

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы Рзаева Радмира Адильбековича на тему «Совершенствование технологии сварки трением с перемешиванием алюминия и меди с целью улучшения прочностных характеристик электромонтажных шин», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.8 «Сварка, родственные процессы и технологии (технические науки)».

Актуальность выполненной работы определяется необходимостью совершенствования технологий получения сварных соединений разнородных высоко электропроводных металлов, применяемых при изготовлении шинопроводов в электротехнической промышленности. Одной из таких технологий является сварка трением с перемешиванием, которая может обеспечить получение надежных соединений меди и алюминия из электротехнических изделий. Поэтому исследования в этой области весьма актуальны.

В исследованиях были использованы электронно-микроскопические исследования (растровый сканирующий микроскоп «FEI VERSA 3D»), с применением метода дифракции обратно отраженных электронов (EBSD). Рентгеноструктурный анализ макрошлифов проводили на рентгеновских дифрактометрах «Siemens D-500» и «Bruker D8 Advanc Eco». Для определения распределения твердости применяли твердомер «Buehler «Micromet-5103» Для оценки энергетических параметров процесса СТП использовались оригинальные, разработанное оборудование и приборы.

Выполнен большой объем металлографических исследований и механических испытаний с привлечением специализированных лабораторий.

Научная новизна полученных результатов заключается, прежде всего, в выявлении влияния особенностей формирования структуры зон сварного соединения алюминия с медью и влияния параметров режимов сварки трением с перемешиванием на их свойства. Показано, что равнопрочность сварного соединения алюминия и меди реализуется при структуре шва, состоящей из чередующихся прослоек алюминия, меди и интерметаллидных фаз ( $Al_2Cu$  и  $Al_4Cu$ ), толщиной не более 2-5 мкм, формирующихся в диапазоне значений линейной скорости сварки 25-41 мм/мин и частоте вращения инструмента 800-1000 об/мин, при которых, время пребывания металлов в центральной зоне и в зоне термомодеформационного воздействия, соответствует окончанию латентного периода образования интерметаллидов.

По результатам исследований разработана конечно-элементная модель на основе уравнения Эйлера-Лангранжа (CEL) процесса СТП алюминия и меди, которая была верифицирована с помощью картины распределения свариваемых материалов в шлифах. Сопоставление результатов экспериментов с расчетными характеристиками, полученными с помощью компьютерного моделирования, позволили оптимизировать параметры режимов СТП.

Практическая значимость выполненной работы заключается в разработке методики расчетов режима СТП для стыковых соединений «алюминий-медь», основанной на решении системы уравнений теплового баланса выделенных элементов свариваемых образцов, позволяющая определять возможность перехода соединяемых разнородных металлов в сверхпластическое состояние. Разработан технологический процесс получения сварных электротехнических шин из АД1 и М1 методом СТП, который прошел апробацию в ООО НПП «СФО-АСТРА».

Разработки автора широко освещены в отечественной и зарубежной печати и защищены рядом патентов. По теме диссертации опубликовано 62 научных работ, в том числе: 21 статья в рекомендованных изданиях ВАК РФ, 24 статей входящих в наукометрические базы данных Scopus и Web of Science. Получено 4 патента РФ на изобретения и 4 свидетельства о государственной регистрации программ ЭВМ.

По содержанию автореферата могут быть сделаны следующие замечания:

1. В описании результатов механических испытаний сварных соединений отсутствуют сведения о состоянии свариваемых материалов (отожженных или нагартованных), что затрудняет понимание полученных результатов. Так алюминий АД1 в отожженном состоянии имеет относительное удлинение 25-35 % при прочности 70-100 МПа, а в нагартованном – 5-15 %, но при этом его прочность должна быть на уровне 120-150 МПа. По приведенным в автореферате данным, прочность сварных соединений соответствует прочности алюминия в отожженном состоянии (62-68 МПа, стр 14), а относительное удлинение (10 %, стр. 16) – нагартованному, что говорит о низкой пластичности полученных соединений.

2. Кроме того, одним из важных показателей изделий в виде электротехнических шин является их электрическое сопротивление переходных контактов, определяющее падение напряжения на них. Этому вопросу в представленном автореферате уделено, на наш взгляд, недостаточное внимание. В упомянутом на эту тему предложении, на стр 4. автореферата, в предпоследнем абзаце, на наш взгляд, пропущено слово «падение» напряжения в два раза – по

