

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.148.7>

ПОЖАРНАЯ ОПАСНОСТЬ МИНИ-РЕЛЕ В ХОЛОДИЛЬНИКЕ «INDESIT»

Научная статья

Мокряк А.Ю.¹, Мокряк А.В.²*

¹ORCID : 0000-0001-9857-6435;

²ORCID : 0000-0002-6630-4045;

^{1,2} Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России им. Героя Российской Федерации генерала армии Е.Н. Зиничева, Санкт-Петербург, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (mokryakanna[at]mail.ru)

Аннотация

В современном мире нас окружает множество бытовых электрических приборов. Эти приборы, при определенных условиях эксплуатации, могут представлять пожарную опасность, о чем свидетельствует статистика причин возникновения пожаров. Целью данной работы является выявление признаков аварийных электрических режимов работы электрооборудования после случившегося пожара. Спектр электроприборов, предлагаемых на рынке, огромен, а варианты реализации применяемых в них электрических схем и радиоэлектронных компонентов практически неисчерпаемы. Кроме того, непрерывно происходит модификация как электрических схем, так и конструкции самих бытовых приборов. Все эти обстоятельства создают определенные трудности для пожарно-технического эксперта при выявлении механизма возникновения и развития аварийного режима после пожара. В настоящей статье описаны результаты длительной работы двух образцов миниатюрного реле HF3FA 012-ZTF, установленного в бытовом холодильнике Indesit. Показан механизм возникновения аварийного режима, и последствия, который он может вызвать. Предложены криминалистически значимые признаки, которые могут быть выявлены на токоведущих элементах реле методами сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) и рентгенофлюоресцентного анализа.

Ключевые слова: мини-реле, пожарная опасность, пожарно-техническая экспертиза, плохой контакт, переходное сопротивление, сканирующая электронная микроскопия, рентгенофлюоресцентный анализ.

FIRE HAZARD OF THE MINI-RELAY IN THE "INDESIT" REFRIGERATOR

Research article

Mokryak A.Y.¹, Mokryak A.V.²*

¹ORCID : 0000-0001-9857-6435;

²ORCID : 0000-0002-6630-4045;

^{1,2} St. Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia named after Hero of the Russian Federation, Army General E.N. Zinichev, Saint-Petersburg, Russian Federation

* Corresponding author (mokryakanna[at]mail.ru)

Abstract

In today's world, we are surrounded by many household electrical appliances. These appliances, under certain conditions of operation, can pose a fire hazard, as evidenced by the statistics of the causes of fires. The aim of this work is to identify the signs of emergency electrical modes of operation of electrical equipment after a fire has occurred. The range of electrical appliances offered on the market is huge, and the variants of implementation of electrical circuits and radio-electronic components used in them are practically inexhaustible. In addition, there is a continuous modification of both electrical circuits and the design of household appliances themselves. All these circumstances create certain difficulties for the fire-technical expert in identifying the mechanism of occurrence and development of the emergency mode after the fire. In the present article the results of long-term operation of two samples of the miniature relay HF3FA 012-ZTF, installed in the household refrigerator Indesit, are described. The mechanism of occurrence of the emergency mode is shown, and the consequences it can cause. Forensically significant signs that can be detected on the current-carrying elements of the relay by methods of scanning electron microscopy (SEM) and X-ray fluorescence analysis are proposed.

Keywords: mini-relay, fire hazard, fire technical expertise, loose contact, transient resistance, scanning electron microscopy, X-ray fluorescence analysis.

Введение

Анализ состояния исследуемой проблемы показывает, что мини-реле, как важный компонент бытовых электрических приборов, привлекает внимание как отечественных, так и зарубежных исследователей [1], [2], [3]. В публикациях [4], [5] демонстрируется широкий спектр применения мини-реле в устройствах, где компактность и надежность критически важны. Например, исследования подчеркивают, что мини-реле способны управлять токами до 15 А, что делает их идеальными для использования в современных бытовых приборах, таких как холодильники, стиральные машины и другие устройства, требующие автоматизации управления. Принцип действия электромагнитного реле основан на следующем механизме. По сути, реле – это механический выключатель, при помощи которого осуществляется коммутация, т.е. замыкание и размыкание электрической цепи. Процесс коммутации реализуется за счет движения сердечника в электромагнитной катушке.

