Пожежна безпека

Fire Safety

ISSN 2078-6662
https://journal.ldubgd.edu.ua/index.php/PB
УДК 614.841.2
DOI: 10.32447/20786662.33.2018.04

В. І. Гудим[1], О. Б. Назаровець[2], Т. О. Шпак[2]

[1]Львівський національний аграрний університет
[2]Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

МІКРОСТРУКТУРНИЙ ФАЗОВИЙ АНАЛІЗ ЗРАЗКІВ МІДНИХ ДРОТІВ НАГРІТИХ ПОСТІЙНИМ СТРУМОМ

Згідно із статистичними даними, однією з найпоширеніших причин виникнення пожеж на транспортних засобах, є пожежонебезпечні режими роботи бортових електричних мереж – 35 %. Найбільш частими причинами пожеж транспортних засобів, під час їх експлуатації, є несправності електрообладнання (коротке замикання та перенавантаження дротів бортової електромережі) та паливної систем.

У зв'язку з цим виникла задача виявлення причини і встановлення причетності до загорання бортової електромережі та електрообладнання транспортного засобу шляхом дослідження мікроструктур струмопровідних елементів електромережі.

Дослідження мікроструктури проводились за допомогою методу металографічного та рентгеноспектрального аналізу, з використанням скануючого електронного мікроскопа з системою рентгенівського мікроаналізу.

Мікроструктура еталонного зразка дроту представляє собою полікристали міді, які витягнуті в напрямку деформації. Слід відмітити, що після травлення виявляється мікроструктурна неоднорідність, це спостерігається як на поздовжніх, так і на поперечних шліфах.

Пропускання постійного струму через дріт суттєво змінює його мікроструктуру: у ній з'являються локальні ділянки кулеподібної форми, що свідчить про оплавлення і наступну швидку кристалізацію, в результаті чого формуються окремі ділянки у вигляді круглих вкраплень.

Слід відмітити, що при дії струмів короткого замикання ділянки кулеподібної форми утворюються на поверхні жили дротини, розмірні характеристики ділянок оплавлення стають більшими.

При комплексній дії короткого замикання постійного струму і відкритого полум'я модельного вогнища на ділянках оплавлення стає помітно, що від дії струму, через різке нагрівання металу формується дрібнозерниста структура, а при подальшій дії відкритого полум'я у дротах формується великозерниста структура, а дія полум'я проявляється в тому, що відбувається окиснення границь зерен, яке спричиняє руйнування матеріалу дроту по границях зерен.

Виконання досліджень методом локального рентгеноспектрального аналізу дає змогу визначити вміст кисню у мікроструктурі мідних дротів принципом індивідуальності спектрів та забезпечує достатньо точні дані про його вміст в структурі дроту залежно від умов нагрівання, що підтверджує доцільність його використання для виявлення причетності дротів бортових електромереж до виникнення пожеж.

Ключові слова: постійний струм, мікроструктура мідного дроту, бортові електричні мережі, металографічне дослідження, травник.

Вступ. Щорічно на планеті виникає близько 6 мільйонів пожеж, внаслідок чого мільйони людей стають каліками й дістають важкі опікові травми, десятки тисяч гинуть. За 9 місяців 2018 року в Україні зареєстровано 62 449 пожеж в тому числі на транспорті. Незважаючи на всі зусилля, спрямовані на запобігання пожежам, ця проблема за своїми масштабами є глобальною і зачіпає не лише національні, а й міжнародні інтереси. Світова статистика свідчить, що прямі збитки від пожеж в середньому становлять 0,2-0,3 % валового внутрішнього продукту відповідної країни. В Україні, як і в світі, існує тенденція до зростання кількості пожеж на транспорті [1].

Як видно із статистики, однією з найпоширеніших причин виникнення пожеж на транспортних засобах, є пожежонебезпечні режими роботи бортових електричних мереж – 35%. Пожежі такого типу можуть виникати від зовнішніх та внутрішніх джерел, спричинених порушенням правил пожежної безпеки, технічними неполадками, в електрообладнанні автомобілів, порушеннями правил експлуатації транспортних засобів, самовільними конструктивними змінами, а також умисними підпалами.

