

УДК 629.42:614.842.4

В. В. КОВАЛЕНКО^{1*}

^{1*}Каф. «Безпека життєдіяльності», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (050) 489 07 72, ел. пошта kovalenkovv@upr.diit.edu.ua, ORCID 0000-0002-1196-7730

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ КОНСТРУКЦІЙ ВИСОКОВОЛЬТНИХ КІЛ НА ВИНИКНЕННЯ ПОЖЕЖ НА ЛОКОМОТИВАХ

Мета. Робота спрямована на виявлення впливу невідповідності хімічного складу конструкцій високовольтних кіл на механізм виникнення пожежі на локомотиві ВЛ-80к. **Методика.** Під час дослідження зразків матеріалів контактних затискачів застосовані макро- та мікроструктурний, фрактографічний, аналітичний аналізи. **Результати.** Аналітичний аналіз стану деталей дав змогу виявити первинні причини займання трансформаторного масла й подальшого повного вигорання секції електровозу. Установлено, що зруйновані контактні затискачі мали такий хімічний склад, що не відповідає конструкторсько-технічній документації. Утворена під час руйнування затискачів контактів дуга між краями макротріщин не призвела до відключення основного високовольтного реле, а внаслідок великої потужності сприяла загорянню великого об'єму трансформаторного масла, яке знаходилося знизу затискачів контактів. Таке загоряння може також виникнути внаслідок послаблення від вібрації з'єднань силового кола локомотива. Попередити подібні випадки загоряння можна за допомогою ідентифікації критичних температур нагрівання контактів високовольтної камери, контакторної й резисторної груп для негайного укріплення або заміни з'єднання. **Наукова новизна.** У роботі застосовано комплексний аналітичний і технічний підхід до виявлення причин виникнення пожежі на електровозі ВЛ-80к. Оцінено типовий механізм виникнення пожежі й максимальну кількість факторів, які могли вплинути на передчасне руйнування затискачів контактів. Показано, що сукупність факторів, які негативно вплинули на експлуатаційні характеристики затискачів контактів, одночасно досягла так званої «критичної маси» внаслідок нагрівання означених дефектних деталей. Упровадження додаткових факторів сигналізації про наднормове нагрівання досліджених та інших важливих деталей і конструкцій локомотивів дозволить попередити виникнення пожеж, вчасно ідентифікувати невідповідність хімічного складу деталей конструкторсько-технічній документації, а також виявляти зазори в з'єднаннях електричних кіл, які виникли або внаслідок недостатнього затягування, або ослаблення з'єднань у процесі вібрації під час руху локомотивів. **Практична значимість.** Запропонована додаткова сигналізація сприятиме збереженню не тільки парку локомотивів ПАТ «Укрзалізниця», а й життя та здоров'я працівників локомотивних бригад.

Ключові слова: електровоз ВЛ-80к; затискачі контактів; трансформаторне масло; передчасне руйнування; пожежа; хімічний склад; шкідливі домішки

Вступ

Більшість техногенних аварій у світі пов'язано із застосуванням у конструкціях та деталях неякісного металу або металу неналежного типу [1, 3]. Те ж саме можна сказати про матеріали, які застосовують на залізничному транспорті, у тому числі на найважливіших і найвідповідальніших ділянках електричних кіл тягового рухомого складу.

На жаль, зношеність локомотивного парку України, дефіцит деталей для експлуатованого близько 40 років рухомого складу призводить до неналежного ставлення до дотримання дер-

жавних стандартів щодо хімічного складу цих деталей [11].

Якщо додати до цього неналежний стан залізничних колій у нашій країні, що сприяє утворенню значних вібрацій у конструкціях, можна впевнено говорити про типовий механізм виникнення пожеж на локомотивах. Він пов'язаний із послабленням контактів і виникненням дуги на ділянках утворення мікро- або макрощілин в електричному колі. І це дуже небезпечно не лише для роками використовуваного парку локомотивів, а й для нових, щойно закуплених ПАТ «Укрзалізниця» локомотивів фірми General

ЕКОЛОГІЯ ТА ПРОМИСЛОВА БЕЗПЕКА

Electric Transportation [11]. Тут небезпека впливає з того, що вібрації, які в процесі пересування по наших коліях виникатимуть у цих локомотивах, можуть утворювати зазори в кріпленнях елементів електричних кіл. Утворені мікро- й макрозазори в кріпленнях електричних кіл сприяють виникненню електричної дуги, яка у свою чергу підігріває матеріал кріплення спочатку на помірну температуру, а потім сприяє його розплавленню, навіть якщо кріплення виготовлені з належного типу сплаву [1, 3, 8–16].

Задля збереження матеріальних цінностей, вартість яких, до речі, становить десятки мільйонів гривень, а також уникнення людських жертв від пожеж, які, за статистикою ПАТ «Укрзалізниця», здебільшого виникають унаслідок дії електричної дуги, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна (ДНУЗТ) пропонує систему протипожежної сигналізації. Ця система дозволяє завчасно попередити виникнення пожеж унаслідок дії електричної дуги.

Мета

Основною метою дослідження є виявлення механізму виникнення пожежі на електровозі ВЛ-80К, причиною якої стала невідповідність хімічного складу контактних затискачів висковольтної камери.