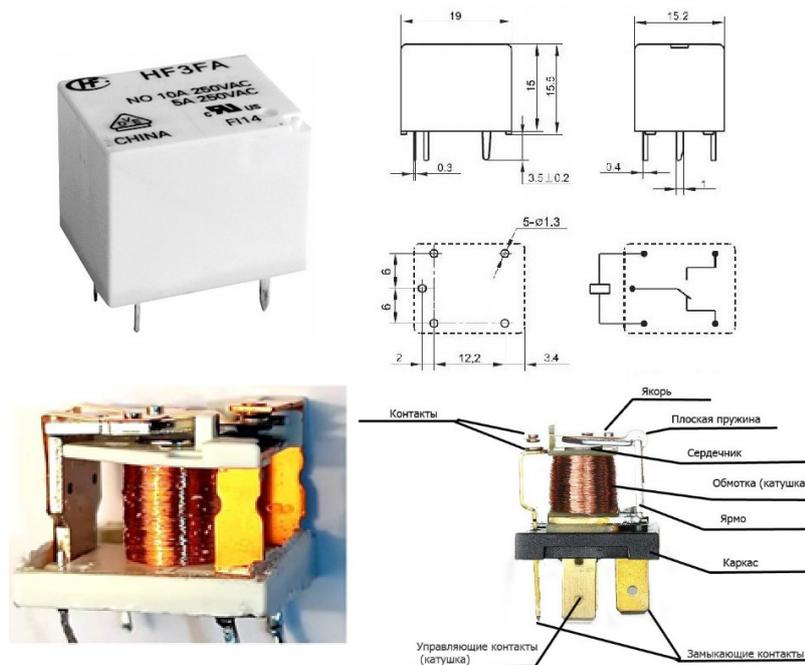


Рисунок 1 - Конструкция мини-реле HF3FA 012-ZTF
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.148.7.1>

Подвергавшиеся исследованию в данной работе мини-реле имеют габаритные размеры 17,6×12,3×10,1 мм и конструктивно состоят из следующих элементов (рис. 1). Управляющие контакты, присоединенные к катушке, а также замыкающие контакты (силовые), посредством которых осуществляется коммутация электроцепи. Внутри пластмассового корпуса реле расположена электромагнитная катушка и контактная группа. Контактная группа представляет собой две пластины с контактными площадками круглой формы диаметров 4 мм.

В отечественной и зарубежной литературе отмечается, что модификации конструкций и электрических схем мини-реле происходят непрерывно [6], [7]. Это создает дополнительные сложности для пожарно-технических экспертов, которые должны выявлять признаки аварийных режимов после происшествий.

Актуальность исследования связана с необходимостью анализа аварийных режимов работы мини-реле и их влияния на безопасность бытовых приборов. Целью исследования является выявление криминалистически значимых признаков для диагностики аварийных режимов работы мини-реле с помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) и рентгенофлуоресцентного анализа.

Методы и принципы исследования

В данной работе, с точки зрения пожарной опасности описаны результаты длительной работы двух образцов миниатюрного реле HF3FA 012-ZTF китайского производителя, установленного в бытовом холодильнике Indesit (рис. 2). Реле установлено на плате управления холодильником в верхней его части. Первое реле проработало непрерывно в течение 30 месяцев, второе реле – 2 месяца.



Рисунок 2 - Холодильник Indesit и управляющая плата, расположенная под верхней крышкой холодильника в лицевой части

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.148.7.2>

Примечание: отмечено установленное на плате реле

После возникновения пожароопасных аварийных режимов работы в реле, они извлекались из печатной платы. Далее осуществлялась их разборка и исследование визуальным способом и методом сканирующей электронной микроскопии.

Морфологический анализ поверхности пластины и контактной площадки реле проводился с использованием сканирующего электронного микроскопа Tescan VEGA\\XMU с вольфрамовым катодом и высоким вакуумом в камере. Условия проведения анализа: ток зонда 2 пА – 40 нА, режим высокого вакуума, ускоряющее напряжение 20 кВ, рабочее расстояние: 27 – 47 мм. Определение элементного состава осуществлялось безазотным рентгенофлуоресцентным энергодисперсионным детектором X-MAX 80 с площадью кристалла 80 мм². Условия проведения исследования: ток зонда: 2 пА – 40 нА, режим высокого вакуума, ускоряющее напряжение: 20 – 30 кВ.

Основные результаты

3.1. Визуальный осмотр поврежденных реле

Образец №1 представлял собой штатное реле, установленное заводом-изготовителем. Реле функционировало в штатном режиме работы холодильника в течение 60 месяцев. В результате длительной работы произошло «залипание» контактов реле, локальный разогрев и термическая деструкция пластмассового корпуса реле (рис. 3). Непосредственно до возникновения данных процессов признаков нестабильной работы холодильника не наблюдалось. Каких-либо иных признаков, например, запаха горелой изоляции или пластмассы, также не зафиксировано.



