

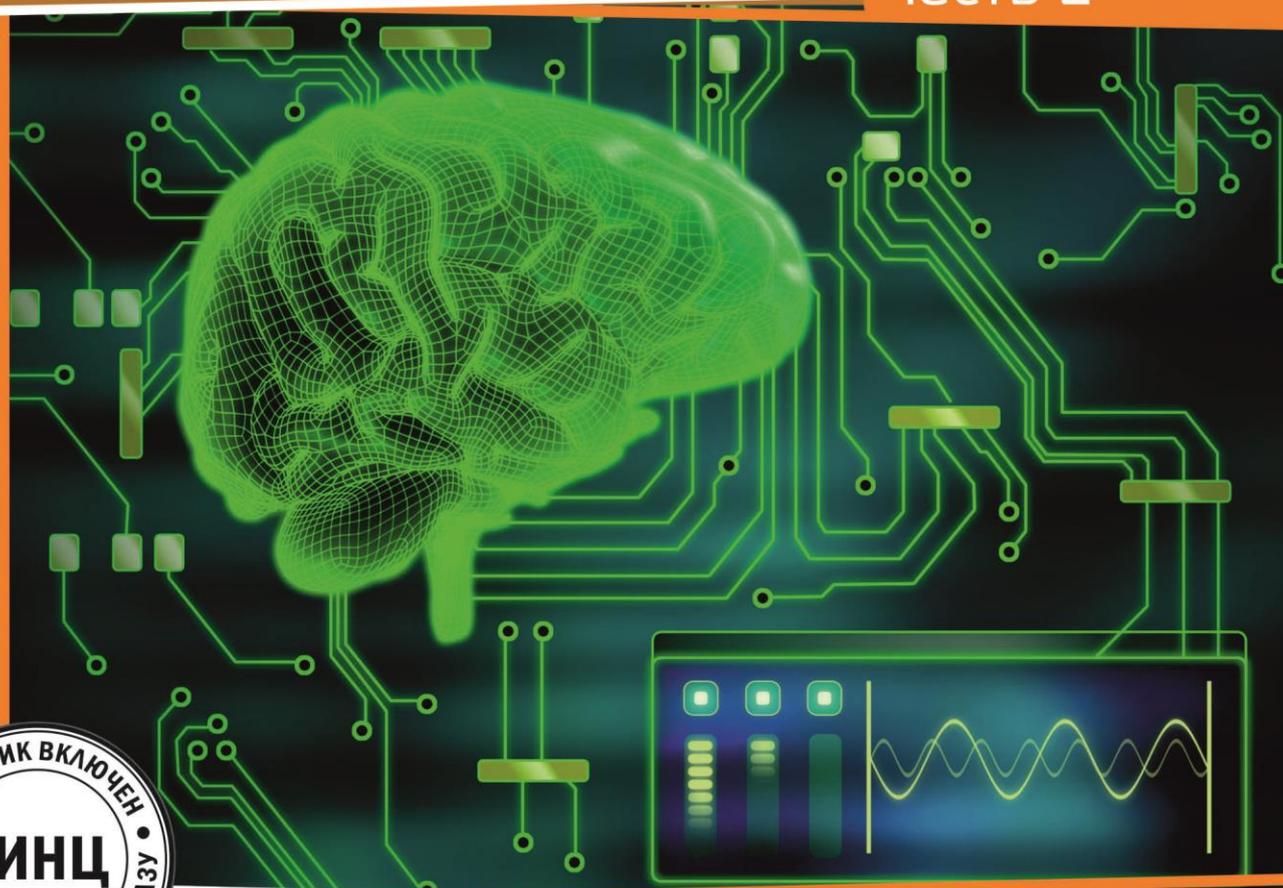


**СИБАК**  
www.sibac.info

ISSN 2310-4066

**LIХ СТУДЕНЧЕСКАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ  
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ**

№ 11(58)  
Часть 2



**НАУЧНОЕ СООБЩЕСТВО  
СТУДЕНТОВ XXI СТОЛЕТИЯ.  
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

г. НОВОСИБИРСК, 2017



# НАУЧНОЕ СООБЩЕСТВО СТУДЕНТОВ XXI СТОЛЕТИЯ. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

*Электронный сборник статей по материалам LIX студенческой  
международной научно-практической конференции*

№ 11 (58)  
Ноябрь 2017 г.

