

Ж.В. Самохвалова, В.Н. Самохвалов

МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЕ ПРЕССОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ МНОГОПРОВОЛОЧНЫХ ПРОВОДОВ

Розглянуто метод створення потужнострумів електричних з'єднань багатодротяних проводів при пресуванні затискачів імпульсним магнітним полем. Представлені результати чисельного моделювання та експериментальних досліджень процесу складання стикових з'єднань монометалевих, біметалевих та комбінованих проводів, в тому числі при отриманні перехідних з'єднань алюміній-мідь. Викладено результати теплових та електричних випробувань з'єднань. Бібл. 9, рис. 6.

Ключові слова: магнітно-імпульсна збірка, з'єднання багатодротяних проводів, чисельне моделювання, електричні випробування.

Рассмотрен метод создания сильноточных электрических соединений многопроводных проводов при прессовании зажимов импульсным магнитным полем. Представлены результаты численного моделирования и экспериментальных исследований процесса сборки стыковых соединений монометаллических, биметаллических и комбинированных проводов, в том числе при получении переходных соединений алюминий-медь. Изложены результаты тепловых и электрических испытаний соединений. Библ. 9, рис. 6.

Ключевые слова: магнитно-импульсная сборка, соединение многопроводных проводов, численное моделирование, электрические испытания.

Постановка проблемы. Приведенный в монографии [1] анализ количества нарушений по видам технических устройств и элементов контактной сети электрифицированных железных дорог «ОАО РЖД» за период с 2003 по 2010 гг. показывает, что по частоте отказов провода и зажимы занимают первое и третье место среди всех видов устройств контактной сети (около 40 % всех отказов, не обусловленных внешними причинами). Нагрев в зажимах электрических соединителей, усталость в узлах крепления, разупрочнение от короткого замыкания являются основными причинами отказов. Большая доля таких повреждений обусловлена недопустимым превышением температуры и пережогом многопроводных проводов в плашечно-болтовых соединительных узлах. Для решения этой проблемы применяются прессуемые зажимы. Прессуемые зажимы электрических соединительных узлов прочны, легки, экономичны, не требуют обслуживания, имеют не снижающееся качество получаемых токоведущих соединений, устойчивы к коррозии и воздействию токов короткого замыкания.

Анализ последних исследований и публикаций. Механическое прессование зажимов осуществляется с применением переносных гидравлических прессов методами местного вдавливания, а также сплошного или комбинированного обжатия круглыми или шестигранными матрицами. Однако при этом происходит неравномерный обжим повивов многопроводного провода по его сечению. Для повышения эксплуатационной надежности соединений многопроводных медных проводов с наконечниками в электротехнической и авиационной промышленности используется метод магнитно-импульсного прессования соединений [2-4]. Соединение выполняется в процессе высокоскоростного обжима наконечника на многопроводный провод. При пропускании импульса тока через индуктор возбуждается переменное магнитное поле, которое индуцирует в скин-слое

материала наконечника вихревые токи. При взаимодействии вихревого тока с магнитным полем индуктора возникают силы, вызывающие пластическое деформирование оболочки наконечника. Этот метод может быть применен в электрическом транспорте и в системах электроснабжения железных дорог для стыкового соединения медных, алюминиевых, биметаллических и комбинированных проводов или напрессовки наконечников.

В отличие от механического прессования зажимов, при воздействии импульсного магнитного поля цилиндрическая часть соединительной втулки или наконечника деформируется равномерно по окружности, обеспечивая ее электрический контакт по всей жиле внешнего повива провода. В результате высокой скорости соударения соединяемых элементов, а также поверхностного нагрева соединителей вихревыми токами и их последующего охлаждения возникают дополнительные сжимающие напряжения, улучшающие качество соединения втулки и многопроводного провода.

Цель работы – исследование особенностей протекания процесса образования стыковых соединений многопроводных проводов из различных материалов, в том числе разнородных, определение оптимальных параметров магнитно-импульсного нагружения, обеспечивающих высокую эксплуатационную надежность электрических соединительных узлов.