Рисунок 3 - Последствия работы реле в течение 30 месяцев
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.148.7.3>

Примечание: образец №1

Дальнейшее развитие и распространение пожароопасной аварийной ситуации происходило за счет нагрева и термической деструкции ПВХ-изоляции проводников, расположенных в непосредственной близости от реле. Это, в свою очередь, привело к возникновению электродугового процесса короткого замыкания между проводниками, питающими плату управления (рис.4).

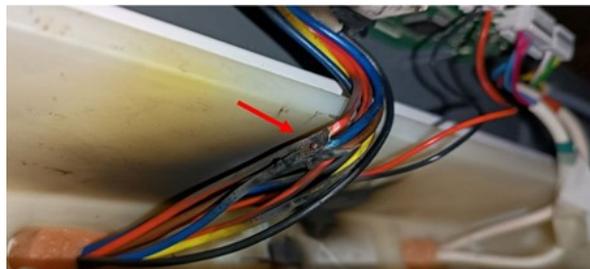


Рисунок 4 - Короткое замыкание между проводниками после нагрева от реле
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.148.7.4>

Примечание: образец №1

Ощущался запах горелой изоляции. Только после этого произошло срабатывание автоматического выключателя, защищавшего электрическую цепь, посредством которой был запитан холодильник. Однако к этому моменту горение вышло за пределы корпуса реле.

Визуально на контактах реле после 30 месяцев работы обнаружены признаки электроэрозии. Также обнаружено локально проплавление контактной пластины на удалении от самого контактного пятка. Вероятно, это повреждение является следствием электродугового процесса короткого замыкания с медными проводниками.

Образец №2 представлял собой реле аналогичной марки, установленное после выхода из строя образца №1. Его работа продлилась в течение 2 месяцев, по прошествии которых возник нестабильный режим работы холодильника – периодически самопроизвольно одновременно отключались холодильная и морозильная камеры без поддержания рабочих температур. Включение камер происходило также самопроизвольно. Это косвенно указывало на проблемы с функционированием управляющей платы и, в частности, реле.

В данном случае контакты не «залипли», но имели плохой контакт, который и влиял на нестабильную работу холодильника. Место контакта и прилегающие к нему участки были покрыты копотью. На внутренней поверхности пластмассового корпуса наблюдалась его локальная карбонизация (рис. 5).

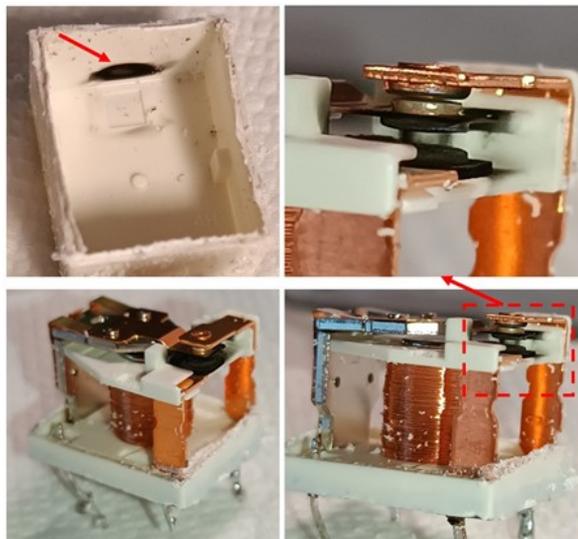


Рисунок 5 - Термические повреждения контактов реле и его корпуса после 2 месяцев эксплуатации
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.148.7.5>

Примечание: образец №2

3.2. Морфологическое исследование методом СЭМ

На рис. 6 представлена поверхность контакта исходного реле не бывшего в эксплуатации. Результаты анализа методом СЭМ образцов реле №№ 1 и 2, приведены на рис. 7, 8. При увеличении 1020 крат (рис. 6) хорошо видны многочисленные дефекты поверхности на контакте реле, которые, вероятно, являются фактором, провоцирующим возникновение плохого контакта [8], [9].