Відповідно до статистичних даних національної асоціації протипожежного захисту (NFPA), 91 % від усіх пожеж на транспорті при-

падає на пасажирські транспортні засоби (з них 68 % – на легкові автомобілі, 18 % – на автобуси, а 5 % – інші) та 9 % на вантажні автомобілі (з них 3 % – на інженерну та сільськогосподарську техніку). Згідно з цією статистикою основними причинами пожеж стали несправності паливної чи гідравлічної системи – 45 %, електричної системи – 24 %, на підпал припадає 10 % та близько 11 % причин не встановлені. Варто відмітити, що 69 % пожеж беруть свій початок з моторного відділення, 12 % з салону чи кабіни транспортного засобу. Пожежі рейкових, річкових та повітряних транспортних засобів становлять 3,8 % від загальної кількості пожеж на транспорті. Найбільш частими причинами пожеж транспортних засобів під час їх експлуатації є несправності електрообладнання (коротке замикання та перенавантаження дротів бортової електромережі) та паливної систем [2].

Постановка задачі. У зв'язку з цим виникла задача виявлення причини і встановлення причетності до загорання бортової електромережі та електрообладнання транспортного засобу шляхом дослідження мікроструктур струмопровідних елементів електромережі.

Аналіз публікацій з теми. Великий обсяг теоретичних та експериментальних досліджень пожежної безпеки транспортних засобів та причин виникнення пожеж викладений у працях [3, 4, 5, 6, 7], де досліджувалися безпечні відстані між автомобілями, теплові потоки, які створені автомобільними пожежами, а також першопричини виникнення оплавлень дротів електромереж тощо. Проте дослідженню мікроструктури дротів бортових електромереж, нагрітих постійним струмом, за допомогою скануючого електронного мікроскопа, у цих роботах приділено недостатню увагу.

Розв'язання задачі. Мідь є кристалічним матеріалом, тобто характеризується тривимірною періодичністю в розташуванні атомів. При цьому конкретне розташування атомів і відстані між ними різні для різних металів, сукупність атомів утворює кристалічну решітку. Характеристикою кристалічної структури є елементарна комірка – паралелепіпед мінімальних розмірів, у вершинах, а також усередині граней розташовані атоми, і паралельним перенесенням якого можна цілком заповнити простір [8].

Експериментальні дослідження проводилися в лабораторії «Пожежної безпеки» Львівського державного університету безпеки життєдіяльності. Для виконання досліджень використовувались нові, мідні дроти бортових електричних мереж, з багатодротиковою жилою, перерізом 2,5 та 4 мм^2.

Струмові навантаження створювались за допомогою зарядно-пускового пристрою "FORSAGE" ЗПУ-250-12-24, з технічними характеристиками, в режимі «Пуск»: 12 В – 250А, що могло розплавляти дроти вказаного перерізу.

Також, для порівняння мікроструктур дротів, було здійснено ряд експериментів у відкритому полум'ї, для чого створювалось модельне вогнище класу В (рис. 1), над яким відкрито прокладались мідні дроти бортових електричних мереж як нові (без попереднього впливу), так і дроти, які були розплавлені струмом.

Після проведення експериментів для подальших досліджень мікроструктури дротів, з них виготовляли шліфи за такою технологією: зразки дроту поміщають в алюмінієві оправки, які заливають сплавом «ВУДА» (рис. 2), після утворення твердої фази їх шліфують на абразивному папері різної зернистості, а потім полірують за допомогою алмазної пасти.

Рисунок 1 – Модельне вогнище

Підготовлені поверхні шліфа піддають травленню шляхом нанесенням на поліровану поверхню таких реактивів [9]:

травник №1 – хлористе залізо 10 г, соляна кислота 25 см^3, вода 100 см^3,

травник №2 – подвійна сіль хлористого амонію та хлористої міді 10 г, вода 100 см^3, аміак (до отримання нейтральної або лужної реакції);

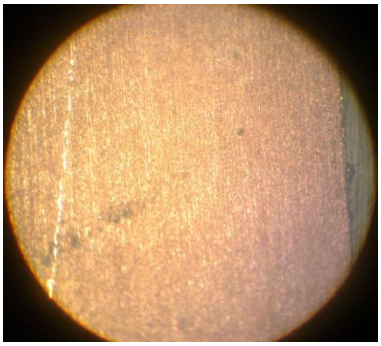
травник №3 – азотна кислота 50 мл, вода 50 мл.

