

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию “Процессы самоорганизации и эволюция микроструктуры при получении композитов на основе меди методом взрывного нагружения”, представленную Пушкиным Марком Сергеевичем на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния

Диссертационная работа Пушкина М.С. посвящена исследованию важной и сложной проблемы физики конденсированного состояния – проблеме организации рельефа поверхности при получении композитов методом взрывного нагружения. С одной стороны, интерес представляет этот класс открытых систем, подверженных сильному внешнему воздействию и находящихся достаточно далеко от равновесия. С другой стороны, сварка взрывом является эффективным способом соединения материалов с последующим созданием многослойных композитов, что имеет технологический интерес.

Основой работы является метод анализа продольных и поперечных сечений поверхности раздела сварных соединений с помощью сканирующего электронного микроскопа, а также вытравливание одного материала для изучения поверхности другого. В результате комплексного исследования с применением подобных методик в ходе работы получена картина эволюции поверхности раздела при интенсификации режима сварки для соединений медь-тантал, медь-титан и медь-медь. Эволюционная картина рассматривается также с точки зрения теории самоорганизации с применением фрактального подхода. Детальное исследование проблемы сцепления металлов при получении композитов методом взрывного нагружения и особенностей получаемого рельефа поверхности представляет значительный вклад в физику конденсированного состояния. Нет сомнений в актуальности и научной ценности предпринятого автором исследования.

Объем работы составляет 120 страниц, включая 4 таблицы и 63 рисунка. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка цитируемой литературы из 106 наименований.

Во введении приведён краткий обзор исследований сварки взрывом, а также возможности её применения при различных условиях и в различных отраслях техники. Обосновано представление рассматривать процессы, происходящие при сварке взрывом, как класс открытых систем с большой подводимой энергией, находящихся далеко от равновесия. Обоснована актуальность выбранной темы, определены цель и задачи исследования, представлены основные положения, выносимые на защиту.

Первая глава посвящена анализу работ, рассматривающих эволюцию структуры открытых систем, а также процессов самоорганизации, протекающих в них. Анализируются некоторые гипотезы свариваемости металлов при взрыве, а также структуры, образующиеся в сварном шве. Рассматриваются предложенные различными авторами причины образования зон локального расплавления при сеплении металлов. Кратко представлены теория фракталов и возможность её применения в материаловедении.

Во второй главе обсуждаются экспериментальные особенности исследования и способы приготовления композитов на основе меди, полученных сваркой взрывом. Описаны методики получения информации о рельефе поверхности: анализ продольных сечений поверхности раздела, поперечных сечений, а также способ, при котором медь вытравливается для получения трёхмерной поверхности.

В третьей главе диссертации представлены результаты изменения структуры сварного соединения медь-тантал при различных начальных параметрах (различных режимах сварки). Изучение начинается с режима, при котором не происходит сепления материалов. В таком случае рельеф поверхности представляет собой отдельные выступы тантала. В диссертации предполагается, что выступы – первый этап формирования сварного соединения. При интенсификации режима сварки наблюдаются структуры, названные в диссертации «всплесками», для которых свариваемые материалы уже соединились. Дальнейшее увеличение количества подводимой в систему энергии приводит к формированию «квазиволновой» поверхности, на которой одновременно сосуществуют как всплески, так и разнонаправленные волны с различными амплитудами. Завершающим этапом является образование волнообразной границы. В диссертации установлено, что микроструктура соединения Cu-Ta при интенсификации режима сварки подчиняется принципам самоорганизации открытых систем, которые предполагают, что система выбирает такие диссипативные каналы, которые быстрее всего «тратят» подводимую внешнюю энергию.

Для соединения медь-тантал изучена структура зон локального расплавления, образующаяся при сварке взрывом. Показано, что эти зоны возникают за счёт разлёта частиц тугоплавкого компонента, обладающего большей твёрдостью. Установлено, что данные зоны расплава представляют собой дисперсионно упрочнённую суспензию, так как медь и тантал не имеют взаимной растворимости, и при сварке только медь может расплавиться.