Часть 2

Издается с Октября 2012 года

Новосибирск  
2017

УДК 62  
ББК 30  
Н 34

Председатель редколлегии:

**Дмитриева Наталья Витальевна** – д-р психол. наук, канд. мед. наук, проф., академик Международной академии наук педагогического образования, врач-психотерапевт, член профессиональной психотерапевтической лиги.

Редакционная коллегия:

**Ахмеднабиев Расул Магомедович** – канд. техн. наук, доц. Полтавского национального технического университета им. Ю. Кондратюка;

**Ахметов Сайранбек Махсutowич** – д-р техн. наук, проф., академик Национальной инженерной академии РК и РАЕН, профессор кафедры «Механика» Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева, руководитель Казахского отделения (г. Астана) международной научной школы устойчивого развития им. ак. П.Г. Кузнецова;

**Елисеев Дмитрий Викторович** – канд. техн. наук, доцент, бизнес-консультант Академии менеджмента и рынка, ведущий консультант по стратегии и бизнес-процессам, «Консалтинговая фирма «Партнеры и Боровков».

**Н 34 «Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки»:** Электронный сборник статей по материалам LIX студенческой международной научно-практической конференции. – Новосибирск: Изд. АНС «СибАК». – 2017. – № 11 (58) Часть 2 / [Электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: [http://www.sibac.info/archive/Technic/11\(58\).pdf](http://www.sibac.info/archive/Technic/11(58).pdf).

Электронный сборник статей по материалам LIX студенческой международной научно-практической конференции «Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки» отражает результаты научных исследований, проведенных представителями различных школ и направлений современной науки.

Данное издание будет полезно магистрам, студентам, исследователям и всем интересующимся актуальным состоянием и тенденциями развития современной науки.

Электронный сборник статей «Научное сообщество студентов. Технические науки»: включен в систему Российского индекса научного цитирования (РИНЦ). Статьи, принятые к публикации, размещаются на сайте научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU.

ПРИБЛИЖЕННЫЙ РАСЧЕТ РЕГУЛИРУЕМОГО СВЕРХЗВУКОВОГО ПРЯМОТОЧНОГО ВОДЗУШНО-РЕАКТИВНОГО ДВИГАТЕЛЯ Бауржанулы Исламбек Сизов Андрей Александрович	36
ОПРЕДЕЛЕНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ПРИ СТАЦИОНАРНОМ РЕЖИМЕ ОБТЕКАНИЯ Гуц Юлия Андреевна Смирнова Вероника Евгеньевна Исмагилов Денис Рашидович	41
ТВЕРДОТОПЛИВНЫЕ РАКЕТНЫЕ ДВИГАТЕЛИ Малышев Евгений Романович Никулов Михаил Константинович	45
ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ПАРАМЕТРЫ ТЕПЛООБМЕНА ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА Смирнова Вероника Евгеньевна Гуц Юлия Андреевна Исмагилов Денис Рашидович	48
<b>Секция «Математика»</b>	<b>51</b>
ТЕСТОВЫЙ КОНТРОЛЬ В ПРОЦЕССЕ ОБУЧЕНИЯ МАТЕМАТИКЕ Ковачева Ксения Александровна Серба Александра Сергеевна Зверева Лариса Геннадиевна	51
ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ФАКТОРИЗАЦИИ НАТУРАЛЬНОГО ЧИСЛА Серба Александра Сергеевна Оленев Александр Анатольевич	54
<b>Секция «Материаловедение»</b>	<b>58</b>
ИСПЫТАНИЕ ЗАГОТОВОК ИЗ ABS – ПЛАСТИКА С ТЕХНОЛОГИЕЙ ЗАПОЛНЕНИЯ RESTILINEAR МЕТОДОМ РАСТЯЖЕНИЯ. ВЫЯВЛЕНИЯ ЗАВИСИМОСТИ МОДУЛЯ УПРУГОСТИ И МАКСИМАЛЬНОЙ НАГРУЗКИ ОТ СТЕПЕНИ ЗАПОЛНЕНИЯ Васильев Дмитрий Сергеевич Шевченко Иван Николаевич Коваленко Виктор Викторович	58
СВАРКА ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ (СТП) НА ПРИМЕРЕ НАРАЗЪЕМНОГО БИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО СОЕДИНЕНИЯ АЛЮМИНИЙ – МЕДЬ Гришанков Алексей Артурович Коваленко Виктор Викторович	62
ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ВЛИЯНИЯ ОБРАБОТКИ ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АМГ-5 Княжев Евгений Олегович Коваленко Виктор Викторович	67
ТЕХНИЧЕСКАЯ КЕРАМИКА И ЕЁ ПРИМЕНЕНИЕ Лебедева Ксения Константиновна Коваленко Виктор Викторович	73

ИЗУЧЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ СПЛАВА Д16 ПОСЛЕ СВАРКИ ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ Лугинин Никита Андреевич Коваленко Виктор Викторович	76
ИЗУЧЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НЕРАЗЪЕМНОГО БИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО СОЕДИНЕНИЯ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АД31 И МЕДИ МАРКИ М1, ПОЛУЧЕННОГО СВАРКОЙ ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ Панфилов Александр Олегович Коваленко Виктор Викторович	82
ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ СОЕДИНЕНИЯ АЛЮМИНИЙ – МЕДЬ, ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ СТП Черемнов Андрей Максимович Коваленко Виктор Викторович	88
ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ МОДУЛЯ УПРУГОСТИ И МАКСИМАЛЬНОЙ НАГРУЗКИ ОТ СТЕПЕНИ ЗАПОЛНЕНИЯ ЗАГОТОВОК ИЗ ABS – ПЛАСТИКА С ТЕХНОЛОГИЕЙ ЗАПОЛНЕНИЯ LINE В ПРОЦЕССЕ ИСПЫТАНИЯ РАСТЯЖЕНИЕМ Шевченко Иван Николаевич Васильев Дмитрий Сергеевич Коваленко Виктор Викторович	93

## СВАРКА ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ (СТП) НА ПРИМЕРЕ НАРАЗЪЕМНОГО БИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО СОЕДИНЕНИЯ АЛЮМИНИЙ – МЕДЬ

**Гришанков Алексей Артурович**

*студент кафедры ЕНД имени профессора В.М. Финкеля, СибГИУ,  
РФ, г. Новокузнецк  
Mail: [Domian844@gmail.com](mailto:Domian844@gmail.com)*

**Коваленко Виктор Викторович**

*научный руководитель, д-р физ.-мат. наук, профессор,  
кафедра ЕНД имени профессора В.М. Финкеля, СибГИУ,  
РФ, г. Новокузнецк*

Основным требованием, предъявляемым к любой конструкции, применяемой в различных отраслях промышленности, является обеспечение высокого уровня работоспособности в течение определенного срока при заданных условиях эксплуатации. В настоящее время одним из эффективных способов выполнения указанных требований получения высококачественных соединений является сварка трением с перемешиванием (СТП).

Метод сварки трением с перемешиванием был разработан в Британском институте сварки в 1991 году. Он относится к твердофазным способам образования соединений материалов с использованием трения. Этот способ соединения разрабатывался для алюминиевых сплавов с целью решения многих проблем, связанных со сваркой плавлением. Дальнейшее развитие метода показал возможность его применения для широкого круга материалов [1].

Выполненные в последние годы исследования показали, что СТП является эффективным способом получения высококачественных соединений конструкций различной геометрии, включая листовые материалы, пространственные профильные конструкции, трубы, восстановления изношенных деталей, модифицирования и улучшения структуры материалов, заживления трещин и литейных дефектов.

СТП может быть признан универсальной технологией, имеющей большие перспективы в различных отраслях производства. По мнению ведущих мировых экспертов, технология СТП является революционной в области сварки листовых материалов из легких сплавов (алюминиевых и магниевых), она оценивается как ключевая для создания авиационной техники пятого поколения. Толщины свариваемых СТП листовых материалов достигли для алюминиевых сплавов 110 мм, а для сталей и никелевых сплавов 45 мм [2].