Экспериментальное исследование соединений многопроводных проводов. При магнитно-импульсном прессовании параметры соединений многопроводных проводов определяются как исходными размерами соединительной втулки, так и пространственно-временными характеристиками импульса давления магнитного поля в процессе образования соединения. Рабочим инструментом, определяющим эпору давления при магнитно-импульсной сборке, является индуктор. В экспериментах использовались

многовитковые индукторы со сменными концентраторами магнитного поля [5]. Рабочее отверстие в концентраторах магнитного поля было выполнено под втулки диаметром от 16 до 28 мм, что позволило охватить весь типоразмер выбранных многопроволочных проводов. Ширина рабочей зоны концентратора варьировалась от 6 до 15 мм. Это позволило изменять зону действия импульсного давления магнитного поля, а также дополнительно варьировать значением удельной энергии заряда магнитно-импульсной установки при получении соединений проводов. Варьируемыми параметрами были длина и толщина стенки соединительной втулки. Диаметр втулки и минимальная толщина ее стенки в этом случае задавались из условий: площадь сечения втулки не менее площади сечения провода; прочность втулки на разрыв не ниже разрывного усилия провода.

Экспериментальное исследование процесса сборки соединения проводов проводилось на магнитно-импульсной установке МИУ-30 (производство Харьковского политехнического института). Собственная индуктивность установки $L = 0,004$ мкГн, емкость конденсаторных батарей $C = 168$ мкФ, максимальное напряжение заряда конденсаторов $U = 19$ кВ, максимальная энергия заряда $W = 30,3$ кДж.

Металлографические исследования поперечных разрезов соединений многопроволочных проводов, полученных на шлифовально-полировальном станке Grifo IV, проводились с использованием оптического микроскопа МЕТАМ ЛВ-71, оснащенного цифровой фотокамерой, связанной с компьютером, использующей систему анализа изображений IMEGE Expert Pro3. Исследования макрошлифов полученных соединений показали, что при магнитно-импульсном прессовании, вследствие высокоскоростного соударения, сильно деформируется внутренняя поверхность соединительной втулки (наконечника). Это приводит к увеличению площади контакта втулки и провода в соединении по сравнению с обжатием гидравлическими прессами и, следовательно, уменьшению переходного электрического сопротивления.

Поперечные разрезы соединений проводов, полученных при оптимальном значении удельной энергии, показали, что в соединении имеет место контакт проволок провода практически по всей их поверхности (рис. 1).

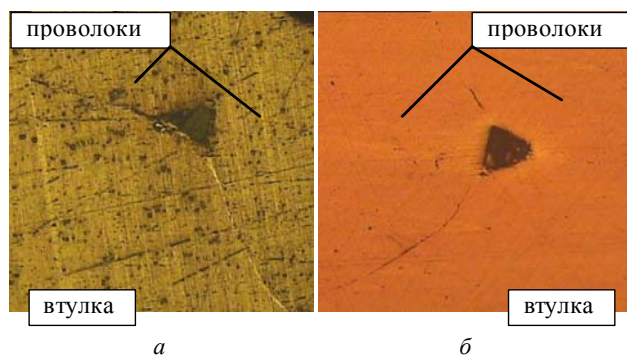


Рис. 1. Вид контакта проводов и соединительной втулки при магнитно-импульсном прессовании соединения:
а) алюминиевый провод и алюминиевая втулка;
б) медный провод и медная втулка

Окислы и грязь вытесняются в малые локальные зоны между проволоками, проволоками и втулкой, возникает контакт ювенильных поверхностей.

Состояние границ между отдельными проволоками, а также между проволоками и втулкой в соединении зависит, главным образом, от удельной энергии заряда МИУ и начального зазора между внешним слоем проволок и внутренней поверхностью соединительной втулки, определяющих скорость соударения втулки с проводом.

При получении переходных соединений алюминиевых и медных многопроволочных проводов выявлены принципиальные различия процесса образования соединения медного провода М-120 с втулкой из алюминия А0 и алюминиевого провода А-185 с втулкой из меди М1. В первом случае площадь контакта втулки с внешним повивом провода значительно больше, чем в соединении алюминиевого провода А-185 с медной втулкой. Это обусловлено «затеканием» материала мягкой алюминиевой втулки между медными проволоками, вследствие действия эффекта высокоскоростного соударения. Во втором случае более прочная медная втулка сильно сминает алюминиевые проволоки, но в обоих случаях обеспечивается высокая степень герметичности соединения (рис. 2).



