

«Утверждаю»

Зам. директора Федерального
государственного бюджетного
учреждения науки

Институт металлургии и материаловедения
им. А.А. Байкова Российской академии наук,

к.т.н.

И.О. Банных

«05» ноября 2020 г.

Отзыв

ведущей организации

на диссертацию **Махиной Дарьи Николаевны** «Структура и механические свойства биметаллических материалов, полученных методом горячего изостатического прессования», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 «Металловедение и термическая обработка металлов»

Актуальность темы исследования

Диссертационная работа Махиной Дарьи Николаевны посвящена решению актуальной проблемы получения биметаллических материалов методом горячего изостатического прессования (ГИП) для элементов технических систем различного назначения.

В работе представлены результаты разработки технологии получения и комплексного исследования структуры и механических свойств четырех биметаллических материалов «моно-поли молибден», «ЦМ2А-12Х18Н10Т», «АМг6-12Х18Н10Т», «CuCrZr-316L», используемых для изготовления биметаллических изделий специального назначения в ракетно-космической технике (РКТ), атомной технике и в других отраслях.

Оценка структуры и содержания работы

Представленная Махиной Д.Н. диссертация состоит из введения, пяти глав и общих выводов. Объем работы составляет 116 страниц, включая 47 рисунков, 14 таблиц, библиографический список из 130 наименований.

Во введении приведена актуальность работы, сформулированы цели и задачи проводимых исследований, представлены научная новизна, практическая значимость, основные положения, выносимые на защиту, приведены сведения о публикациях, представлена структура и объем диссертации.

Первая глава содержит анализ литературных источников по теме диссертации. Рассмотрены области применения биметаллических материалов, представлен обзор основных способов соединения разнородных металлов в твердом состоянии. Обоснована перспективность и необходимость получения биметаллических материалов методом

горячего изостатического прессования, а также приводится анализ факторов, влияющих на структуру и механические свойства. На основании обзора сформулированы задачи исследования.

Во второй главе представлено обоснование выбора биметаллических материалов исследования с учетом требований, предъявляемых к ним: «моно-поли молибден», ЦМ2А-12Х18Н10Т», «АМг6-12Х18Н10Т», «CuCrZr-316L». Приведен анализ выбора технологических приемов и режимов получения каждого биметаллического материала. В главе отражены выбранные методы исследования структуры и свойств.

Третья глава посвящена исследованию биметаллических материалов на основе молибдена. Показано влияние промежуточного слоя титана на структуру, прочность и теплопроводность «моно-поли молибдена». Установлено, что промежуточный слой из титана толщиной 0,1 мм приводит к снижению теплопроводности составного молибденового зеркала на 3 % при 50 °С и на 2% при 400 °С. Приводятся результаты исследования влияния различных промежуточных слоев на структуру и механические свойства «ЦМ2А-12Х18Н10Т».

В четвертой главе приведены исследования влияния способов подготовки контактных поверхностей, температуры и среды горячего изостатического прессования на структуру и механические свойства «АМг6-12Х18Н10Т». Установлено, что наибольшая прочность соединения через промежуточный слой алюминия толщиной 0,5 мм достигается при шабрениии алюминиевых компонентов, травлении контактной поверхности стали, режиме ГИП $T = 540\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\tau = 30\text{ мин}$, $P \leq 200\text{ МПа}$. При этом обязательными условиями являются создание вакуумной среды в области соединения, формирование зубчатого рельефа на контактной поверхности стали.

В пятой главе автор приводит результаты получения «CuCrZr-316L» сложной геометрической формы методом горячего изостатического прессования с последующей термической обработкой, сравнивает структуру и механические свойства при изготовлении в вакууме и атмосфере воздуха. Установлено, что при герметизации на воздухе прочность соединения несколько ниже, чем при герметизации в вакууме, но значения прочности во всех случаях значительно превышают требуемые 220 МПа при температуре 150°С.

Содержание Диссертационной работы полностью отражает достигнутые автором результаты по достижению цели и решению поставленных задач. Работа хорошо структурирована и изложена ясным технически грамотным языком.

Новизна полученных результатов и практическая значимость

В работе получены новые данные об особенностях структурообразования соединений биметаллических материалов и факторах, определяющих их структуру и механические свойства. Наиболее значимыми новыми научными результатами являются следующие:

Впервые методом ГИП получены биметаллические материалы «моно-поли молибден»; «ЦМ2А-12Х18Н10Т»; «АМг6-12Х18Н10Т»; «CuCrZr-316L», изучена структура и определены их механические свойства.