Рисунок 2 – Процес виготовлення шліфів

Після травлення шліфи оглядають та попередньо досліджують на мікроскопі. Результати дослідження повздовжніх та поперечних шліфів наведені на рисунках 3-7.

Приклад мікроструктури еталонного мідного дроту, який не піддавався процесу нагрівання, показано на рис. 3, ці дослідження проводились на оптичному мікроскопі (МИМ-9).

а



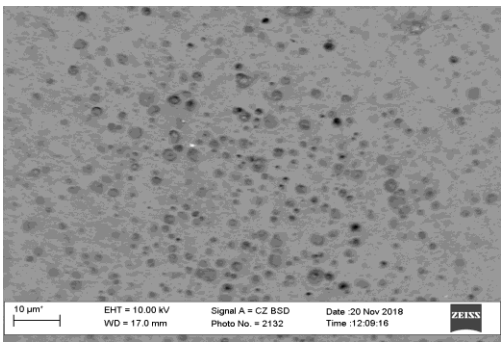
б)

Рисунок 3 – Мікроструктура мідного дроту (еталон):
а – поперечний шліф; б – поздовжній шліф

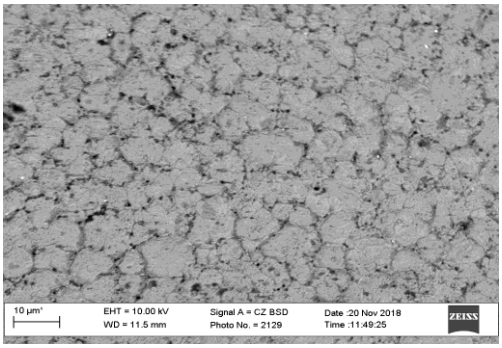
Як видно на рис. 3, мікроструктура еталонного зразка дроту представляє собою полікристали міді, які витягнуті в напрямку деформації. Слід відмітити, що після травлення виявляється мікроструктурна неоднорідність, а на окремих ділянках з'являються зерна, які є більші за розміром, ніж середнє значення таких зерен. Це спостерігається як на поздовжніх, так і на поперечних шліфах, що підтверджує формування неоднорідності при волочінні (неоднорідна структура сформувалась в процесі виготовлення дроту) [10].

На рис. 4 наведено зображення мікроструктури еталонного зразка, отримане за допомогою скануючого електронного мікроскопа ZEISS EVO 40XVP з системою рентгенівського мікроаналізу INCA Energy. За допомогою цього мікроскопа можна отримати якісні зображення мікроструктури при різних збільшеннях [10].

На рис. 4 а (поперечний шліф) спостерігаються одинакові за розміром округлі зерна, на рис. 4 б бачимо видовження зерен в напрямку волочіння.



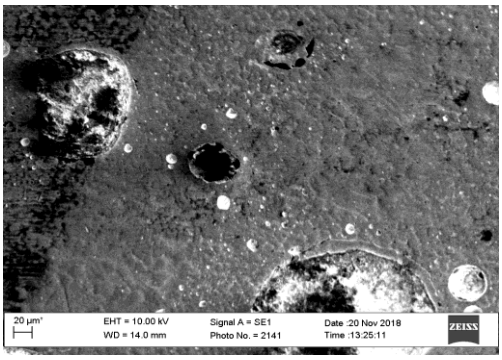
а



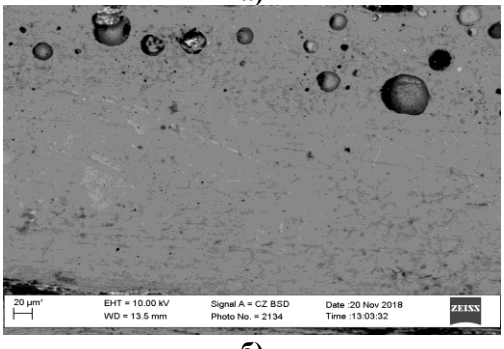
б

Рисунок 4 – Мікроструктура еталонного зразка
а) – поперечний; б) – поздовжній

Пропускання постійного струму через дріт суттєво змінює мікроструктуру: у ній з'являються локальні ділянки кулеподібної форми, що свідчить про оплавлення і наступну швидку кристалізацію, яка приводить до формування окремих ділянок у вигляді круглих часточок (рис. 5 а). Оплавлені ділянки виявляються, як на поперечних, так і на повздовжніх шліфах рис. 5, б.