Методика

Для досягнення зазначеної мети було проведено:

- ідентифікацію фазових і структурних складових у наданих зразках матеріалів контактних затискачів;

- дослідження розмірів часток і об'ємного відсотка структурних складових матеріалу зразків, а також його структурної однорідності матеріалів контактних затискачів.

Зі зразків матеріалу контактних затискачів електровоза ВЛ-80К були виготовлені шліфи, які травили в соляній кислоті для виявлення мікроструктури.

Мікроструктурний та мікрорентгеноспектральний аналізи проведено за допомогою розривного електронного мікроскопа JSM-64901LV фірми JEOL (Японія) з енергодисперсійним

спектрометром INCA Penta FETx3 (OXFORD Instruments) та персональним комп'ютером у режимі прискорюваної напруги 10–20 кВ, сили електричного струму 3×10^{-10} А, збільшенні $\times 80 \dots \times 11\,000$ за контрасту у вторинних (SEI) і відображених (BEI) електронах.

Результати

Досліджені затискачі було виготовлено з латуней. Серед мідних сплавів латуні застосовуються найбільш широко. Структуру й властивості латуней визначає діаграма стану Cu–Zn.

У системі Cu–Zn відбуваються 5 перитектичних перетворень, у результаті яких виникають 5 фаз: δ , β , γ , ϵ , η . Розчинність цинку в міді дуже велика й виявляє незвичайну температурну залежність: зі зниженням температури розчинність зростає і складає 32,5 % за 905 °С, 36 % – за 600 °С і 39 % – за кімнатної температури. За температури близько 400 °С розчинність цинку в міді різко падає.

Стійкість проміжних фаз β , γ , ϵ визначають їхні електронні концентрації. Так, β – твердий розчин на базі сполуки CuZn характеризується електронною концентрацією $3/2$. При цьому електронну концентрацію визначають, як відношення кількості валентних електронів у сполуці до кількості атомів сполуки, тобто у сполуці CuZn це відношення становить $3/2$.

Упорядковане розташування атомів β -розчину зберігається лише за температур, не вищих 454...468 °С [5, 6, 7].

Розглянемо мікроструктурний склад зразка, що зруйнований розтріскуванням (рис. 1). У матриці α -твердого розчину (рис. 1, спектри 7, 8, 9) поблизу зони розтріскування по границях зерен як α -фази, так і великих (більше ніж 30 мкм) включень залізо-кремневої фази (рис. 1, спектри 4, 5, 6) розташовані легкоплавкі свинцеві евтектики (рис. 1, спектри 1, 2, 3), що мають, залежно від концентрації свинцю, температуру плавлення від 325 °С в разі вмісту свинцю 92,5 % (мас) до 954 °С за його меншої концентрації [5, 6, 7]. Враховуючи, що свинець та олово мають велику схильність до ліквідації, як концентраційні градієнти свинцевих та олов'янистих включень, так і топографія їх розподілення виключно по границях зерен або фаз свідчать про можливість

ЕКОЛОГІЯ ТА ПРОМИСЛОВА БЕЗПЕКА

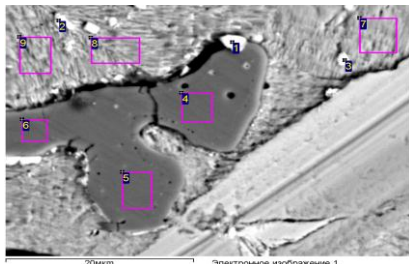
початку підплавлення вже за температур, близьких до 400 °С, і наявність зони крихкості в α -сплавів в інтервалі 300–700 °С [5, 6, 7]. Це також є однією з причин низької корозійної стійкості в напруженому стані зазначених сплавів.

Від'ємні значення концентрації елементів в інтегрованому спектрі пояснюються тим, що вони нижчі за фоновий рівень, визначений приладом.

По границях зерен також наявні олов'яністі евтектоїди (рис. 2, спектри 1, 2, 3). Їх товщина становить 20 мкм, а довжина 100 мкм. δ -фаза в евтектоїді $\alpha + \delta$ представлена крихким з'єднанням Cu_3Sn_8 , що має блакитний колір. Наявність подібного хімічного складу сприяє виникненню розосередженої усадочної раковини. Температура евтектоїдного перетворення дорівнює 520 °С [5, 6, 7].

Поблизу евтектоїда (рис. 2) наявна зона з підвищеною концентрацією мис'яку, олова, заліза, нікелю, кремнію, свинцю (рис. 2, спектри 4, 5, 6).

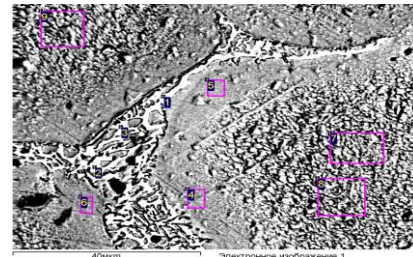
Розподіл хімічних елементів у структурі зразка латуні, що розтріскався, наведено на рис. 3. Із нього видно, що залізо-кремнієві включення по границях α -твердого розчину дорівнюють у діаметрі максимум 10 мкм і додатково містять кисень.