Процесс сварки трением с перемешиванием заключается в том, что для сварки используют инструмент в форме стержня, состоящий из двух основных частей: заплечика или бурта (утолщенная часть) и наконечника (выступающая часть). Размеры этих конструктивных элементов выбирают в зависимости от толщины и материала свариваемых деталей. Так, длину наконечника устанавливают приблизительно равной толщине детали, подлежащей сварке, диаметр заплечика может изменяться от 1,2 до 25 мм. Вращающийся с высокой скоростью инструмент в месте стыка вводится в соприкосновение с поверхностью заготовок так, чтобы наконечник внедрился в заготовки на глубину, примерно равную их толщине, а заплечик коснулся их поверхности. После этого инструмент перемещается по линии соединения со скоростью сварки. В результате работы сил трения происходит нагрев металла до пластического состояния, перемешивание его вращающимся инструментом и вытеснение в освобождающееся пространство позади движущегося по линии стыка инструмента. Объем, в котором формируется шов, ограничивается сверху заплечиком инструмента. По окончании сварки вращающийся инструмент выводят из стыка за пределы заготовки. В связи с асимметрией структуры швов в поперечном сечении сварных соединений, полученных сваркой трением с перемешиванием, принято различать сторону набегания, где направление вращения инструмента совпадает с направлением сварки, и противоположную сторону – отхода [3].

Применение СТП связано с высоким качеством получаемых сварных соединений. Перемешивание металла в твердой фазе в условиях «теплой» деформации делает эффект более прочной микроструктуры чем основной материал. Прочность на растяжение и усталостная прочность сварного шва составляет 90 % от характеристик основного материала на уровне, обеспечиваемом применением дорогостоящих сварок. СТП может выполняться в различных позициях вертикальной, горизонтальной, под наклоном, и т. д. Обеспечивается возможность сваривания разнородных материалов, термопластичных пластиков и композиционных материалов [4].

Целью работы является исследование микроструктуры и механических свойств неразъемного биметаллического соединения алюминиевого сплава АД0 и меди марки М1, полученного сваркой трением с перемешиванием.

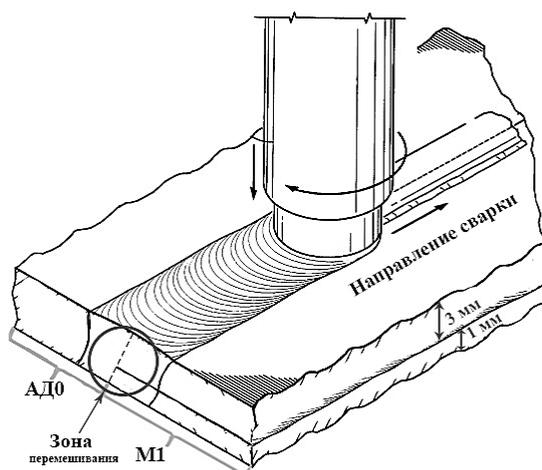
В качестве материала исследования выбрано неразъемное биметаллическое СТП соединение из алюминиевого сплава АД0 и меди марки М1. Физико-химические свойства алюминия и меди представлены в таблице 1.

*Таблица 1.*

**Физико-химические свойства алюминия и меди.**

Свойство вещества	Значение	
	Алюминий	Медь
Плотность, г/см <sup>3</sup>	2.7	8.92
Температура плавления, °С	660	1083
Теплопроводность, Вт/(м·К)	203.5	401
Электропроводность, см/м	37·10 <sup>6</sup>	58.1·10 <sup>6</sup>
Временное сопротивление разрыву, кг/мм <sup>2</sup>	Литой 10-12, деформируемый 18-25	25-29
Модуль Юнга, 10 <sup>5</sup> кгс/см <sup>2</sup>	7.1	12.5
Температурный коэффициент линейного расширения 1/°С	16·10 <sup>-6</sup>	24·10 <sup>-6</sup>

Схема СТП сплава АД0 и меди М1 представлена на рисунке 1.