Рис. 2. Переходное соединение «медь-алюминий»:
а) медный провод и алюминиевая втулка,
б) алюминиевый провод и медная втулка

Численное моделирование процесса магнитно-импульсного прессования соединений. Для изучения основных закономерностей процесса получения электрических соединений импульсным магнитным полем были взяты представители основных видов многопроволочных проводов систем электроснабжения железных дорог и линий электропередачи. Это медный несущий трос М-120 и алюминиевый вспомогательный провод А-185; сталеалюминий биметаллический провод ПБСМ-95 (несущий трос цепных подвесок, электротяговые соединители, перемычки дроссель-трансформаторов и др.) и сталеалюминевый комбинированный провод АС-50/8 (подвес на воздушных линиях электропередачи). Материалы соединительных втулок медь М1 и алюминий А0.

Для численного моделирования и исследования процесса магнитно-импульсной сборки соединений многопроволочных проводов с использованием соединительных втулок был использован программный пакет CRUG24, разработанный для расчета ударных взаимодействий [6]. По методике аналогичной [3, 4], в двумерной постановке рассматривалась задача о деформировании системы цилиндрических тел, заключенных в круговую оболочку (соединительную втулку или наконечник). Вокруг оболочки расположен

индуктор импульсного магнитного поля. Соединение выполняется в процессе высокоскоростного обжима трубчатого соединителя или наконечника на многопроволочный провод давлением импульсного магнитного поля. Решение данной задачи осуществлялось численно, методом конечных разностей. Визуальное отображение процесса позволило контролировать расчет, оценивать параметры и особенности взаимодействия втулки и проволок провода.

Для каждого из элементов разработанной расчетной модели задавались его индивидуальные физико-механические свойства. Например, при численном моделировании процесса магнитно-импульсной сборки соединения сталебронзовых проводов ПБСМ-95 внутри каждой проволоки выделялись сеточные области стального сердечника и ее медной оболочки. При численном моделировании процесса сборки соединений сталеалюминевых проводов АС-50/8 давлением импульсного магнитного поля, задавались различные характеристики материала центральной стальной жилы провода и его внешних алюминиевых проволок.

При численном моделировании исследовались особенности образования соединений:

а) «медь-медь» – соединение провода М-120 или ПБСМ-95 с медной соединительной втулкой (или наконечником);

б) «алюминий-алюминий» – соединение провода А-185 или АС-50/8 с алюминиевой соединительной втулкой;

в) переходных соединений «медь-алюминий» – провод М-120 с алюминиевой втулкой, провод А-185 с медной втулкой.

При численном моделировании процессов сборки, как и при проведении экспериментальных исследований, варьировалась энергия заряда магнитно-импульсной установки и толщина стенки соединительной втулки. Моделирование процесса сборки соединения проводов проводилось с использованием в расчетах параметров магнитно-импульсной установки МИУ-30, которая использовалась при проведении натуральных экспериментов.

При проведении численного моделирования процессов магнитно-импульсной сборки рассчитывался коэффициент заполнения сечения K_z в зажиме, косвенно определяющий механическую прочность соединения и переходное электрическое сопротивление [3]:

$$K_z = 4F / \pi d^2,$$

где F – суммарная площадь поперечного сечения втулки и провода, d – наружный диаметр втулки после сборки соединения.

Критерием эффективности процесса сборки был выбран минимум удельной энергии заряда магнитно-импульсной установки, необходимый для достижения полного компактирования проволок провода в соединении ($K_z \approx 1$). Удельная энергия W_u на сборку соединения проводов определялась как отношение энергии заряда магнитно-импульсной установки W к объему деформированного материала в соединении:

$$W_u = W / (F / l), \text{ Дж/мм}^3,$$

где l – ширина рабочей зоны индуктора (концентратора

магнитного поля), определяющая длину зоны обжима в полученном соединении.

