short circuit in electrical conductors is considered. The incorrectness of directly linking the metal structure of molten marks to the fire is indicated.

Emphasis is placed on the importance of taking into account the effect of annealing on the structure of molten marks under fire conditions in order to avoid errors in its evaluation and, consequently, the formation of incorrect overall conclusions.

Based on examples from expert practice, certain inconsistencies in existing methodological postulates regarding the causal relationship between a number of structural features of molten marks and the progression of environmental parameter changes under real fire conditions are presented. Attention is focused on the need for a deeper approach to the theoretical foundation of this field of research, particularly in terms of the analysis and evaluation of metallographic studies, processes of directional solidification, grain growth and formation, etc.

The necessity of a comprehensive approach to solving expert tasks related to determining the cause of fire is emphasized.

Concern is expressed regarding the risks of a simplified approach, in which the assessment of structure at the stage of forming the final conclusion is reduced to a formal comparison of the grain geometry of the studied sample with these features in "reference" images, rather than being the result of a thorough and in-depth analysis that takes into account external factors identified during the fire scene examination, the laws of crystallization in the examined molten marks, and other relevant aspects.

Practical recommendations are proposed for addressing issues arising during these expert examinations in order to ensure their completeness and reliability.

Keywords: forensics, fire investigation, short circuit, conductors, molten marks, temperature gradient, metallography, microstructure, annealing, directional crystallization.

Дата першого надходження статті до видання: 26.05.2026.

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 18.06.2026.

Дата публікації (оприлюднення) статті: 05.08.2026.



Стаття поширюється на умовах ліцензії
відкритого доступу (CC BY 4.0)