

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИМПУЛЬСНОЙ СБОРКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОЕДИНИТЕЛЕЙ ИЗ РАЗНОРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Самохвалова Ж.В.

Самарский государственный университет путей сообщения, Самара

Ключевые слова: магнитно-импульсная сборка, многожильные провода, численное моделирование.

Аннотация. Представлены результаты численного моделирования процесса магнитно-импульсной сборки стыковых соединений монометаллических, биметаллических и комбинированных проводов соединительными втулками. Рассмотрены особенности получения переходных соединений "медь-алюминий". Установлены особенности деформирования при получении соединений из разнородных материалов соединительных втулок и проводов. Определены оптимальные режимы магнитно-импульсного нагружения, обеспечивающие высокое качество прессового соединения.

COMPUTER SIMULATION OF THE IMPULSE ASSEMBLY PROCESS ELECTRICAL CONNECTOR MADE OF DISSIMILAR MATERIALS

Samokhvalova Zh.V.

Samara State Transport University, Samara

Keywords: magnetic-pulse assembly, stranded wires, numerical simulation.

Abstract. The results of numerical simulation of the process of magnetic-pulse assembly of butt joints of monometallic, bimetallic and combined wires with connecting sleeves are presented. The features of obtaining transition compounds "copper-aluminum" are considered. The features of deformation during the production of joints from dissimilar materials of connecting sleeves and wires are established. The optimal modes of magnetic-pulse loading, which ensure high quality of the press joint, are determined.

Целью работы является исследование особенностей протекания процесса магнитно-импульсной сборки соединения многопроволочного провода и соединительной втулки из различных материалов, в том числе разнородных, обеспечивающих высокую эксплуатационную надежность электрического соединительного узла (стыковое соединение проводов, напрессовка кабельного наконечника).

Анализировались особенности магнитно-импульсной прессовки соединений основных видов многопроволочных проводов для систем электроснабжения железных дорог и линий электропередачи:

- биметаллический сталемедный провод ПБСМ-95 с медной соединительной втулкой или наконечником;
- переходное соединение «медь-алюминий»: а) медный провод М-120 с алюминиевой втулкой, б) алюминиевый провод А-185 с медной втулкой;
- сталеалюминевый комбинированный провод АС-50/8 с алюминиевой втулкой.

Для компьютерного моделирования процессов магнитно-импульсной сборки соединений использован программный пакет [1], разработанный для численного моделирования ударных взаимодействий. Математическая модель процесса основана на уравнениях механики сплошной среды (условие неразрывности, законы сохранения массы, импульса и энергии, уравнения связи, описывающие поведение среды в процессе деформации). Математической моделью среды была выбрана теория упруго-пластических течений Прандтля-Рейса в лагранжевом подходе.

Решение поставленной задачи осуществлялось численно, методом конечных разностей. По методике изложенной в [2-4], при двухмерной постановке решалась задача о деформировании системы цилиндрических тел (проволок), заключенных в круговую оболочку (соединитель – соединительная втулка или наконечник). Соединение возникало в процессе высокоскоростного обжата соединителя на многопроволочный провод давлением импульсного магнитного поля. Визуальное отображение процесса позволяло контролировать расчет, оценивать параметры и анализировать особенности взаимодействия соединителя и проволок провода.

При компьютерном моделировании для всех элементов разработанной расчетной модели задавались их индивидуальные физико-механические свойства. Для сталемедного провода ПБСМ-95 внутри каждой проволоки выделялись сеточные области стального сердечника и ее медной оболочки. Для сталеалюминиевого провода АС-50/8 задавались различные характеристики материала центральной стальной жилы провода и его внешних алюминиевых проволок.

Как показало компьютерное моделирование процесса сборки соединений, радиальная скорость движения соединительной втулки при магнитно-импульсной сборке соединения достигает 150...200 м/с, а длительность процесса полного компактирования соединения составляет 18...25 мкс, в зависимости от материала и толщины стенки соединителя.

Результаты моделирования процессов магнитно-импульсной сборки соединений показали, что взаимодействие втулки с монометаллическими проволоками проводов М-120 и А-185 приводит к равномерному деформированию большей части проволок, их компактированию и огранке.

При сборке соединений со сталеалюминиевым комбинированным проводом АС-50/8 его центральная стальная проволока практически не деформируется, а компактирование соединения обеспечивается деформацией и огранкой наружного повива алюминиевых проволок.

При формировании соединения сталемедного провода ПБСМ-95 с использованием медных соединителей, наблюдается небольшая деформация стального сердечника биметаллических проволок провода, а их медная оболочка деформируется в большой степени. Это совпадает с результатами натуральных экспериментов (рис. 1).

При получении переходных соединений "медь-алюминий", для многопроволочных проводов, установлены принципиальные различия процесса образования соединения медного провода М-120 с алюминиевым соединителем и алюминиевого провода А-185 с медным соединителем.

