

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

экспертной комиссии диссертационного совета 24.1.135.01 (Д003.038.01) на базе Института физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук о диссертационной работе Чумаевского Андрея Валерьевича «Особенности формирования структуры в алюминиевых, медных, титановых сплавах и композиционных материалах на их основе при фрикционной перемешивающей обработке и сварке», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.1 Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Представленная Чумаевским А.В. диссертация посвящена исследованием особенностей структурообразования при адгезионном трении, фрикционной перемешивающей обработке и сварке трением с перемешиванием алюминиевых, медных и титановых сплавов и композиционных материалов на их основе.

Диссертация по своим целям, задачам, содержанию, методам исследования и научной новизне соответствует п. 2 «Теоретические и экспериментальные исследования фазовых и структурных превращений в металлах и сплавах, происходящих при различных внешних воздействиях» и п. 11 «Определение механизмов влияния различных механических, тепловых, магнитных и других внешних воздействий на структурное состояние металлических материалов и разработка на этой основе новых принципов и методик их испытаний, обеспечивающих надежное прогнозирование работоспособности конструкций» паспорта специальности 2.6.1. «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Соответствие содержания диссертации данной специальности подтверждается публикациями ее материалов в научных журналах по соответствующему профилю: «Metals», «Materials», «Wear», «Applied Surface Science», «International Journal of Advanced Manufacturing Technology», «Metal Working and Material Science», «Фундаментальные проблемы современного материаловедения», «Письма о материалах», «Известия вузов. Цветная металлургия» и др.

Материалы диссертационного исследования изложены автором в 36 работах, в том числе в 11 статьях в научных журналах, входящих в перечень рецензируемых отечественных журналов и изданий ВАК, в 25 статьях в зарубежных журналах, включенных в библиографические базы данных Web of Science и Scopus, что соответствует требованиям п. п. II.11 и II.13 Положения о присуждении ученых степеней.

Диссертация Чумаевского А.В. представляет собой законченную, самостоятельно написанную работу, обладающую внутренним единством, содер-

жащую новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты и свидетельствующие о личном вкладе автора в науку (п. II.10 Положения о присуждении ученых степеней). В работе на основании проведенных исследований были получены следующие результаты:

1. Установлено, что формирование структуры в зоне перемешивания алюминиевых, медных или титановых сплавов происходит совместно с процессами адгезионного переноса металла по контуру инструмента и экструдирования материала из зоны «впереди инструмента» в зону «за инструментом».

2. Показано, что после фрикционной перемешивающей обработки алюминиевых, медных и титановых сплавов механические свойства изменяются из-за изменения среднего размера зерна в зоне перемешивания и структурно-фазовых изменений, обусловленных термическим воздействием.

3. Обнаружено, что процессы адгезионного и экструзионного переноса металла реализуются как при фрикционной перемешивающей сварке и обработке, так и при трении с большими значениями нагружающего усилия.

4. Показано, что в процессе многопроходной фрикционной перемешивающей обработки алюминиевых термоупрочняемых сплавов происходит формирование устойчивой зернистой структуры, незначительно изменяющейся в результате дальнейших проходов, что свидетельствует о балансе процессов деформационно-индукционного растворения фаз и их последующего выпадения при снижении температуры.

5. Обнаружено, что при фрикционной перемешивающей обработке сопротивление перемещению инструмента зависит как от размера зерна материала, так и его прочностных свойств, что дополнительно свидетельствует о вкладе в процесс структурообразования экструзионного процесса переноса металла.

6. Установлено, что при получении композиционных материалов при фрикционной перемешивающей обработке различных металлов возможна реализация контактного плавления двух типов. Первый связан с экзотермическим эффектом при формировании интерметаллидных фаз, второй обусловлен тем, что зона контакта обогащается легкоплавкими элементами, вытесненными из твердого раствора.

