

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Факультет
машиностроения и транспорта
(наименование)

Кафедра
Сварочное, литейное производство
и материаловедение
(наименование)

Направление подготовки

22.03.01 «Материаловедение и
технология материалов»
(код и наименование)

Профиль

«Материаловедение и технология новых
материалов»
(наименование)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему

«Исследование пластических и электрофизических свойств
тонколистового биметалла медь-алюминий, полученного с
применением сварки взрывом»

Студент

 19.06.2018
(подпись, дата)

Турутин Сергей Алексеевич
(ф.и.о. полностью)

Научный руководитель
к.т.н., доцент

 18.06.2018
(подпись, дата)

Крюков Д.Б.
(фамилия, инициалы)

Нормоконтролёр
к.т.н., доцент

 18.06.2018
(подпись, дата)

Хорин А.В.
(фамилия, инициалы)

Работа допущена к защите (протокол заседания кафедры от 04.06.18 № 11)

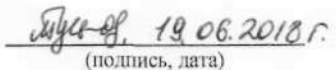
Заведующий кафедрой

 18.06.18
(подпись, дата)

Логинов О.Н.
(фамилия, инициалы)

Работа защищена с отметкой удовлетворительно (протокол заседания ГЭК от 19.06.2018 № 10)

Секретарь ГЭК
к.т.н., доцент

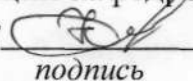
 19.06.2018 г.
(подпись, дата)

Гуськов М.С.
(фамилия, инициалы)

Пенза 2018

ФГБОУ ВО «ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ФАКУЛЬТЕТ МАШИНОСТРОЕНИЯ И ТРАНСПОРТА
КАФЕДРА «Сварочное, литейное производство и материаловедение»

«Утверждаю»

Заведующий кафедрой СЛПиМ
к.т.н., доцент  О.Н. Логинов
подпись

« 08 » 12 2017 г.

ЗАДАНИЕ
на выпускную квалификационную работу

Студенту гр. 14МТ1 Факультета машиностроения и транспорта Политехнического института ПГУ, очной формы обучения по направлению подготовки 22.03.01 «Материаловедение и технология материалов»

Турутину Сергею Алексеевичу.

Научный руководитель работы: к.т.н., доцент Крюков Д.Б.

Время выполнения ВКР: с 08.12.2017 г. по 19.06.2018 г.

Место преддипломной практики: кафедра «Контроль и испытания материалов» ПГУ.

Тема работы: Исследование пластических и электрофизических свойств тонколистового биметалла медь-алюминий, полученного с применением сварки взрывом.

Тема утверждена приказом ректора ПГУ № 1253/О от 08 декабря 2017 г.

Техническое задание на работу (назначение устройства, условия применения, внешние воздействия, специальные требования и т.п.): выполнить исследование пластических и электрофизических свойств тонколистового биметалла медь-алюминий, полученного с применением сварки взрывом

Объём и содержание основной части работы

Пояснительная записка (перечень вопросов, подлежащих разработке, расчетов, обоснований, описаний):

Литературно – патентный обзор

- Биметаллы. Классификация биметаллов;
- Способы получения биметаллов;
- Сварка материалов взрывом;
- Патентный поиск

Технологическая часть

- Биметалл медь-алюминий. Применение, структура и свойства;
- Методики, приборы и оборудование, предназначенные для исследования;

Экспериментальная часть

- Определение переходного электросопротивления тонколистового биметалла медь-алюминий, полученного сваркой взрывом

- Исследование пластических свойств тонколистового биметалла медь-алюминий
- заключение – выводы и обоснования по теме работы и полученным результатам.

Презентация выпускной квалификационной работы (перечень и содержание плакатов)

- тема ВКР 1л А4;
- цели и задачи работы 1л А4;
- сравнительный анализ технологий получения биметаллов 1л А4;
- сварка взрывом 1л А4;
- параметры свариваемости биметалла медь-алюминий 1л А4;
- оборудование предназначенное для исследования 1л А4;
- определение переходного электросопротивления биметалла медь-алюминий 1л А4;
- Исследование переходного электросопротивления биметалла медь-алюминий 2л А4;
- Динамика увеличения переходного электросопротивления биметалла 1л А4;
- Исследование пластических свойств биметалла 1л А4;
- Результаты исследования по оценке пластичности 1л А4;
- основные выводы 1л А4.

Рекомендуемая литература:

1. Колесов С.Н. **Материаловедение и технология конструкционных материалов.** [Текст]: учебник /С.Н Колесов, И.С. Колесов.- М. Высшая школа, 2004. - 518 с.

2. Адаскин А.М. **Материаловедение** [Текст]: учебник / А.М. Адаскин, Ю.Е. Седов, А.К. Онегина. - М.: Юрайт, 2013 - 535 с.

3. **Композиционные материалы** [Текст]: справочник / под ред. Карпиноса Д.М. – Киев: Наукова думка, 1985.- 592 с.

Дата выдачи задания: 08.12.2017 г.

Руководитель ВКР:

к.т.н, доцент

Задание к исполнению принял студент

гр. 14МТ1

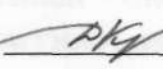
08 декабря 2017 г.

Выпускную квалификационную работу к защите допустить

Декан факультета машиностроения и транспорта

Политехнического института ПГУ

ОПОП освоена в полном объеме.
К государственной итоговой аттестации
С.Ю. Киреев

 Д.Б. Крюков
 С.А. Турутин

Аннотация

Выпускная квалификационная работа содержит 66 с., 20 рис., 12 табл., 32 используемых источника, приложение 1.

БИМЕТАЛЛ, СВАРКА ВЗРЫВОМ, ПОЛУЧЕНИЕ БИМЕТАЛЛОВ, КЛАССИФИКАЦИЯ БИМЕТАЛЛОВ, ПАРАМЕТРЫ СВАРКИ ВЗРЫВОМ, ПЛАСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА, ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА.

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена исследованию пластических и электрофизических свойств в тонколистовом биметалле медь – алюминий, полученного с применением сварки взрывом.

Объектом исследования является тонколистовой биметалл медь – алюминий.

Предметом исследования является изучение пластических и электрофизических свойств

Целью настоящей выпускной квалификационной работы исследование пластических и электрофизических свойств в тонколистовом биметалле медь – алюминий, полученного с применением сварки взрывом. Методы исследования – основные положения общей теории материаловедения, литературный обзор; методы исследования пластических и электрофизических свойств.

Экспериментальные исследования проводились путем исследования пластических и электрофизических свойств с помощью выдавливание сферической лунки на приборе Эриксона, а также измерения сопротивления переходной зоны биметалла медь-алюминий с использованием микроомметра БСЗ-010-2.

					ПГУ.ВКР.22.03.01.14МТ120.ПЗ			
Лист	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата	Исследование пластических и электрофизических свойств тонколистового биметалла медь-алюминий, полученного с применением сварки взрывом	Лит	Лист	Листов
Разраб.	Турутин С.А.						2	66
Пров.	Крюков Д.Б.					каф. «С/П и М», гр.14МТ1		
Н. контр.	Хорин А.В.							
Утв.	Логинов О.А.							

Содержание

Введение.....	5
1 Аналитическая часть.....	6
1.1 Общая информация о биметалле.....	6
1.2 Классификация биметаллов.....	7
1.2.1 Коррозионностойкие биметаллы.....	7
1.2.2 Антифрикционные биметаллы	8
1.2.3 Проводниковые и контактные биметаллы	9
1.2.4 Термобиметаллы	11
1.3 Методы получения биметаллов.....	12
1.3.1 Получение биметаллов заливкой	12
1.3.2 Получение биметаллов совместной пластической деформацией	15
1.3.3 Получение биметаллов электросваркой и наплавкой	19
1.4 Метод получения биметаллов сваркой взрывом	22
1.4.1 Схемы сварки взрывом.....	22
1.4.2 Требования к взрывчатым веществам	24
1.4.3 Параметры процесса сварки взрывом.....	25
1.5 Патентный поиск	31
2 Теоретическая часть.....	36
2.1 Биметалл медь-алюминий. Применение, структура и свойства	36
2.2 Методики, приборы и оборудование, предназначенные для исследований	41
2.2.1 Методика исследования пластических свойств биметалла...	41
2.2.2 Методика исследования электросопротивления биметалла .	44
3 Экспериментальная часть.....	50
3.1 Исследуемые материалы	50

3.2	Определение переходного электросопротивления тонколистового биметалла медь-алюминий, полученного сваркой взрывом	52
3.3	Исследование пластических свойств тонколистового биметалла медь-алюминий	58
	Заключение	62
	Список использованных источников	63

Введение

Композиционные материалы, с сочетанием свойств таких как: прочность, химическая стойкость, жаростойкость предоставляют обширные перспективы для потенциальной возможности модернизировать технологические процессы и улучшить качества продукции в различных областях промышленных работ. К данным критериям, очевидно, подходят биметаллические и многослойные материалы, которые содержат полный аспект вышеперечисленных свойств.

На сегодняшний день широко используются методы изготовления биметаллов на основе литейных методов с использованием заливки, получение биметаллов совместной пластической деформацией, методы на основе сварки. Так же для создания тонколистовых биметаллов используют сварку взрывом.

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена исследованию пластических и электрофизических свойств в тонколистовом биметалле медь – алюминий, полученного сваркой взрывом.

Целью настоящей выпускной квалификационной работы исследование пластических и электрофизических свойств в тонколистовом биметалле медь – алюминий, полученного с применением сварки взрывом.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- Провести литературный обзор биметаллов, классификации биметаллов и методы получения, с целью обоснования выбора технологии сварки взрывом для получения композиционного материала медь-алюминий.
- Анализ комплекса методик, приборов и оборудования, необходимых для проведения исследований.
- Определить электрофизические свойства тонколистового биметалла медь-алюминий, полученного сваркой взрывом.
- Исследовать пластические свойства тонколистового биметалла медь-алюминий, для определения рациональных пластических свойств материала.

1 Аналитическая часть

1.1 Общая информация о биметалле

Биметалл это двухслойный или многослойный материал, получающийся из двух различных металлов или сплавов, соединение которых обладает повышенной надежностью между собой по всей поверхности контакта, и представляющее собой монолитное целое. Применяют для повышения прочности и жаростойкости конструкций или как материал со специальными свойствами [1].

Намного реже для создания биметалла используют многослойные материалы, состоящие из трех или более различных металлов или сплавов. Данные получающиеся композиции можно так же условно считать биметаллом, так как в нем имеется два или более различных материала.

Рассматриваемый материал является прогрессивным и имеет успешное использование в различных сферах промышленности [2].

Данные композиционные материалы являются одними из наиболее успешных заменителей дефицитных дорогостоящих металлов и сплавов, с целью продуктивной экономии.

В связи с многообразием использования на сегодняшний день биметалл производится в различных видах, а именно в виде листов, лент, полос, прутков, проволоки, тросов, фасонных профилей и труб. Из данного перечисления выражено, что биметалл изготавливается в огромном аспекте видов изделий и используется в областях, где распространены привычные стали и сплавы [2].

Таким образом представленный материал можно разделить на: коррозионностойкий, износостойкий, антифрикционный, проводниковый, контактный и термобиметалл.

1.2 Классификация биметаллов

1.2.1 Коррозионностойкие биметаллы

Из источника [3] к коррозионностойким биметаллам подразделяют листовые изделия, созданные из биметаллических материалов, также возможность создания труб из этого материала и другие изделия. Выбор той или иной композиции биметалла, конечно, обуславливается в каких агрессивных средах и условиях, используется данный композиционный материал, т.е. необходимо, что бы плакирующий слой биметалла являлся стойким против агрессивного воздействия среды, в которой он будет использоваться, а основной слой, следовательно, обязан обеспечивать требуемую конструкционную прочность и жесткость изделия. Цена биметалла не должна быть выше, чем у тех материалов, которые эксплуатируются в данных условиях.

Например, медь, никель и серебро являются материалами, обладающими стойкостью к определенным химическим средам. Однако, при возникновении потребности в производстве из перечисленных материалов оборудования для химической промышленности их механические свойства будут недостаточными для корректной работы. Лишь в случае использования биметалла с основой из стали и плакировкой из меди, никеля или серебра удастся достичь требуемой прочности аппарата и коррозионной стойкости. Таким образом, лишь при применении биметалла достигаются необходимые конструкционные свойства материала.

В качестве основного слоя биметалла наибольшее распространение во всех отраслях промышленности получила обычная углеродистая мартеновская спокойная сталь с содержанием углерода не более 0,25.

Основной характеристикой данной композиции является надежность в эксплуатации в агрессивных средах. Поэтому материал плакирующего слоя подбирают таким образом, что бы он соответствовал предъявленным требованиям.

Антикоррозионные свойства биметаллов являются такими же, как и у однородного металла плакирующего слоя. Более того, устойчивость против коррозионного растрескивания и коррозионной усталости плакирующих слоев нередко выше, чем у однослойного металла того же состава.

Большее распространение в качестве коррозионностойкого листового материала получает биметалл сталь + титан. Это вызвано тем, что титан имеет необходимую устойчивость, в различных агрессивных средах. За счет этого, титан используется в различных технологических операциях, где присутствует необходимость в широких аспектах коррозионной защиты. Срок эксплуатации таких аппаратов и емкостей в результате применения коррозионностойкого материала на основе титана повышается в десятки и сотни раз.

1.2.2 Антифрикционные биметаллы

Из источника [2] выявлено обширное применение в машиностроении. Впервые алюминиевые сплавы для подшипников двигателей внутреннего сгорания были предложены еще во время первой мировой войны, данное действие необходимо было для сохранения дефицитных цветных металлов.

Огромный список работ посвящен поиску дешевых материалов, которые могли бы использоваться для изготовления подшипников. Также данные материалы должны обладать антифрикционными свойствами, а также иметь высокую прочность.

Тонкий слой металла, обладающий низким коэффициентом трения должен иметь высокую проводимость тепла, также необходимо, что бы данный материал обладал большой усталостной прочностью при температурах, в которых происходит работа подшипника. Кроме того, не должно быть схватывания и заедания при трении, износа и царапания вала.

Несмотря на низкий модуль упругости, алюминиевые сплавы выгодно отличаются от многих других материалов, применяемых подшипников, своей доста-

точно высокой прочностью и поэтому могут применяться в условиях тяжелых нагрузок, особенно в биметаллической конструкции подшипника.

Невысокий модуль упругости алюминиевых антифрикционных сплавов является даже положительным их свойством, так как при появлении больших краевых давлений вследствие перекоса или прогиба вала или других местных перегрузок алюминиевый сплав деформируется, в результате чего нагрузка перераспределяется на большую площадь, и между трущимися поверхностями сохраняется масляная пленка.

Некоторые пластичные алюминиевые сплавы близки по своим свойствам к высокопрочным баббитам. Однако в отличие от баббитов их свойства мало понижаются при рабочей температуре двигателя. Ценным свойством этих сплавов является их устойчивость против корродирующего действия смазочного масла и продуктов его разложения.

Алюминиевые антифрикционные сплавы тем не менее имеют определенную область применения и не могут быть универсальными заменителями всех других антифрикционных сплавов.

1.2.3 Проводниковые и контактные биметаллы

В электропромышленности и электронике широкое применение имеют биметаллы в виде проволоки, полос, лент и труб. Они применяются в качестве проводниковых биметаллов. В данных композициях происходит использование широкого перечня металлов и сплавов. Сочетание металлов и сплавов используется так, что бы материал с высокой электропроводностью находился на поверхности, а основа состояла из материала, который обладает меньшей электропроводностью по сравнению с тем материалом, который используется на поверхности [2].

Из источника [4] обусловлена возможность получения хороших служебных свойств с использованием минимальных ресурсов дорогостоящих материалов, и формирование новых свойств.

Биметаллы, применяемые в качестве проводников, кроме экономии, дают ряд преимуществ в сравнении с монометаллами.

Главные из них следующие: более высокая по сравнению с основным металлом электропроводность, повышенная прочность, уменьшенный вес, хорошая защита в области химических сред, легко окисляющихся металлов и обладание приемлемой цены.

Широкое применение в роли материалов проводников, которые состоят из биметалла, обрели композиции материалов, с использованием в качестве плакирующего слоя медь. Данный материал в качестве плакирующего слоя значительно прибавляет к композиции проводимость электричества.

Для электротехнической промышленности различными зарубежными и отечественными заводами выпускаются биметаллы алюминий медь в виде листов и полос толщиной от 1 до 20 мм, шириной до 900 мм, длиной до 4000 мм с толщиной слоя меди от 1 до 30 %. Из этих биметаллов изготавливают детали рубильников, шины и другие изделия.

В электротехнике широко применяются контактные биметаллы, представляющие собой биметаллы с местной плакировкой. При этом плакирующий слой обычно делается из металла с хорошей электропроводностью — серебра и его сплавов. Применяется также медь, никель, кадмий, палладий и др. [2].

Платина, палладий, золото и его сплавы применяются в контактах низкого давления, например в телефонных реле. В таких биметаллах плакирующий слой располагается различным образом – по плоскости, с торца, по кромке в каждом случае с одной или с двух сторон.

Применение контактных биметаллов позволяет достигнуть значительной экономии дефицитных металлов и сплавов и в то же время обеспечить требуемые свойства контактов в зоне разрыва электрической цепи.