Спектр	Al	Si	P	S	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Se	Sn	Pb
1	-0.03	5.13	-0.13	-1.19	-0.24	16.4	1.04	24.4	3.71	0.2	0.26	-0.06	50.52
2	0.11	1.14	-0.01	-0.42	0.06	1.17	0.13	55.23	11.13	-0.08	-0.07	0.03	31.56
3	0.16	0.86	0.03	-0.28	0.03	0.67	0.38	65.35	14.31	0.47	0.36	0.2	17.46
4	0.07	14.3	0.08	0.03	0.05	78.7	3.32	2.96	1.04	-0.32	-0.05	0.1	-0.27
5	-0.14	14.7	0.02	0.01	0.24	77.96	3.68	3.13	0.91	-0.13	-0.44	0.12	-0.06
6	-0.06	16.7	-0.05	-0.03	0.2	74.05	3.32	4.56	1.38	-0.18	-0.19	0.11	0.19
7	0.14	1.07	0.08	0.03	0.01	0.44	0.09	79.05	18.09	0.29	0.34	0.4	-0.01
8	0.06	0.92	0.07	0.02	-0.11	0.81	0.32	79.84	17.4	0.03	0.12	0.45	0.08
9	0.19	1	-0.02	0.01	0.08	0.56	0.33	78.82	17.39	0.52	0.4	0.32	0.42

Рис. 1. Мікроструктура й фазовий хімічний склад матеріалу розтрісканого зразка контактної затискача

Fig. 1. Microstructure and phase chemical composition of the material of the cracked sample of the contact clamp



Спектр	Al	Si	P	S	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Se	Sn	Pb
1	0.07	1.64	0.07	-0.01	0.03	0.09	0.1	73.73	15.44	0.13	0.04	8.29	0.38
2	0.15	1.65	0.02	0.04	0.03	0.17	0.1	71.42	14.36	0.16	0.34	11.49	0.09
3	0.01	1.51	0.09	-0.09	-0.1	-0.08	0.21	73.3	15.18	-0.04	-0.16	10.18	-0.01
4	0.15	1.8	0.04	-0.02	0.05	0.23	0.46	78.34	17.01	0.19	0.29	1.26	0.2
5	0.04	1.66	0.1	-0.04	-0.04	0.11	0.43	78.62	17.5	0.13	0.18	1.2	0.12
6	0.01	1.88	-0.04	-0.01	0.02	0.23	0.35	78.47	17.42	0.25	0.07	1.17	0.18
7	0.11	0.98	0.08	-0.01	0.06	0.25	0.39	79.37	18.39	0.08	0.17	0	0.12
8	-0.01	1.15	-0.07	0.02	0	0.58	0.1	79.2	17.86	0.11	0.06	0.31	0.68
9	0.16	1	-0.05	0.14	0.04	0.33	0.13	79.66	17.74	0.38	0.13	0.2	0.14

Рис. 2. Мікроструктура й фазовий хімічний склад матеріалу розтрісканого зразка контактної затискача

Fig. 2. Microstructure and phase chemical composition of the material of the cracked sample of the contact clamp

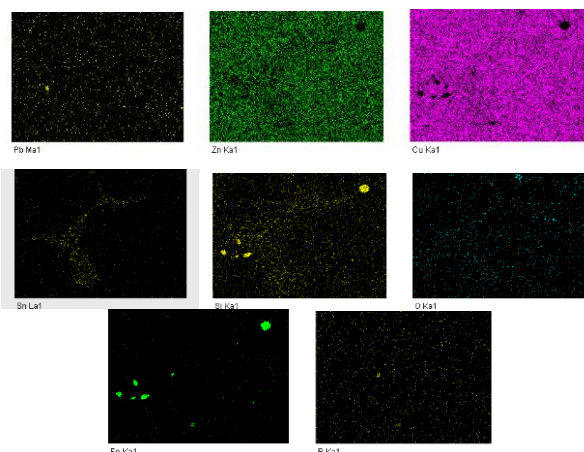
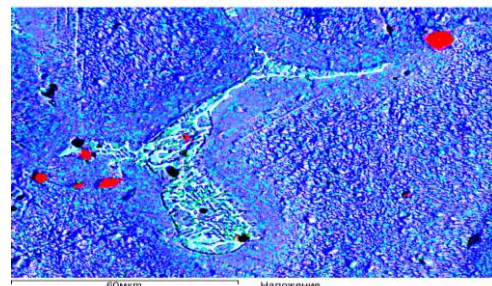
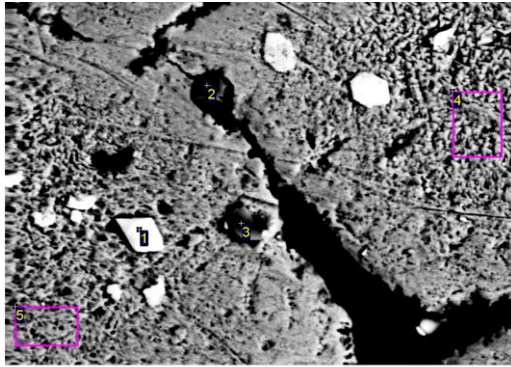


Рис. 3. Розподіл хімічних елементів у мікроструктурі сплаву розтрісканого контактної затискача

Fig. 3. Distribution of chemical elements in the alloy microstructure of the cracked contact clamp

ЕКОЛОГІЯ ТА ПРОМИСЛОВА БЕЗПЕКА

Виявлені залізо-кремнієві включення наявні безпосередньо в області зародження тріщини (рис. 4), що дозволяє зробити висновок про те, що вони були однією з причин розтріскування.