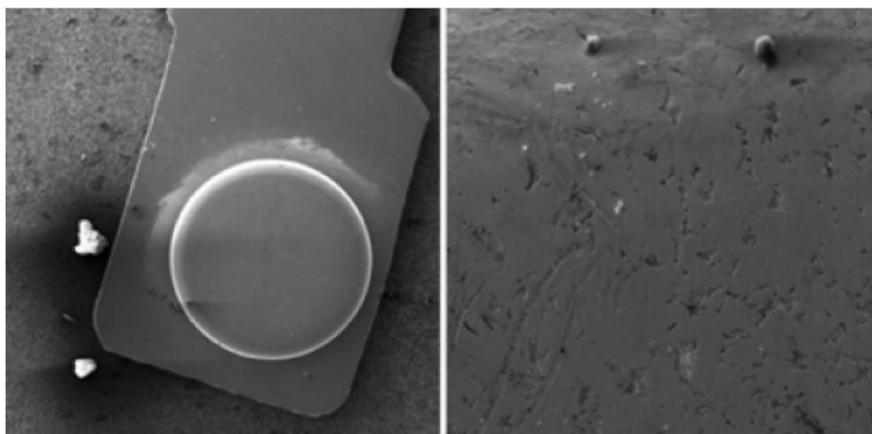


Рисунок 6 - Поверхность контакта исходного реле, СЭМ
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.148.7.6>

Примечание: при увеличении 1020 крат наблюдаются многочисленные дефекты на контакте

На поверхности контактной площадки присутствуют наплывы металла, а также мелкие шарообразные частицы размер которых варьируется в достаточно широком диапазоне – от величин менее 1 до 100 мкм. Наплывы металла на отдельных участках имеют форму в виде разбрызгивания – вытянутые треки. Очевидно, что процесс электроэрозии, возникший при плохом контакте, протекал в так называемом искровом режиме [10], [11].

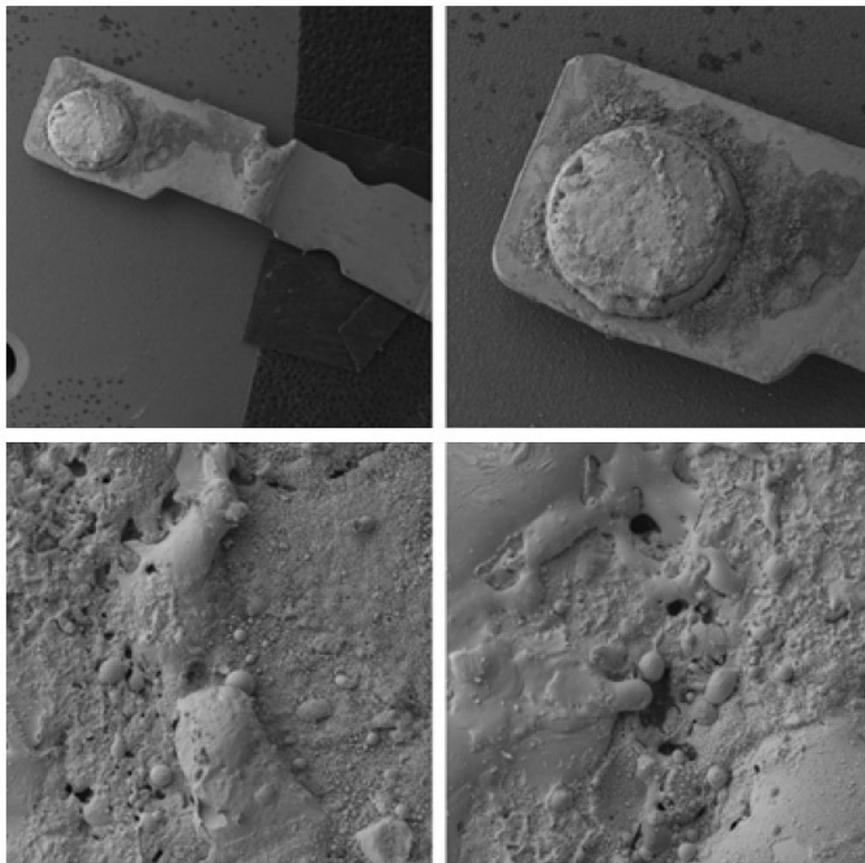


Рисунок 7 - Поверхность контакта реле, СЭМ
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.148.7.7>