Как показали результаты численного моделирования процессов сборки соединений давлением импульсного магнитного поля и результаты металлографических исследований полученных соединений, взаимодействие втулки с монометаллическими проволоками проводов М-120 и А-185 при оптимальной удельной энергии приводит к равномерному деформированию большей части проволок, их полному компактированию и огранке (рис. 3).

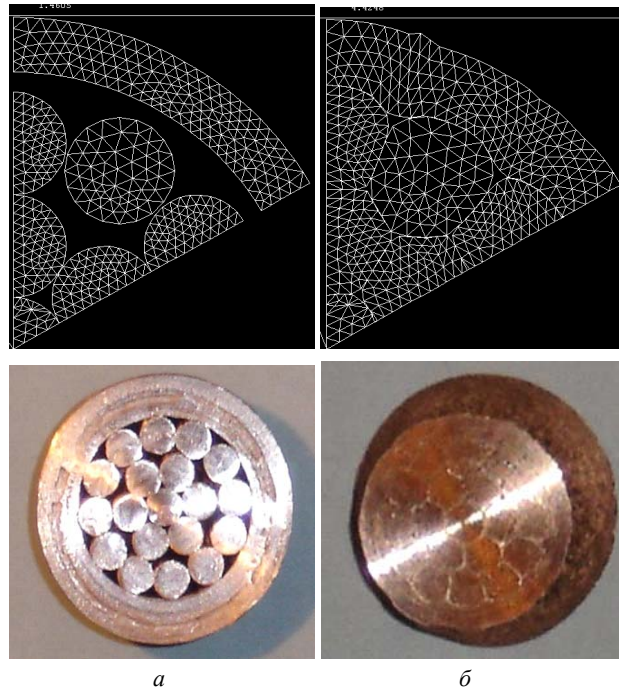


Рис. 3. Вид соединения провода М-120 и медной втулки при численном моделировании и натурном эксперименте: а) до обжима, б) после сборки

У сталеалюминиевого комбинированного провода АС-50/8 его центральная стальная проволока деформируется незначительно, компактирование соединения обеспечивается за счет деформации алюминиевых проволок.

В соединениях сталебронзовых проводов ПБСМ-95 с использованием медных втулок, у биметаллических проволок провода наблюдается небольшая деформация стального сердечника проволок, а их медная оболочка деформируется в значительно большей степени, что совпадает с результатами численного моделирования. За счет этого наблюдается достаточно сильное затекание материала медной втулки в полости между проволоками, что дополнительно увеличивает площадь контакта втулки и провода в соединении (рис. 4).

При недостаточной удельной энергии не происходит полного компактирования проволок в соединении ($K_z < 1$), что не обеспечит нужного качества соединения. При рациональном режиме магнитно-импульсного нагружения деформация проволок и окончательное обжатие всего провода, происходит на этапе максимального разгона соединительной втулки (наконечника), что обеспечивает смыкание всех проволок и заполнение всего поперечного сечения соединения ($K_z \approx 1$).

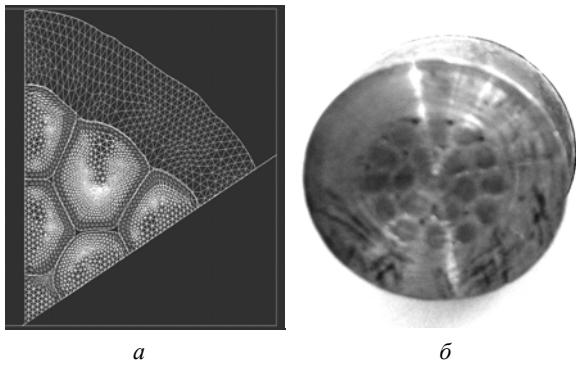


Рис. 4. Вид в поперечном сечении провода ПБСМ-95 и медной соединительной втулки при магнитно-импульсной сборке: а) численное моделирование, б) эксперимент

Это достигается, если максимум первой полуволны давления импульсного магнитного поля совпадает с максимумом скорости деформирования соединительной втулки. Как показало моделирование процесса, скорость деформирования соединительной втулки, в процессе сборки (обжима) соединения, достигает 150...200 м/с, а длительность процесса 18...25 мкс, в зависимости от материала и толщины стенки соединительного элемента (втулки, наконечника). При избытке удельной энергии заряда МИУ, максимум скорости деформирования соединительной втулки не совпадает с максимумом первой полуволны давления импульсного магнитного поля. Происходит перерасход энергии заряда МИУ и нерациональное силовое воздействие на полученное соединение, не повышающее его качество.