Спектр	Al	Si	P	S	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Se	Sn	Pb
1	0,17	0,33	-0,13	-1,57	-0,01	0,18	0,18	25,73	3,88	0,16	0,15	0,18	70,75
2	0	19,83	0,22	0,01	0,3	61,63	3	12,05	2,94	0,19	0,02	0,11	-0,3
3	0,2	0,74	-0,12	0,11	0,04	0,17	0,06	74,84	21,11	0,1	0,14	0,59	2,01
4	-0,01	1,09	-0,03	0,04	0,03	0,5	0,3	78,63	18,42	0,51	0,05	0,43	0,05
5	0,12	1,09	-0,01	-0,02	-0,02	0,29	0,29	78,08	18,67	0,3	0,28	0,39	0,54

Рис. 4. Мікроструктура зразка контактної затискача в області розтріскування

Fig. 4. Microstructure of the contact clamp sample in the cracking region

Подальший аналіз евтектоїдних включень, які оточують залізо-кремнієві, показує наявність у них сегрегацій фосфору, які разом із кремнієвими включеннями найбільш істотно знижують електропровідність сплаву (рис. 5). У середині залізо-кремнієвих включень (рис. 5) можна побачити оксидну складову. А кисень належить до числа найбільш шкідливих домішок, які суттєво знижують механічні й технологічні властивості латуні.

Таким чином, розтрісканий зразок контактної затискача не відповідає конструкторсько-технічній документації не лише за хімічним, а й за структурним станом, що в основному є наслідком ліквідаційних процесів під час кристалізації сплаву. Цьому сприяє наявність усіх найбільш шкідливих домішок (свинцю, сірки й кисню) та велика (більше ніж 2,6 %) сумарна кількість елементів, що найбільш схильні до ліквідації – олова й кремнію, за максимального значення цієї суми в стандарті – 0,5 %. Означені елементи утворюють легкоплавкі евтектики й евтек-

тоїди, що розташовуються по границях α -твердого розчину й знижують фізико-механічні й технологічні характеристики сплаву. Крім того, додатковим негативним фактором є забрудненість сплаву глобулярними залізо-кремнієвими включеннями, сегрегації яких спостерігаються в областях зародження тріщин.

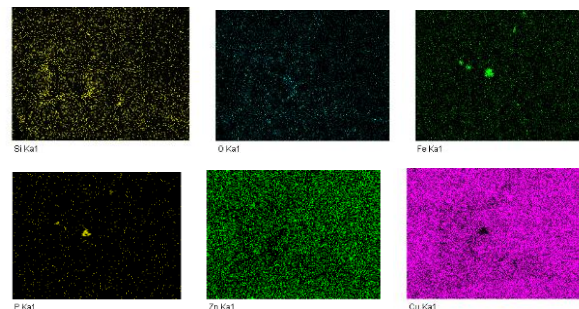
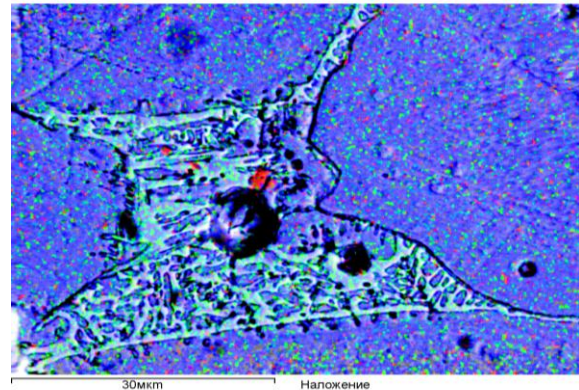


Рис. 5. Розподіл хімічних елементів на границі кристалів α -твердого розчину

Fig. 5. Distribution of chemical elements on the boundary of crystals of the α -solid solution

Розглянемо мікроструктуру оплавленого зразка контактної затискача (рис. 6). З рисунку видно, що мікроструктура представлена α -твердим розчином (спектр 1), включеннями свинцевої фази (спектри 2, 3), залізо-кремнієвими включеннями (спектр 5) й областями спільного росту фаз $\alpha + \beta'$ (спектр 4). Цей сплав не містить великих евтектичних та евтектоїдних фаз по границях зерен, що сприяє формуванню більш однорідної структури. Але не виключено, що до оплавлення вони були присутні в досліджуваному зразку, але в результаті випарювання й попереднього розплавлення зникли зі структури сплаву.