Примечание: образец №1

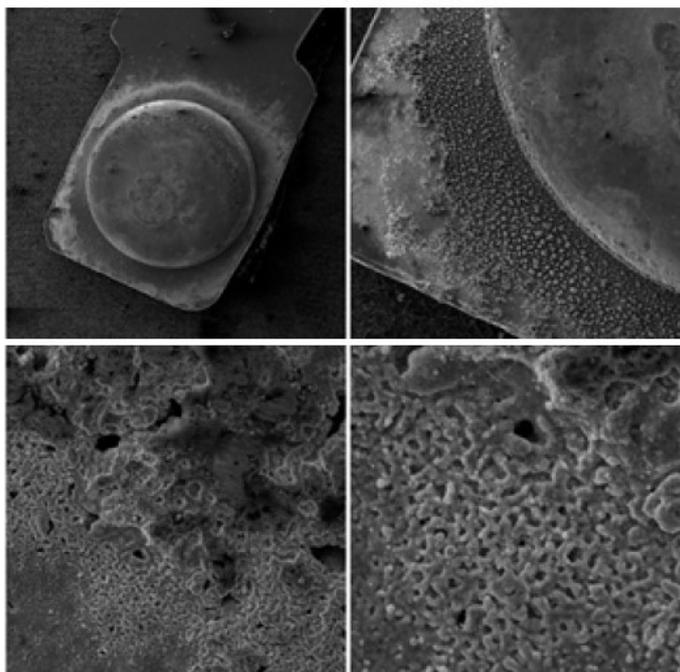


Рисунок 8 - Поверхность контакта реле, СЭМ
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.148.7.8>

Примечание: образец №2

На поверхности образца реле, проработавшего 2 месяца, и как было сказано выше аварийный режим в нем имеет свое развитие на более ранней стадии, обнаружены специфические дефекты контактной площадки (рис. 8). Дефекты при увеличении 5000 крат имеют вермикулярную (червеобразную) форму. Также обнаружены шарообразные частицы размером до 1 мкм.

3.3. Рентгенофлуоресцентный анализ элементного состава

Определение элементного состава контактов реле осуществлялся методом рентгенофлуоресцентного анализа на локальных участках - в точках, показанных на рис. 9 [9], [10].

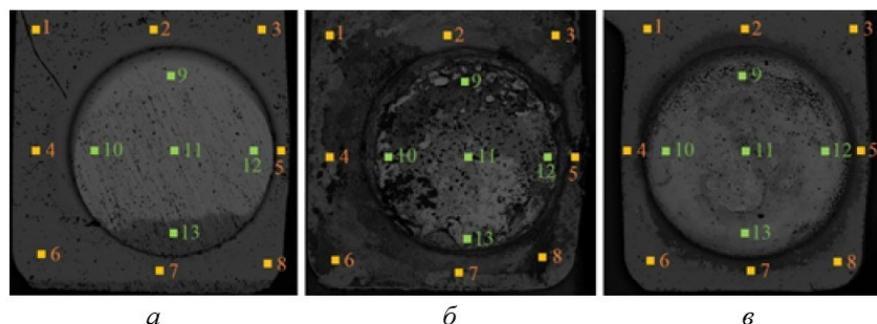


Рисунок 9 - Точки анализа элементного состава контактов реле:
а - исходное; б - образец №1; в - образец №2
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.148.7.9>

В табл. 1 приведены результаты химического анализа рентгенофлуоресцентным методом на различных участках контактов реле.

Таблица 1 - Элементный состав пластины и контактных площадок (круглый контакт) исследуемых образцов реле

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.148.7.10>

Участок	№ участка съемки	Химические элементы и их концентрация, ат.%						
		O	Al	Si	Cu	Ag	In	Sn
Реле исходное (контрольный образец)								
Пластина а	1	1,4	0,2	0,1	98,4	0	0	0
	2	2,3	0,1	0,2	97,3	0	0	0
	3	1,0	0,1	0,2	98,8	0	0	0
	4	12,4	0,3	0,9	86,5	0	0	0
	5	1,7	0,1	0,3	97,9	0	0	0
	6	0,8	0,2	0,2	98,8	0	0	0
	7	2,3	0	1,5	96,2	0	0	0
	8	1,1	0,1	0,2	98,6	0	0	0
	среднее	1,6	0,1	0,2	98	0	0	0
Контакт круглый	9	5,6	0	0,5	0	85,8	3,2	5,0
	10	9,6	0	0,3	0	80,5	3,7	5,9
	11	8,5	0	0,3	0	81,3	3,5	6,4
	12	4,6	0	0,2	0	85,2	4,1	5,9
	13	9,7	0	0,3	0	80,5	3,7	5,9
	среднее	7,6	0	0,3	0	82,7	3,7	5,8
Реле (образец № 1)								
Пластина а	1	4,7	0,9	0,5	87,6	6,3	0	0
	2	2,6	0,3	0,4	88,5	7,2	0	1,0
	3	28,0	3,0	3,0	13,9	52,1	0	0
	4	31,1	2,6	4,0	5,6	49,0	1,4	6,5