7. Показано, в процессе формирования композиционных материалов образуются интерметаллидные фазы посредством взаимной диффузии компонентов по контуру инструмента и при распаде пересыщенных твердых растворов, в том числе по механизму спинодального распада.

8. Доказано, что постепенное разрушение инструмента при фрикционной перемешивающей обработке возможно за счет постоянного термическо-

го воздействия и пластической деформации, абразивного изнашивания частицами интерметаллидных фаз, а также образования и разрушения интерметаллидных прослоек на поверхности инструмента.

9. Обнаружено, что при фрикционной перемешивающей обработке возможно внесение частиц износа инструмента в зону перемешивания, а при реакции металла инструмента и обрабатываемого материала имеет место образование в зоне обработки интерметаллидных фаз различного состава.

Диссертация Чумаевского А.В. соответствует всем требованиям п. II.9 Положения о присуждении ученых степеней, является научно-квалификационной работой, в которой на основании проведенных исследований разработаны положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение в комплексном исследовании процессов структурообразования при фрикционной перемешивающей сварке и обработке алюминиевых, медных и титановых сплавов. Полученные теоретические и практические результаты имеют важное значение для интерпретации данных по диффузионному взаимодействию инструмента и материала при фрикционной перемешивающей сварке или обработке, позволяют систематизировать процессы, обуславливающие формирование структуры при данных процессах.

Совокупность полученных результатов исследований:

- расширяет описание структурно-фазовых изменений при высокоинтенсивном термомеханическом взаимодействии разнородных материалов в условиях адгезионного трения;
- указывает на необходимость учитывать особенности структурообразования в зоне перемешивания при фрикционной перемешивающей сварке или обработке для получения материалов заданными свойствами;
- вносит вклад в развитие фундаментальных представлений о физической природе адгезионного трения разнородных металлов, фрикционной перемешивающей сварки или обработки;
- развивает представления о процессах пластической деформации и течения материала в зоне перемешивания при фрикционной перемешивающей сварке или обработке толстолистового проката алюминиевых сплавов с использованием инструмента различного типа;
- позволяет разработать рекомендации для последующей отработки технологии получения легких и прочных композиционных материалов на основе алюминиевых и титановых сплавов;
- имеет перспективы применения на практике для разработки методов гомогенизации структуры и упрочнения изделий, полученных аддитивными методами, в том числе с композитной структурой.

Предложенные в диссертационном исследовании подходы, выявленные закономерности, а также установленное влияние особенностей диффузионного взаимодействия инструмента и материала при фрикционной перемешивающей сварке и обработке позволяют получать высокопрочные соединения различных материалов. Полученные в диссертационной работе результаты использованы для разработки программных модулей управления исполнительными механизмами и оборудованием комплекса интеллектуальной адаптивной сварки трением с перемешиванием, что позволило оптимизировать подбор параметров процесса фрикционной перемешивающей сварки листового проката алюминиевых сплавов АМг5 и Д16АТ толщиной 20-35 мм в ЗАО «Чебоксарское предприятие «Сеспель».

Анализ текста диссертации показал, что заимствование материалов других работ автор производит только во введении и при обсуждении результатов исследований. Все заимствования и ссылки, примененные в диссертационной работе, оформлены с приведением полных литературных данных согласно требованиям п. II.14 Положения о присуждении ученых степеней.

С учетом вышеизложенного экспертная комиссия рекомендует принять к защите по специальности 2.6.1 Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов (технические науки) диссертационную работу Чумаевского А.В. «Особенности формирования структуры в алюминиевых, медных, титановых сплавах и композиционных материалах на их основе при фрикционной перемешивающей обработке и сварке» в диссертационном совете 24.1.135.01 на базе ИФПМ СО РАН

Председатель комиссии:

доктор физико-математических наук



Данилов В.И.

Члены комиссии:

доктор физико-математических наук



Литовченко И.Ю.

доктор физико-математических наук



Иванов К.В.