ЕКОЛОГІЯ ТА ПРОМИСЛОВА БЕЗПЕКА

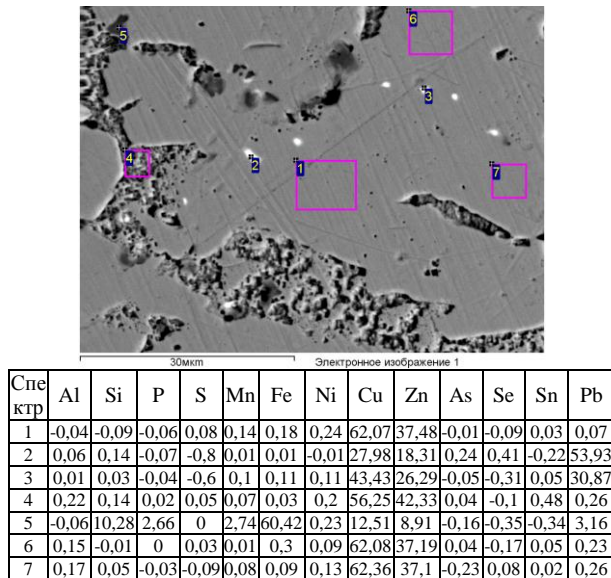


Рис. 6. Мікроструктура й фазовий хімічний склад оплавленого зразка контактної затискача

Fig. 6. Microstructure and phase chemical composition of the molten sample of the contact clamp

Ідентифікацію крупних, до 10 мкм, залізо-кремнієвих включень та інших фазових складових представлено на рис. 7. Залізо-кремнієві включення, незалежно від розміру, мають сприятливу область розташування в середині зерен α -твердого розчину, що попереджає розвиток тріщин поблизу цих включень.

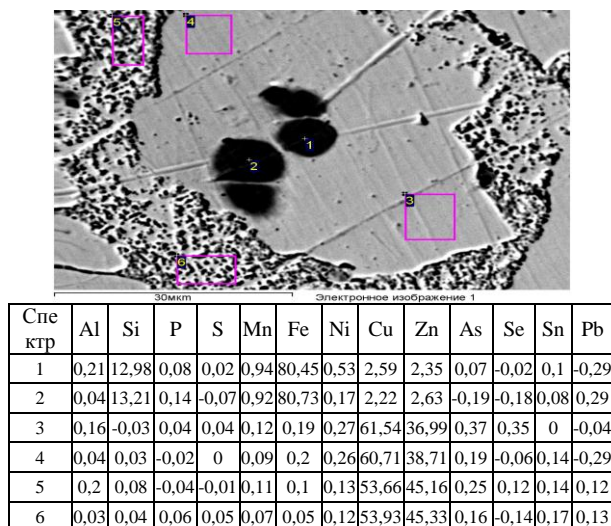


Рис. 7. Мікроструктура зразка контактної затискача оплавленого

Fig. 7. Microstructure of the molten sample of the contact clamp

На рис. 8 представлено мікроструктуру сплаву, що оплавлений. Із нього видно, що зерна α -твердого розчину складають 50 об'ємних відсотків, а суміш $\alpha + \beta'$ фаз, яка займає подібний об'єм, сприяє підвищенню міцності сплаву. У сплаві наявна незначна кількість олова, тому олов'яністі евтектоїди повністю відсутні. Розмір зерен не перевищує 50 мкм.

Таким чином, розплавлений зразок контактної затискача має більш однорідну структуру з більшою кількістю й розміром залізо-кремнієвих включень, які розташовані в середині зерен α -твердого розчину та меншою мірою впливають на фізико-хімічні характеристики сплаву. Але загальний вміст цинку знижує температуру плавлення до 902 °С [5] і сприяє проходженню низки перетворень під час нагрівання сплаву, що додатково підвищує електричний опір і нагріває сплав у процесі експлуатації.

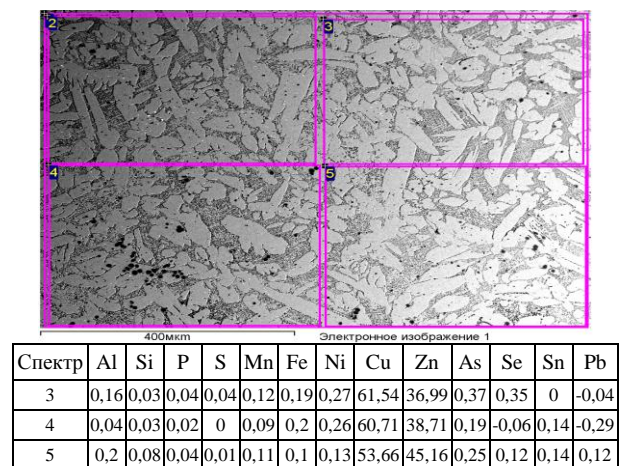


Рис. 8. Мікроструктура й хімічний склад оплавленого зразка контактної затискача

Fig. 8. Microstructure and chemical composition of the molten sample of the contact clamp

Для попередження виникнення пожеж у результаті дії електричної дуги в електричних колах локомотивів, зокрема в зруйнованому пожежею електровозі ВЛ-80К, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна пропонує застосувати систему запобіжної сигналізації за власним патентом України [8]. Сигналізування про зростання температури з'єднань електричних кіл вище за визначену

ЕКОЛОГІЯ ТА ПРОМИСЛОВА БЕЗПЕКА

критичну величину, дозволяє попередити випадки пожеж, які є найбільш масовими на локомотивах українських залізниць.

Наукова новизна та практична значимість

Для попередження руйнування контактних затискачів й виникнення пожежі на локомотивах на ранніх стадіях розвитку несправностей, автор цієї роботи уперше пропонує впровадити додаткові сигнальні й контрольні системи.