1.2.4 Термобиметаллы

Из источника [6] термобиметалл пользуется широким спросом и находит свое применение в виде полос, листов, двухслойных лент. Основное отличие приходится по коэффициентам линейного расширения. В процессе нагревания полоса представленного композиционного материала подвергается изгибу по причине разности линейного расширения. Поэтому первым из главных условий является то, что бы получаемый термобиметалл обладал материалами, у которых схожий коэффициент линейного расширения.

Вторым условием пригодности пары материалов для термобиметалла является наименьшее отличие температур плавления, температур горячей обработки давлением и модулей упругости.

Третьим условием является возможность обеспечения прочного соединения по всей плоскости обоих компонентов. Для этого допускается, в крайнем случае, введение промеж уточного слоя.

Температурный интервал использования рассматриваемой композиции должен обладать широким интервалом температур как в области низких, так и в области высоких температур. Производимые на сегодняшний день термобиметаллы включают интервал от минус 60 до плюс 420 °С. Тем не менее присутствует ряд случаев, где присутствует необходимость применение термобиметаллического элемента в диапазоне высоких температур. Модуль упругости термобиметаллов должен быть, возможно, большим [5].

В некоторых случаях важное значение имеет характеристика линейности изгиба в зависимости от температуры, что также требует создания специальных марок.

Важной характеристикой предъявляемой к рассматриваемому биметаллу является обеспечение стабильности, т. е. постоянство работы в заданном режиме в огромном промежутке времени. Термобиметаллический элемент не должен обладать остаточной деформации, оставались неизменными его термоактивность и электросопротивление.

1.3 Методы получения биметаллов

1.3.1 Получение биметаллов заливкой

Из источника [2] выявлено, что метод получения биметаллов заливкой оказывается одним из старейших для производства биметаллов. Основой является процесс получение двух- или многослойного слитка заливкой одного или более слоев на твердый слой другого состава.

Данный метод позволяет изготавливать крупные слитки обладающей массой до 13 т, а также присутствует возможность изготовления все тех же слитков, но только весом до нескольких килограмм.

В изложницу заливается металл для получения слитка массой (весом) от 6,5 до 13 т, а также располагается в ней специально изготовленный сляб обладающий высокой химической стойкостью. Подготовка сляба происходит путем его обработки с помощью резки со всех сторон, далее происходит удаление окислов (окалины) и дефектов, образованных на поверхности, обезжиривание, в приварке приспособлений для монтажа сляба в изложнице, в обмазке сляба с двух сторон[4].

В изложницу с помещенной в нее плитой производится сифонная заливка жидкой углеродистой или низкоуглеродистой стали основного слоя из мартеновской печи показано на рисунке 1.1, а. Заливаемый металл образует защитный слой – подливку – толщиной от 50 до 65 мм для защиты поверхности нержавеющей сляба от окисления.

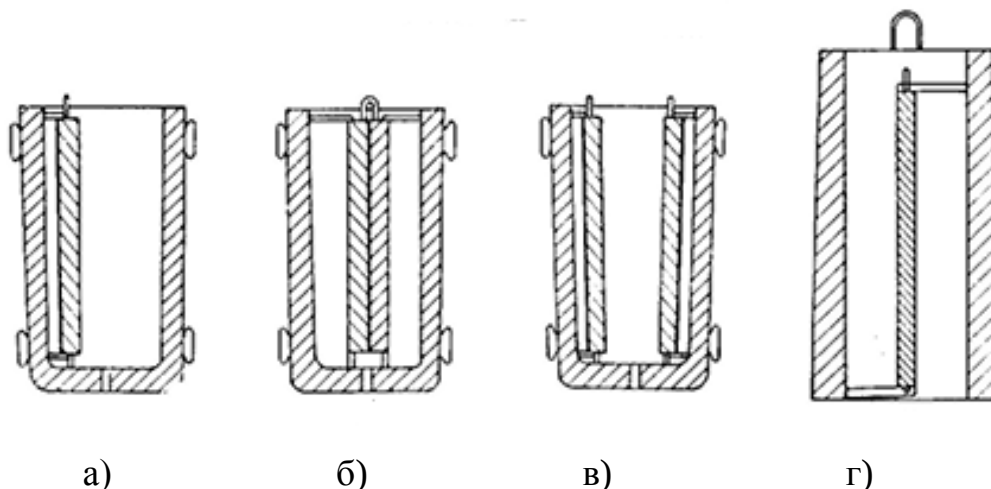


Рисунок 1.1 – Изложницы со слябом для получения биметаллических толстых листов: а) – одного двухслойного; б) – двух двухслойных; в) – трехслойного с наружным расположением плакирующего слоя; г) – трехслойного с сердечником

С помощью способа заливки возможно получение трехслойного биметалла. Основа заключается в том, что в изложницу помещаются два идентичных сляба у двух противоположных стенок изложницы или располагается один сляб, с местонахождением по центру изложницы показано на рисунке 1.1 в, и на рисунке 1.1 г.

Далее происходит остужение и вывод из изложницы биметаллического слитка, происходит нагрев в колodalцах до температуры прокатки, ее определение характеризуется химическим составом основного и плакирующего слоев. Слитки подверженные нагреву проходят процесс прокатки на блюминге на сляб с максимально возможным количеством обжатий. Размеры сляба определяются размерами прокатываемых из него листов с учетом раскроя металла. Далее происходит охлаждение сляба и его прокатка, снова правка, травление и отделка [13].

Непрерывная разливка на установке непрерывной разливки вертикального или горизонтального типа. Особенностью вертикальной установки для получения биметаллического плоского слитка является наличие двух кристаллизаторов, расположенных на разном уровне по высоте. Авторами этого метода предложены две схемы различных машин для получения двухслойных и трехслойных плоских

слитков и схемы разливочных машин для получения двухслойных круглых слитков и двухслойных труб.

При этом методе производят отливку сначала одного слоя через кристаллизатор обычного типа и затем на уровне, где возникает процесс образования толстой корочки у неизменного слитка, заготовка поступает в следующий кристаллизатор, в который заливают второй металл показано на рисунке 1.2.

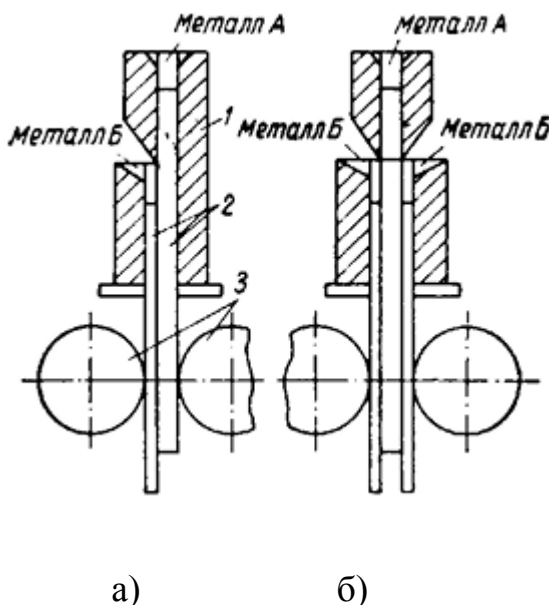


Рисунок 1.2 – Схема непрерывной отливки а) – схема непрерывной отливки двухслойного; б) – трехслойного биметаллических плоских слитков: 1 – кристаллизатор; 2 – слой отливаемого металла; 3 – тянущие ролики

Этот метод, по-видимому, может быть использован и для получения трехслойных отливок круглого, плоского и квадратного сечения, а также биметаллического слитка с местной плакировкой.

После затвердевания биметаллические отливки разрезают и они проходят все те же операции, которые необходимы и для обычных сплошных литых заготовок при получении из них конечного продукта – проката требуемой формы и размеров.

В случае его использования в промышленности он, вероятно, будет пригоден для получения биметаллов в основном в виде сорта простой формы и заготовки для дальнейшей прокатки.

По мнению авторов, наиболее целесообразно его применить в первую очередь для получения круглой биметаллической заготовки сталь + медь для последующей прокатки на сталемедную проволоку.

1.3.2 Получение биметаллов совместной пластической деформацией

Из источника [2] методы, основанные на принципе совместной пластической деформации, имеют широкое распространение в различных странах, в том числе и в России. Основное применение данного метода является получение листов, лент и полос. Но также используются для производства фасонных профилей, прутков, проволоки.

Совместная горячая прокатка составного пакета или заготовки.

В рассматриваемом способе используется пакет, имеющий составляющие из двух или более различных слоев металла представленной как в виде пластин, так и в виде профилей, подвергается горячей прокатке на необходимый профиль. Поверхности слоев, подлежащие соединению, специально подготавливают.

Пакеты готовят таким образом, что в процессе нагрева перед горячей прокаткой не происходило окисления поверхностей, подлежащих соединению. При этом происходит процесс герметизации пакета с помощью электросварки, по плоскости, обмазывают специальной пастой, обертывают тонкими листами кровельного железа или же прокатку производят в вакууме или защитной атмосфере [15].

Двухслойный пакет является несимметричным по высоте, так как почти у всех биметаллов толщина и сопротивление деформации слоев сильно отличаются, в результате чего в процессе прокатки может происходить значительный изгиб раската. Такой пакет может быть открытым или закрытым, т.е. с применением специальной крышки для предохранения поверхности плакирующего слоя от окисления в процессе нагрева и прокатки. После прокатки такого пакета крышка удаляется.

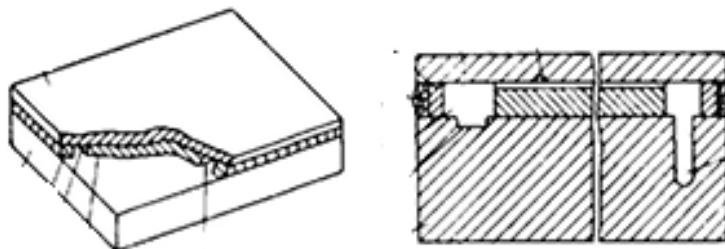


Рисунок 1.3 – Несимметричный пакет с пирофорным материалом

Используемый на рисунке 1.3 метод основывается на составлении пакета из углеродистого сляба и тонкой плиты, имеющая коррозионностойкие свойства. Происходит очистка поверхности с помощью травления. Вокруг плиты размещаются планки, состоящие из стали с содержанием углерода до 2 %, обладающая толщиной такой же, как и толщина плиты, а сверху плиты – пластина из углеродистой стали имеющая специальное покрытие. После происходит процесс электросварки по периметру пакета, тем самым образуя герметичный шов [15].

На рисунке 1.4 приведена конструкция так называемого секционного пакета. Внутренняя полость пакета разделяется на две или три секции, разделенные планками. В каждую секцию помещают две пластины нержавеющей стали.

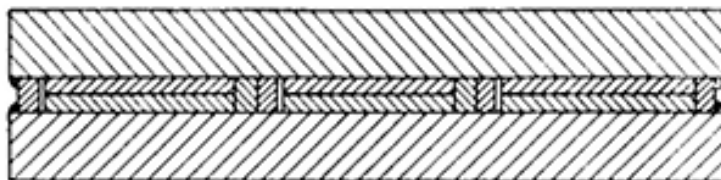


Рисунок 1.4 – Конструкция секционного пакета

Секционный пакет массой (весом) до 10 т нагревают в колодцах и прокатывают на слябовый раскат, который разрезают на два или три сляба в зависимости от числа секций. Разрезку производят по разделительным планкам и поэтому четырехслойные слябы остаются герметичными. Дальнейшую прокатку производят обычным порядком на толстолистовом стане 2800, в результате которой получают раскат двойной толщины. После обрезки по периметру раскат раскрывается на два двухслойных листа.

Предложенный метод позволяет:

а) значительно увеличить толщину пакета, так как блюминг-слябинг имеет большую высоту подъема валка;

б) при нагреве пакета в колодцах блюминга в вертикальном положении получить более равномерный нагрев пакета по сечению.

Биметаллические пакеты прокатывают на обычных листовых станах, используемых для получения однослойных листов аналогичных размеров. При этом в литературе имеются сведения о прокатке листов на толсто- и тонколистовых станах дуо, трио, кварто или универсальных, а также на сортовых станах.

Перед прокаткой пакеты нагревают в колодцах, методических или камерных газовых или мазутных печах обычной конструкции.

Для увеличения надежности соединения следует избегать сильно окислительной атмосферы в печи и слишком длительного нагрева, что может привести к сильному окислению соединяемых плоскостей.

Для обеспечения равномерной деформации верхнего и нижнего листа в симметричном двойном пакете необходимо при нагреве добиваться минимальной разности температуры верха и низа пакета, чтобы в процессе прокатки уменьшить неравномерность высотного обжатия.

Способ проката биметаллических листов обладает различиями по отношению к способу обычной прокатки.

Получение биметаллических листов прокаткой основано на некоторых особенностях. Когда биметалл располагается в первой операции способа проката и его температура велика, следует выдавать максимальное число обжатий. Чем выше температура и выше сила сжатия двух свариваемых поверхностей при прочих равных условиях, тем прочнее получается соединение слоев в биметалле.

Непременным условием прочного соединения двух слоев в биметалле при холодной прокатке, так же, как и при горячей, является чистота поверхности соединяемых металлов, причем особенно важно отсутствие даже небольших количеств жира.

Таким способом можно соединить алюминий, алюминиевые сплавы или никель со сталью.

Метод совместной холодной прокатки получил широкое применение в промышленности ряда стран. Этим методом, в частности, получают биметаллическую сталеалюминиевую ленту толщиной от 0,1 до 0,2 мм по схеме, приведенной на рисунке 1.5.

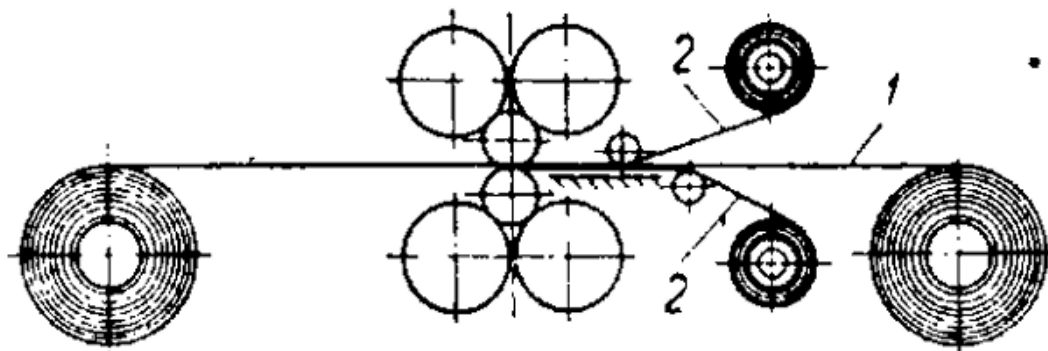


Рисунок 1.5 – Схема получения трехслойного биметалла совместной холодной прокаткой: 1 – металл сердечника; 2 – металл плакирующего слоя; 3 – готовая лента с двухсторонней плакировкой

Метод совместной холодной прокатки применяется и для получения антифрикционного полосового биметалла, состоящего из железной основы и плакирующего слоя из алюминиевого сплава АСМ. Этот биметалл выпускается в виде полос толщиной от 2 до 6 мм и применяется для изготовления вкладышей подшипников двигателей внутреннего сгорания [16].

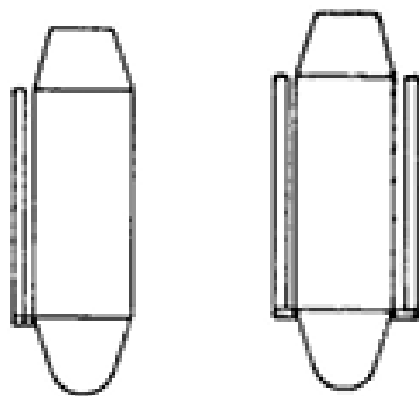
Из источника [16] технологическая схема получения биметаллов холодной сваркой прокаткой состоит из следующих основных операций: подготовка контактных поверхностей составляющих биметалла (травление, зачистка) и сборка биметаллических пакетов с помещением между составляющими тонкой фольги из чистого алюминия для облегчения процесса образования соединения; холодная прокатка на двухвалковом стане с обжатием от 45 до 50 % за один проход; промежуточный отжиг биметаллического раската в электрических печах до 330 °С в течение 1 ч; холодная прокатка полос; калибровка биметаллических полос для получения хорошей планшетности и обеспечения требуемых допусков по тол-

щине; правка полос на правильных машинах; окончательный отжиг биметалла в электрических печах до 460 °С в течение 3 ч с последующим медленным охлаждением с печью; резка биметаллических полос на заданные размеры; испытания биметалла на прочность соединения слоев и на соотношение слоев, твердость и контроль качества поверхностей. При этом процессе фасонный алюминиевый профиль и фасонный стальной профиль поступают в прокатные валки, где происходит сжатие алюминиевого профиля вокруг ласточкина хвоста стального профиля, и, таким образом, получается фасонный биметаллический профиль. Этот метод успешно применяют на одном из отечественных метизных заводов [16].

1.3.3 Получение биметаллов электросваркой и наплавкой

Из источника [2] группа методов получения биметаллов включает в себя такие методы, при которых прочное соединение слоев в биметалле достигается без использования пластической деформации. Пластическая деформация, если и используется в некоторых из них, то только для придания биметаллу необходимых конечных размеров или формы.

