

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Кутеневой Светланы Валерьевны «Структура и свойства полученных сваркой взрывом и пакетной прокаткой слоистых композитов на основе низкоуглеродистых сталей, меди, алюминия и его сплавов», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – Материаловедение (в машиностроении)

Актуальность диссертации. В условиях развития современного химического, транспортного, энергетического и атомного машиностроения, судостроения и авиастроения появилась острая необходимость в разработке новых конструкционных материалов, которые должны обладать набором уникальных физико-механических и функциональных свойств: высокой прочностью, пластичностью, ударной вязкостью при пониженных низких климатических температурах, износостойкостью, тепло- и электропроводностью. Перспективным направлением является создание слоистых металлических композиционных материалов (СМКМ) на основе разнородных металлов и сплавов, имеющих ламинированную слоистую структуру. К настоящему времени в научной литературе недостаточно сведений о строении межслойных границ, микроструктуре, механических и функциональных свойствах, характере разрушения подобных материалов. Поэтому диссертационная работа Кутеневой С.В. «Структура и свойства полученных сваркой взрывом и пакетной прокаткой слоистых композитов на основе низкоуглеродистых сталей, меди, алюминия и его сплавов» является, безусловно, актуальной. Актуальность темы диссертационной работы Кутеневой С.В. подтверждается также ее соответствием приоритетному направлению развития науки, технологий и техники в РФ «Индустрия наносистем» № 899 от 7 июля 2011 года и другими проектами разного уровня, реализованными в рамках программ Минобразования РФ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 6 глав, трех приложений и списка цитируемой литературы, содержащего 197 наименований, и общих выводов. Объем диссертации составляет 145 страниц, включая 20 таблиц и 80 рисунков.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, цель работы, научная новизна и практическая значимость. Сформулированы основные положения, выносимые на защиту, степень достоверности, личный вклад и апробация работы.

В первой главе представлен аналитический обзор, посвященный анализу литературных данных по формированию структуры и физико-механических свойств слоистых композиционных материалов на различной основе. Рассмотрены существующие типы слоистых композитов и методы их получения. Особое внимание уделено строению межслойных границ, принципам формирования структуры и ее влиянию на механические характеристики СМКМ, полученных различными способами. На основании проведенного анализа сформулированы цель и основные задачи работы.

Вторая глава носит методический характер и содержит описание материалов и методов их исследования, включающих металлографию, сканирующую электронную микроскопию, дополненную микрорентгеноспектральным анализом и EBSD-анализом (метод обратно рассеянных электронов), просвечивающую электронную микроскопию, рентгеноструктурный анализ, дилатометрию, определение теплофизических свойств. Приведено описание методов определения механических свойств: микротвердости, испытания на одноосное растяжение, ударный изгиб с записью диаграмм нагружения.

В третьей главе изложены результаты исследования строения межслойных границ, микроструктуры, микротвердости, механических свойств и фрактографических особенностей разрушения 3-слойного композита «медь М1-сталь 20», полученного по технологии сварки взрывом и дополнительной холодной прокатки с обжатием 50%. Наиболее важные результаты сводятся к следующему: в результате сварки взрывом формируются бездефектные волнообразные межслойные границы с резким концентрационным переходом и зонами локального расплавления меди с гетерофазной субмикроструктурной структурой. Полученный сварной композит «медь М1-сталь 20» превосходит по прочности его основной компонент – медь М1, а значения ударной вязкости при комнатной температуре при ориентации линии надреза по тормозящему типу выше значений, характерных для стали 20 и меди М1.