В диссертации представлены два новых механизма, которые позволяют материалам соединяться при сварке взрывом. Это, во-первых, «склеивание» волнообразной поверхности, благодаря хаотически разбросанным зонам расплава, и, во-вторых, создание

дополнительной площади контакта с помощью выступов, расположенных по всей границе раздела.

Для описания сварки взрывом в работе используется теория фракталов. Фрактальная размерность представляет собой численный параметр, отражающий большую или меньшую шероховатость рельефа. Фрактальный подход используется впервые для описания сварки взрывом. В работе предложено два метода расчёта фрактальной размерности: метод «островов» - для плоской границы, и метод «береговой линии» - для волнообразной. Высказано предположение о существовании закономерности в поведении фрактальной размерности при переходе от плоской границы к волнообразной.

В четвёртой главе приведены результаты изучения сварного соединения Cu-Ti. Установлено, что микроструктура соединения Cu-Ti при интенсификации режима сварки подчиняется тем же правилам, что и микроструктура соединения Cu-Ta. Найдены также некоторые отличия данных сварных пар. Для соединения медь-титан показано, что квазиволновая граница, представляет собой структуру, названную автором «прерывистыми волнами».

Внутри зон локального расплавления для соединения Cu-Ti обнаружены интерметаллиды Cu_3Ti . Причиной возникновения интерметаллидов внутри зон расплава является существование взаимной растворимости меди и титана. Показано, что зонами риска для данного соединения как раз и являются данные интерметаллиды.

Так же, как и для соединения Cu-Ta, для соединения Cu-Ti была рассчитана фрактальная размерность. Установлена закономерность: в случае, если металлы не сварились, изучаемая поверхность не является фрактальной; для плоской границы наблюдается максимальная фрактальная размерность, а при дальнейшей интенсификации режима сварки фрактальная размерность начинает уменьшаться.

Используя теорию самоорганизации и теорию фракталов, автор показал, что рельеф поверхности при интенсификации режима сварки в случае плоской границы стремится к уменьшению изрезанности поверхности (уменьшение фрактальной размерности), увеличению зон локального расплавления и увеличению высоты всплесков, что, в конечном счёте, приводит к формированию квазиволновой границы, а затем и волнообразной границы.

Пятая глава посвящена исследованию рельефа поверхности раздела для соединения медь-медь. Изучение однородной пары металлов хорошо вписывается в общую картину работы, так как позволяет определить насколько выявленные особенности эволюции сварного соединения являются универсальными.

В диссертации показано, что изменение структуры рельефа поверхности для однородной пары протекает по схожим механизмам, что и для неоднородной пары. Обнаружены «типичные» примеры тонкой структуры для соединения медь-медь. Найдена квазиволновая поверхность границы раздела. Рассчитана фрактальная размерность для различных режимов сварки. Зоны локального расплавления для однородной пары представляют собой разбавленный твёрдый раствор никеля в меди. Вихрей внутри зоны локального расплавления обнаружено не было, в отличие от соединений медь-титан.

Полученные результаты свидетельствуют об аналогии в поведении различных поверхностей раздела при интенсификации режима сварки и корректность расчёта фрактальной размерности, которая характеризует изрезанность поверхности.

В заключении сформулированы полученные в диссертации научные выводы. Список литературы содержит достаточно полную библиографию по вопросам, рассмотренным в работе. Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Научная новизна работы состоит в следующем:

1. Описывается подход, базирующийся на теории самоорганизации, с помощью которого автор объясняет причины формирования рельефа поверхности раздела, полученного при сварке взрывом. Установлены закономерности эволюции микроструктуры сварного соединения при интенсификации режима сварки.
2. Предлагаются два новых механизма соединения свариваемых материалов. Во-первых – это создание у поверхности излишней площади различными способами, во-вторых – это наличие зон локального расплавления, расположенных на вершинах волн.
3. Рассчитаны фрактальные размерности рельефа для композитов на основе меди, описывающие шероховатости поверхности раздела.