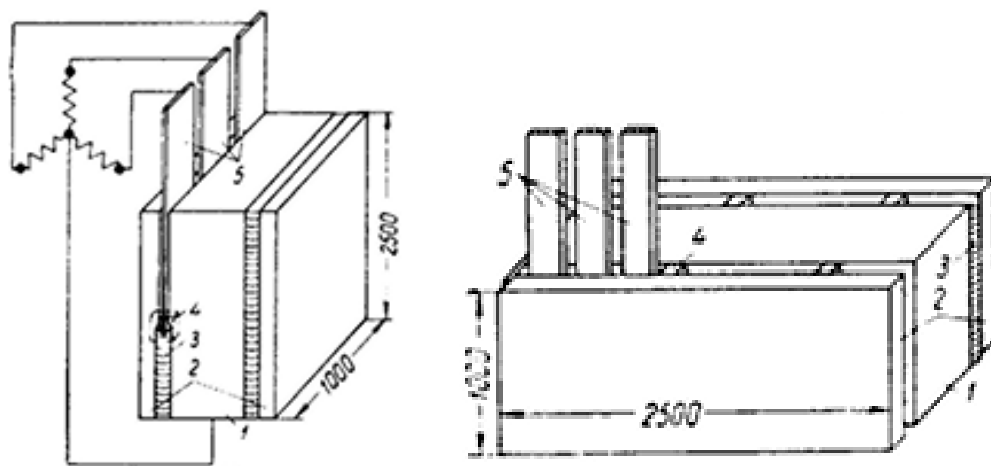
Сущность метода электрошлаковой сварки – наиболее эффективного метода сварки металла в больших толщинах – показано на рисунках 1.6 и 1.7. К поверхности состоящий одной или из двух слитка углеродистой или низколегированной стали обладающей массой от 7 до 15 т приложение с расстоянием от 30 до 40 мм одну или две плиты нержавеющей либо другой специальной стали толщиной от 40 до 100 мм. Эти плиты по всей поверхности приваривают к слитку с помощью электрошлакового метода.



а)

б)

Рисунок 1.6 – Схема электрошлаковой приварки плит к слиткам:
а) – для получения двухслойного листа; б) – для получения трехслойного листа



а)

б)

Рисунок 1.7 – Схема сварки трехслойных слитков: а) – с вертикальным; б) – с горизонтальным расположением заготовок; 1 – слиток стали основного слоя; 2 – плиты стали плакирующего слоя; 3 – электрошлаковые швы; 4 – формирующее устройство (холодильник); 5 – присадочные пластины

Полученное изделие подвергается процессу прокатки сначала на блюминге на слябы, далее данный процесс происходит на толстолистовом стане слябы раскатывают на листы.

Этот способ позволяет получить двух- и трехслойный листовой прокат практически любых толщин с высокой прочностью сцепления слоев по всей по-

верхности контакта разнородных металлов, поскольку оно обеспечивается проплавлением свариваемых поверхностей

При изготовлении двухслойных слитков электрошлаковым способом сваривают слитки толщиной от 700 до 1000 мм при высоте шва до 2,5 м с вертикальным расположением заготовки показано на рисунке 1.7, а и металл длиной до 2,5 м при высоте шва от 700 до 1000 мм с горизонтальным расположением заготовки показано на рисунке 1.7, б. Образование сварного шва может выполняться пластинчатыми электродами или шестью проволочными электродами одновременно при помощи двух электросварочных аппаратов типа А-372р или с помощью плавящегося мундштука.

Для обеспечения прочной сварки слоев необходимо, чтобы поверхность сплавления была по возможности плоской, а проплавление свариваемых разнородных металлов равномерно по высоте заготовки.

С помощью электрической дуговой сварки можно получить листовой биметалл путем последовательной наплавки металла плакирующего слоя на металлическую плиту основного слоя показано на рисунке 1.8. Этим методом можно получить различные композиции биметаллов, в том числе биметаллические листы сталь + медь или медные сплавы, а также листовую сталь с покрытием из других сталей, в том числе и нержавеющей.

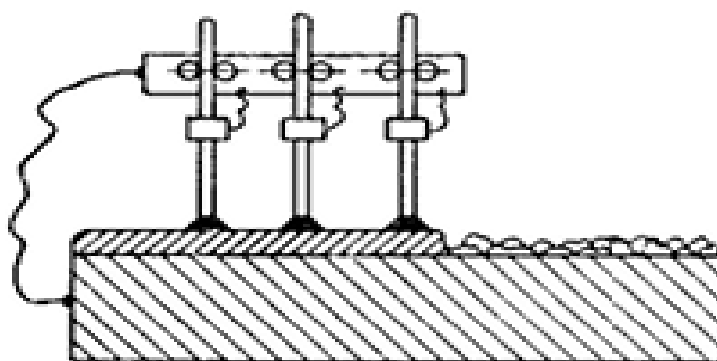


Рисунок 1.8 – Схема плакирования последовательной наплавкой под флюсом

Метод последовательной электронаплавки является весьма трудоемким и не обеспечивает хорошего качества поверхностей плакирующего слоя без дополнительной обработки. Преимуществом этого метода является возможность нанесения плакирующего слоя на готовые изделия и конструкции, например на внутреннюю поверхность резервуара и т. п.

При равномерной толщине наплавки на грани заготовки квадратного сечения вследствие неравномерности деформации неизбежна значительная разнотолщинность покрытия по периметру сечения конечного профиля. Для уменьшения разнотолщинности плакирующего слоя на горизонтальной грани заготовок, соответствующие поверхности стенки полособульбового профиля и полос углового профиля, следует наплавлять более толстый слой металла, а на боковые грани заготовки — слой меньшей толщины. В результате получены профили с равномерной плакировкой.

1.4 Метод получения биметаллов сваркой взрывом

1.4.1 Схемы сварки взрывом

Сварка взрывом (СВ) является перспективным способ получения композиционных материалов и может использоваться для изготовления изделий, обладающих неограниченным размером. Процесс представляет собой связь поверхностей состоящей из двух пластин из металла в процессе удара поверхностей с высокой скоростью. Соударение пластин происходит при метании плакирующего металла на лист основного металла с помощью взрыва образующегося от детонации заряда взрывчатого вещества.

Процесс сварки взрывом происходит за короткий промежуток времени (продолжительность порядка 10^{-6} с) в области соударения протекают процессы образования прочного соединения и возникновения других атомных связей. Для данных процессов имеется возможность управлять с помощью поправки параметров метания и подбор взрывчатых веществ (ВВ) [7].

Существуют две основополагающие СВ: позиция пластин под углом; параллельное расположение. При детонации слоя ВВ, происходит выделение высокого давления участки метаемой пластины последовательно приобретают скорость V_0 порядка нескольких сотен метров в секунду, поворачиваются относительно своего первоначального положения и соударяются с неподвижной пластиной под определенным углом соударения γ . При этом точка контакта K перемещается вдоль поверхности неподвижной пластины со скоростью V_k . Вследствие высоких скоростей соударения в зоне контакта развивается высокое давление, происходит очистка соединяемых поверхностей, их активация и образование соединения. Граница раздела между соединенными пластинами имеет типичную для СВ волнообразную форму, однако встречаются соединения и без волнообразования

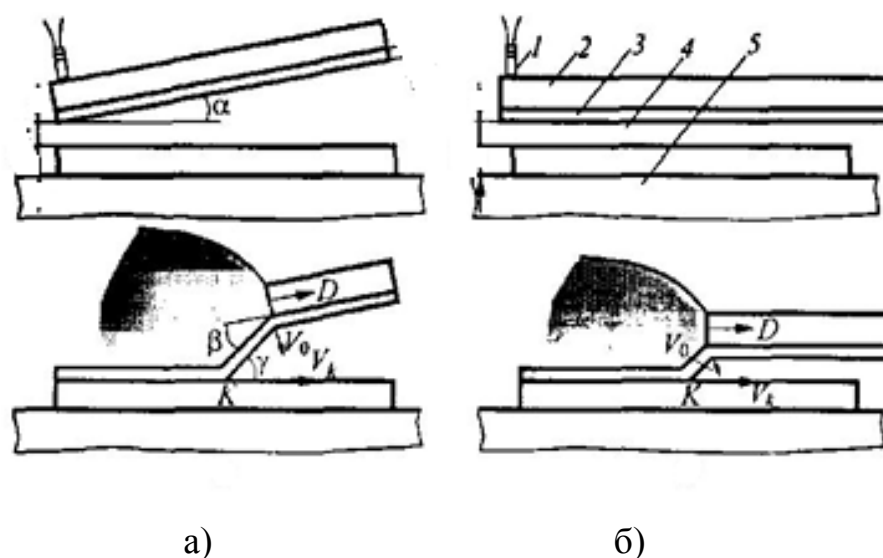


Рисунок 1.9 – Принципиальные схемы сварки взрывом: а) – угловая; б) – параллельная: 1 – детонатор; 2 – заряд ВВ; 3 – метаемая пластина; 4 – неподвижная пластина; 5 – основание (опора); D – скорость детонации

Из источника [7] физические явления, происходящие при СВ, структура и свойства соединений зависят от свойств свариваемых материалов и параметров процесса, которые можно разделить на кинематические и физические (динамические) параметры. К кинематическим параметрам принадлежат: V_0 – скорость метаемой пластины, β – угол поворота метаемой пластины, γ – угол соударения, V_k – скорость движения точки контакта. К физическим (динамическим) параметрам

рам относятся: p – давление соударения, t – длительность соударения, T – температура в зоне соударения. Эти параметры, в свою очередь, определяются конструктивными характеристиками взрывного устройства, физико-механическими, теплофизическими и энергетическими свойствами используемых материалов и начальными (технологическими) параметрами процесса.

Площадь метаемой пластины, как правило, больше площади основной пластины. Нависание метаемой пластины над основной необходимо для того, чтобы уменьшить влияние эффекта бокового разлета продуктов взрыва при детонации плоского заряда ВВ, однако этот прием не всегда устраняет расслоение по периметру биметаллических пластин, называемое краевым непроваром.

1.4.2 Требования к взрывчатым веществам

Из источника [7] выдвигается перечень условий необходимые для ВВ:

а) Необходимо, что бы детонация проходила со скоростью меньше скорости звука.

б) Заряды, обладающие плоской поверхностью и достаточно высокой площадью, а также маленькая толщина данной системы, должны обеспечиваться стабильная детонация.

в) Необходимо, что бы ВВ обладали широким спектром свойств безопасности, сохранения свойств и низкой ценой.

Данным требования соответствуют взрывчатые вещества образованные смесью порошков на основе тротила и аммиачной селитры NH_4NO_3 . Имеющиеся в литературе данные относятся, как правило, к исследованию детонации сосредоточенных или цилиндрических зарядов ВВ стандартного состава и ограниченно применимы к зарядам, реализуемым при СВ. Проведенными исследованиями установлено, что в идеализированном случае, когда можно пренебречь потерями энергии в зоне химической реакции за счет теплоотдачи или частичного разлета еще полностью непрореагированных компонентов, теория детонации позволяет рассчитать скорость детонации в зависимости от теплоты взрыва Q_V и начальной

плотности ρ_0 . Указанный случай реализуется при детонации зарядов ВВ, размеры которых превышают ширину зоны химической реакции. Если размер заряда меньше значения b , то волна разрежения проникает в зону реакции и расширение ПД начнется раньше, чем завершится реакция, а из-за потери энергии произойдет понижение давления и скорости детонации. При дальнейшем уменьшении размера заряда потери энергии возрастают, а скорость детонации понижается, пока при некотором критическом размере заряда $d_{кр}$ не произойдет полное затухание детонации.

Для одного и того же состава ВВ продолжительность химической реакции, ее ширина, предельные размеры заряда значительно изменяются в зависимости от плотности и формы заряда, оболочки и степени измельчения ВВ.

При СВ широко применяются плоские заряды смесей аммонита № 6 с аммиачной селитрой обладающие разным составом и имеющие высоту от 10 до 200 мм. Скорость детонации этих зарядов зависит от их высоты, состава и степени измельчения компонентов. Подробное исследование этого вопроса содержится в работах, в которых при постоянном составе смеси аммиачной селитры (80 %) и тротила (20 %) изучалось влияние размера частиц аммиачной селитры на параметры детонации.

В случае большой высоты заряда ВВ необходимо учитывать краевые эффекты, так как волны разгрузки со стороны боковых граней заряда могут изменить параметры детонации. Кроме того, боковой разлет продуктов взрыва существенно зависит от угла подхода детонационного фронта к боковой грани заряда. В силу указанных причин может существенно измениться режим полета краев метаемой пластины, в результате чего могут образоваться краевые непровары.

1.4.3 Параметры процесса сварки взрывом

Качество соединения разнородных металлов обуславливается предельной скоростью детонации D , начальной плотностью ВВ ρ_0 , размерами заряда, длиной и температурой зоны реакции и др.

Если принять продукты взрыва за политропический газ, то уравнение политропы имеет вид [7]:

$$p = B' \rho^\kappa, \quad (1.1)$$

где κ – показатель политропы;

B' – константа, которая может быть определена, если известны параметры детонации в точке Чепмена–Жуге [7].

Параметры соударяющихся тел. При распространении детонационной волны развиваются давления порядка 10^5 атм и напряжения, возникающие в материале метаемой пластины, намного превышают его прочность. Это позволяет в большинстве случаев исключить из начальных условий параметры, характеризующие прочностные свойства. При исследовании процесса соударения и его основных физических параметров необходимо учитывать сжимаемость, прочностные и теплофизические свойства материалов соударяющихся тел [7].

Параметры, определяющие взаимное расположение пластин. В случае соударения пластин исходное расположение тел определяется минимальным начальным расстоянием между метаемой пластиной и неподвижной h_0 и начальным углом между пластинами α .

Показатель адиабаты продуктов взрыва изменяется и при использовании порошкообразных смесевых ВВ ширина зоны химической реакции соизмерима с толщиной заряда ВВ, то станет очевидным сложность математической задачи в ее общей постановке.

Из источника [9] основные параметры сварки взрывом подразделяются на: технологические, кинематические и физические.

К технологическим параметрам процесса относят: скорость детонации D , характеризующую заряд ВВ и его плотность; безразмерный параметр r – отношение массы заряда ВВ к массе метаемой пластины [7]:

$$r = \delta_0 \cdot \rho_0 / \delta_1 \cdot \rho_1, \quad (1.2)$$

где δ_0, ρ_0 – толщина и плотность заряда ВВ, мм и кг/м³;

δ_1, ρ_1 – толщина и плотность метаемой пластины, мм и кг/м³.

К кинематическим параметрам относят: скорость метания пластины V_0 ; угол соударения γ ; скорость движения точки контакта V_K ,

В группу физических параметров включены: давление в зоне соударения; время образования соединения в зоне соударения; начальная температура свариваемых металлов, температура контактирующих слоев в зоне соударения; степень пластической деформации контактирующих слоев металла.

Выделяется также группа энергетических параметров: удельная кинетическая энергия системы свариваемых элементов; удельная кинетическая энергия системы сваренных пластин; удельная энергия, затрачиваемая на пластическую деформацию металла в зоне соединения свариваемых элементов; удельная энергия, затрачиваемая на кумулятивный унос металла из вершины угла встречи соударяющихся пластин.

Энергетический подход к решению проблем сварки материалов взрывом представляет особый интерес, так как он позволяет значительно расширить имеющиеся математические модели, однако приведенная классификация энергетических параметров и способы их экспериментальной оценки вызывают некоторые сомнения.

Скорость метания пластины для смесевых ВВ рассчитывают по формуле [7]:

$$V_0 = 1,2 \cdot D \frac{\sqrt{1 + (32/27)r} - 1}{\sqrt{1 + (32/27)r} + 1}, \quad (1.3)$$

Под действием продуктов детонации пластина, первоначально установленная под углом α , поворачивается на угол β , а угол соударения $\gamma = \alpha + \beta$ определяется как [7]:

$$\gamma = \alpha + 2 \cdot \arcsin \frac{V_0}{2 \cdot D}, \quad (1.4)$$

Отсюда скорость точки контакта определяется из выражения [7]:

$$V_K = D \frac{\sin(\gamma - \alpha)}{\sin \gamma}, \quad (1.5)$$

При параллельном расположении пластин скорость движения точки контакта, характеризующая скорость распространения зоны высокого давления по свариваемым поверхностям равна скорости детонации [7]:

$$V_{\kappa} = D, \quad (1.6)$$

Для обеспечения соединения при сварке взрывом одним из необходимых условий является возникновение пластического течения в зоне контакта. Следовательно необходимо соблюдение условия:

$$V_{\kappa} < C_0, \quad (1.7)$$

где C_0 – скорость звука в металле.

Скорость метания, определяемая по формуле не всегда является оптимальной при выборе параметров сварки с точки зрения стабильности процесса и обеспечения качественного соединения. Кроме этого в формуле отсутствуют параметры δ_0 и t – время разгона пластины, поэтому здесь нет возможности оценить изменение скорости в процессе метания.

Для получения нормального соударения скорость метаемого элемента может быть вычислена путем совместного решения уравнений [7]

$$V_0 = D \left[1 + \frac{\theta - 1}{\theta \cdot \eta} - \frac{\delta_0}{D \cdot t} \cdot \theta \right], \quad (1.8)$$

$$X = D \cdot t \left[1 + \frac{\theta - 1}{\theta \cdot \eta} \right] - \delta_0, \quad (1.9)$$

$$\eta = \frac{16}{27} \cdot \frac{\delta_0 \cdot \rho_0}{\delta_1 \cdot \rho_1}, \quad (1.10)$$

$$\theta = \left[1 + 2 \cdot \eta \left(1 - \frac{\delta_0}{D \cdot t} \right) \right], \quad (1.11)$$

где δ_0 – толщина заряда ВВ, мм;

δ_1 – толщина метаемой пластины, мм;

t – время полета пластины, с;

X – элементарное перемещение пластины;

Θ – приведенное время, с;

D – приведенная масса, г;

V_0 – скорость соударения, м/с;

ρ_0 – плотность взрывчатого вещества г/см³;

ρ_1 – плотность материала метаемой пластины г/см³;

D – скорость детонации ВВ м/с.