Проведені дослідження дозволяють рекомендувати у регламентні роботи з технічного діагностування тягового рухомого складу, для продовження строку його експлуатації [9, 10], одноразово внести додаткові роботи з діагностування температурного стану контакторної й резисторної груп. Указані заходи допоможуть попередити передчасний вихід локомотивів із ладу, а також виникнення пожеж.

Висновки

1. У роботі проведено теоретичний, нормативно-технічний, візуальний, металографічний, мікроструктурний, мікрорентгеноспектральний, спектральний та рентгеноспектральний аналізи пошкоджених зразків контактних затискачів, а також аналіз стану електричної схеми електровоза на можливість виникнення пожежі.

2. Дослідження хімічного складу зразків показало, що жоден із застосованих у виготовленні контактних затискачів сплавів не відповідає вимогам технічної документації.

3. Мікроструктурний і мікрорентгеноспектральний аналізи дозволили ідентифікувати структурні складові сплавів і виявити значну забрудненість розтрісканого сплаву шкідливими домішками (свинцем, сіркою, киснем) і великими (до 10 мкм) глобулярними залізо-кремнієвими включеннями, що містять кисень.

4. Невідповідність хімічного складу контактних затискачів технічній конструкторській документації може спричинити як незаплановане спрацювання блоку диференційних реле БРД на відключення струму в процесі експлуатації електровозів, що може створити аварійну ситуацію на залізничному транспорті, так і стати причиною виникнення пожежі на електровозах. Усе вищезгадане напряму впливає на безпеку руху поїздів, у випадку невідповідності чинним нормам якості може стати причиною як техногенної аварії, так і загибелі людей на транспорті. Тому система захисту електричних ланцюгів тягового рухомого складу, запропонована й запатентована ДНУЗТ, відповідає нагальним технічним потребам залізничного транспорту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Горобець, В. Л. Дослідження причин виникнення пожеж на локомотивах / В. Л. Горобець, В. В. Коваленко // Заліз. трансп. України. – 2018. – № 4. – С. 52–58.
2. Горобець, В. Л. Дослідження причин передчасного руйнування колінчастого вала тепловоза 2ТЕ 116 / В. Л. Горобець, В. В. Коваленко // Наука та прогрес транспорту. – 2018. – № 4 (76). – С. 101–110. doi: 10.15802/stp2018/141140
3. Горобець, В. Л. Система защиты подвижного состава от пожаров / В. Л. Горобець, В. В. Коваленко. – Локомотив-інформ. – 2018. – № 12. – С. 21–23.
4. ГОСТ 15527-2004. Сплавы медно-цинковые (латуни), обрабатываемые давлением. Марки [Електронний ресурс]. – Введ. 2005–07–01. – Режим доступу: <http://docs.cntd.ru/document/1200037477> – Назва з екрана. – Перевірено : 24.01.2019.
5. Захаров, А. М. Диаграммы состояния двойных и тройных систем : учеб. пособие для вузов / А. М. Захаров. – Москва : Металлургия, 1990. – 240 с.
6. Лахтин, Ю. М. Металловедение и термическая обработка / Ю. М. Лахтин. – Москва : Машиностроение, 1983. – 359 с.
7. Лившиц, Б. Г. Металлография : учебник для вузов / Б. Г. Лившиц. – Москва : Металлургия, 1990. – 336 с.
8. Пат. Україна, МПК G 08 В 17/10. Система захисту електричних ланцюгів тягового рухомого складу / Коваленко В. В., Горобець В. Л., Заяць Ю. Л., Ткаченко Є. В. ; заявник та патентовласник Дніпропетр.

ЕКОЛОГІЯ ТА ПРОМИСЛОВА БЕЗПЕКА

- нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – № u201605128 ; заявл. 11.05.2016 ; опубл. 26.12.2016, Бюл. № 24. – 5 с.
9. Положення про планово-попереджувальну систему ремонту і технічного обслуговування тягового рухомого складу (електровозів, тепловозів, електро та дизель-поїздів) : Наказ М-ва трансп. та зв'язку України від 30.06.2010 № 093. – Київ : Укрзалізниця, 2010. – 25 с.
 10. Электровоз ВЛ80к. Руководство по эксплуатации. – Москва : Транспорт, 1978. – 432 с.
 11. Мельник, В. Что дадут Украине американские тепловозы [Электронный ресурс] / В. Мельник // Бизнес цензор. – 2018. – Режим доступа: <https://biz.censor.net.ua/r3044084> – Назва з екрана. – Переверіено : 24.01.2019.
 12. A critical assessment of surface texturing for friction and wear improvement / C. Gachot, A. Rosenkranz, S. M. Hsu, H. L. Costa // *Wear*. – 2017. – Vol. 372–373. – P. 21–41. doi: 10.1016/j.wear.2016.11.020
 13. An experimental study of the load and heat influence from combustion on enginefriction / H. Allmaier, C. Knauder, S. Salhofer, F. M. Reich, E. Schalk, H. Ofner, A. Wagner // *International Journal of Engine Research*. – 2015. – Vol. 17. – Iss. 3. – P. 347–353. doi: 10.1177/1468087415579784
 14. Priebisch, H. H. Simulation of the Oil Film Behaviour in Elastic Engine Bearings Considering Pressure and Temperature Dependent Oil Viscosity / H. H. Priebisch, J. Krasser // *Tribology Series*. – 1997. – Vol. 32. – P. 651–659. doi: 10.1016/S0167-8922(08)70490-5
 15. Wong, V. W. Overview of automotive engine friction and reduction trends – Effects of surface, material, and lubricant-additive technologies / V. W. Wong, S. C. Tung // *Friction*. – 2016. – Vol. 4. – Iss. 1. – P. 1–28. doi: 10.1007/s40544-016-0107-9
 16. Zammit, J.-P. Thermal coupling and energy flows between coolant, engine structure and lubricating oil during engine warm up / J.-P. Zammit, P. J. Shayler, I. Pegg // *Vehicle Thermal Management Systems Conference and Exhibition (VTMS10)*. – Sawston : Woodhead Publishing, 2011. – P. 177–188. doi: 10.1533/9780857095053.3.177