В качестве замечаний отметим следующее:

1. Стенка химического реактора, образованная композитом тантал-медь-сталь, представляет собой одну из наиболее успешных реализаций сварки взрывом. Автором показано, что при ее конструировании удастся преодолеть такие стереотипы, как опасность для свариваемости отсутствия взаимной растворимости исходных элементов и опасность расплавления. Зона риска тем не менее существует. Опасной является так называемая «квазиволновая» граница. При интенсификации режима происходит переход от плоской границы, содержащей всплески, к волнообразной именно через квазиволновую границу. Важно было бы объяснить, почему одновременное наблюдение всплесков и волн, присущее квазиволновой границе, оказывается опасным для сцепления материалов.

2. При характеристике волновой и «квазиволновой» поверхности диссертант вводит понятия «амплитуды» волны и «периода» волны. Неясно, что автор понимает под понятием «периода» волны.

3. Название главы 4 – не совсем удачное, не отражает общего ее содержания.

Высказанные замечания не влияют на общую высокую оценку диссертации Пушкина М.С.

Достоверность полученных в диссертации результатов обеспечивается апробированными методиками исследования, а также согласием с данными, опубликованными в литературе другими авторами.

Научная и практическая значимость определяется совокупностью большого числа экспериментальных данных, полученных сваркой взрывом. Механизмы, обнаруженные в работе, дополняют представления о процессах, происходящих в открытых системах, подвергнутых сильному внешнему воздействию. Результаты, полученные в ходе исследования, позволяют расширить современные представления о закономерностях поведения металлов при сварке взрывом, и также могут быть использованы для оптимизации свойств данных соединений.

Результаты, представленные в диссертации, изложены в статьях, опубликованных в рецензируемых журналах, включённых в перечень ВАК и индексируемых в Web of Science, а также обсуждались на различных конференциях.

Диссертация Пушкина М.С. «Процессы самоорганизации и эволюция микроструктуры при получении композитов на основе меди методом взрывного нагружения» удовлетворяет требованиям пункта 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней (в редакции постановления Правительства Российской Федерации от 24.09.13 №842), предъявляемым к кандидатским диссертациям. Пушкин М.С. заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Официальный оппонент:

Заслуженный деятель науки РФ,

профессор кафедры физики ФГБОУ ВО

«Томский Государственный Архитектурно-Строительный
Университет» (ТГАСУ)

д.ф.-м.н. (специальность 01.04.07 – Физика конденсированного
состояния),

профессор (e-mail: koneva@tsuab.ru)

Н.А. Конева

См. акт. лист.

Подпись Коневой Нины Александровны
удостоверяю
Проректор по научной работе ФГБОУ ВО ТГАСУ

А.В. Цхе

Адрес: Томск-634003, пл. Соляная,2,
ТГАСУ, кафедра физики,
р.т. (3822)654-265

На обработку персональных данных согласен
15.11.2018г

*С отзывом ознакомлен 26.11.2018
(Худискин М.С.)*

Сведения об официальном оппоненте
по диссертации Пушкина Марка Сергеевича
«Процессы самоорганизации и эволюция микроструктуры при получении
композитов на основе меди методом взрывного нагружения»
по специальности 01.04.07 - физика конденсированного состояния,
представляемой на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Полное наименование организации по месту основной работы в соответствии с уставом	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Томский государственный архитектурно-строительный университет»
Почтовый индекс, адрес организации	634003, г. Томск, пл. Соляная 2,
Ученая степень, ученое звание	д.ф.-м.н., профессор
Шифр и наименование специальности, по которой защищена диссертация	01.04.07 – физика конденсированного состояния
Должность и структурное подразделение	профессор Кафедры физики
Телефон	8(3822) 65-42-63
Адрес электронной почты	koneva@tsuab.ru
Являетесь ли Вы работником (в т.ч. по совместительству) организации, где работает соискатель ученой степени, его научный руководитель?	нет
Являетесь ли Вы работником (в т.ч. по совместительству) организаций, где ведутся научно-исследовательские работы, по которым соискатель ученой степени является руководителем или работником организации-заказчика или исполнителем (соисполнителем)?	нет
Являетесь ли Вы соавтором соискателя ученой степени по опубликованным работам по теме диссертации?	нет
Список основных публикаций Официального оппонента по теме диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние пять лет (не более 15 публикаций).	1. Конева Н.А., Тришкина Л.И., Попова Н.А., Козлов Э.В. Накопление дефектов при пластической деформации поликристаллов с размером зерен мезо- и микроуровня // Изв. Вузов. Физика. 2014. Т.57. №2. С.45-53. 2. Козлов Э.В., Конева Н.А., Попова Н.А. Фазовые превращения и накопление дефектов при