В результате решения данных уравнений получается ряд значений скорости метаемого элемента и его перемещения для определенных моментов времени, которые с достаточной степенью точности могут быть использованы для оценки процесса метания при косом соударении.

К физическим параметрам относят величину давления, время его действия и температуру в зоне соударения. Для оценки верхней границы давления лучше всего использовать случай нормального соударения, при котором в момент удара пластины соприкасаются по всей площади одновременно и от контактной поверхности распространяются плоские ударные волны.

Расчет давления в области соударения предложено производить по формуле [7]:

$$P_k = \frac{\rho_2 \cdot V_0}{\left[\sqrt{1 - \frac{\rho_2}{\rho_2'}} + \sqrt{\left(1 - \frac{\rho_1}{\rho_1'} \cdot \frac{\rho_2}{\rho_1}\right)} \right]^2}, \quad (1.12)$$

где V_0 – скорость соударения, м/с;

ρ_1 и ρ_2 – начальные плотности пластин, г/см³;

ρ_1' , и ρ_2' – плотности при давлении P_k , г/см³.

По формуле можно рассчитывать давления в области соударения, если заданы скорость и уравнение состояния данных металлов. Следует отметить, что уравнения состояния металлов:

– для метаемой пластины:

$$p = A_1[(\rho / \rho_1)^{n_1} - 1], \quad (1.13)$$

– для неподвижной пластины:

$$p = A_2[(\rho / \rho_2)^{n_2} - 1], \quad (1.14)$$

имеют в некоторой точке p излом, соответствующий переходу среды из упругого в пластическое состояние (в формуле A_1 и A_2 – постоянные размерности давления; n_1 и n_2 – безразмерные константы).

При сварке взрывом важной является не только величина давления, но и длительность действия давления t на метаемую пластину. Она может быть приближенно оценена по формуле [9]:

$$\tau = \frac{2\delta_1}{C_0}, \quad (1.15)$$

где δ_1 – толщина метаемой пластины, мм;

C_0 – скорость звука в металле пластины, м/с.

Тепловые процессы сопровождающие сварку взрывом оказывают влияние как на формирование структуры так и на механические свойства свариваемых металлов.

Предложена формула для расчета температуры в любом сечении сварного соединения, которая имеет вид [7]:

$$T = T_1 + \frac{Q_1}{2 \cdot C \cdot \rho \sqrt{\pi \cdot a \cdot t}} \exp\left(-\frac{y^2}{4 \cdot a \cdot t}\right), \quad (1.16)$$

где T_1 – относительная температура полученного соединения, вычисляется по формуле [9]:

$$T_1 = \Delta T + T_o, \quad (1.17)$$

где ΔT – величина прироста температуры, К;

T_o – начальная температура, К;

α – коэффициент температуропроводности, м²/с;

C – теплоемкость материала, Дж/(кг·К);

y – расстояние от шва, мм.

Q – мгновенная теплота, выделенная в зоне соударения [7]:

$$Q_1 = k \cdot \frac{\pi}{4} \sqrt{1 - \frac{V_k}{C_0}} \cdot V_k^2 \cdot \rho \cdot \frac{\delta_1 \cdot \delta_2}{\delta_1 + \delta_2} \cdot \sin^2 \frac{\gamma}{2}, \quad (1.18)$$

где V_k – скорость точки контакта, м/с;

γ – угол соударения, град.;

ρ – плотность материала метаемой пластины, г/см³;

δ_1 и δ_2 – толщины метаемой и неподвижной пластин, мм;

C_0 – скорость звука, м/с;

k – безразмерный коэффициент.

1.5 Патентный поиск

Патентный поиск выполняется с целью выяснения современного состояния исследовательских и практических работ по методам получения биметаллов сваркой взрывом

Патенты, указанные в таблице 1.1, относятся к разработке способов и режимов получения биметаллических композитов методом сварки взрывом.

Таблица 1.1 – Патентный поиск

Номер патента, МПК Дата публикации	Авторы	Название, краткое содержание
1	2	3
RU 2 516 179C1 B23K20/08 B23K20/10 20.05.2014	Лысак В.И Кузьмин С.В Пеев А.П Кузьмин Е.В	Способ комбинированной сварки взрывом [17] Способ комбинированной сварки взрывом, включающем установку метаемой пластины над неподвижной пластиной с зазором и инициирование расположенного на ней заряда взрывчатого вещества, одновременно с инициированием заряда к торцу неподвижной пластины подают ультразвуковые колебания в направлении, противоположном направлению детонации.

Продолжение таблицы 1.1

1	2	3
<i>RU2399470C1</i> <i>B23K20/08</i> <i>B32B15/01</i> 20.09.2010	Трыков Ю.П. Писарев С.П. Гуревич Л.М. Шморгун В.Г Проничев Д.В. Слаутин О.В. Донцов Д.Ю. Богданов А.И. Казак В.Ф. Лавров Л.Л.	Способ получения композиционных медно-алюминиевых изделий с внутренней полостью сваркой взрывом [18] Заявлен способ получения композиционных медно-алюминиевых изделий с внутренней полостью сваркой взрывом, включающий сварку взрывом пластин из меди и алюминия, прокатку заготовки и ее термическую обработку для образования между слоями меди и алюминия диффузионной интерметаллидной прослойки с пониженной теплопроводностью, при котором составляют трехслойный пакет с размещением между пластинами меди алюминиевой пластины с соотношением толщин слоев 1:(0,27-0,6) при толщине слоя алюминия от 0,8 до 1,2 мм, располагают на поверхности пакета заряд ВВ и осуществляют сварку взрывом при скорости детонации взрывчатого вещества от 1900 до 2800 м/с, при этом сварочные зазоры между пластинами пакета и отношение удельной массы заряда взрывчатого вещества к сумме удельных масс медной и алюминиевой пластины выбирают такими, чтобы скорости соударения свариваемых пластин были в пределах от 310 до 450 м/с, затем осуществляют горячую прокатку сваренного трехслойного пакета при температуре от 350 до 450 °С с обжатием от 35 до 60 %, после чего полученную листовую заготовку нагревают до температуры от 440 до 460 °С, прижимают ее к поверхности цилиндрической матрицы, нагретой до такой же температуры, после этого полученную заготовку с внутренней полостью отжигают при температуре от 480 до 520 °С в течение от 1,6 до 4 часов с последующим охлаждением на воздухе,

Продолжение таблицы 1.1

1	2	3
		с получением при этом многослойного композиционного медно-алюминиевого изделия с внутренней полостью со сплошными диффузионными интерметаллидными прослойками между слоями меди и алюминия с пониженной теплопроводностью.
RU 2185942 C1 B23K 20/08 27.07.2002	Атрощенко Э.С., Розен А.Е., Казанцев И.А., Лось И.С., Усатый С.Г., Крюков Д.Б., Беляев О.А.	Способ получения неразъемных соединений сваркой взрывом [19] Для получения плоских заготовок была принята схема, в соответствии с которой металлическая пластина-основание устанавливается на грунт . Сверху над ней с определенным зазором помещают метаемую пластину. На нее устанавливают промежуточный элемент клинообразной формы из инертного материала (пенопласт, поролон, картон и др.), контейнер со взрывчатым веществом (ВВ) и электродетонатор . Детонационная волна формирует ударную волну, скорость распространения которой будет определяться как характеристиками самого взрывчатого вещества, так и материалом и геометрией промежуточного элемента. Промежуточный элемент из инертного материала клинообразной формы расположен таким образом, что фронт детонации распространяется в направлении его наименьшего катета, величина которого определяется углом клина. Промежуточный элемент обеспечивает запаздывание подхода фронта детонации к метаемой пластине, увеличивающееся от места инициирования заряда. Варьирование скоростью точки контакта возможно за счет изменения угла клина промежуточного элемента, величина которого в свою очередь определяется удельной массой

Продолжение таблицы 1.1

1	2	3
		инертного материала. Введение новых признаков обеспечивает получение сварных соединений с требуемой структурой и формой сварного шва за счет регулирования в широких пределах скорости движения точки контакта
RU 2221682 C1 B23K20/08 B32B15/01 20.01.2004	Крюков Д.Б. Чугунов С.Н. Казанцев С.Н. Кривенков А.О Розен А.Е. Первухин Л.Б.	Способ получения композиционного материала [20] Способ получения композиционного материала, при котором составляют пакет из чередующихся слоев алюминия и меди, размещают над ним защитную металлическую прослойку с зарядом взрывчатого вещества и осуществляют сварку взрывом, при этом соотношение толщин слоев алюминия и меди в пакете выбирают равным 1: (0,4-0,56) при толщине слоя алюминия, равной 1,8-2,5 мм, и отношении удельной массы заряда взрывчатого вещества к суммеудельных масс защитной металлической прослойки, слоев алюминия и меди, равном 0,47-0,92, при этом используют заряд взрывчатого вещества со скоростью детонации, равной 2070-2930 м/с, после сварки пакет подвергают горячей прокатке при температуре 350-500°C с обжатию 50-75%, после чего полученную заготовку подвергают отжигу путем нагрева до температуры 400-500°C в течение 2-3 ч с последующим охлаждением на воздухе, а затем осуществляют дополнительную прокатку при температуре 20-250°C с обжатию 10-30%.

Выводы:

а) Сварку взрывом наиболее целесообразно применять для соединения таких металлов и сплавов, которые известными способами получить затруднительно или невозможно,

б) На основании проведенного патентного поиска можно сделать вывод о том, что сварка взрывом является перспективным методом получения биметаллов. В результате патентного поиска установлено, что главной задачей, которые решают данные патентные документы это создание прочного соединения с требуемыми свойствами, которые достигаются за счет регулирования скорости соударения метаемых пластин.

2 Теоретическая часть

2.1 Биметалл медь-алюминий. Применение, структура и свойства

Биметалл из меди и алюминия получают с помощью процесса сварки взрыва путем получения двух- или многослойной композиции и обладают широким применением в области электротехники [22].



Рисунок 2.1 – Переходная пластина изготовленная из биметалла медь-алюминий



Рисунок 2.2 – Промежуточная шайба изготовленная из биметалла медь-алюминий

Производство токоведущих шин из меди заменятся производством из других материалов таких как алюминий и композиция из алюминия и меди. Замена медных элементов биметаллическими алюминий-медь позволяет уменьшить вес

токонагруженных элементов электротехнического оборудования и устройств от 30 до 45 %, снизить стоимость от 20 до 40 %.

Из источников [11-14] технологический процесс включает в себя основу сварки взрывом заготовок из биметалла и происходит дальнейшая холодная прокатка. Полученные листы обладают чистой поверхностью и из них происходит штамповка, либо вырезка изделий, определенных размеров, форм.

Обе композиции биметалла обладают отличными пластическими свойствами, что, как кажется, обладают равнопрочностью в широком диапазоне, исполнить трудно по ряду причин, связанных с существенным различием физико-механических свойств металлов, а также крайне неблагоприятным с позиции свариваемости типом металлургического взаимодействия с образованием ряда устойчивых химических соединений: θ -фаза (Al_2Cu), η -фаза (AlCu), γ_2 -фаза (AlCu_2), δ -фаза (Al_2Cu_3), ξ -фаза (Al_3Cu) и легкоплавкой 548-градусной эвтектики, состоящей из θ -фазы и твердого раствора меди в алюминии.

Свариваемость рассматриваемого биметалла представлена на рисунке 2.2, из анализа которой следует, что получить равнопрочное соединение при «традиционных» скоростях контакта от 2500 до 3000 м/с можно лишь в узком диапазоне углов соударения от 4,5 до 7° для $V_k = 2,5$ км/с и всего от 4 до 5° при $V_k = 3$ км/с. Для сравнения: диапазон углов соударения при сварке трудносвариваемой пары алюминий + сталь для тех же скоростей контакта гораздо шире и составляет соответственно от 7 до 13° и от 6 до 9° и энергии W_2 от 0,15 до 0,4 МДж/м² [12].

Диапазон свариваемости существенно расширяется при уменьшении скорости точки контакта, и при V_k от 2 до 2,2 км/с прочные соединения гарантированно можно получать при γ от 5 до 15°. Характерным для рассматриваемой пары является наличие примыкающей к верхней границе довольно обширной области параметров, при которых прочность соединения на отрыв составляет от 0,7 до 0,8 прочности алюминия представлено на рисунке 2.3 при весьма низкой прочности на срез и на отслаивание (при проведении последнего вида испытаний даже не

требуется применение разрывных машин – отслаивание осуществляется вручную с малыми усилиями и характерным для хрупкого разрушения «потрескиванием»).

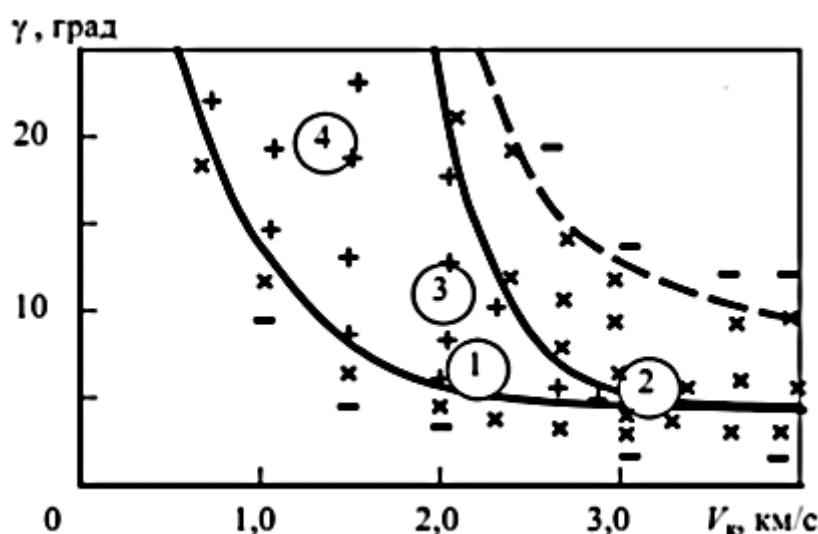


Рисунок 2.3 – Область свариваемости меди с алюминием: 1, 2, 3, 4 - характерные зоны, различающиеся структурой сварного шва

Другой особенностью формирования сварного медно-алюминиевого соединения является аномально низкое значение критической величины энергии, затрачиваемой на пластическую деформацию металлов $W_{2кр}$. Экспериментально установлено, что прочное сварное соединение начинает образовываться уже при W_2 от 0,1 до 0,12 МДж/м².

Переход в зону 2 с увеличением V_k до ~3 км/с (даже при минимально возможных углах соударения) ведет к образованию в соединении отдельных участков оплавленного металла, относительная протяженность которых достигает 50 %, что связано с локализацией пластических деформаций в узкой околошовной зоне. При V_k больше ~3 км/с в околошовной зоне медно-алюминиевых образцов формируется сплошная прослойка расплава толщиной от 0,1 до 0,2 мм, имеющая высокую микротвердость НВ от 1600 до 4500 МПа, что соответствует твердости интерметаллидов типа $CuAl_2$, Cu_2Al , Cu_3Al [13].

При увеличении энерговложений W_2 до 0,3 и выше представлено на рисунке 2.3, зона 3 в при контактной области композиции образуются волны непра-

вильной несинусоидальной формы представлено на рисунке 2.4 с заостренными вершинами со стороны алюминия, ориентированными в противоположном процессе распространения детонации направлению [11].



Рисунок 2.4 – Микроструктура зоны соединения медно-алюминиевого композита представлено на рисунке 2.3, зона 3 ($\times 200$)

Снижение скорости точки контакта с одновременным увеличением скорости или угла соударения представлено на рисунке 2.3, зона 4 приводит к «нормализации» процесса образования волн, профиль которых становится близким к синусоидальному, без завихрений, но также с односторонним залеганием участков оплавленного металла представлено на рисунке 2.5.



Рисунок 2.5 – Микроструктура зоны соединения медно-алюминиевого композита представлено на рисунке 2.3, зона 4 ($\times 200$)

При повышенных температурах в биметалле протекают процессы структурной трансформации двух различных типов: рекристаллизация слоев биметал-

ла и образование интерметаллидных соединений на границе раздела этих слоев. Эту интерметаллидную прослойку следует рассматривать как самостоятельный третий компонент биметалла со свойствами, резко отличающимися от свойств основных компонентов. Поэтому, даже при сравнительно небольшой толщине этого компонента, его вклад в характеристики биметалла в целом может быть весьма существенным. Так, постепенное возрастание его объемной доли в биметалле приводит к увеличению электрического и термического сопротивления при переходе от одного основного слоя биметалла к другому, снижению прочности и возрастанию хрупкости соединения этих слоев, а также к развитию ряда других нежелательных эффектов. Иными словами, в условиях длительного термического нагружения наблюдается деградация основных функциональных свойств биметалла [13].

Твердофазное реакционное взаимодействие основных слоев биметалла является диффузионно-контролируемым процессом, который начинается с момента установления металлургической связи между его слоями. Следовательно, всякое нагревание биметалла как в процессе его изготовления и переработки в готовое изделие, так и в процессе эксплуатации биметаллического изделия неизбежно приводит к стимулированию реакционного взаимодействия меди и алюминия.