а)



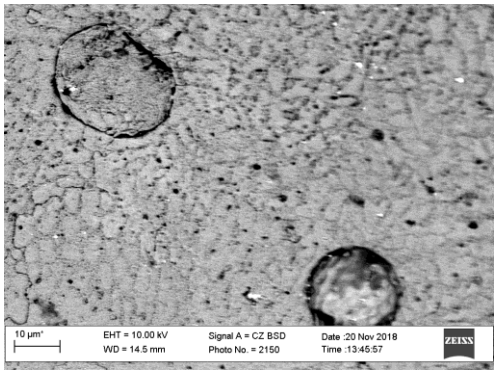
б)

Рисунок 5 – Мікроструктура мідного дроту, розплавленого постійним струмом

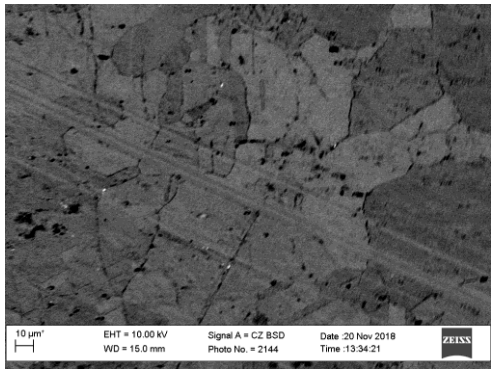
На рис. 5 б, чітко видно, що при дії струмів короткого замикання ділянки кулеподібної форми утворюються на поверхні жили дротини, де формувалась дуга, що призводила до википання міді.

При протіканні постійного струму, кількість ділянок, які вказують на оплавлення металу, суттєво зростає, розмірні характеристики ділянок оплавлення стають більшими.

При комплексній дії короткого замикання постійного струму і відкритого полум'я модельного вогнища на ділянках оплавлення стає помітно, що при дії струму, через різке нагрівання металу формується дрібнозерниста структура рис. 6 а. А при подальшій дії відкритого полум'я в дротах формується великозерниста структура, а дія полум'я проявляється в тому, що відбувається окиснення границь зерен, яке спричиняє руйнування матеріалу дроту по границях зерен, починається перекристалізація міді рис. 6 б.



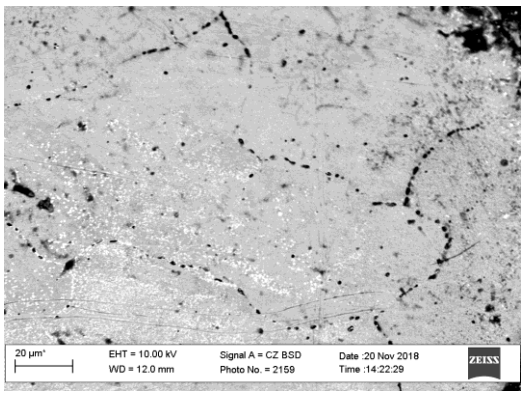
а)



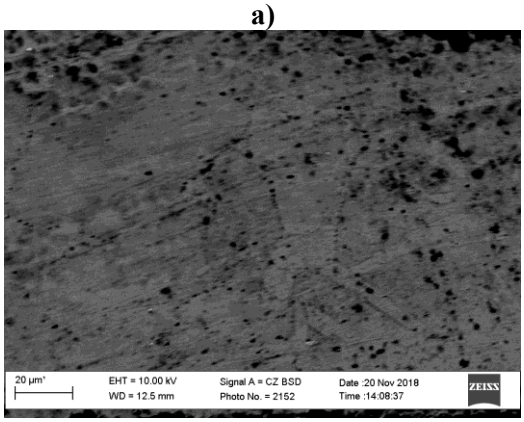
б)

Рисунок 6 – Мікроструктура мідного дроту, нагрітого комплексною дією постійного стуму і відкритим полум'ям

Дослідження мікроструктури дротів, нагрітих лише дією відкритого полум'я, призводить до утворення великих зерен (рис. 7 а). Мікроструктура дроту, нагрітого полум'ям без попереднього струмового навантаження, проявляється тільки в окисненні поверхневого шару, в той же час внутрішнє окиснення зерен відбувається в меншій мірі.