*Рисунок 1. Схема СТП сплава АД0 и меди М1*

Для подготовки образца к исследованию использовалась шлифовальная бумага различной зернистости (Р400-Р2000). Для полирования использовалась алмазная паста. Далее происходило травление в два этапа. Сначала сторона Al – реактивом Келлера (HCl, HF, HNO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O), затем вторая сторона Cu – FeCl<sub>3</sub>, HCl, H<sub>2</sub>O.

Для исследования поверхности сварного соединения использовался оптический микроскоп АЛЬТАМИ МЕТ-1С. С помощью оптического микроскопа были получены изображения алюминиевой и медной поверхностей образца, которые затем объединены в одно изображение всей поверхности.

Замеры микротвердости проводились микротвердомером ПМТЗ по методу Виккерса по всей длине образца с нагрузкой  $P=50$  г., шагом 1мм и временем выдержки 12 секунд.

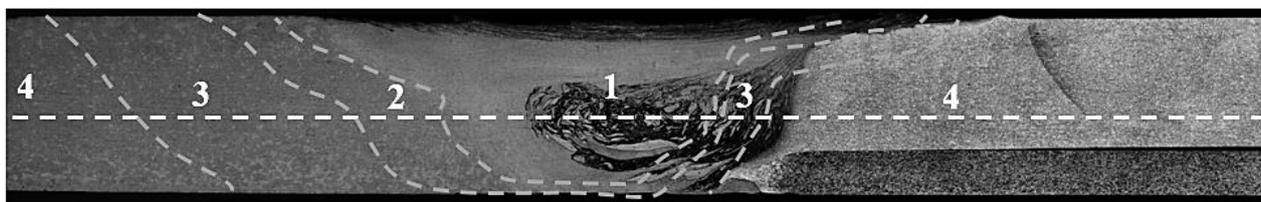
На рисунке 2 показано составное макроскопическое изображение неразъемного биметаллического соединения алюминиевого сплава АД0 и меди марки М1, полученного сваркой трением с перемешиванием. Красными пунктирными линиями показаны характерные структурные зоны СТП соединения.

1) Зона перемешивания (ЗП) – зона, в которой происходит деформация и образуется ядро шва.

2) Зона термомеханического влияния или ЗТМВ – зона вблизи сварочного шва. Характерна небольшая деформация. В данной зоне происходит передача тепла с зоны перемешивания.

3) Зона термического влияния или ЗТВ – зона, в которой зерна почти не отличаются от зерен основного металла, но обладают большей твердостью.

4) Основной металл (ОМ) – зона, которая не подвергается никаким воздействиям.



*Примечание: 1 – зона перемешивания (ЗП), 2 – зона термомеханического влияния (ЗТМВ), 3 – зона термического влияния (ЗТВ), 4 – основной металл (ОМ).*

**Рисунок 2. Составное макроскопическое изображение неразъемного биметаллического соединения алюминиевого сплава АД 0 и меди марки М1 полученного сваркой трением с перемешиванием. Микротвердость измерялась вдоль белой пунктирной линии**