Учитывая назначение медно-алюминиевых композитов, а также известные из литературы данные об удельных электросопротивлениях интерметаллидных соединений системы медь-алюминий, в большом количестве присутствующих в оплавленном металле и образующихся в процессе последующих термических воздействий, немалый научный и практический интерес представляет изучение влияния режимов термической обработки на изменение структуры и свойств рассматриваемого биметалла.

2.2 Методики, приборы и оборудование, предназначенные для исследований

2.2.1 Методика исследования пластических свойств биметалла

Рассматриваемый биметалл медь-алюминий подвергается процессу сварки взрывом испытывает ряд технологических операций, которые выражаются в виде доводки качества поверхности, формопреобразованием и ряду других операций. Способность подвергаться обработке композиционного материала, используемого в исследовании, во всех случаях выясняется путем определения пластичности. Поэтому для оценки обрабатываемости, критерий которой является эталонным и обязательным для принятия листового материала, существует необходимость производить ряд экспериментов испытаний на выдавливание сферической лунки на штампе Эриксона представлено на рисунке 2.6, таблица 2.1 по ГОСТ 10510-80 [23].

Таблица 2.1 – Технические характеристики прибора Эриксона [24]

Параметры	Значения
Диаметр сферического наконечника пуансона, мм	20,0
Внутренний диаметр матрицы, мм	27,0
Глубина выдавливания, мм	0,1 ... 15,0
Погрешность измерения глубины выдавливания, мм, не более	0,1
Габаритные размеры, мм, не более	480,0×480,0×400,0
Масса прибора, кг, не более	18,0

Этот вид технологических испытаний пока еще наиболее распространен при оценке штампуемости листового проката толщиной от 0,2 до 2,0 мм. Испытание заключается в формовке сферическим пуансоном лунки в образце, прочно зажатом между матрицей и прижимным кольцом.

Устройство определяет прочность того или иного покрытия благодаря вдавливанию в образец с исследуемым покрытием специального сферического нако-

нечника пуансона диаметром 20 мм. Показания прибора фиксируется в момент разрушения покрытия. Образец закреплен на матрице с чашеобразным изгибом внутренним диаметром 27 мм.

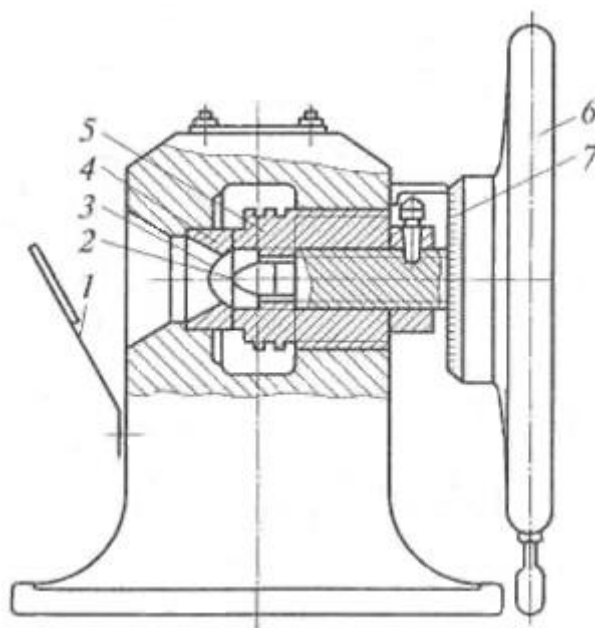


Рисунок 2.6 – Прибор Эриксона для определения способности листового металла к вытяжке: 1 – зеркало; 2 – пуансон; 3 – образец; 4 – матриц; 5 – винт; 6 – маховик; 7 – шкала

Из источника [25] данный способ определения прочности – эффективный метод в определении качества того или иного покрытия, позволяющий одновременно получить оценку таких важных параметров покрытий как прочность, адгезия и эластичность.

Восприимчивость листового материала подвергаться процессу холодной штамповки и вытяжке обуславливается углублением в лунке, получающаяся в процессе выдавливания на штампе Эриксона. Чем глубже лунка, образующаяся до появления первой трещины в пластинке, зажатой в кольцевой поверхности, тем большей способностью к вытяжке (листовой штамповке) обладает данный металл. Контроль соответствия материала, на котором была образована лунка, происходит путем оценки этого углубления и оценивается таким образом, что бы полученная лунка была не меньше предписанной в сопроводительной документации, такой как ТУ или ГОСТ.

Глубину выдавливания лунки определяют на приборе Эриксона. Этим способом происходит оценка обрабатываемости материала, которая характеризуется пластичностью. Процесс работы на приборе происходит следующим образом: изготавливается заготовка из материала, который необходимо подвергнуть исследованию. Из произведенной заготовки происходит вырезание образца, далее получаемый образец подвергается зажиму между винтом и матрицу. Последующая операция характеризуется вдавливанием сферического пуансона, вдавливание происходит до тех пор, пока на матрице не появится первый дефект в виде трещины. Что бы переместить пуансон в приборе имеется маховик, который и обеспечивает движение пуансона. Также используется барабан со шкалой, с помощью которого происходит точное определение лунки вплоть до 0,01 мм [24].

МТЛ-10Г, 2068 М ТБ-10, регистрирующей усилие формовки лунки и усилие прижима заготовки. Условия его проведения регламентированы ГОСТ 10510–80 [23], в соответствии с которым усилие прижима составляет 10 кН, заготовка в виде полосы должна иметь ширину 90 мм, диаметр пуансона 10 и 20 мм. Деформация металла происходит из-за уменьшения толщины заготовки, мерой испытания, в процессе которого в очаге деформации возникает двухосное растяжение, является глубина лунки IE в миллиметрах в момент уменьшения (спада) деформирующего усилия.

Проведение испытаний по данной методике обладает продуктивностью, когда исследуемому металлу необходимо принять либо, форму сферы, либо параболическую форму (типа отражателей автомобильных фар), при вытяжке которых в очаге деформации возникает двухосное растяжение, при других формоизменяющих операциях способ малоэффективен [25].

Рассмотрение получаемой лунки на такие особенности, как характер разрушения и качество поверхности предоставляет данные о штампуемости металла. Если лунка подвержена разрыву по дуге окружности, то можно судить о том, что присутствует изотропность металла, если разрыв происходит прямолинейно можно судить о анизотропности металла, а также о полосчатости структуры или о наличии дефектов прокатки. Гладкость и чистота поверхности исследуемой лунки

указывает на мелкозернистую структуру, шероховатость – крупнозернистая структура [25].

Чем больше высота лунки, тем выше категория стали. У листовой ст 08 и ст 10 в зависимости от ее толщины и категории глубина лунки IE должна быть не менее 12 мм.

2.2.2 Методика исследования электросопротивления биметалла

Главная характеристика необходимая, для того чтобы произвести оценку качества биметалла, представляет измерение величины переходного электрического сопротивления рассматриваемого материала. В серии работ посвященных исследованию структуры и свойств биметалла изготовленного из меди и алюминия всевозможными способами, вопрос измерения электрофизических характеристик освещен скудно.

Для проведения исследований электрофизических свойств рассматриваемой композиции, которая была получена с помощью операции сварки взрывом проведенной на оптимальном режиме, подвергнутой незамедлительной прокатки и термической обработки на различных режимах, был осуществлен ряд экспериментов.

Измерения сопротивления переходной зоны биметалла медь-алюминий производилось с использованием микроомметра БСЗ-010-2. Представлен в Госреестр средств измерений за №17843-08 представлено на рисунке 2.7, таблица 2.2. Микроомметр БСЗ-010-2 необходим для проведения исследований, а именно измерений переходного сопротивления разнообразных видов соединения энергосистем. Условия помех могут быть разными, но необходимо что бы они были до 30 кВ/м. Прибор обладает цифровой индикацией, что предоставляет возможности работы в различных режимах измерений (однократных и многократных). Также прибор оснащен функцией запоминания проводимых измерений. Диапазон измеряемых сопротивлений представлен в технической характеристике прибора [9].



Рисунок 2.7 – Микроомметр BC3-010-2

Таблица 2.2 – Технические характеристики микроомметра BC3-010-2

[21]

Параметры	Значения
Диапазон измеряемых сопротивлений, Ом	$100,0 \cdot 10^{-9} \dots 1,0$
Основная приведенная погрешность, %, не более	0,1...0.2
Измерительный ток, А, не более	3,0
Длина входных кабелей, м	15,0
Диапазон рабочих температур, °C	-5...40
Питание прибора от промышленной сети, В	220,0
Потребляемая мощность, Вт, не более	90,0
Габаритные размеры, мм	340×295×152
Масса, кг, не более	6,0

Проведение измерений на приборе BC3-010-2 [22]:

а) Включить омметр, установив переключатель СЕТЬ в положение I. При этом омметр устанавливается в режим проверки контактирования при однократных измерениях на пределе 1000 мОм. Предел измерения высвечивается малыми (1/2 размера индикатора) цифрами, а единицы измерения (мОм или мкОм) - гори-

зонтальными сегментами крайнего правого разряда табло. Состояние верхних горизонтальных сегментов цифровых индикаторов зависит от подключения контактных наконечников измерительного кабеля:

– если между контактными наконечниками «U1» и «I1» и (или) между контактными наконечниками «U2» и «I2» нет электрической связи, то верхние сегменты цифровых индикаторов погашены;

– если между контактными наконечниками «U1» и «I1» и (или) между контактными наконечниками «U2» и «I2» есть электрическая связь, то загораются верхние сегменты двух первых разрядов, промаркированных «1», и (или) разрядов, промаркированных «2».

б) Перед началом измерений прогреть омметр в течение 15 мин.

в) Кнопками «Δ» и «∇» установить необходимый предел измерения.

г) Подключить контактные наконечники к объекту измерения.

Примечание - Для подключения контактных наконечников к объектам измерения, снабженным зажимами, допускается использовать медные проводники длиной не более 25 см и сечением не менее 0,35 мм

д) Наблюдая по табло индикации (п. 1 настоящего руководства по эксплуатации) добиться устойчивого контактирования с ОИ.

е) Нажать кнопку ПУСК и перевести омметр в режим измерения. По окончании процедуры измерения на табло индикации отображается результат.

ж) Для перехода в режим многократных измерений нажать кнопку ПУСК и удерживать в течение 2 с. При этом загорается точка КАЛИБРОВКА/СЛЕДЯЩИЙ в крайнем правом разряде табло индикации, а отображения результатов измерения периодически прерывается на время выполнения измерения. При нарушении контактирования измерительного кабеля с ОИ измерения не проводятся и омметр устанавливается в режим проверки контактирования. При восстановлении контактирования измерения продолжают. Для возвращения в режим однократных измерений повторно нажать кнопку ПУСК и удерживать в течение 2 с.

Токоподводящие контакты и щупы подключаются к прибору БСЗ-010-2. В процессе измерения использовался ток, имеющий постоянную величину (не более 3 А), который проходил через исследуемую заготовку. Замер происходил в семи точках расположенные на образце, каждая точка, имеющаяся на образце, подвергалась процессу снятия показаний в количестве десяти раз.

Точки ввода щупов, располагающиеся на поверхности исследуемой композиции материалов, имеют установленное расстояние величиной 800 мкм. С помощью использования микроскопа МБС-1 производился контроль установленного расстояния, а также необходимая точность расположения щупов.

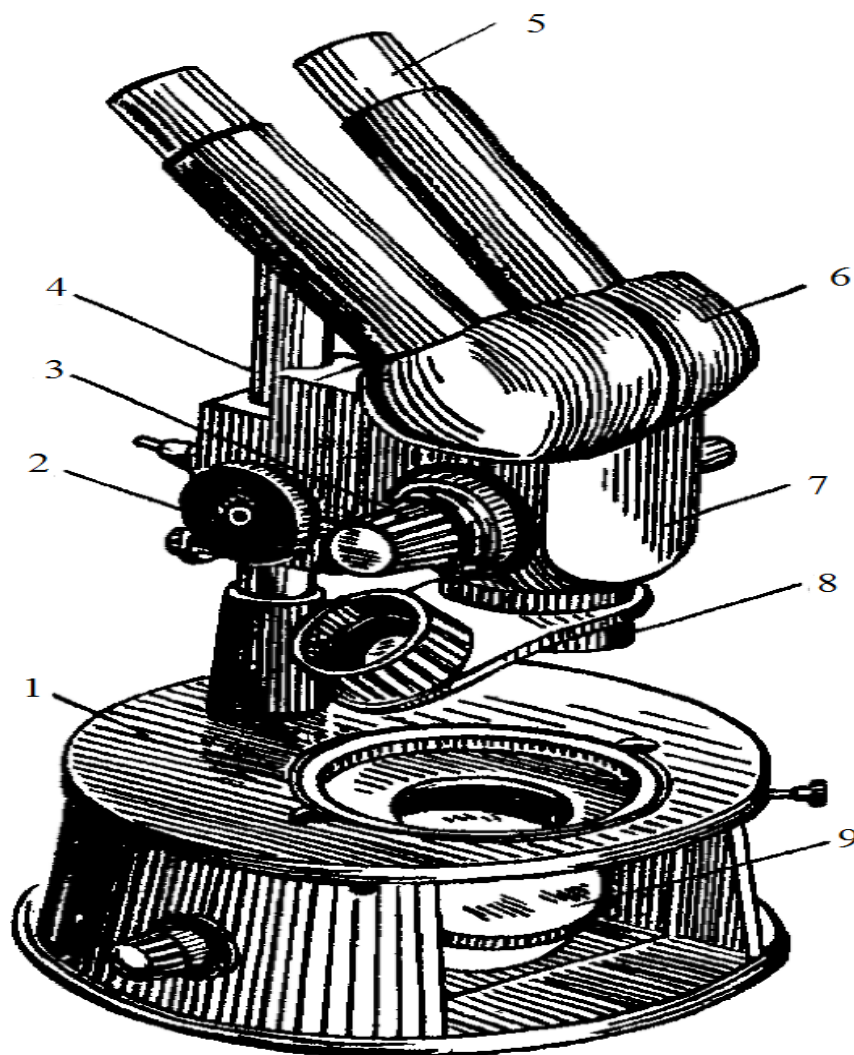


Рисунок 2.8 – Микроскоп МБС-1: 1 – предметный столик; 2 – винт для наводки на фокус; 3 – устройство для переключения степени увеличения; 4 – штатив; 5 – окуляр; 6 – бинокулярная насадка; 7 – оптическая головка; 8 – объектив; 9 - зеркало.

Таблица 2.3 – Технические характеристики микроскопа МБС-1

Параметры	Значение
Увеличение	3,5...98,0
Поле зрения, мм	36,0...2,4
Рабочее расстояние, мм	64,0 или 125,0
Высота, мм	400,0
Основание, мм	230,0 × 280,0
Источник света	лампа 8В 20Вт
Питание, В	220,0
Вес, кг	6,0

МБС-1 состоит из: предметного столика; зеркала; штатива; оптической головки; бинокулярной насадки; окуляров; объектива; устройства для переключения степени увеличения; винта для наводки на фокус

Микроскоп является точным прибором, требующим самого аккуратного и осторожного обращения. Прежде чем приступить к работе, необходимо ознакомиться с устройством микроскопа и порядком работы с ним.

Работа с микроскопом МБС-1 производится по следующим правилам:

- а) Установите микроскоп штативом к себе;
- б) Расположите микроскоп так, чтобы свет от лампы падал через вырез в корпусе столика на зеркало;
- в) Положите микропрепарат на стеклянную пластинку основания микроскопа;
- г) Установите барабан в положение, соответствующее цифре 1. Опуская и поднимая оптическую головку с помощью винта, получите изображение;
- д) Сдвигая или раздвигая окулярные трубки, добейтесь слияния двух изображений в одно.

Выводы:

- а) Изложены свойства, особенности, перспективы использования биметалла медь-алюминий.

б) Приведены методики, приборы и оборудование для исследования пластических и электрофизических свойств.

					ПГУ.ВКР.22.03.01.14МТ120.ПЗ	Лист
						49
Лист	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата		

3 Экспериментальная часть

3.1 Исследуемые материалы

Основой для биметалла получаемого сваркой взрывом использовались алюминий АД1 и медь М1. Химический состав выбранных материалов предоставлен в таблице 3.1. Используемые материалы, характеризуются отличными свойствами. Их проводимость выражена высоким значением, также данные материалы распространены и используются в электротехнике, приборостроении в виде проводов, токоведущих частей и другие. Характерным свойством этих материалов является малое удельное сопротивление [9]. Оба материала подвергались термической обработке – отжигу, данные показаны в таблице 3.3.

Из источника [28] алюминий это легкий металл, обладающей мягкой структурой, характеризующийся серебристо-белым оттенком, прекрасной тепло- и электропроводностью. Температура плавления этого металла составляет 660 °С.

Основными преимуществами алюминия, а также его сплавов является относительно низкая плотность, составляющая 2,7 г/см³. Также характерными достоинствами рассматриваемого материала можно обозначить прочность, которая является сравнительно высокой. Выделяются электро- и теплопроводность, обладающие высокими значениями, хорошая способность сопротивляться агрессивным средам. В целом данный комплекс характеристик приводит к тому, что алюминий является важнейшим техническим материалом. Примеси и легирующие элементы вводимые в алюминий в различной степени ухудшают способность проводить через себя электричество. Особенно сильно повышают электросопротивление алюминия Мп, V, Сг, Ti, мало влияют Ni, Si, Zn, Fe, Cu. Алюминий – химически активный металл. Однако он легко покрывается с поверхности окисной пленкой, которая защищает его от дальнейшего взаимодействия с окружающей средой [28].