а)



б)

Рисунок 7 – Мікроструктура мідного дроту, нагрітого відкритим полум'ям
а) – поперечний шліф; б) – поздовжній шліф

Висновки. Мікроструктура матеріалу досліджуваного дроту є неоднорідною, оскільки на неї впливає технологічна обробка на етапі виготовлення.

Внаслідок проходження у дроті постійного струму відбувається не лише його оплавлення, а й рекристалізація матеріалу дроту, що інтенсифікує процеси оплавлення дротів і сприяє формуванню дрібнозернистої структури.

У дроті, який початково піддавався дії постійного струму, а після цього – дії відкритого полум'я, спостерігається протікання процесів як зовнішнього, так і внутрішнього окиснення міді та руйнування її структури.

Дослідження методом локального рентгеноспектрального аналізу дали змогу визначити вміст кисню мідних дротів принципом індивідуальності спектрів. Крім того цей метод не потребує великих затрат на підготовку зразків і одночасно забезпечує достатньо точні дані про вміст кисню, в структурі дроту залежно від умов нагрівання, що підтверджує доцільність його використання для виявлення причетності дротів бортових електромереж до виникнення пожеж.

Список літератури

1. http://www.undicz.mns.gov.ua/content/statistics.html // Довідка за 2018 рік.

2. Гудим В. І. Аналіз систем та агрегатів автотранспортних засобів за рівнем пожежної небезпеки /В. І. Гудим А. Ф. Гаврилюк // Пожежна безпека: Зб. наук. пр. – Л.: ЛДУ БЖД, 2013.– №23. – С. 58-63.

3. Пожар в автомобиле: как установить причину? /Булочников Н. М. Зернов С. И., Становенко А. А., Черничук Ю. П., – М: «ФЛИГИСТОН», 2006. – 224 с.

4. Исхаков Х. И. Пожарная безопасность автомобиля /Исхаков Х. И., Пахомов А. В., Каминский Я. Н.– М: Транспорт, 1987, – 86 с.

5. Смелков Г. И. Пожарная опасность электропроводок при аварийных режимах – М.: Энергоиздат, 1984, – 183 с.

6. Назаровець О. Б. Визначення причин виникнення пожеж в житлових та громадських будівлях від внутрішніх електромереж // автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: 21.06.02 – пожежна безпека. / О. Б. Назаровець. – Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, 2015. – 20 с.

7. Гаврилюк А. Ф. Підвищення ефективності протипожежного захисту колісних транспортних засобів // автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: 21.06.02 – пожежна безпека. / А. Ф. Гаврилюк. – Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, 2015. – 20 с.

8. Лахтин Ю. М. Метериаловедение / Ю. М. Лахтин, В. П. Леоньева. –3-е изд., перераб., и доп. – М. : Машиностроение, 1990. – 528 с.

9. Мальцев М.В. Металлография промышленных цветных металлов и сплавов : [монография] / Мальцев М. В. – 2–е издание, переработанное и дополненное. – М. : «МЕТАЛЛУРГИЯ», 1970. – 343 с.

10. Гудим В. І. Аналіз мікроструктури мідних кабельно-провідникових виробів електричних мереж, які перебували у середовищі пожежі / В. І. Гудим, М. Карбонічек, О. Б. Назаровець // Пожежна безпека : Зб. наук. праць. – ЛДУБЖД, 2012, – № 20. – С. 144-149.

References

1. http://www.undicz.mns.gov.ua/content/statistics.html // Dovidka za 2018 rik.

2. V.I. Hudym Analiz system ta ahrehativ avtotransportnykh zasobiv za rivnem pozhezhnoyi nebezpeky /V.I. Hudym A.F. Havrylyuk // Pozhezhna bezpeka: Zb. nauk. pr.- L.: LDU BZHD, 2013.- №23. – st. 58-63.

3. Pozhar v avtomobile: kak ustanovit' prichinu? /Bulochnikov N.M. Zernov S.I., Stanovenko A.A., Chernichuk YU.P., – M: «FLIGISTON», 2006. – 224 s.