В результате обработки результатов расчета получены зависимости минимальной расчетной удельной энергии заряда магнитно-импульсной установки, при которых достигается $K_z \approx 1$, при использовании втулок с различной толщиной стенки, имеющих прочность на разрыв не ниже прочности провода (рис. 5).

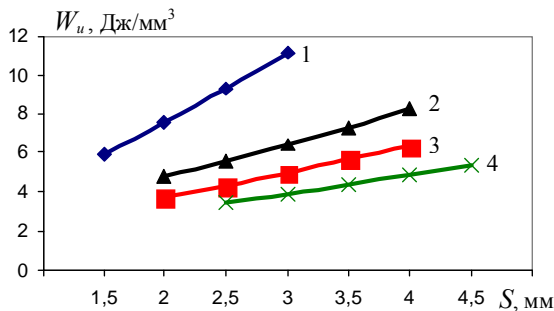


Рис. 5. Зависимость минимальной удельной энергии сборки соединения проводов от толщины соединительной втулки. Провод: 1) АС 50/8, 2) ПБСМ-95, 3) М-120, 4) А-185

Электрические испытания полученных соединений проводов. Электрические испытания проводились в закрытом помещении с использованием теплового стенда. Проверку качества соединений многопроволочных проводов, полученных давлением импульсного магнитного поля, производили в соответствии с ГОСТ 12393-77 [7]. Свойства соединений многопроволочных проводов оценивали по стандартным нормам, а также при воздействии двух факторов:

нагрев номинальным током и растяжение рабочей нагрузкой. Для комплексных испытаний было изготовлено специальное устройство для механического нагружения соединений. Устройство оснащено сменными цанговыми зажимами для захвата проводов различного диаметра, установленными в диэлектрических (текстолитовых) плитах (рис. 6).

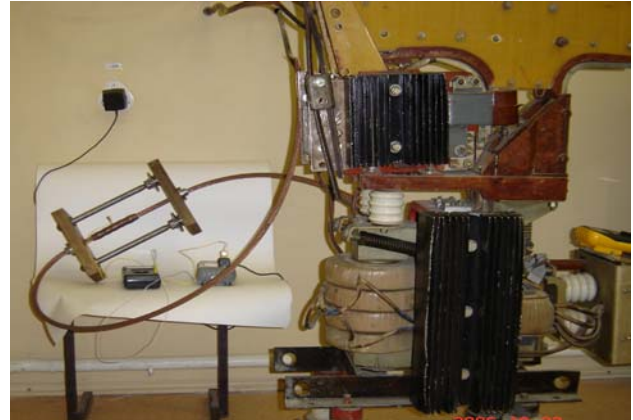


Рис. 6. Тепловой стенд и устройство для механического нагружения стыкового соединения проводов

Текстолитовые плиты связаны между собой двумя стойками, один конец которых жестко связан с первой плитой, а другой конец входит в отверстие второй плиты. Расстояние между плитами изменялось за счет вращения гаек, опирающихся через пару тарельчатых пружин на вторую плиту. Усилие растяжения соединения проводов контролировалось по сжатию тарированных тарельчатых пружин. Тарельчатые пружины позволяли поддерживать практически неизменным усилие нагрузки соединения при осевой термической деформации проводов и соединительной втулки в процессе тепловых испытаний.