Из источника [27] медь – металл, обладающей характерным цветом (разнообразие красных оттенков таких как: бурый; золотисто-розовый и др.), диамаг-

нитный металл с очень небольшой удельной магнитной восприимчивостью. Особенности рассматриваемого металла является хорошая способность к проводимости тока, высокая теплопроводность. Обладает мягкостью, способностью к ковке. Электропроводность выше, чем у алюминия практически в два раза. Также как и у алюминия примеси приводят к обильному снижению характеристики электропроводности. Наиболее сильно занижают электропроводность меди Р, As, Si, Fe, Sb, Co. Химическая активность меди невелика. Рассматриваемый металл подвержен к растворению в химически агрессивных средах. Медь имеет огромную широту применения в изделиях, где необходима хорошая электро- или теплопроводность из-за того, что в большей степени отвечает предъявленным к материалам особенностям [27].

Таблица 3.1 – Химический состав исследуемых металлов [27]

	Содержание элементов, %							
Марка металла	Al	Cu	Si	Mn	Fe	Ti	Mg	Zn
Алюминий АД1	Не менее 99,3	0,05	0,30	0,025	0,30	0,15	0,05	0,1
Медь М1	-	99,9	-	-	0,005	-	-	0,005

Таблица 3.2 – Основные физические свойства исследуемых металлов

Свойство	Металл	
	Al	Cu
Плотность при 20 °С, г/см	2,699	8,94
Температура плавления, °К	933	1356
Температура кипения, °К	2600	2868
Скрытая теплота плавления, Дж/кг	390	212
Теплопроводность при 20°С, Вт/м·с·град	225	394
Удельная теплоемкость при 20 °С, Дж/кг·град	947	383
Коэффициент линейного расширения при 25 °С, 1/град	$24,3 \cdot 10^{-6}$	$16,5 \cdot 10^{-6}$
Удельное электрическое сопротивление, Ом·М	$0,028 \cdot 10^6$	$0,0172 \cdot 10^6$

Таблица 3.3 – Основные механические характеристики исследуемых металлов

Марка металла	Физико-механические свойства						
	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	ψ , %	G , ГПа	E , ГПа	HB , МПа
АД1	80,0	30,0	50,0	80,0	27,0	71,0	250,0
М1	220,0	100,0	45,0	80,0	44,7	120,0	400,0 – 450,0

3.2 Определение переходного электросопротивления тонколистового биметалла медь-алюминий, полученного сваркой взрывом

Биметалл на основе медно-алюминиевой композиции проявил себя хорошим материалом для использования в сфере изготовления оборудования, а также элементов электротехники. Его используют в качестве исходного материала при изготовлении различных токоведущих узлов, замыкающих и токоподводящих контактов. Главная характеристика необходимая, для того чтобы произвести оценку качества биметалла, представляет измерение величины переходного электрического сопротивления рассматриваемого материала. В серии работ посвященных исследованию структуры и свойств биметалла изготовленного из меди и алюминия всевозможными способами, вопрос измерения электрофизических характеристик освещен скудно [9].

Для проведения исследований электрофизических свойств рассматриваемой композиции, которая была получена с помощью операции сварки взрывом проведенной на оптимальном режиме, подвергнутой незамедлительной прокатки и термической обработки на различных режимах, был осуществлен ряд экспериментов.

Измерения сопротивления переходной зоны биметалла медь-алюминий производилось по предложенной схеме на рисунке 3.1 с использованием микроомметра БСЗ-010-2 (Сертификат России RU.C.34.033.A №5637 от 20.10.98 г. Внесён в Госреестр средств измерений за №17843-08).

Особенности использования данного оборудования представлено в пункте 2.3 и таблице 2.2.

Прибор аттестован на погрешность не более 0,2 % и позволяет работать в режимах однократных и многократных измерений, проверять надёжность контактирования с объектом, запоминать результаты измерений и производить автокалибровку по внешним эталонам.

В качестве эталонов использовалась мера электрического сопротивления 1 мкОм типа Р-310 класса точности 0,02 по ГОСТ 5.263-69 [31].

Производилось изготовление образцов с помощью сварки взрывом и прокатки биметаллической заготовки. Из полученной заготовки происходил процесс вырезания образца с определенными размерами, которые необходимы для исследования. Размер составлял 15×15×2,5 мм. Также готовились образцы, путем использования процесса сварки взрывом. Из полученной заготовки после сварки взрывом вырезаны образцы, размер которых составлял 15×15×3 мм. Во всех случаях использовался биметалл изготовление, которого происходило по оптимальному режиму. Образец подвергался шлифованию, с одной грани. Этот процесс выполнялся для того, чтобы производить снятие показаний. Также грань полировалась до шероховатости, величиной не более 0,01 мм.

Размещение образца в устройстве производящим исследование на рисунке 3.1, а, происходило так, чтобы ровные грани имели перпендикулярное расположение подключенным к ним токоподводящим контакторам I_1 и I_2 . К верхней грани, на которой производится снятие показаний, после центрирования образца подводятся два игольчатых щупа снимающих показания напряжения U_1 и U_2 . Точки ввода щупов, располагающиеся на поверхности исследуемой композиции материалов, имеют установленное расстояние A величиной 800 мкм показано на рисунке 3.1, б. Каждый из них расположен на одинаковом расстоянии от линии сварного шва, один со стороны меди, другой со стороны алюминия. С помощью использования микроскопа МБС-1 производился контроль установленного расстояния, а также необходимая точность расположения щупов. Токоподводящие контакты и щупы подключаются к прибору БСЗ-010-2. В процессе измерения

использовался ток, имеющий постоянную величину (не более 3 А), который проходил через исследуемую заготовку. Замер происходил в семи точках расположенных на образце, каждая точка, имеющаяся на образце, подвергалась процессу снятия показаний в количестве десяти раз

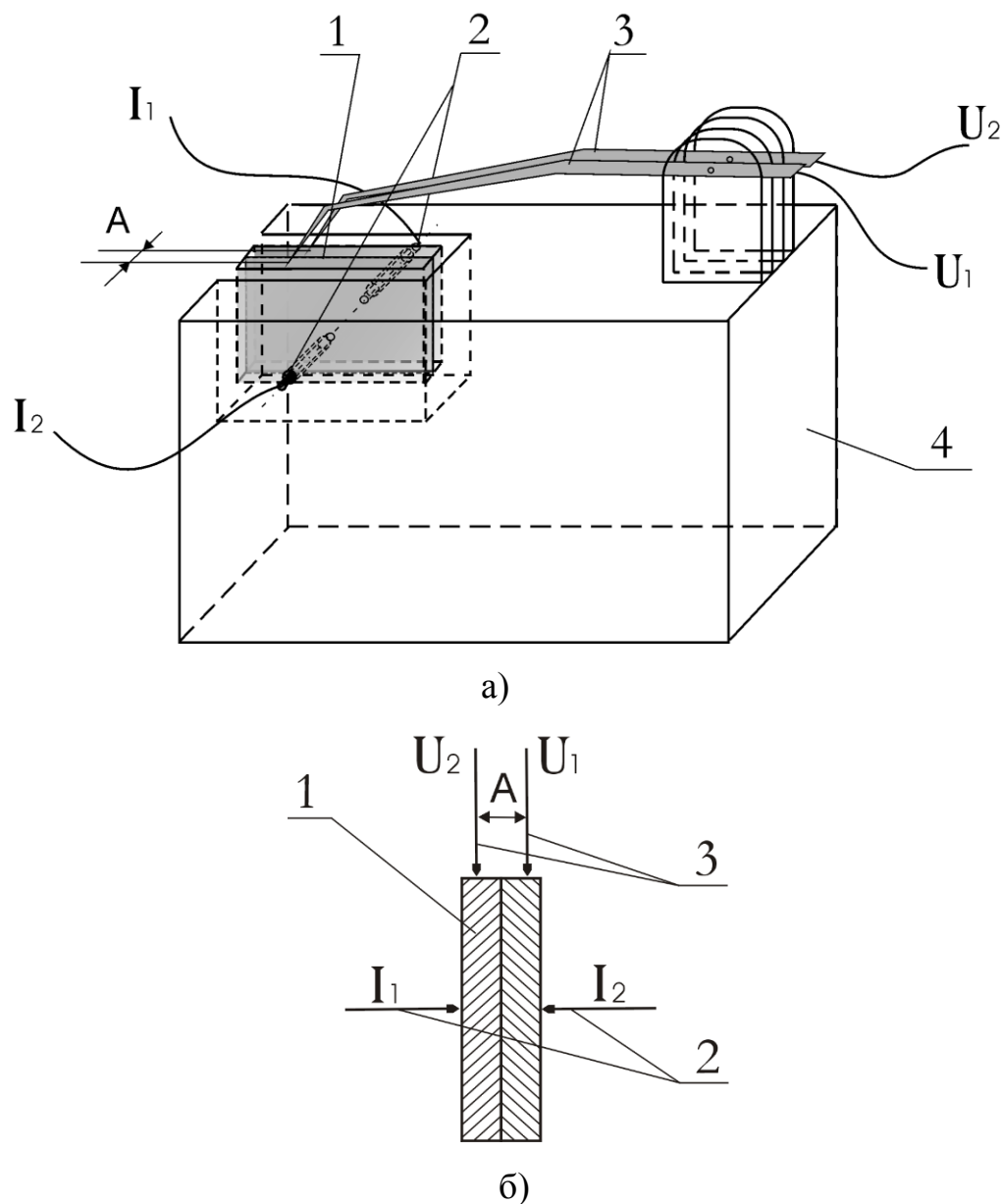


Рисунок 3.1 – Схема измерения переходного электросопротивления биметаллических образцов: 1– биметаллический образец; 2 – токоподводящие контакторы; 3 – щупы-съемники напряжения; 4 – корпус устройства.

Полученные результаты в ходе эксперимента представлены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Результаты измерения переходного электросопротивления биметаллических медно-алюминиевых образцов

Режим ТО	Параметры режима ТО		Электросопротивление, мкОм
	Температура, °С	Время выдержки, мин.	
Образцы после сварки			1,20
Образцы после сварки и прокатки			1,35
1	350	5	1,33
2		25	1,27
3		45	1,12
4		60	1,40
5		480	1,80
6		1200	2,35
7	400	5	1,30
8		25	1,20
9		45	1,45
10		60	1,60
11		300	2,00
12		720	2,35
13	450	5	1,35
14		15	1,45
15		25	1,75
16		45	1,90
17		60	1,95
18		120	2,40
19		300	2,45
20		480	2,50
21	500	5	1,70
22		15	1,90
23		25	2,30
24		45	2,40
25		60	2,70
26		120	2,80
27		360	2,90

Полученные результаты указывают, что происходит увеличение электросопротивления. Величина переходного электрического сопротивления увеличивается от 1,2 до 1,35 мкОм. Это обуславливается тем, что происходит возникновение наклепа на образце полученным с помощью сварки взрывом и холодной прокатки биметаллической заготовки

Термообработка при температуре 350 °С, а также повышения времени нахождения изготовленных образцов в печи, приводит к интересным результатам. При выдержки образца в печи в течении 45 минут, замечено образования низкого электрического сопротивления.

Анализ данных результатов приводит к тому, что образованный наклеп в результате приготовления образцов, удаляется за счет снятия остаточных напряжений, а также путем отдельного снятия дефектности решетки. Данные выводы подтверждаются путем исследования на металлографическом микроскопе за счет изменения микротвердости. При повышении времени нахождения образца в печи до 20 часов, наблюдается увеличение его электрического сопротивления. Данная закономерность объясняется тем, что в биметалле в зоне сварного шва происходит процесс возникновения интерметаллидов, которые и приводят к повышению переходного электросопротивления. Похожие результаты и выводы были получены и в процессе термической обработки при температуре в 400 °С.

При проведение термообработки при температуре в 450 и 500 °С было выявлено, что уменьшение электросопротивление в образцах, помещенных в печь при данных температурах, не происходит. Объясняется это таким образом, что получение интерметаллидов в зоне сварного шва происходит при выдержки в течении от 2 до 3 минут.

С помощью исследования были получены данные и подведены итоги в виде графической зависимости на рисунке 3.2 имеющий параболический характер. Благодаря графической зависимости происходит отражение роста электрического сопротивления по отношению к общей толщине фазовых прослоек.

Рассматриваемый композиционный материал на основе меди и алюминия имеет широкую сферу использования в электротехнической промышленности. В

связи с этим, необходимо рассмотреть и сравнить полученный биметалл с материалами имеющие схожие свойства, но изготовлены при помощи традиционных методов. В результате этого было выполнено исследование, с помощью которого произошло определение переходного электросопротивления рассматриваемого материала в данном эксперименте, полученного холодной сваркой, применяемого в изготовлении первичных обмоток трансформаторов тока.

Полученные данные привели к тому, что была выявлена величина медно-алюминиевого биметалла, используемого в первичной обмотке, которая превосходит по электросопротивлению практически до 3 раз, полученный биметалл в результате исследований.

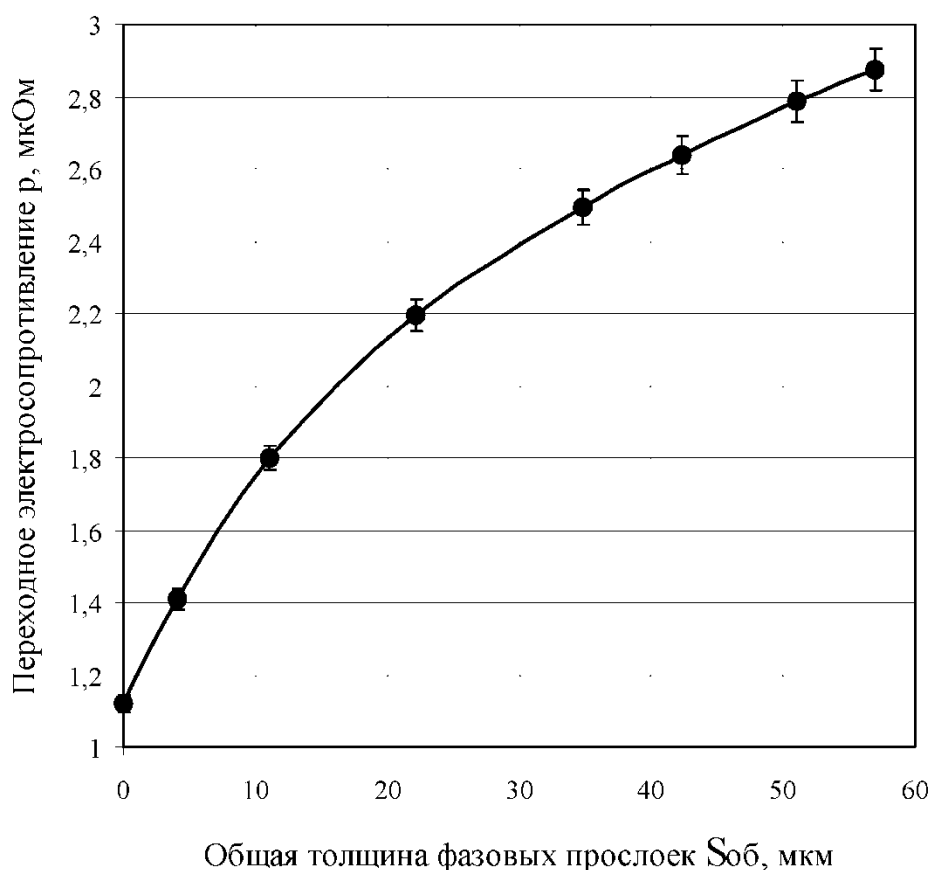


Рисунок 3.2 – Зависимость величины переходного электросопротивления биметалла от общей толщины фазовых прослоек

Оценка всех полученных данных в результате исследования позволяют сделать вывод о том, что режимы термической обработки оказывают воздействие на

переходное электросопротивление. Это вызвано путем формирования интерметаллидных прослоек.

3.3 Исследование пластических свойств тонколистового биметалла медь-алюминий

Рассматриваемый биметалл медь-алюминий подвергается процессу сварки взрывом испытывает ряд технологических операций, которые выражаются в виде доводки качества поверхности, формопреобразованием и ряду других операций. Способность подвергаться обработке композиционного материала, используемого в исследовании, во всех случаях выясняется путем определения пластичности. Поэтому для оценки обрабатываемости, критерий которой является эталонным и обязательным для принятия листового материала, существует необходимость производить ряд экспериментов испытаний на выдавливание сферической лунки на штампе Эриксона показано на рисунке 2.6, таблица 2.1 по ГОСТ 10510-80 [23].

Испытание на глубину выдавливания сферической лунки хорошо моделирует процесс вытяжки при штамповке сферических, параболических и других подобных деталей, а также при гидравлической вытяжке.

Этот вид технологических испытаний пока еще наиболее распространен при оценке штампуемости листового проката толщиной от 0,2 до 2,0 мм. Испытание заключается в формовке сферическим пуансоном лунки в образце, прочно зажатом между матрицей и прижимным кольцом [9].