В. В. КОВАЛЕНКО^{1*}

^{1*}Каф. «Безопасность жизнедеятельности», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел. +38 (050) 489 07 72, эл. почта kovaenkovv@upp.diiit.edu.ua, ORCID 0000-0002-1196-7730

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА КОНСТРУКЦИЙ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЦЕПЕЙ НА ВОЗНИКНОВЕНИЕ ПОЖАРОВ НА ЛОКОМОТИВАХ

Цель. Работа направлена на выявление влияния несоответствия химического состава конструкций высоковольтных кругов на механизм возникновения пожара на локомотиве ВЛ-80к. **Методика.** Во время исследования образцов материалов контактных зажимов применены макро- и микроструктурный, фрактографический, аналитический анализы. **Результаты.** Аналитический анализ деталей позволил выявить первичные причины возгорания трансформаторного масла и последующего полного выгорания секции электровоза. Установлено, что разрушенные контактные зажимы имели такой химический состав, который не соответствует конструкторско-технической документации. Образованная при разрушении зажимов контактов дуга между краями макротрещин не привела к отключению основного высоковольтного реле, а вследствие большой мощности способствовала возгоранию большого объема трансформаторного масла, которое находилось снизу зажимов контактов. Такое возгорание может также возникнуть вследствие ослабления от вибрации соединений силовой цепи локомотива. Предупредить подобные случаи возгорания можно с помощью идентификации критических температур нагрева контактов высоковольтной камеры, контакторной и резисторной групп для немедленного укрепления или замены соединения. **Научная новизна.** В работе применен комплексный аналитический и технический подход к выявлению причин возникновения пожара на электровозе ВЛ-80к. Оценен типичный механизм возникновения пожара и максимальное количество факторов, которые могли повлиять на преждевременное разрушение зажимов

ЕКОЛОГІЯ ТА ПРОМИСЛОВА БЕЗПЕКА

контактів. Показано, що сукупність факторів, які негативно впливали на експлуатаційні характеристики зажимів контактів, одночасно досягла так званої «критичної маси» в результаті нагріву вказаних дефектних деталей. Введення додаткових факторів сигналізації про надмірний нагрів досліджуваних і інших важливих деталей і конструкцій локомотивів дозволить попередити виникнення пожег, своєчасно ідентифікувати невідповідність хімічного складу деталей конструкторсько-технічної документації, а також виявляти зазори в з'єднаннях електричних цепей, виниклих або внаслідок недостатньої затяжки, або ослаблення з'єднань в процесі вібрації во время руху локомотивів. **Практична значимість.** Предложена додаткова сигналізація буде сприяти збереженню не тільки парку локомотивів ОАО «Укрзалізниця», но і життя і здоров'я працівників локомотивних бригад.

Ключові слова: електровоз ВЛ-80к; зажими контактів; трансформаторне масло; преждевременное разрушение; пожега; хімічний склад; шкідливі домішки

V. V. KOVALENKO^{1*}

^{1*}Dep. «Life Safety», Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (050) 489 07 72, e-mail kovalenkovv@upp.diit.edu.ua, ORCID 0000-0002-1196-7730