- пластической деформации поликристаллических материалов: размерный эффект // *Фундаментальные проблемы современного материаловедения*. 2014. Т. 11. № 4. С.522-528.
3. Киселева С.Ф., Попова Н.А., Конева Н.А., Козлов Э.В. Распределение внутренних напряжений и плотности запасенной энергии в деформированной аустенитной стали // *Фундаментальные проблемы современного материаловедения*. 2014. Т. 11. № 4. С.557-561.
4. Попова Н.А., Конева Н.А., Козлов Э.В. Дислокационная структура и ее компоненты в стали мартенситного класса // *Известия ВУЗов. Черная металлургия*. 2015. №1. Т.58. С.61-70.
5. Теплякова Л.А., Куницына Т.С., Конева Н.А. Влияние ориентации монокристаллов сплава со сверхструктурой $L1_2$ на закономерности формирования субструктуры при сжатии // *Деформация и разрушение материалов*. 2015. №2. С.40-48.
6. Kozlov E.V., S.F. Kiseleva, N.A. Koneva, N.A. Popova. Distribution of Excess Dislocation Density during the Deformation of Austenitic Steel // *Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Physics*. 2015. Vol. 79. №9. P.1162-1164.
7. Козлов Э.В., Попова Н.А., Конева Н.А., Никоненко Е.Л., Сизоненко Н.Р. Влияние равноканального углового прессования на структуру и предел текучести стали 10Г2ФТ // *Деформация и разрушение материалов*. 2016. № 3. С.10-14.
8. Смирнов А.Н., Абабков Н.В., Конева Н.А., Козлов Э.В., Попова Н.А. Структурно-фазовое состояние разрушенного ротора паровой турбины высокого давления // *Металловедение и термическая обработка металлов*. 2015. Т.726. № 12. С.50-57.
9. Ожиганов Е.А., Попова Н.А., Смирнов А.Н., Конева Н.А., Никоненко Е.Л. и др. Изменение структуры и фазового состава в материале сварного шва стали СтЗсп // *Фундаментальные проблемы современного материаловедения*. 2016. Т. 13. № 2. С.191-197.
10. Козлов Э.В. Попова Н.А., Никоненко Е.Л., Сизоненко Н.Р., Конева Н.А. Влияние

равноканального углового прессования на структуру и предел текучести стали 10Г2ФТ // Деформация и разрушение материалов. 2016. № 3. С. 10-14.

11. Попова Н.А., Никоненко Е.Л., Сизоненко Н.Р., Конева Н.А. Влияние высокотемпературного отжига на структурно-фазовое состояние ультрамелкозернистой стали 10Г2ФТ // Известия высших учебных заведений. Физика. 2017. Т. 60. № 4. С. 53-60.

12. Попова Н.А., Ерыгина Л.А., Никоненко Е.Л., Скаков М.К., Конева Н.А., Козлов Э.В. Фазовые превращения в стали 34ХН1М под действием электролитно-плазменной нитроцементации // Известия Российской академии наук. Серия физическая. 2017. Т. 81. № 3. С. 383-385.

13. Конева Н.А., Тришкина Л.И., Черкасова Т.В., Козлов Э.В. Влияние размера зерна на накопление скалярной плотности дислокаций и ее компонент в малолегированных сплавах Cu-Al // Материаловедение. 2017. № 1. С. 12-18.

14. Тришкина Л.И., Конева Н.А., Черкасова Т.В. Субструктуры в разрушенных образцах поликристаллических твердых растворов Cu-Mn // Материаловедение. 2018. №5. С.3-5.

Официальный оппонент

Н.А. Конева

Подпись Коневой Нины Александровны
удостоверяю

И.О. Проректора по НР ТГАСУ

И.Ю. Юрьев

« 9 » ноября 2018г.