Для проведения испытания из исследуемого биметалла изготавливались образцы путем вырезки. Число вырезанных образцов составляло 7 штук, размер которых имеет величину 30×30 мм. Измерение ширины образцов производилось с помощью штангенциркуля, погрешность составляла не более 1,0 мм. Данный процесс указан в ГОСТ 166-89 [29]. Толщина образцов измерялась благодаря микрометру, погрешность составляла не более 0,01 мм. Данный процесс указан в ГОСТ 6507-90 [30].

Образцы также подвергались предварительной обработке. Поверхность вначале претерпевала процесс шлифовки, а далее производилась полировка. Это необходимо, что бы избавиться от рисок, а также для исключения возникновения мелких дефектов. Две стороны образца подвергали смазки, основой которой является графит, тонким слоем. Смазка УС_сА по ГОСТ 3333-80 [32].

Проведение испытания на приборе Эриксона показанном на рисунке 3.3 происходит таким образом, что в квадратной биметаллической заготовке 1 зажатой между вкладышем 7, кольцом 2 гидравлической мессдозы прижима и матрицей 8 закрепленной в матрице держателе 9, выдавливается пуансоном 5, закрепленным в надставке 4 шпинделя 3 прибора, сферическая лунка 10 до момента появления на ней сквозной трещины, являющейся признаком окончания испытания. Заготовка устанавливается до упора 6. На рассматриваемом приборе формировании трещины обнаруживается с помощью зеркала, которое зафиксировано на корпусе.

Для того чтобы провести оптимальную оценку исследуемых характеристик, выполнялась сопоставительная характеристика с исходными материалами. Анализ пластичности исследуемого биметалла, происходил в сравнении с материалами основы, одинаковой толщины.

Композиционный материал, проходящий исследование получен с помощью сварки по оптимальному режиму, а также подвергался холодному прокату. Образцы, используемые в эксперименте, подготавливались таким образом, что часть из них была подвержена термической обработки, а другая часть обработку не проходила. Данные операции использовались с той целью, что бы определить полный спектр характеристик, которые могут повлиять на пластические свойств соединения. Данные о результатах испытаний представлены в таблице 3.5.

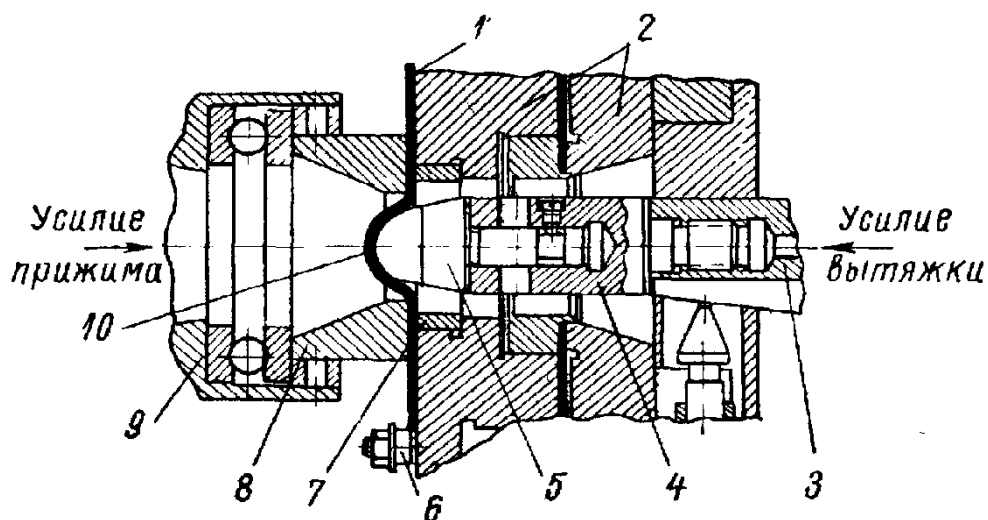


Рисунок 3.3 - Схема испытания на глубину выдавливания сферической лунки по Эриксену

Таблица 3.5 - Зависимость глубины вдавливания сферической лунки от вида обработки материала

Вид обработки материала	Материал	Усилие вдавливания, Н	Глубина вдавливания сферической лунки, мм
-	Cu	4800	13,0
-	Al	1960	16,0
Сварка, прокатка	биметалл	5390	8,1
Сварка, прокатка, ТО 350 °С (выдержка 45 минут)	биметалл	5000	11,0
Сварка, прокатка, ТО 500 °С (выдержка 45 минут)	биметалл	5100	10,0

Полученные данные в результате эксперимента обосновывается путем исследования на микротвердость соединения. Образующий наклеп на исследуемом биметалле возникает в процессе его получения, в частности из-за сварки и дальнейшей прокатки. Снятие наклепа происходит путем термической обработки при температуре 350 °С и находился в печи в течение 45 минут. Так же при данных

характеристиках термообработки обеспечивается хорошая пластичность биметалла. Происходит увеличение глубины вдавливания лунки, используемой в приборе Эриксона, от 8,1 до 11 мм. Таким образом, можно судить о том, что пластичность, как полученного композиционного материала, так и обычной меди сопоставима, если материалы обладают одной и тоже толщиной. При термической обработке с температурой 500 °С, с тем же временем выдержки, наблюдается уменьшение пластичность, по отношению к термической обработки с температурой 350 °С. Это обосновывается образованием интерметаллидных прослоек. Однако исследования показали, что при вдавливании лунки, расслоение при изложенных термических обработках не происходит.

По данным испытаний, можно судить о том, что пластичность исследуемого биметалла разрешает изготавливать изделия с помощью глубокой вытяжки.

Выводы:

а) Рассмотрены исходные материалы М1 и АД1, их химический состав, а также физические и механические свойства.

б) Оценка всех полученных данных в результате исследования позволяют сделать вывод о том, что режимы термической обработки оказывают воздействие на переходное электросопротивление. Это вызвано путем формирования интерметаллидных прослоек.

в) По данным испытаний, можно судить о том, что пластичность исследуемого биметалла разрешает изготавливать изделия с помощью глубокой вытяжки.

г) Испытаниями по определению переходного электрического сопротивления биметалла и исследованием его пластичности установлено, что биметалл, полученный по разработанной технологии, характеризуется повышенными эксплуатационными и физико-механическими характеристиками по сравнению с биметаллом, полученным традиционным способом.

Заключение

На основании проведенных исследований по настоящей квалификационной работе можно сделать следующие выводы:

а) Сделан литературный обзор научных работ по биметаллам и их классификации с рассмотрением свойств. Также рассмотрены методы получения биметаллов, где основное внимание было уделено технологии получения биметаллов методом сварки взрывом. Представленный патентный поиск определяет перспективность направления использования методов получения биметаллов сваркой взрывом. Изложены особенности, характеристики, перспективы использования биметалла медь-алюминий.

б) Сформулированы цель и задачи исследований.

в) Приведены методики, приборы и оборудование для исследования пластических и электрофизических свойств.

г) Определено влияние термической обработки на величину переходного электросопротивления. Увеличение электросопротивления вызвано тем, что происходит формирования интерметаллидных прослоек при увеличении времени выдержки от 8 до 20 часов. Однако при выборе оптимального термического режима и время выдержки (ТО 350 °С, 45мин. выдержка) значение переходного электросопротивления имеет минимальное значение 1.12 мкОм, за счет снятия остаточных напряжений и наклепа.

д) По данным испытаний, можно судить о том, что пластичность исследуемого биметалла разрешает изготавливать изделия с помощью глубокой вытяжки.

е) Испытаниями по определению переходного электрического сопротивления биметалла и исследованием его пластичности установлено, что биметалл, полученный по разработанной технологии, характеризуется повышенными эксплуатационными и физико-механическими характеристиками по сравнению с биметаллом, полученным традиционным способом.

Список использованных источников

1. **Биметаллы и их виды** [Электронный ресурс] – URL: <https://metallurgy.zp.ua/bimetically/> (дата обращения 18.05.18)
2. **Голованенко, С.А. Производство биметаллов** [Текст] / ред. Р.Е Голубчик. – Москва: Издательство Металлургия, 1964. – 303 с.
3. **Адашкин, А.М. Материаловедение** [Текст]: учебник / А.М. Адашкин, Ю.Е. Седов, А.К. Онегина. - М.: Юрайт, 2013 - 535 с.
4. **Композиционные материалы** [Текст]: справочник / под ред. Карпиноса Д.М. – Киев: Наукова думка, 1985.- 592 с.
5. **Биметалл** [Электронный ресурс] – URL: <http://www.supplysteel.ru/bimetall.php> (дата обращения 18.05.18)
6. **Колесов, С.Н. Материаловедение и технология конструкционных материалов.** [Текст]: учебник /С.Н Колесов, И.С. Колесов.- М. Высшая школа, 2004. - 518 с.
7. **Петушков, В.Г. Применение взрыва в сварочной технике** [Текст] / ред. Б.Е. Патона. – Киев: Наукова Думка, 2005. – 754 с.
8. **Сварка и резка металлов взрывом** [Электронный ресурс] – URL: <http://prod.bobrodobro.ru/71308> (дата обращения 18.05.18)
9. **Получение тонколистового биметалла медь-алюминий сваркой взрывом и исследование его структуры и свойств** [Электронный ресурс]. - URL: <http://www.dissercat.com/content/poluchenie-tonkolistovogo-bimetalla-med-alyuminii-svarkoi-vzryvom-i-issledovanie-ego-struktu#ixzz5EvQoTE97>(дата обращения 18.05.18)
10. **Получение сваркой взрывом и свойства композитов** [Электронный ресурс] – URL: <http://amo.dmt-product.com/amo-08/pdfamo08/27.pdf> (дата обращения 20.05.18)
11. **Лысак, В.И. Высококачественные биметаллические детали и узлы силовых электрических цепей, полученные с помощью сварки взрывом** [Текст] / В.И. Лысак, Ю.Г. Долгий, П.В. Берсенева, С.В. Кузьмин, Е.А. Чугу-

нов// Современные проблемы сварочной науки и техники: Материалы Международн. науч.-техн. конф. - Ростов-на-Дону. - 1993.

12. Лысак, В.И. Опыт применения сваренного взрывом биметалла медь + алюминий в энергоемких отраслях промышленности [Текст] / В.И. Лысак, Ю.Г. Долгий, С.В. Кузьмин, Е.А. Чугунов, и др.// Композиты в народное хозяйство России: Материалы Международн. науч.-техн. конф. - Барнаул. - 1997.

13. Лысак, В.И. Основные закономерности перехода к безволновым режимам формирования соединения при сварке взрывом [Текст] / В.И. Лысак, С.В. Кузьмин// Сварка взрывом и свойства сварных соединений: Межведом. сб. науч. тр. ВолгПИ. - Волгоград, 1991. - С. 29-38.

14. Зельдович, Я.Б. Физика ударных волн и высокотемпературных газодинамических явлений [Текст] / Я.Б. Зельдович, Ю.П. Райзер// М.: Наука, 1966. - 686 с.

15. Производство полосовой и листовой стали [Текст] учебник / Василев Я. Д., Сафьян М. М.: Издательское объединение «Высшая школа», 1975, 192 с.

16. Баранов, И. Б. Холодная сварка пластичных металлов [Текст] учебник / Баранов И. Б. // М.: Машиностроение, 1969. - 208 с.

17. Способ комбинированной сварки взрывом [Электронный ресурс] – URL: <http://www.findpatent.ru/patent/251/2516179.html> (дата обращения 13.04.18)

18. Способ получения композиционных медно-алюминиевых изделий с внутренней полостью сваркой взрывом [Электронный ресурс] – URL: <http://www.findpatent.ru/patent/248/2486043.html> (дата обращения 13.04.18)

19. Способ получения неразъемных соединений сваркой взрывом [Электронный ресурс] – URL: <http://ru-patent.info/21/85-89/2185942.html> (дата обращения 13.04.18)

20. Способ получения композиционного материала [Электронный ресурс] – URL: <http://www.findpatent.ru/patent/260/2606134.html> (дата обращения 13.04.18)

21. Микроомметры, миллиомметры, омметры [Электронный ресурс] – URL: <http://www.electronpribor.ru/catalog/18/bsz-010-2.htm#specification> (дата обращения 26.05.18)

22. Руководство по использованию БСЗ-010-2 [Электронный ресурс] – URL: <https://www.elec.ru/viewer?url=/files/2013/12/24/Rukovodstvo-po-ekspluatatsii-BSZ-010-1-i-BSZ-010-2.pdf> (дата обращения 26.05.18)

23. Метод испытания на выдавливание листов и лент по Эриксену [Электронный ресурс] – URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-10510-80> (дата обращения 26.05.18)

24. Контроль, измерение, диагностика [Электронный ресурс] – URL: <http://www.defectoscop.ru/product61.html> (дата обращения 26.05.18)

25. Принцип работы прибора Эриксена [Электронный ресурс] – URL: <http://ank-ndt.ru/produkczija/kontrol-izolyaczii/priboryi-dlya-ispyitanij-na-izgib-i-udar/pribor-eriksena/-shtamp-eriksena.html> (дата обращения 26.05.18)

26. Микроскоп МБС-1 [Электронный ресурс] – URL: <http://www.mbs10.ru/mbs-1.html> (дата обращения 28.05.18)

27. Медь – свойства, характеристики свойства [Электронный ресурс] - URL: <http://cu-prum.ru/med.html> (дата обращения 28.05.18)

28. Алюминий АД1 [Электронный ресурс] - URL: http://metallischekiy-portal.ru/marki_metallov/alu/AD1 (дата обращения 28.05.18)

29. Штангенциркули. Технические условия [Электронный ресурс] – URL: http://www.ntcexpert.ru/documents/docs/gost_166-89.pdf (дата обращения 28.05.18)

30. Микрометры. Технические условия [Электронный ресурс] – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200023923> (дата обращения 28.05.18)

31. Катушки электрического сопротивления измерительные Р310, Р321 и Р331 [Электронный ресурс] – URL: <http://www.normacs.ru/Doclist/doc/320P.html> (дата обращения 28.05.18)

32. Смазка графитная. Технические условия [Электронный ресурс] – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200008574> (дата обращения 28.05.18)

Приложение А



ФГБОУ ВО ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Факультет машиностроения и транспорта

Кафедра «Сварочное, литейное производство и материаловедение»

Исследование пластических и электрофизических свойств тонколистового биметалла медь- алюминий, полученного с применением сварки ВЗРЫВОМ

Выполнил:
ст.гр.14МТ1
Турутин С.А

*Руководитель: к.т.н.,
доцент Крюков Д.Б.*

Пенза - 2018

Цель и задачи работы

Цель работы – исследование пластических и электрофизических свойств тонколистового биметалла медь-алюминий полученного сваркой взрывом.

В связи с этим необходимо выполнить следующие задачи:

- Сделать литературный и патентный обзор биметаллов, классификации биметаллов и методы получения, с целью обоснования выбора технологии сварки взрывом для получения композиционного материала медь–алюминий.;
- Провести анализ комплекса методик, приборов и оборудования, необходимых для проведения исследований.;
- Исследовать переходное электросопротивление тонколистового биметалла медь-алюминий, полученного сваркой взрывом.
- Провести исследования пластических свойств тонколистового биметалла медь-алюминий, для определения рациональных пластических свойств материала.