	5	29,3	1,9	2,7	54,2	6,7	1,1	4,1
	6	25,2	5,5	4,0	9,0	57,7	1,1	0,0
	7	20,2	1,6	0,9	33,8	38,9	2,5	2,1
	8	6,5	7,5	0,7	64,6	20,7	0,0	0,0
	среднее	18,5	2,9	2,0	44,6	29,8	0,8	1,7
Контакт круглый	9	29,0	1,7	5,1	6,0	48,7	3,7	5,8
	10	19,1	2,6	1,5	5,0	56,9	4,7	10,4
	11	14,9	0,2	0,2	0	66,6	8,6	9,5
	12	20,2	1,7	2,5	3,7	25,8	10,4	35,6
	13	25,7	0,2	0,4	0,7	6,3	36,3	30,3
	среднее	21,8	1,3	1,9	3,1	40,8	13	18
Реле (образец № 2)								
Пластина а	1	1,6	0,0	0,2	97,0	1,1	0	0
	2	4,9	0,4	0,2	56,2	35,9	1,1	1,2
	3	1,9	0,2	0,1	95,7	2,1	0	0
	4	3,9	0,5	0,2	74,9	19,3	0,6	0,6
	5	12,8	0,2	0,3	10,6	66,3	4,3	5,7
	6	1,6	0,1	0,3	96,3	1,7	0	0
	7	6,5	1,5	0,0	55,9	36,1	0	0
	8	1,0	0,2	0,2	98,6	0	0	0
	среднее	4,3	0,4	0,2	73	20,3	0,8	0,9
Контакт круглый	9	10,3	0	0,2	0	76,3	4,4	8,9
	10	11,3	0	0,1	0	78,4	3,5	6,6
	11	10,0	0	0,4	0	72,1	5,0	12,6
	12	11,8	0	0,2	0	75,0	4,2	8,9
	13	11,4	0	0,2	0	67,9	7,2	13,4
	среднее	11,0	0	0,2	0	73,9	4,9	10,1

Как видно из результатов анализа элементного состава, пластина состоит в основном из меди, а контактная площадка выполнена из сплава серебра, индия и олова. Такие сплавы используются для изготовления электроконтактов [11]. На поперечном срезе (рис. 10) хорошо наблюдается структура контакта.

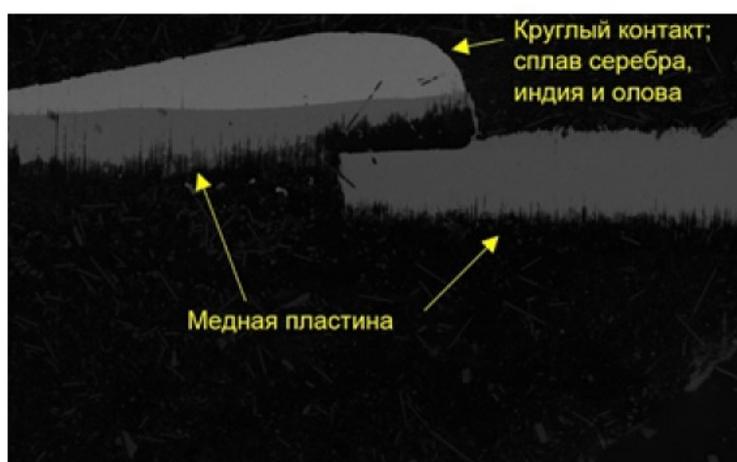


Рисунок 10 - Структура контакта реле на поперечном срезе
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.148.7.11>

Обсуждение

Вызывает интерес тот факт, что при протекании аварийного электрического режима, сопровождающегося искрением при плохом контакте, наблюдается массоперенос отдельных химических элементов из области контактной площадки на медную пластину. В частности, в значительном количестве обнаружено присутствие химических

элементов электроконтакта – серебра (до 78%), индия (до 1,5%) и олова (до 30%) на участке медной пластины, примыкающей к контактной площадке на расстоянии до 1-2 мм. Данные элементы распределены крайне неоднородно. По мере удаления от электроконтакта их концентрация снижается, а на удалении 5 мм они не обнаруживаются вовсе. При этом на контакте реле, не бывшем в эксплуатации, серебро, индий и олово не обнаружены.

На обоих образцах наблюдается окисление участка, примыкающего к контактной площадке, что вызвано локальным разогревом в зоне переходного сопротивления.

В результате проведения экспериментальных исследований образцов миниатюрного реле марки HF3FA 012-ZTF в холодильнике Indesit было установлено следующее.

После 2-х и 30-и месяцев непрерывной работы оба реле вышли из строя вследствие возникновения переходного сопротивления между контактами. Предвестниками поломки реле были периодические отключения функции охлаждения холодильной и морозильной камер. Автоматический выключатель не срабатывал в ходе этого этапа развития аварийного процесса. Оба эти фактора создают потенциальную угрозу возникновения пожара.