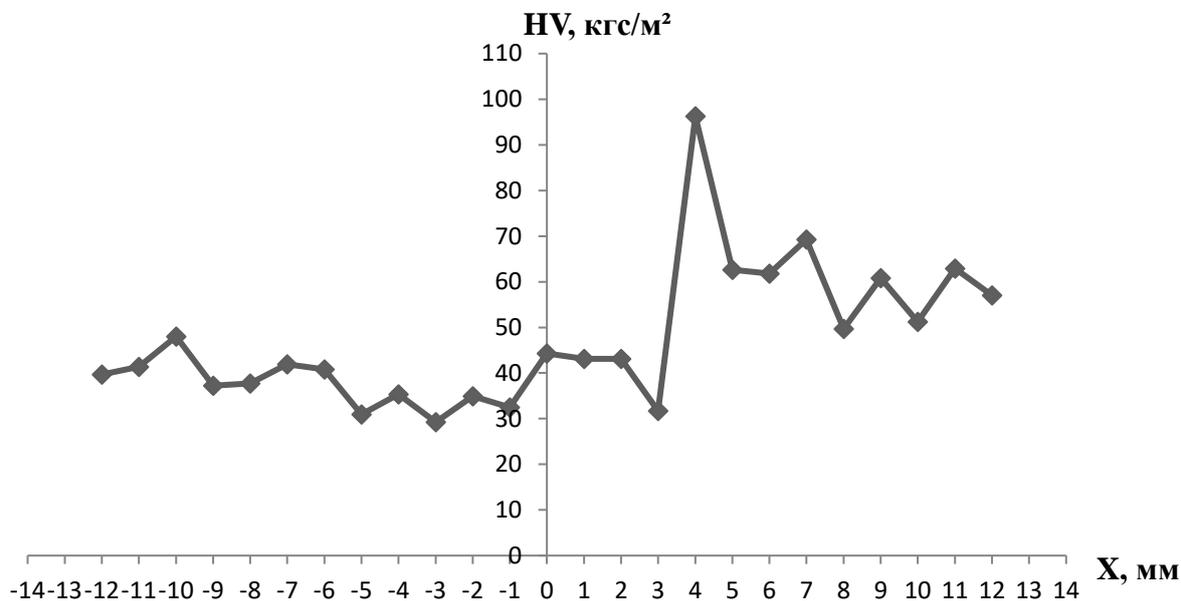
Микротвердость измерялась вдоль белой пунктирной линии (см. рис.3) равноудаленно от поверхностей с шагом 1 мм. Результаты измерений представлены в таблице 2.

**Таблица 2.**

**Результаты измерений микротвердости образца**

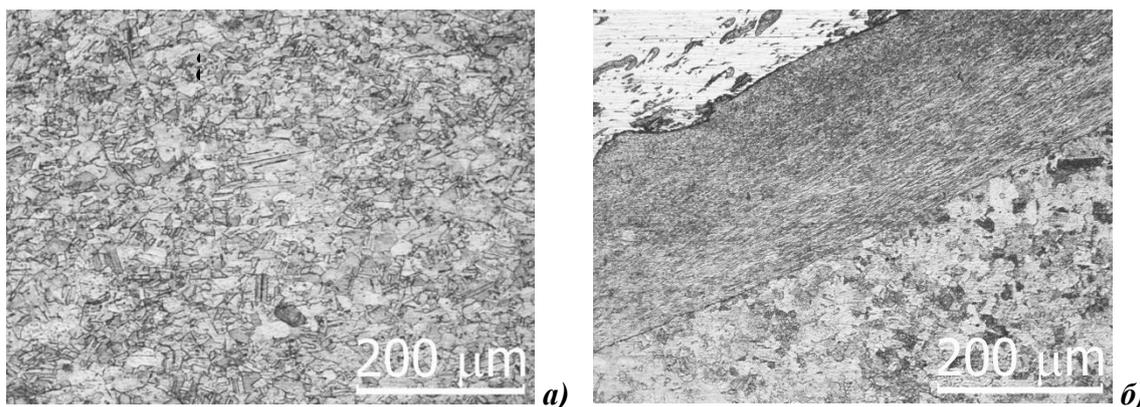
х, мм	HV, кгс/м <sup>2</sup>	х, мм	HV, кгс/м <sup>2</sup>
-12	39,688	1	43,08
-11	41,352	2	43,08
-10	48	3	31,704
-9	37,22	4	96,26
-8	37,7	5	62,66
-7	41,928	6	61,824
-6	40,776	7	69,26
-5	30,936	8	49,66
-4	35,34	9	60,78
-3	29,248	10	51,2
-2	34,924	11	62,88
-1	32,472	12	57,004
0	44,28		

На рисунке 3 показан график распределения микротвердости, из которого следует, что в пластине меди ЗТВ и ЗТМВ она существенно меньше, чем в аналогичных зонах в алюминиевой пластине. Это связано с тем, что температура плавления и теплопроводность у меди выше, чем у алюминия, а метод СТП подразумевает асимметрию при соединении пластин. Инструмент периферийно захватывает медь, вследствие чего разогрев меди происходит в меньшей степени, а скорость теплоотдачи увеличивается.