В четвертой главе исследовано строение межслойных границ, микроструктуры, микротвердости, механических свойств и фрактографических особенностей разрушения слоистых 7- и 11-слойных сталеалюминиевых композитов «IF(001ЮТ)-АД0» и «09Г2С-АМц», полученных методом пакетной прокатки. Для определения деформационного поведения и изучения эволюции структуры сталей IF(001ЮТ) и 09Г2С при деформации в монолитном материале и в составе слоистого материала были проведены теплая прокатка данных сталей по технологии получения 7-слойного «IF(001ЮТ)-АД0» и 11-слойного «09Г2С-АМц» композитов и исследования структуры и свойств составляющих в исходном и деформированном состояниях. Такое сравнительное исследование позволило установить, что зеренная структура слоев сталей IF(001ЮТ) и 09Г2С в составе 7- и 11-слойных композитов «IF(001ЮТ)-АД0» и «09Г2С-АМц» измельчается более интенсивно по сравнению с монолитными образцами данных сталей при идентичных условиях деформации. Установлено, что по прочностным свойствам 7-слойный композит «IF(001ЮТ)-АД0» превосходит монолитный стальной образец в 1,2-1,3 раза. Образцы 11-слойного композита «09Г2С-АМц» с ориентацией надреза по тормозящему типу обладают повышенными значениями ударной вязкости вплоть до температур жидкого азота. При этом полного разрушения данных образцов при всех исследованных температурах испытания не происходило, разрушалось только от 3 до 7 слоев. Диссертант указывает на причины столь резкого повышения ударной вязкости, которые, по его

мнению, заключаются в диспергировании структуры стальных и алюминиевых слоев и в создании межслойных границ раздела в процессе пакетной прокатки, способствующих диссипации энергии разрушения за счет отклонения фронта трещины вдоль границы слоев. Однако диссертант не учитывает значительную роль изменения напряженного состояния от плоскодеформированного к плосконапряженному при переходе от монолитного образца к слоистому.

В пятой главе приводится исследование сваренных взрывом и горячекатаных 5- и 7-слойных композитов на основе мартенситно-стареющей стали ЭП678 и малоуглеродистой низколегированной стали 09Г2С, а именно: строения и химического состава межслойных границ, микротвердости, микроструктуры на различном удалении от границы раздела, механических свойств при растяжении и ударном изгибе и фрактографических особенностей разрушения.

В данной главе диссертант получил важные результаты, заключающиеся в том, что в 5-слойных сварных композитах формируются бездефектные волнообразные и прямолинейные границы соединения слоев. Напротив, в 7-слойных горячекатаных композитах формируются плоские межслойные границы, характеризующиеся наличием цепочек пор и частиц карбидных или оксидных включений. Показано, что наличие включений и пор на межслойных границах существенно влияет на уровень прочностных свойств. В связи с этим композиты, полученные горячей прокаткой, имеют в 1,2 раза меньший уровень прочностных свойств. Наиболее высокий уровень прочности достигается в сварных композитах, что диссертант объясняет наличием ультрамелкого зерна в слоях стали ЭП678, а также упрочняющим эффектом процесса сварки взрывом. Однако, как показала диссертант, несмотря на существенную разницу в строении межфазных границ, и композиты, полученные сваркой взрывом и композиты, полученные горячей прокаткой, характеризуются высокими значениями ударной вязкости в интервале температур $-60...+20$ °С при ориентации надреза по тормозящему типу. Более того, горячекатаные композиты, имеющие на межслойных границах частицы включений, демонстрируют более высокую ударную вязкость, чем сварные композиты с чистыми межслойными границами. Из чего диссертант делает вывод: «наличие неметаллических включений на границах способствует расслоению в процессе прохождения трещины через границу раздела и, тем самым, способствуют торможению роста трещины». При рассмотрении влияния расслоений на уровень ударной вязкости диссертант не учитывает изменение вида напряженного состояния от плоскодеформированного (в монолитном образце) к плосконапряженному (в слоистом образце).

Интересный экспериментальный факт, обнаруженный в диссертационной работе, состоит в том, что наблюдается эффект аномального повышения ударной вязкости изученных СМКМ при понижении температуры ударных испытаний от $+20$ до $...-60$ °С. Однако, диссертант не приводит причин столь необычного явления.