Разработал	Турутин С.А.	Каф. «СЛПиМ»
Руководитель	Крюков Д.Б	гр. 14МТ1

Анализ методов получения биметаллов

Способ получения	Краткое описание способа	Особенности	Достоинства	Недостатки
Литейный метод	Получение двух-, трех- или многослойного слитка, заливка металла в изложницу и дальнейшее горячее деформирование	Получение крупных слитков до 13т, а также возможность получать слитки в несколько кг.	Данный способ обеспечивает получение заготовки большой массы и не требует каких-либо капитальных затрат, специального оборудования и т.д.	Получение биметаллов возможно из небольшого числа металлов.
Горячая прокатка составного пакета	Составной пакет из двух или более слоёв различных металлов в виде пластин или профилей пакет по периметру герметизируют электросваркой, обертывают тонкими листами кровельного железа, ведут прокатку в защитной атмосфере	Получение двух- трех- или многослойных биметаллов	Данные способы обеспечивают получение более тонких полос и лент из большего количества металлов и сплавов при лучшем качестве поверхности	К недостаткам этих методов следует отнести ограниченный диапазон толщины, и ширины получаемых биметаллических листов
Холодная сварка прокаткой	Метод включает: подготовку контактных поверхностей; холодную прокатку на стане; промежуточный отжиг; холодную прокатку; калибровку; правку; окончательный отжиг; резку полос на заданные размеры	Применяют для получения двух- или трехслойных биметаллов, состоящих из стальной основы и лакирующих слоев из цветных металлов или их сплавов		
Сварка взрывом	Получение соединений металлов происходит под действием энергии, выделяющейся при взрыве заряда взрывчатого вещества	Сварку взрывом используют для получения относительно небольших биметаллических листов таких композиций, которые не удается получить другими методами.	Изготовление биметаллических соединений из разнообразных металлов и сплавов; высокая прочность соединения слоев; быстротечность процесса сварки; высокая экономическая эффективность метода.	Жесткие требования к безопасности проведения работ и хранения взрывчатых веществ; малая степень автоматизации

Сварка взрывом

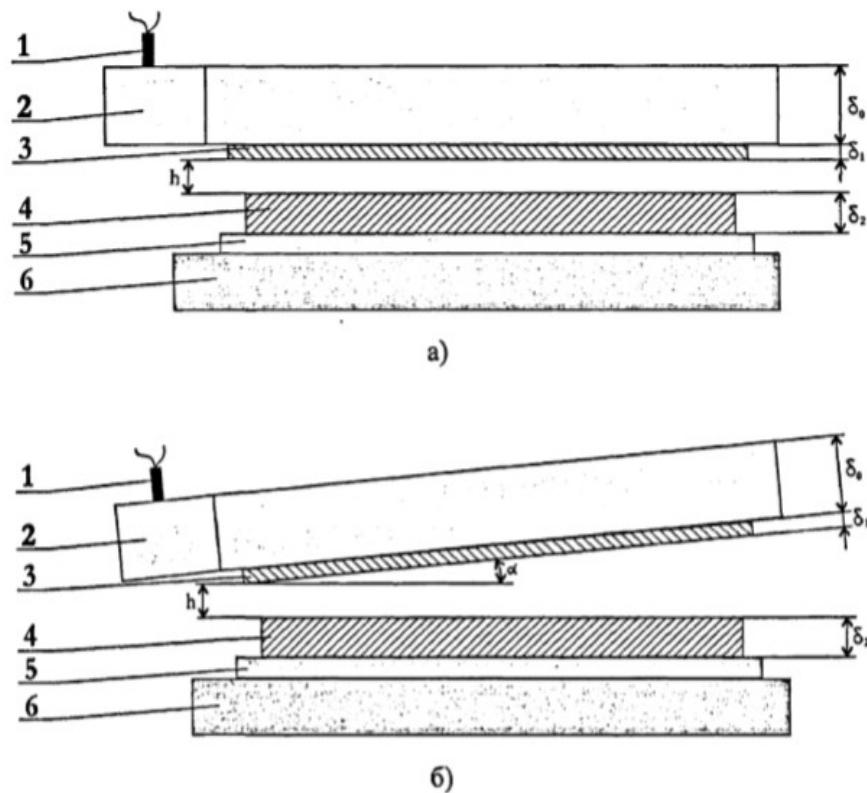


Рисунок 1 - Принципиальные схемы сварки взрывом (а – параллельная, б – угловая)

ПАРАМЕТРЫ СВАРИВАЕМОСТИ БИМЕТАЛЛА МЕДЬ-АЛЮМИНИЙ

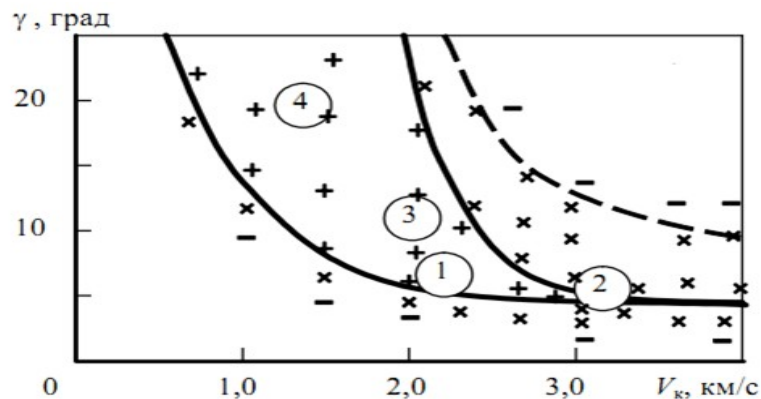


Рисунок 2-Область свариваемости меди с алюминием

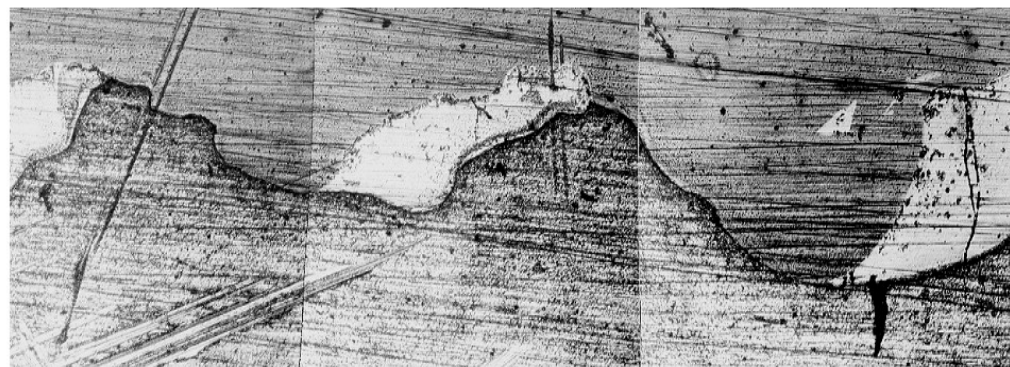


Рисунок 4-Микроструктура зоны соединения медно-алюминиевого композита(×200)



Рисунок 3-Микроструктура зоны соединения медно-алюминиевого композита (×200)

Оборудование для исследований

Таблица 1 - Техническая характеристика штампа Эриксона

Параметры	Значения
Диаметр сферического наконечника пуансона, мм	20
Внутренний диаметр матрицы, мм	27
Глубина выдавливания, мм	0,1 – 15
Погрешность измерения глубины выдавливания, мм, не более	0,1
Габаритные размеры, мм, не более	480x480x400
Масса прибора, кг, не более	18



Рисунок 5 – штамп Эриксона

Таблица 2 -Техническая характеристика прибора БС3-010-2

Параметры	Значения
Диапазон измеряемых сопротивлений	100 ном – 1 Ом
Основная приведенная погрешность, %	Не более 0,5-1
Измерительный ток, А	Не более 3,0
Длина входных кабелей, м	15,0
Диапазон рабочих температур, °С	-5-40
Питание прибора от промышленной сети, В	220
Потребляемая мощность, Вт	Не более 90
Габаритные размеры, мм	340x295x152
Масса, кг	не более 6,0



Рисунок 6 – Микроомметр БС3-010-2

Определение переходного электросопротивления биметалла медь-алюминий

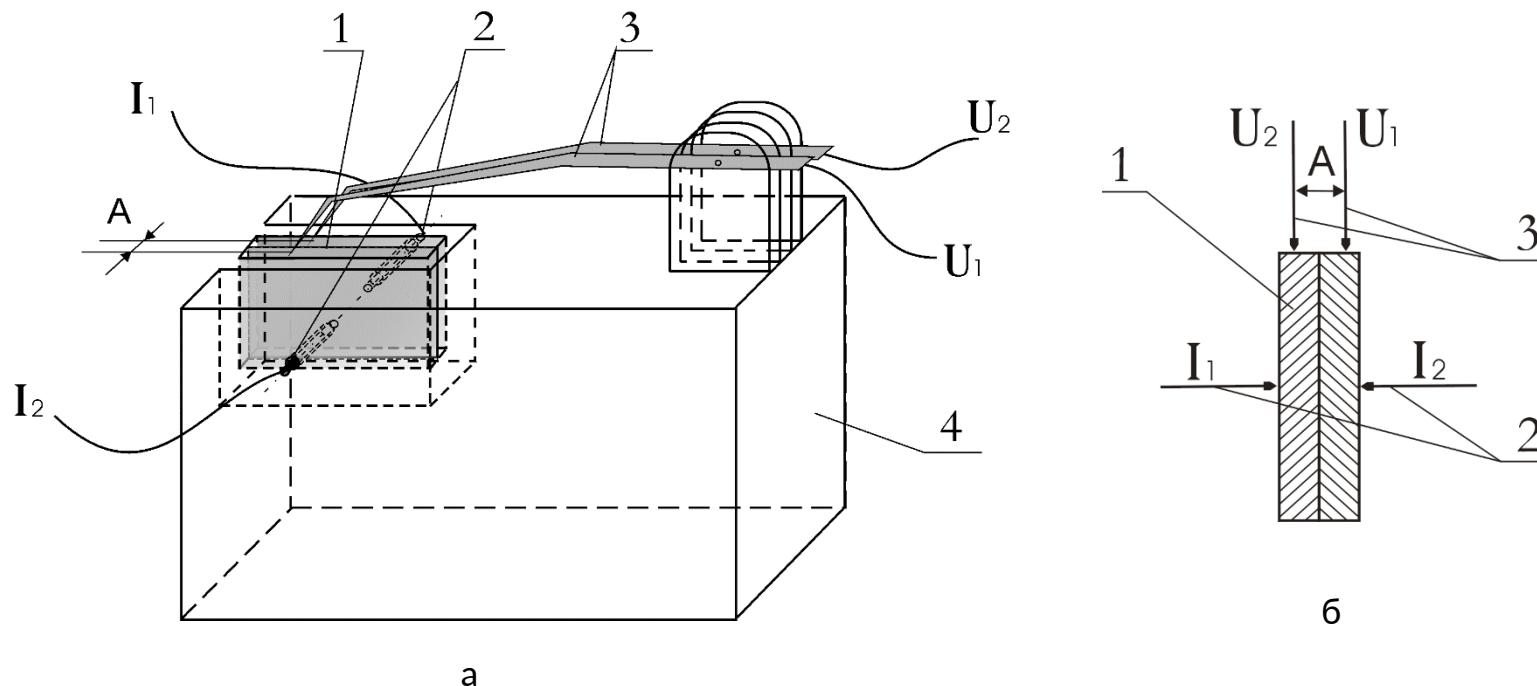


Рисунок 7 – Принципиальная схема измерения переходного электросопротивления биметаллических образцов 1-биметаллический образец; 2-токоподводящие контакторы; 3-щупы-съемники напряжения; 4-корпус устройства.

Исследование переходного электросопротивления биметалла медь-алюминий

8

Таблица 3 - Результаты измерения переходного электросопротивления
биметаллических медно-алюминиевых образцов

Режим ТО	Параметры режима ТО		Электросопротивление, мкОм.
	Температура, °С	Время выдержки, мин.	
Образцы после сварки			1,20
Образцы после сварки и прокатки			1,35
1	350	5	1,33
2		25	1,27
3		45	1,12
4		60	1,40
5		480	1,80
6		1200	2,35
7	400	5	1,30
8		25	1,20
9		45	1,45
10		60	1,60
11		300	2,00
12		720	2,35

Исследование переходного электросопротивления биметалла медь-алюминий

Продолжение таблицы 3

Режим ТО	Параметры режима ТО		Электросо- противление , мкОм.
	Температ ура, °C	Время выдержки, мин.	
13	450	5	1,35
14		15	1,45
15		25	1,75
16		45	1,90
17		60	1,95
18		120	2,40
19		300	2,45
20		480	2,50
21	500	5	1,70
22		15	1,90
23		25	2,30
24		45	2,40
25		60	2,70
26		120	2,80
27		360	2,90

Динамика увеличения переходного электросопротивления биметалла

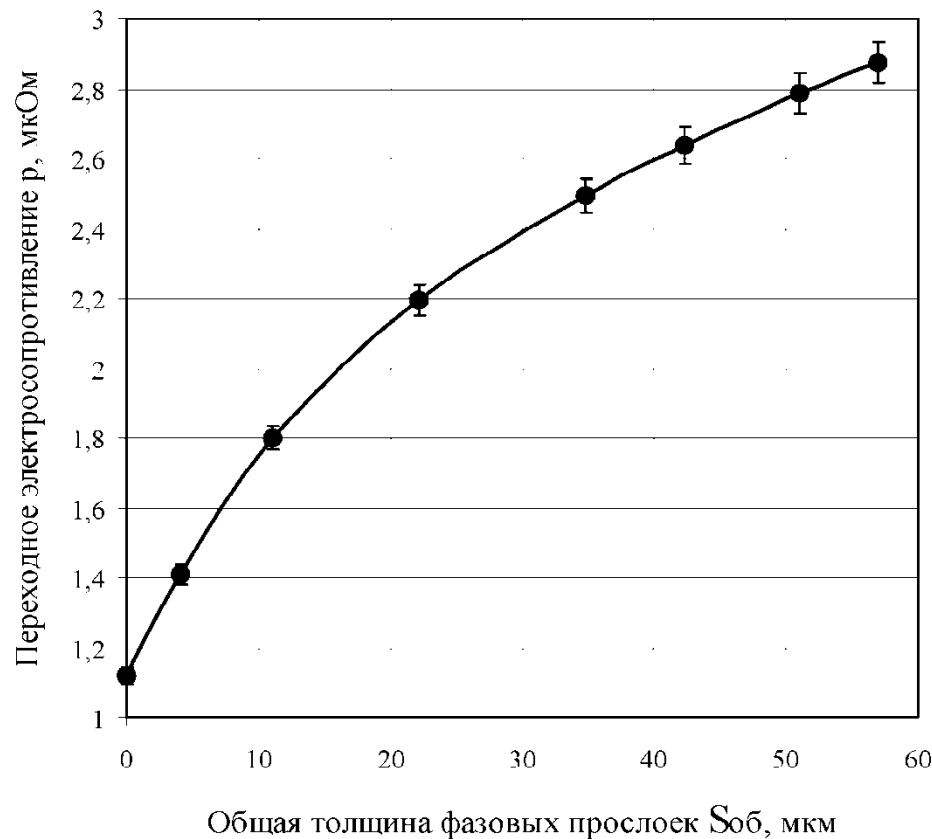


Рисунок 8 — Зависимость величины переходного электросопротивления биметалла от общей толщины фазовых прослоек

Исследование пластических свойств биметалла

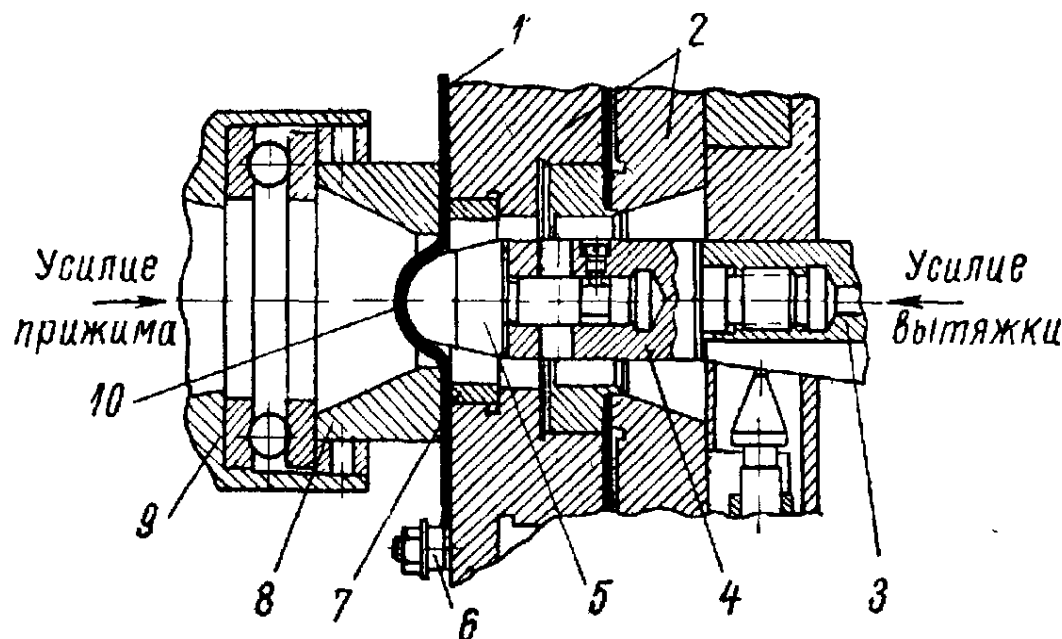


Рисунок 9 - Схема испытания на глубину выдавливания сферической лунки по Эриксену: 1 – заготовка; 2 – кольцо гидравлической месдозы прижима; 3 – шпиндель; 4 – надставка; 5 – пуансон; 6 – упор; 7 – вкладыш; 8 – матрица; 9 – держатель; 10 – сферическая лунка

Результаты исследования по оценке пластичности

Таблица 4 - Зависимость глубины вдавливания сферической лунки от вида обработки материала

Вид обработки материала	Материал	Усилие вдавливания, Н	Глубина вдавливания сферической лунки, мм
-	Cu	4800	13,0
-	Al	1960	16,0
Сварка, прокатка	Биметалл	5390	8,1
Сварка, прокатка, ТО 350 °С (выдержка 45 минут).	Биметалл	5000	11,0
Сварка, прокатка, ТО 500 °С (выдержка 45 минут).	Биметалл	5100	10,0

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

-Сделан литературный обзор научных работ по биметаллам и их классификации с рассмотрением свойств. Также рассмотрены методы получения биметаллов, где основное внимание было уделено технологии получения биметаллов методом сварки взрывом. Представленный патентный поиск определяет перспективность направления использования методов получения биметаллов сваркой взрывом. Изложены особенности, характеристики, перспективы использования биметалла медь-алюминий;

-Приведены методики, приборы и оборудование для исследования пластических и электрофизических свойств;

-Определено влияние термической обработки на величину переходного электросопротивления. Увеличение электросопротивления вызвано тем, что происходит формирования интерметаллидных прослоек при увеличении времени выдержки от 8 до 20 часов. Однако при выборе оптимального термического режима и время выдержки (ТО 350 °С, 45мин. выдержка) значение переходного электросопротивления имеет минимальное значение 1.12 мкОм, за счет снятия остаточных напряжений и наклепа.

-Проведен комплекс испытаний на пластичность с помощью прибора Эриксона. После ТО 350 °С и 45 минут выдержки, за счет снятия наклепа глубина вдавливания сферической лунки увеличивается до 11 мм. Тем самым пластичность тонколистового биметалла медь-алюминий сравнима с пластичностью меди той же толщины. Также в процессе выдавливания сферической лунки расслоения биметалла не наблюдалось.