Выход из строя реле сопровождался нагревом его пластмассового корпуса с дальнейшим выходом горения за его пределы. Срабатывание автоматического выключателя произошло после термической деструкции изоляции проводников, питающих управляющую плату.

На контактах реле методом СЭМ обнаружены признаки БПС в виде шарообразных частиц размер которых варьировался в достаточно широком диапазоне – от величин менее 1 до 100 мкм. Также на контактной площадке при увеличенных до 5000 крат обнаружены дефекты вермикулярной формы.

На участке контактной пластины, примыкающей к контакту на расстоянии до 1-2 мм, обнаружены признаки массопереноса химических элементов, из которых выполнен электроконтакт – в наибольшей степени серебра (до 78%), в меньшей индия и олова. Участок, примыкающий к контактной площадке, локально разогревается, что находит свое отражение в его повышенном окислении.

Первопричиной пожароопасного повышения сопротивления контакта, наиболее вероятно, является наличием многочисленных дефектов поверхности контактной площадки. Дальнейшее развитие аварийного процесса протекает за счет окисления контакта.

Заключение

В заключение следует отметить, что проведенные экспериментальные исследования мини-реле HF3FA 012-ZTF, установленных в холодильнике Indesit, выявили критические аспекты, связанные с его эксплуатацией и потенциальной пожарной опасностью. Наблюдения показали, что при аварийном режиме работы, сопровождающемся искрением из-за плохого контакта, происходит массоперенос химических элементов, таких как серебро, индий и олово, с контактной площадки на медную пластину. Это указывает на серьезные изменения в структуре и свойствах материалов, что может значительно ухудшить надежность работы реле.

Кроме того, окисление участка, примыкающего к контактной площадке, вызванное локальным разогревом, свидетельствует о наличии переходного сопротивления, что является предвестником поломки. Обнаруженные признаки термической деструкции изоляции проводников подчеркивают необходимость более внимательного контроля за состоянием реле в процессе эксплуатации.

Выход реле из строя после 2-х и 30-и месяцев работы, а также отсутствие срабатывания автоматического выключателя в критических ситуациях, создают серьезные риски возникновения пожара. Наличие дефектов на поверхности контактной площадки является первопричиной повышения сопротивления, что требует дальнейшего изучения и разработки методов диагностики и профилактики подобных неисправностей.

Полученные в данной работе результаты могут быть использованы при проведении пожарно-технических исследований в ходе анализа электротехнической версии причины пожара.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Гончаренко В.С. Пожары и пожарная безопасность в 2022 году / В.С. Гончаренко, Т.А. Чечетина, В.И. Сибирко [и др.]. — М.: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2023. — 80 с.
2. Релейная защита и противоаварийная автоматика технические, данные реле РУ 21, РУ 21-1. — URL: <https://www.elaparat.ru/tekhnicheskiye-dannyye-ru-21-ru-21-1> (дата обращения: 13.05.2024).
3. Электромагнитные реле. — URL: <https://clck.ru/3DzWcd> (дата обращения: 13.05.2024).
4. Yang W. Research of Trace Analysis and Investigation Method for Refrigerator-caused Fire / W. Yang, S. Ling, M.O. Shanjun [et al.] // Procedia Engineering. — 2013. — Vol. 52. — P. 526–531.
5. Huang Y. Brief Discussion on Determination Method of Refrigerator Compressor Malfunction Caused Fire / Y. Huang // Technology Forum. — 2010. — № 23. — P. 159.
6. Lee J. A Study on the Fire Cause of Expanding Burning Fire Analysis and Kimchi Refrigerator / J. Lee, J.H. Choi, D.M. Choi // Korean Society of Hazard Mitigation. — 2016. — № 16. — P. 229–235.