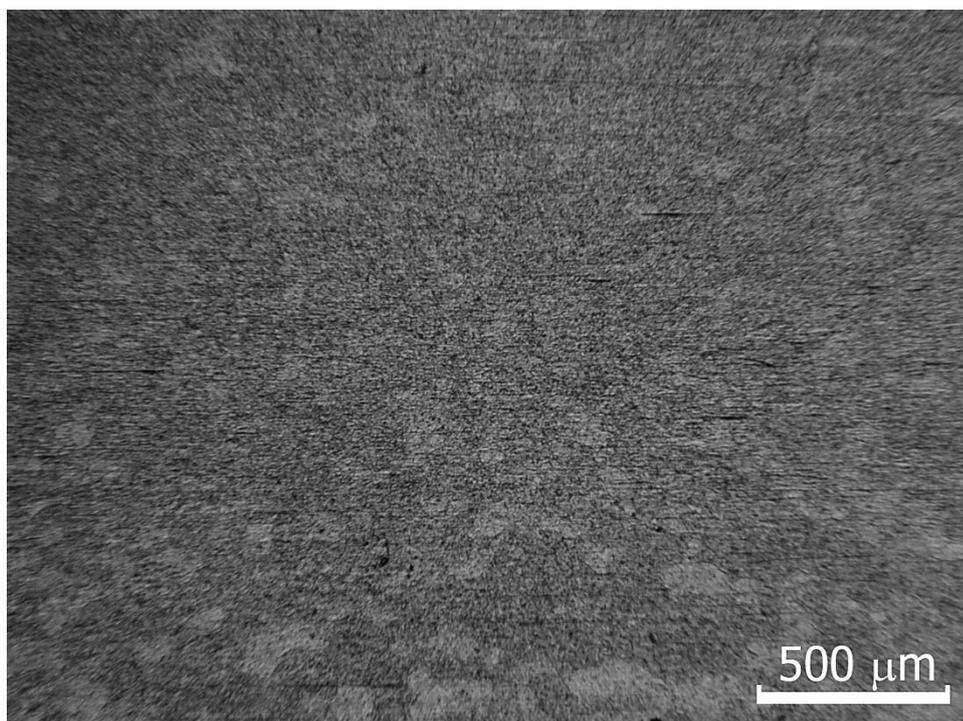
**Рисунок 3. Распределение микротвердости в неразъемном биметаллическом СТП соединении сплава АД0 и меди М1**

На рисунке 4а показано увеличенное изображение ОМ меди марки М1. Средний размер зерна  $d=34.75\pm 25.19$  мкм. На рисунке 4б виден резкий переход от ЗТМВ к ОМ, что подтверждает ранее описанные предположения о теплопроводности меди.



**Рисунок 4. Увеличенное в 200 крат изображение микроструктуры меди марки М1 в биметаллическом СТП соединении: а) ОМ, б) ЗТМВ и ЗТВ**

В пластине алюминия размер зерна значительно уменьшается от ОМ к ЗП. Средний размер зерна в ОМ составляет  $d=211.36\pm 67.019$  мкм, что в 84.5 раз превышает средний размер зерна в ЗП (1,5-2,5 мкм), это можно заметить на рисунке 5.



***Рисунок 5. Увеличенное в 50 крат изображение микроструктуры алюминия АД0 в биметаллическом СТП соединении в зоне ОМ***

В ходе эксперимента было выявлено, что микротвердость материала в зоне перемешивания выше, чем в зоне термического влияния и в зоне основного металла. В медной пластине пик микротвердости наблюдается в ЗТВ.

Микроструктура исследуемого образца изменяется от ОМ к ЗП как для алюминиевой пластины, так и для меди. Средний размер зерна в ЗП существенно ниже, чем в ОМ.

#### **Список литературы:**

1. Всесоюзный конструкторско-технологический Институт Сварочного Производства [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.visp-ltd.com>, свободный. – Загл. с экрана.
2. Сварка трением с перемешиванием – Мир Сварки [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://weldworld.ru>, свободный. – Загл. с экрана.
3. Сварка трением с перемешиванием конструкционных материалов [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://svarka-24.info>, свободный. – Загл. с экрана.
4. Промышленный интернет-портал Мир Пром. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://mirprom.ru>, свободный. – Загл. с экрана.