Качество электрического соединения определяли коэффициентами дефектности электрического контакта по электрическому сопротивлению – K_R и по перегреву условным номинальным током – K_θ :

$$K_R = \Delta U_C / \Delta U_P, \quad K_\theta = \Delta \theta_C / \Delta \theta_P,$$

где ΔU_C и ΔU_P соответственно – падение напряжения на соединении и на участке целого провода той же длины, мВ; $\Delta \theta_C$ и $\Delta \theta_P$ соответственно – превышение температуры зажима и соединяемого провода вне зажима над температурой окружающего воздуха при протекании по ним одного и того же тока, °С.

Значение тока для определения коэффициентов дефектности задавалось с учетом допустимого длительного значения тока для каждой марки соединяемых проводов, установленной нормативно-технической документацией [8]: 400, 500 и 600 А, и поддерживалась в процессе испытания постоянными с погрешностью не более 3 % (контролировалось мультиметром Masteh MY-62). Измерение температуры перегрева соединения (середина соединительной втулки) и провода (на расстоянии 1 м от втулки) производилось с использованием термопар и цифрового мультиметра АРРА 109 (класс 0,1). Падение напряжения на проводе и в соединении измерялось при каждом выбранном значении тока цифровым мультиметром

Masteh M890G (класс 0,1). Коэффициент дефектности по сопротивлению определялся как среднее арифметическое из трех значений, полученных при трех значениях тока.

Коэффициенты дефектности соединений были определены для соединений проводов М-120 и ПБСМ-95 с использованием медных втулок; соединений проводов А-185 с использованием алюминиевых втулок. Для переходных соединений провода М-120 и провода А-185 использовались, соответственно, алюминиевые и медные втулки.

Установлено, что температура перегрева полученных соединений существенно ниже температуры перегрева самих проводов вне соединения. Полученные коэффициенты дефектности электрического контакта изменялись от $K_R = 0,56$ и $K_\theta = 0,66$ – для соединения проводов ПБСМ95, до $K_R = 0,74$ и $K_\theta = 0,88$ – для переходного стыкового соединения проводов М120 и А185, что ниже значений, установленных для соединений многопроволочных проводов контактной сети электрифицированных железных дорог, выполненных методом опрессовки [7].

Для повышения качества соединения многопроволочных проводов, получаемых давлением импульсного магнитного поля разработано устройство [9], обеспечивающее, в процессе магнитно-импульсного прессования зажимов, предварительное уплотнение проволок провода и создание в них растягивающих напряжений. Это позволяет, после сборки соединения, создать в полученном соединении дополнительные остаточные напряжения сжатия, обеспечивающие высокое усилие срыва втулки и минимальное переходное электрическое сопротивление, а также высокую плотность в соединении, минимизирующую окисление контактных поверхностей.

Выводы. В результате проведенных исследований установлено:

1. Магнитно-импульсное прессование сопровождается частичным самоочищением и притиранием контактирующих поверхностей элементов электрического соединения в процессе формирования соединения. При высокоскоростном соударении и совместном деформировании соединяемых тел возникают большие сдвигающие напряжения и контактные давления. Окислы и грязь вытесняются в малые локальные зоны между проволоками, проволоками и втулкой, что приводит к контакту ювенильных поверхностей. При взаимном деформировании и смещении поверхностных объемов металлов проволок и соединительного элемента создается плотный физический контакт, обеспечивающий минимальное переходное электро-сопротивление. Это обеспечивает высокое качество электрического контакта в соединении.

2. При магнитно-импульсной сборке электрических соединений, вследствие высокой скорости деформации и действия больших инерционных сил, происходит локализация деформаций в зоне действия нагрузки. Проволоки в местах контакта друг с другом и с втулкой получают огранку, а стенка втулки практически не имеет утонения. Поэтому, в отличие от сборки соединений гидравлическими прессами, при магнитно-

импульсном обжиге практически не происходит ослабление сечения провода. При магнитно-импульсной сборке происходит компактирование проволок провода в соединении, плотность заполнения сечения приближается к 100 %, что обеспечивает высокую степень герметичности соединения. Это в значительной степени предотвращает окисление контактирующих поверхностей и повышение переходного сопротивления электрического соединения в процессе эксплуатации.