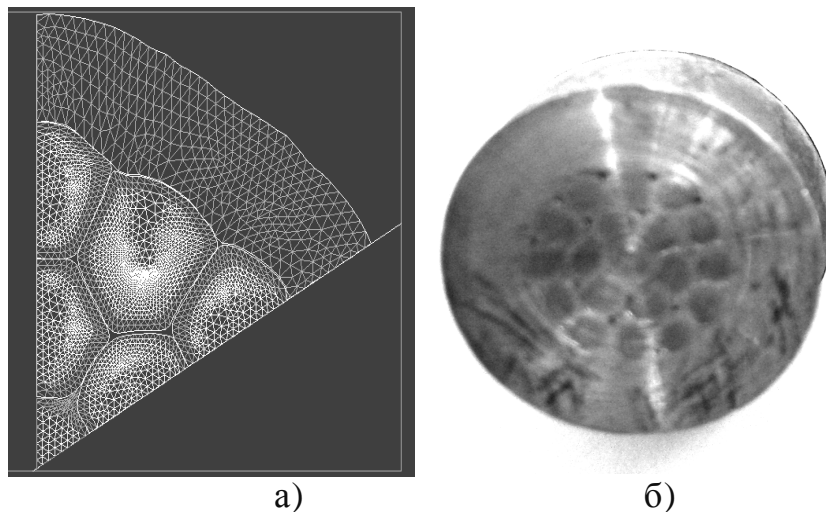


Рис. 1. Вид в поперечного сечения соединения провода ПБСМ-95 и медной втулки при магнитно-импульсной сборке: а) компьютерное моделирование, б) эксперимент

В первом случае площадь контакта внутренней поверхности алюминиевого соединителя с внешним повивом медных проволок провода значительно больше, чем в соединении алюминиевого провода А-185 с медным соединителем. Это обусловлено «затеканием» легко деформируемого материала алюминиевого соединителя между более прочными медными проволоками, вследствие их высокоскоростного соударения при магнитно-импульсной сборке соединения.

Во втором случае более прочная медная втулка сильно сминая мягкие алюминиевые проволоки. Но в обоих случаях обеспечивается высокая степень герметичности (плотности) соединения.

При недостаточной удельной энергии не происходит полного компактирования проволок в полости соединителя, что не обеспечит нужного качества прессового соединения. При рациональном режиме магнитно-импульсного нагружения, деформация проволок и окончательное обжатие всего провода, происходит на этапе максимального разгона стенки соединителя, когда происходит смыкание всех проволок и заполнение всего поперечного сечения в соединении. Это реализуется, когда максимум первой полуволны давления импульсного магнитного поля совпадает с максимумом скорости деформирования соединительной втулки.

При избытке удельной энергии максимум скорости деформирования соединительной втулки не совпадает с максимумом давления импульсного магнитного поля. В результате происходит нерациональное силовое воздействие на уже полученное прессовое соединение, не повышающее его плотность.

В результате обработки результатов компьютерного моделирования получены зависимости расчетной минимальной величины удельной энергии заряда магнитно-импульсной установки, при различной толщине стенки соединителя, которая обеспечивает максимальную плотность прессового соединения многопроволочного провода и трубчатого соединителя (рис. 2).

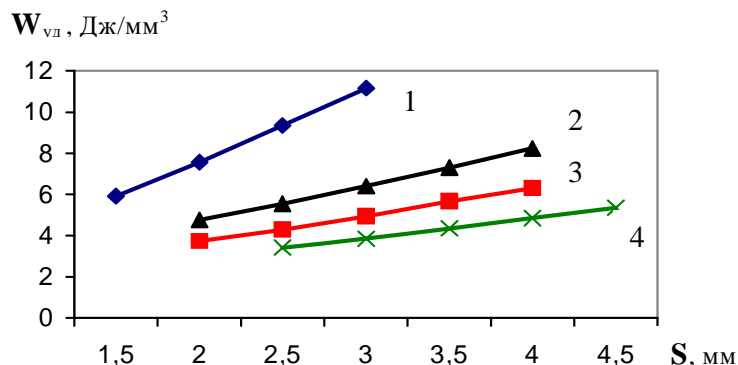


Рис. 2. Зависимость минимальной удельной энергии сборки соединения проводов $W_{y\partial}$ от толщины стенки соединителя:
 1 – АС 50/8; 2 – ПБСМ-95; 3 – М-120; 4 – А-185

Список литературы

1. Фомин В.М., Гулидов А.И., Сапожников Г.А. *Высокоскоростное взаимодействие тел.* – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1999. – 600 с.
2. Курлаев Н.В., Гулидов А.И., Юдаев В.Б., Рынгач Н.А., Покалюхин Ю.С., Мишуков А.В. Численное моделирование процесса сборки наконечников с электрожгутами давлением импульсного магнитного поля // *Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением.* – 2001. – №8. – С. 38-42.
3. Gulidov A., Ryngach N., Mishukov A. Computer simulation of aircraft wires tips compression by pulse magnetic field // *The 5-th Korea-Russia International Symposium on Science and Technology.* – June 26 – July 3, 2001, Tomsk, Russia. *Proceedings KORUS.* – 2001, vol. 1, pp. 36-39.
4. Samokhvalov V.N., Samokhvalova Zh.V. Enhancing of Operational Reliability of Catenary and Electric Rolling Stock Wire Connections // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.* 2019, p. 012068.

Сведения об авторе:

Самохвалова Жанна Владимировна – к.т.н., доцент, доцент кафедры «Наземные транспортно-технологические средства».