7. Чешко И.Д. Экспертное исследование после пожара контактных узлов электрооборудования в целях выявления признаков больших переходных сопротивлений. Метод. рекомендации / И.Д. Чешко, К.Б. Лебедев, А.Ю. Мокряк. — М.: ВНИИПО, 2008. — 60 с.
8. Мокряк А.Ю. Металлографические и морфологические исследования металлических объектов судебной пожарно-технической экспертизы: учебное пособие / А.Ю. Мокряк, И.Д. Чешко, Ю.Н. Бельшина; под общ. ред. Э.Н. Чижикова. — СПб: Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2016. — 160 с.
9. Чешко И.Д. Возможности применения сканирующей электронной микроскопии с рентгеноспектральным микроанализом при решении задач судебной пожарно-технической экспертизы / И.Д. Чешко, М.Ю. Принцева, А.Ю. Мокряк [и др.] // Расследование пожаров. Сборник статей. — Санкт-Петербург, 2016. — С. 84–92.
10. Рид С.Дж.Б. Электронно-зондовый микроанализ и растровая электронная микроскопия / С.Дж.Б. Рид // Техносфера. — 2008. — 232 с.
11. Пат. 2 539 896 Российская Федерация. МПК C22C 5/06 C22F 1/14 H01H 1/0237. Способ получения легированного оксидом индия серебрено-оловооксидного материала для электроконтактов / Денисова Л.Т. Денисов В.М. — № 2013151250/02; заявл. 18.11.13; опубл. 27.01.15, Бюл. № 3.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Goncharenko V.S. Pozhary i pozharnaja bezopasnost' v 2022 godu: infor.-analitich. sb. [Fires and fire safety in 2022: info-analytical collection] / V.S. Goncharenko, T.A. Chechetina, V.I. Sibirko [et al.]. — М.: FSBI VNIPO EMERCOM of Russia, 2023. — 80 p. [in Russian]
2. Relejnaja zashhita i protivovarijnaja avtomatika tehicheskie, dannye rele RU 21, RU 21-1 [Relay protection and emergency automation technical, data of relays RU 21, RU 21-1]. — URL: <https://www.elaparat.ru/tehnicheskiye-dannyye-ru-21-ru-21-1> (accessed: 13.05.2024). [in Russian]
3. Jelektromagnitnye rele [Electromagnetic relays]. — URL: <https://clck.ru/3DzWcd> (accessed: 13.05.2024). [in Russian]
4. Yang W. Research of Trace Analysis and Investigation Method for Refrigerator-caused Fire / W. Yang, S. Ling, M.O. Shanjun [et al.] // Procedia Engineering. — 2013. — Vol. 52. — P. 526–531.
5. Huang Y. Brief Discussion on Determination Method of Refrigerator Compressor Malfunction Caused Fire / Y. Huang // Technology Forum. — 2010. — № 23. — P. 159.
6. Lee J. A Study on the Fire Cause of Expanding Burning Fire Analysis and Kimchi Refrigerator / J. Lee, J.H. Choi, D.M. Choi // Korean Society of Hazard Mitigation. — 2016. — № 16. — P. 229–235.
7. Cheshko I.D. Jekspertnoe issledovanie posle pozhara kontaktnyh uzlov jelektrooborudovaniya v celjah vyjavlenija priznakov bol'shih perehodnyh soprotivlenij. Metod. rekomendacii [Expert examination after fire of contact knots of electrical equipment in order to reveal signs of large transient resistances. Method. recommendations] / I.D. Cheshko, K.B. Lebedev, A.Yu. Mokryak. — Moscow: VNIPO, 2008. — 60 p. [in Russian]
8. Mokryak A.Y. Metallograficheskie i morfologicheskie issledovaniya metallicheskih ob'ektov sudebnoj pozharno-tehnicheskoy jekspertizy: uchebnoe posobie [Metallographic and morphological studies of metal objects of forensic fire technical expertise: textbook] / A.Y. Mokryak, I.D. Cheshko, Y.N. Belshina; ed. by E.N. Chizhikov. — SPb: St. Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2016. — 160 p. [in Russian]
9. Cheshko I.D. Vozmozhnosti primenenija skanirujushhej jelektronnoj mikroskopii s rentgenospektral'nym mikroanalizom pri reshenii zadach sudebnoj pozharno-tehnicheskoy jekspertizy [Possibilities of application of scanning electron microscopy with X-ray microanalysis in solving problems of forensic fire technical expertise] / I.D. Chesko, M.Y. Printseva, A.Y. Mokryak [et al.] // Rassledovanie pozharov. Sbornik statej [Investigation of fires. Collection of articles]. — St. Petersburg, 2016. — P. 84–92. [in Russian]
10. Reed S.J.B. Jelektronno-zondovyj mikroanaliz i rastrovaja jelektronnaja mikroskopija [Electron probe microanalysis and scanning electron microscopy] / S.J.B. Reed // Tehnosfera [Technosphere]. — 2008. — 232 p. [in Russian]
11. Pat. 2 539 896 Russian Federation. МПК C22C 5/06 C22F 1/14 H01H 1/0237. Sposob poluchenija legirovannogo oksidom indija serebrjano-olovoooksidnogo materiala dlja jelektrokontaktov [Method of obtaining indium oxide-doped silver-tin oxide material for electrical contacts] / Denisova L.T. Denisov V.M. — № 2013151250/02; appl. 18.11.13; publ. 27.01.15, Bul. Number. № 3. [in Russian]