Для биметаллического материала «моно-поли молибден», изучено влияние промежуточного слоя титана на свойства составного молибденового зеркала и предложена технология его получения.

На примере соединения БМ «ЦМ2А – 12Х18Н10Т» установлено, что прочность биметаллического соединения легированного молибдена с другими тугоплавкими металлами ограничена образованием хрупких твердых растворов на основе молибдена.

Для получения биметаллического материала «АМг6-12Х18Н10Т» методом горячего изостатического прессования через промежуточный слой алюминия показано, что основными факторами обеспечения его прочности является формирование зубчатого рельефа на поверхности стали, шабрение алюминиевых компонентов и вакуумная среда в зоне соединения при проведении ГИП.

Для биметаллического материала «CuCrZr-316L» показано, что присутствие воздуха в зоне соединения приводит к снижению прочности по сравнению с герметизацией в вакууме.

Практическую значимость имеют следующие результаты работы.

Разработана технология получения составного молибденового зеркала методом ГИП из пластин монокристаллического молибдена и подложки из поликристаллического молибдена, снимающая технологические ограничения на размеры рабочей поверхности изготавливаемых зеркал. Технология использована при изготовлении прототипа составного молибденового зеркала.

Определены технологические параметры получения БМ «АМг6-12Х18Н10Т» новых геометрических форм способом ГИП для изготовления переходных элементов в системе трубопроводов баковых систем РКТ.

Разработана и рекомендована к применению технология получения методом ГИП заготовок биметаллических пьедесталов электросоединителей «CuCrZr-316L» сложной формы для модулей бланкетов ИТЭР.

Степень достоверности результатов исследования

Достоверность полученных результатов обеспечена использованием современных методов исследования, большим объемом экспериментов и тщательной обработкой их результатов. Результаты исследования опубликованы в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК и журналах, входящих в международные базы, а также представлены на всероссийских и международных конференциях.

Замечания по диссертационной работе

В качестве замечаний по диссертационной работе следует отметить:

- 1) Недостаточно представлены данные рентгеновского фазового исследования интерметаллических фаз, образующихся в зоне соединения при изготовлении биметаллических материалов, что не позволило автору систематизировать возможные причины охрупчивания соединений разнородных металлов.
- 2) Не приведены данные сравнительных исследований структур выбранных металлических компонентов биметаллических материалов до и после соединения методом ГИП. Вместе с тем, температуры ГИП могут привести к изменениям структуры и свойств материалов в процессе получения биметаллического соединения.
- 3) Предлагаемый и развитый в работе метод ГИП для получения биметаллов обладает неоспоримыми преимуществами в сравнении с другими способами соединения. Поэтому было бы целесообразно провести анализ возможных направлений его развития для получения новых биметаллических материалов.

Данные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы Д.Н. Махиной и могут служить основаниями для дальнейшего расширения исследований в развитом автором направлении.

Заключение

Диссертация Махиной Дарьи Николаевны на соискание ученой степени кандидата технических наук является завершенной научно-квалификационной работой на актуальную тему, выполнена на высоком научном и методическом уровне и представляет заметный вклад в материаловедение биметаллических материалов. Результаты работы обладают несомненной научной новизной и практической значимостью.

Автореферат и публикации полностью соответствуют содержанию диссертации.

Диссертационная работа соответствует требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней НИТУ «МИСиС», а ее автор, Махина Дарья Николаевна, заслуживает присуждения искомой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Настоящий отзыв обсужден и утвержден на совместном заседании лаборатории металловедения цветных и легких металлов ИМЕТ РАН и лаборатории пластической деформации металлических материалов ИМЕТ РАН «05» ноября 2020 года. Протокол заседания № 44.

Зам. зав. лабораторией металловедения

цветных и легких металлов,

д.т.н., профессор

Л.Л. Рохлин

Докторская диссертация защищена по специальности 05.16.01 «Металловедение и термическая обработка металлов».

Зав. лабораторией пластической

деформацией металлических материалов,

д.т.н.

В.С. Юсупов

Докторская диссертация защищена по специальности 05.16.05 «Обработка металлов давлением».

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук

119991, г. Москва, Ленинский проспект, 49 / тел.: +7 (499) 135-20-60

rokhlin@imet.ac.ru - Рохлин Лазарь Леонович (+7 (499) 1358660)

vsyusupov@mail.ru – Юсупов Владимир Сабитович (+7 (499) 1358651)

ibannykh@imet.ac.ru – Банных Игорь Олегович (+7 (499) 1357792)