4. Iskhakov KH.I. Pozharnaya bezopasnost' avtomobílya /Iskhakov KH.I.., Pakhomov A.B., Kaminskiy YA.N.– M: Transport, 1987g., – 86s.

5. Smelkov G.I. Pozharnaya opasnost' elektroprovodok pri avariynykh rezhimakh – M.: Energoizdat, 1984g, – 183s.

6. Nazarovets′ O. B. Vyznachennya prychyn vynyknennya pozhezh v zhytlovykh ta hromads′kykh budivlyakh vid vnutrishnikh elektromerezh // Atoref. dys. na zdobuttya nauk. Stupenya kand. tekhn. nauk: 21.06.02 – pozhezhna bezpeka. / O.B. Nazarovets′. – L′vivs′kyy derzhavnyy universytet bezpeky zhyttyediyal′nosti, 2015. – 20 s.

7. Havrylyuk A. F. Pidvyshchennya efektyvnosti protypozhezhnoho zakhystu kolisnykh transportnykh zasobiv // Atoref. dys. na zdobuttya nauk. Stupenya kand. tekhn. nauk: 21.06.02 – pozhezhna bezpeka. / A.F. Havrylyuk. – L′vivs′kyy derzhavnyy universytet bezpeky zhyttyediyal′nosti, 2015. – 20 s.

8. Lakhtin Yu. M. Meterialovedeniye / Yu. M. Lakhtin, V. P. Leon'yeva. –3-ye izd., pererab., i dop. – M. : Mashinostroyeniye, 1990. – 528 s.

9. Mal'tsev M.V. Metallografiya promyshlennykh tsvetnykh metallov i splavov : [monografiya] / Mal'tsev M.V. – 2-ye izdaniye, pererabotannoye i dopolnennoye. – M. : «METALLURGIYA», 1970. – 343 s.

10. Hudym V.I. Analiz mikrostruktury midnykh kabel′no-providnykovykh vyrobiv elektrychnykh merezh, yaki perebuvaly u seredovyshchi pozhezhi / V.I. Hudym, M. Karbonichek, O.B. Nazarovets′ // Pozhezhna bezpeka : Zb. Nauk. prats′. – LDUBZHD, 2012, – № 20. – S. 144-149.

V. Hudym, O. Nazarovets, T. Shpak

MICROSTRUCTURAL PHASE ANALYSIS OF COPPER WIRE SAMPLES HEATED BY DIRECT CURRENT

According to statistics, one of the most common causes of vehicle fires is the fire hazard of operating onboard electrical networks - 35%. The most common causes of vehicle fires, during their operation, are malfunctions of electrical equipment (short circuit and overload of on-board electrical wiring) and fuel systems.

In this regard, the problem arose to identify the cause and establish the involvement of the ignition of the on-board electrical system and the electrical equipment of the vehicle by studying the microstructures of the conductive elements of the power grid.

Microstructures were studied using a method of metallographic and X-ray spectral analysis, using a scanning electron microscope with an X-ray microanalysis system.

The microstructure of the reference model of the wire is a copper polycrystal, which is elongated in the direction of deformation. It should be noted that after etching the microstructural heterogeneity is detected, it is observed on both longitudinal and transverse slices.

The passage of a direct current through a wire significantly changes its microstructure: in it there are local areas of the globular shape, indicating the melting and subsequent rapid crystallization, resulting in the formation of separate sections in the form of round inclusions.

It should be noted that under the influence of short-circuit currents, the gullet form is formed on the surface of the wires, and the dimensional characteristics of the melting regions become larger.

In the complex action of the short-circuit of the direct current and the open flame of the model focus on the regions of the melting it becomes noticeable that from the action of the current, due to the sharp heating of the metal formed fine-grained structure, and with the subsequent action of the open flame in the wires formed a large-grained structure, and the action of the flame It is manifested in the fact that the oxidation of the grain boundaries occurs, which results in the destruction of the material of the wire along the grain boundaries.

Performing research using the method of local X-ray spectral analysis enables us to determine the oxygen content of copper conductors by the principle of individuality of the spectra and provides sufficiently accurate data on its content in the structure of the conductor, depending on the heating conditions, which confirms the expediency of its use to detect the involvement of the conductors of the onboard electrical grids prior to the occurrence of fires.

Key words: direct current, microstructure of copper wire, on-board electrical networks, metallographic research, herbal.