В шестой главе исследованы структура, механические и теплофизические свойства слоистых Al/B₄C-композитов, относящихся к классу гибридных слоистых композитов и представляющих собой «слоеный пирог» из внешних слоев алюминиевых сплавов и центральной прослойки из консолидированных порошков Al и B₄C. Цель данного раздела работы: создание нового нейтронозащитного материала для чехловых корзин транспортно-упаковочных комплексов (ТУК) нового поколения для перевозки и хранения отработавшего ядерного топлива реакторных установок ВВЭР-1000, как заменителя ранее используемой для этой цели стали ЧС82. Результатом этого раздела работы являлось создание по технологии горячей прокатки трех- и пятислойных Al/B₄C-композитов путем консолидирования смеси порошков Al и 20-25 вес. % B₄C в замкнутой оболочке из листового проката алюминиевых сплавов. Способ создания данных композитов защищен двумя патентами № 2465094 и 2528926. Диссертант предложил метод проведения гранулометрического анализа порошков Al и B₄C с помощью использования программ обработки изображений, что позволило выбрать оптимальные параметры порошков: круглую форму, диаметр, фактор компактности, удлинения, изрезанности. В процессе выполнения данного раздела работы сделаны важные заключения о влиянии размеров порошка карбида бора на прочностные свойства композита; о влиянии количества примесей на прочностные свойства; о влиянии объемной доли порошковой прослойки на прочностные свойства композита. Диссертантом получен важный результат: несмотря на более высокую прочность стали ЧС82, по сравнению с полученным композитом, по удельной прочности (отношение прочности к удельному весу) полученный бороалюминиевый композит превышает удельную прочность стали, а по теплопроводности превосходит аналог нейтронозащитной стали ЧС82.

В заключении диссертации сформулированы общие выводы.

Достоверность и новизна результатов диссертации. Все научные положения и выводы диссертационной работы Кутеневой С.В. обоснованы, подтверждены экспериментально, обсуждены и опубликованы в периодической печати.

Достоверность экспериментальных результатов обеспечивается большим объемом исследований с применением разнообразных современных методов исследования, таких как сканирующая электронная микроскопия и метод дифракции обратно рассеянных электронов, просвечивающая электронная микроскопия, с применением темнопольного анализа и микродифракции, рентгеноструктурный анализ, испытания на ударный изгиб с записью диаграмм нагружения и другие.

Среди новых и важных результатов работы, на мой взгляд, можно отметить следующие:

– определение строения межслойных границ в сварном композите «медь М1-сталь 20-медь М1», характеризующихся узкой областью перехода Cu-Fe, имеющих волнообразный вид и содержащих участки локального

расплавления меди с гетерофазной субмикроструктурной структурой и фрагментами стали 20;

– установление причин высоких прочностных свойств 7-, 11- и 27-слойных сталеалюминиевых композитов, заключающихся в диспергировании структуры слоев композитов в процессе их получения методом пакетной прокатки, а также в 5-слойных композитах «09Г2С-ЭП678» – за счет введения в состав пакета слоев стали ЭП678 с ультрамелкозернистой структурой;

– определение повышенной дефектности межслойных границ горячекатаных композитов на основе сталей 09Г2С и ЭП678, по сравнению со сварными композитами, и, вследствие этого, понижение их прочностных свойств, установление причин более высокой ударной вязкости горячекатаных композитов;

– установление влияния состава и дисперсности порошков Al и V_4C на формирование структуры и физико-механических свойств слоистых бороалюминиевых композитов с плакирующими слоями из Al-сплавов, определение эффективности использования наноразмерного порошка V_4C в консолидированной прослойке Al/ V_4C по сравнению с порошком микрофракции.

Практическая значимость работы.

1. Предложены составы и режимы получения стальных, медносталейных и сталеалюминиевых композитов, обладающих высокими прочностными свойствами и ударной вязкостью при пониженных и криогенных температурах.