3. В результате обработки результатов тепловых и электрических испытаний установлено, что коэффициенты дефектности прессового соединения всех видов проводов по нагреву и электрическому сопротивлению значительно ниже единицы, что обеспечивает высокую эксплуатационную надежность электрических соединительных узлов многопроволочных проводов контактной сети, электрического транспорта и линий электропередачи, полученных магнитно-импульсным прессованием.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Галкин А.С., Митрофанов А.Н., Митрофанов С.А. Математическое моделирование и информационные технологии в задачах диагностики контактной сети электрифицированных железных дорог: монография. Екатеринбург: УрГУПС, 2012. 226 с.
2. Дмитриев В.В., Лифшиц Ю.Я., Розин В.И. Магнитно-импульсная обработка деталей электротехнического производства // Кузнечно-штамповочное производство. – 1984. – №7. – С. 8-9.
3. Курлаев Н.В., Гулидов А.И., Юдаев В.Б. Численное моделирование процесса сборки наконечников с электрожгутами давлением импульсного магнитного поля // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. – 2001. – №8. – С. 38-42.
4. Kurlayev N., Gulidov A., Ryngach N., Mishukov A. Computer simulation of aircraft wires tips compression by pulse magnetic field // 5th Korea-Russia International Symposium on Science and Technology. Proceedings. KORUS 2001. – vol.1. – pp. 36-39 (Cat. No.01EX478). doi: 10.1109/korus.2001.975047.
5. Белый И.В., Фертик С.М., Хименко Л.Т. Справочник по магнитно-импульсной обработке металлов. – Харьков: Вища школа, 1977. – 189 с.
6. Фомин В.М., Гулидов А.И., Сапожников Г.А. Высоко-скоростное взаимодействие тел. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1999. 600 с.
7. ГОСТ 12393-77: Арматура контактной сети для электрифицированных железных дорог. Общие технические условия. М.: Изд-во стандартов, 2004. 26 с.
8. Правила устройства и технической эксплуатации контактной сети электрифицированных железных дорог (ЦЭ-868). Департамент электрификации и электроснабжения Министерства путей сообщения Российской Федерации. М.: Трансиздат, 2002. 184с.
9. Патент на полезную модель № 53819 РФ. Устройство для соединения многопроволочных проводов / Самохвалов В.Н., Григорьев В.Л., Самохвалова Ж.В., 2006. Бюл. №15, заявка № 2005118586 от 15.08.2005.

REFERENCES

1. Galkin A.S., Mitrofanov A.N., Mitrofanov S.A. *Mathematical modeling and information technologies in diagnostics of the contact network of electrified*

- railways]. Ekaterinburg, Ural State University of Railway Transport Publ., 2012. 226 p. (Rus).
2. Dmitriev V.V., Lifshits Iu.Ia., Rozin V.I. Magnetic-pulse processing of electrical engineering parts. *Forging and Stamping Production*, 1984, no.7, pp. 8-9. (Rus).
 3. Kurlaev N.V., Gulidov A.I., Iudaev V.B. Numerical simulation of the process of assembly of the tips with electric clamps with the pressure of a pulsed magnetic field. *Forging and Stamping Production. Material Working by Pressure*, 2001, no.8, pp. 38-42. (Rus).
 4. Kurlayev N., Gulidov A., Ryngach N., Mishukov A. Computer simulation of aircraft wires tips compression by pulse magnetic field. *5th Korea-Russia International Symposium on Science and Technology. Proceedings. KORUS 2001*, vol., pp. 36-39 (Cat. No.01EX478). doi: 10.1109/korus.2001.975047.
 5. Belyj I.V., Fertik S.M., Khimenko L.T. *Spravochnik po magnitno-impulsoj obrabotke metallov* [Directory of magnetic-pulse treatment of metals]. Kharkiv, Vishcha shkola Publ., 1977, 189 p. (Rus).
 6. Fomin V.M., Gulidov A.I., Sapozhnikov G.A. *Vysokoskorostnoe vzaimodejstvie tel* [High-speed interaction of bodies]. Novosibirsk, Siberian Branch Russian Academy of Sciences Publ., 1999. 600 p. (Rus).
 7. *GOST 12393-77. Armatura kontaknoi seti dlia elektrifitsirovannykh zheleznykh dorog. Obshchie tekhnicheskie usloviia* [State Standard 12393-77. Armature of the contact network for electrified railways. General specifications]. Moscow, Standartinform Publ., 2004. 26 p. (Rus).
 8. *Pravila ustroistva i tekhnicheskoi ekspluatatsii kontaknoi seti elektrifitsirovannykh zheleznykh dorog (TsE-868)* [Rules of the device and technical operation of the contact network of electrified railways]. Department of Electrification and Electricity of the Ministry of Railways of the Russian Federation. Moscow, Transizdat Publ., 2002. 184 p. (Rus).
 9. Samokhvalov V.N., Grigor'ev V.L., Samokhvalova Zh.V. *Ustroistvo dlia soedineniia mnogoprovolochnykh provodov* [Device for connecting stranded wires]. Patent Russian Federation, no. 53819, 2006. (Rus).