INFLUENCE RESEARCH OF CHEMICAL COMPOSITION OF HIGH-VOLTAGE CIRCUIT DESIGNS ON THE FIRE BREAK-OUT AT THE LOCOMOTIVES

Purpose. The work is aimed at identifying the influence of the incompatibility of chemical composition of the high-voltage circuits designs on the mechanism of fire break-out at the VL-80k locomotive. **Methodology.** Macro- and microstructural, fractographic, analytical analyses were applied during the research of the samples of contact clamps materials. **Findings.** Analytical analysis of the parts of electric locomotive made it possible to identify the primary causes of circuit-breaker oil ignition followed by a complete burnout of the locomotive section. It was established that the destroyed contact clamps had a chemical composition that does not meet the requirements of design and technical documentation. The arc formed between the edges of macro-cracks during the destruction of the contact clamps did not lead to the disconnection of the main high-voltage relay, and due to the high power contributed to the ignition of a large amount of circuit-breaker oil, which was located below the contact clamps. Such ignition may also occur as a result of the weakening of the locomotive power circuit caused by the vibration. One can prevent such cases of ignition by identifying critical heating temperatures of the contacts of high-voltage cabinet, contactor and resistor groups to immediately strengthen or replace the connection. **Originality.** A comprehensive analytical and technical approach was applied in identifying the causes of fire at the VL-80k electric locomotive. A typical fire break-out mechanism and a maximum number of factors that could affect the premature destruction of the contact clamps were investigated. It is shown that a set of factors that negatively affected the performance characteristics of the contact clamps, simultaneously reached the so-called "critical mass" as a result of heating of these defective parts. The introduction of additional signaling factors for supercritical heating of the investigated and other important parts and designs of locomotives will prevent fires at the locomotives. It will help timely to identify the inconsistency of the chemical composition of the parts of the design and technical documentation, as well as to find out the gaps in the electrical connections that were formed either due to the insufficient tightening, or due to the weakening of connections in the process of vibration during the movement of locomotives. **Practical value.** The proposed additional signaling will contribute not only to the preservation of the locomotive fleet of Ukrzaliznytsia OJSC, but also to the rescue of locomotive brigades.

Keywords: electric locomotive VL-80k; contact clamps; circuit-breaker oil; premature destruction; fire; chemical composition; harmful impurities

REFERENCES

1. Horobets, V. L., & Kovalenko, V. V. (2018). Doslidzhennia prychnyn vynyknennia pozhezh na lokomotyvakh. *Zaliznychnyi transport Ukrainy*, 4, 52-58. (in Ukrainian)
2. Horobets, V. L., & Kovalenko, V. V. (2018). Investigation of premature destruction causes of locomotive

ЕКОЛОГІЯ ТА ПРОМИСЛОВА БЕЗПЕКА

- 2TE116 crankshaft. *Science and Transport Progress*, 4(76), 101-110. doi: 10.15802/stp2018/141140 (in Ukrainian)
3. Gorobets, V. L., & Kovalenko, V. V. (2018). Sistema zashchity podvizhnogo sostava ot pozharov. *Lokomotyv-inform*, 12, 12-14. (in Russian)
 4. Pressure treated copper zinc alloys (brasses). Grades. GOST 15527-2004. Retrieved from <http://docs.cntd.ru/document/1200037477> (in Russian)
 5. Zakharov, A. M. (1990). *Diagrammy sostoyaniya dvoynykh i troynykh sistem: uchebnoe posobie dlya vuzov*. Moscow: Metallurgiya. (in Russian)
 6. Lakhtin, Y. M. (1983). *Metallovedenie i termicheskaya obrabotka*. Moscow: Mashinostrenie. (in Russian)
 7. Livshits, B. G. (1990). *Metallografiya: uchebnyk dlya vuzov*. Moscow: Metallurgiya. (in Russian)
 8. Kovalenko, V. V., Horobets, V. L., Zaiats, Y. L., & Tkachenko, Y. V. (2016). *UA Patent No. 112526*. Kyiv: Ukrainskyi instytut intelektualnoi vlasnosti (Ukrpatent). (in Ukrainian)
 9. *Polozhennia pro planovo-poperedzhuvalnu systemu remontu i tekhnichnoho obsluhovuvannia tiahovoho rukhomoho skladu (elektrovoziv, teplovoziv, elektro ta dyzel-poizdiv)*. № 093. (2010). (in Ukrainian)
 10. *Elektrovoz VL80k. Rukovodstvo po ekspluatatsii*. Moscow: Transport. (in Russian)
 11. Melnik, V. (2018). Chto dadut Ukraine amerikanske teplovozy. *Biznes tsenzor*. Retrieved from <https://biz.censor.net.ua/r3044084> (in Russian)
 12. Gachot, C., Rosenkranz, A., Hsu, S. M., & Costa, H. L. (2017). A critical assessment of surface texturing for friction and wear improvement. *Wear*, 372-373, 21-41. doi: 10.1016/J.WEAR.2016.11.020 (in English)
 13. Allmaier, H., Knauder, C., Salhofer, S., Reich, F., Schalk, E., Ofner, H., & Wagner, A. (2015). An experimental study of the load and heat influence from combustion on engine friction. *International Journal of Engine Research*, 17(3), 347-353. doi: 10.1177/1468087415579784 (in English)
 14. Priebisch, H. H., & Krasser, J. (1997). Simulation of the Oil Film Behaviour in Elastic Engine Bearings Considering Pressure and Temperature Dependent Oil Viscosity. *Tribology Series*, 32, 651-659. doi: 10.1016/s0167-8922(08)70490-5 (in English)
 15. Wong, V. W., & Tung, S. C. (2016). Overview of automotive engine friction and reduction trends – Effects of surface, material, and lubricant-additive technologies. *Friction*, 4(1), 1-28. doi: 10.1007/s40544-016-0107-9 (in English)
 16. Zammit, J.-P., Shayler, P. J., & Pegg, I. (2011). Thermal coupling and energy flows between coolant, engine structure and lubricating oil during engine warm up. In *Vehicle Thermal Management Systems Conference and Exhibition (VTMS10)* (pp. 177-188). Sawston: Woodhead Publishing. doi: 10.1533/9780857095053.3.177 (in English)

Надійшла до редколегії: 12.09.2018

Прийнята до друку: 19.01.2019