2. Определены закономерности управления механическими свойствами слоистых композитов «09Г2С-ЭП678» за счет создания в них ультрамелкозернистой структуры и проведения дополнительной термической обработки, оказывающей одновременно упрочняющее действие на слои стали ЭП678 и разупрочняющее действие на слои стали 09Г2С.

3. Предложенные способы получения нейтронозащитных слоистых композитов «AMg3-Al/ V_4C -AMg3» защищены патентами РФ № 2465094 и № 2528926 и, как указано в справке об использовании результатов диссертационной работы, выданной РФЯЦ-ВНИИТФ им. Е.И. Забабахина, могут быть использованы для изготовления изделий атомного машиностроения.

Замечания по работе

1. При исследовании микроструктуры методом просвечивающей электронной микроскопии не сделаны расшифровки электронограмм, не подтверждено экспериментально присутствие некоторых карбидов и интерметаллидов, отсутствует определение разориентации фрагментов по азимутальному размытию рефлексов.

2. Диссертант не приводит сведений о влиянии присутствующего в структуре стали 09Г2С перлита на полученные методом EBSD результаты

определения размера зерна и количества большеугловых и малоугловых границ.

3. При анализе причин увеличения ударной вязкости слоистых композитов (по сравнению с монолитными образцами) автор не учитывает изменение характера напряженного состояния от плоскодеформированного (в монолитном образце) к плосконапряженному (в слоистом образце).

4. В выводе 3 к главе 5 речь идет об изменении размера структурных элементов в приграничной зоне сварных композитов, однако не указано, каких именно структурных элементов.

5. Используются неправильные термины «работа на зарождение трещины» и «работа на распространение трещины», а также «закалочное состояние».

Заключение

Сделанные замечания не снижают общей положительной оценки работы.

Содержание диссертации полностью соответствует формуле специальности 05.16.09 – Материаловедение (в машиностроении) и п. 1, 4 и 6 паспорта специальности: «1. Теоретические и экспериментальные исследования фундаментальных связей состава и структуры материалов с комплексом физико-механических и эксплуатационных свойств с целью обеспечения надежности и долговечности материалов и изделий. 4. Разработка физико-химических и физико-механических процессов формирования новых материалов, обладающих уникальными функциональными, физико-механическими, эксплуатационными и технологическими свойствами, оптимальной себестоимостью и экологической чистотой. 6. Разработка и совершенствование методов исследования и контроля структуры, испытание и определение физико-механических и эксплуатационных свойств материалов на образцах и изделиях».

Текст автореферата в достаточной мере отражает содержание диссертации. Полученные результаты соответствуют целям и задачам диссертационной работы и отражены в 10 публикациях автора в рецензируемых и включенных в перечень ВАК журналах.

Диссертация Кутеневой С.В. представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой решена важная научно-практическая задача по установлению закономерностей структурообразования и формирования физико-механических свойств полученных методами сварки взрывом и пакетной прокатки СМКМ на основе меди, алюминия и его сплавов, низкоуглеродистых сталей и порошковых смесей Al и V₄C. Содержание работы соответствует критериям, которым должна отвечать диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, установленные пунктом 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Правительством Российской Федерации 24 сентября 2013 г. № 842.

Считаю, что Кутенева Светлана Валерьевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – Материаловедение (в машиностроении).

Доктор технических наук,
заведующий лабораторией
физического металловедения
ФГБУН Институт физики металлов
им. М.Н. Михеева УрО РАН

Татьяна Иннокентьевна Табатчикова

620108, г. Екатеринбург,
ул. С. Ковалевской, 18
Тел. +7 (343) 378-37-98
e-mail: tabat@imp.uran.ru



Подпись Табатчиковой Т.И.
веряю
ченый секретарь ИФМ УрО РАН
И.Ю. Арапова
"20" ноября 20 18 г.

29.11.2018