Поступила (received) 20.09.2018

Самохвалова Жанна Владимировна¹, к.т.н., доц.,
Самохвалов Владимир Николаевич², д.т.н., проф.,

¹ Самарский государственный университет путей сообщения,
443066, Россия, Самара, ул. Свободы, 2 В,
тел/phone +7 927 6568357, e-mail: zhanna_sam@mail.ru

² Самарский национальный исследовательский университет
им. акад. С.П. Королева,
443086, Россия, Самара, ул. Московское шоссе, д. 34,
тел/phone +7 927 6544210, e-mail: vn_samokhvalov@mail.ru

Zh.V. Samokhvalova¹, V.N. Samokhvalov²

¹ Samara State Transport University,
2V, Svobody Str., Samara, 443066, Russia.

² Samara National Research University,
34, Moskovskoye shosse, Samara, 443086, Russia.

Magnetic-pulse pressing of electrical connections for stranded wires.

Purpose. The research of the process peculiarities of magnetic-pulse fitting of electric stranded conductor joints, made of different materials, using couplings. Evaluation of loading optimal parameters, providing high operational reliability of electric connecting units. **Methodology.** In order to carry out simulation and research of the process of magnetic-pulse fitting of electric stranded conductor joints CRUG24 software package was used, which was developed to estimate impact interaction. Handling the problem was carried out numerically using finite differences. Metallographic study of collected cross-sectional cuts was performed with the use of optical microscope METAM JIB-71, equipped with digital-still camera, connected to the computer, which used image analysis system IMEGE Expert Pro3. The electrical tests of wire joints were carried out using the thermal bench from exposure to two factors: heating with rated current and expansion by operating load. **Results.** It was ascertained that magnetic-pulse pressing of electric joints was followed by partial self-purification and bedding component contacting surfaces of electric joints. Oxides and contaminating impurities were expelled into small localized zones between wires, between a wire and a coupling, which resulted in the contact of juvenile surfaces. Upon mutual deformation and displacement of metal wire surface capacity size and coupling tight mechanical contact was created, which provided minimal transient resistivity. The existence of residual compression stress provides the long-standing high-quality electric contact in joints. While using magnetic-pulse pressing of electric joints, due to high speed of deformation and impact of great inertial forces, deformation containment of connected components takes place in the zone of load action. The wires in contact with each other and with couplings generate faceting, but coupling sidewall hardly has any thinning. Filled density of cross-section is approximately 100 %. This fact provides a high degree of sealing capacity of joints, which to a wide extent prevents the oxidation of contacting surfaces and the rise of transient resistivity of electric joints in the operational process. As a result of processing of the results of thermal and electrical tests it was ascertained that pressed joint factors of defectiveness with all types of wires according to thermal impact and resistivity, are significantly lower than unity. **Practical value.** Magnetic-pulse pressing of unattended joints in electric stranded monometallic, bimetallic and composite conductors provides high operational reliability of connecting units and it may be used while mounting overhead system of railways, transmission lines and fitting connecting components of electrical transport electric circuits. References 9, figures 6.

Key words: magnetic-pulse assembly, connection of stranded wires, numerical simulation, electrical tests.