

Министерство образования и науки РФ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт
институт
«Материаловедение и технологии обработки материалов»
Кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
Темных В.И.

подпись инициалы, фамилия

« 20 » июня 2017 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Получение и исследование диффузионных соединений через
промежуточные слои

22.04.01 Материаловедение и технологии материалов

код и наименование направление

22.04.01.04 Синтез и литьё новых металлических материалов

код и наименование направление магистерской программы

Научный руководитель

Зем 20.06.17 г.
подпись, дата

доцент, к.т.н. Г. М. Зеер
должность, ученая степень, инициалы, фамилия

Выпускник

Королёва 19.06.17 г.
подпись, дата

Ю. П. Королёва
инициалы, фамилия

Рецензент

Зеленкова 23.06.17 г.
подпись, дата

доцент, к.т.н. Е. Г. Зеленкова
должность, ученая степень, инициалы, фамилия

Красноярск 2017 год

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1 Обзор литературы по проблеме.....	6
1.1 Теория получения соединения материалов методом диффузионной сварки.....	6
1.2 Достоинства и недостатки диффузионной сварки.....	6
1.3 Основные технологические параметры процесса диффузионной сварки.....	8
1.4 Механизм формирования диффузионного соединения.....	12
1.4.1 Первая стадия – образование физического контакта.....	14
1.4.2 Вторая стадия – активация контактных поверхностей.....	17
1.4.3 Развитие объемного взаимодействия.....	19
1.5 Промежуточные слои, их роль и вклад в формирование диффузионного соединения.....	20
1.5.1 Технологическое исполнение, характеристика промежуточных слоев.....	23
2 Методы получения и исследования образцов.....	30
2.1 Методика получения диффузионных соединений	30
2.2 Электронно-микроскопические методы исследования исходных материалов и образцов.....	33
2.2.1 Исследование микроструктуры.....	34
2.2.2 Исследование элементного состава диффузионных соединений	34
2.3 Метод определения микротвердости.....	35
2.4 Метод испытания диффузионного соединения на растяжение....	35
2.5 Оценка ошибок измерений.....	36
3 Диффузионные соединения, полученные через промежуточные	

порошковые слои.....	38
3.1 Классификация промежуточных слоев.....	38
3.2 Характеристика исходных металлических материалов и режимов соединения образцов.....	40
3.3 Диффузионные соединения, полученные через промежуточный порошковый слой никеля, нанесенный в виде суспензии.....	42
3.3.1 Технология получения диффузионных соединений, полученных через промежуточный слой – суспензию.....	42
3.3.2 Электронно-микроскопические исследования переходной зоны диффузионных соединений, полученных через слой – суспензию..	43
3.3.3 Элементный состав и фазообразование диффузионных соединений, полученных через прессованный промежуточный слой.....	46
3.4 Диффузионные соединения, полученные через прессованный порошковый слой никеля.....	48
3.4.1 Электронно-микроскопические исследования переходной зоны, полученной через прессованный порошковый слой.....	49
3.4.2 Элементный состав и фазообразование.....	51
3.5 Микротвердость диффузионных соединений полученных через порошковый слой никеля.....	57
3.6 Испытания на растяжение.....	59
4 Моделирование напряженного состояния диффузионного соединения	61
4.1 Моделирование термдеформационного напряженного состояния	61
4.2. Выбор метода снижения напряжений в сборке.....	65
Заключение.....	70
Список использованных источников.....	72
Приложения.....	79
Всего.....	81

ВВЕДЕНИЕ

Создание новых композиционных соединений материалов, значительно отличающихся друг от друга физико-химическими, электрохимическими свойствами, а также узлов и изделий из них, позволяющих снизить металлоемкость конструкций при одновременном повышении служебных характеристик, надежности и эксплуатационной долговечности соответствующего оборудования, является одним из приоритетных направлений совершенствования технологических процессов в различных отраслях промышленности.

Решению данных задач способствует применение диффузионной сварки, позволяющей разработать и внедрить новые конструкционные и функциональные материалы, обладающие повышенными, а в ряде случаев уникальными жаропрочными, теплофизическими, антикоррозионными и другими свойствами.

Основными параметрами технологии диффузионной сварки являются температура, сварочное давление и продолжительность изотермической выдержки. Для образования качественного соединения необходимо учитывать сложность и разнообразие физико-химических процессов взаимодействия соединяемых материалов, этот процесс достаточно трудоемкий. Поэтому существует необходимость теоретического и экспериментального исследования диффузионных соединений конкретных сочетаний материалов. Применение промежуточных слоев позволяет получать диффузионные соединения однородных и разнородных материалов при пониженных температурах сварки, что приводит к снижению деформации свариваемых материалов. Применение промежуточного слоя позволяет снизить температуру получения диффузионного соединения до $0,4 T_{пл}$ [1–3].

Разработка обобщенной технологической методики по выбору материалов и способа их соединения, а также разработка параметров технологического процесса, позволяющих получать качественные

диффузионные соединения при пониженных температурах, является актуальной проблемой, решение которой позволит ускорить процесс подбора материалов и рационального способа их соединения.

Исследование физико-химических процессов на границах раздела диффузионных соединений, микроструктуры и распределения химических элементов в переходной зоне и ее ширины с целью формирования прочного соединения и снижения температуры сварочного процесса является актуальным при создании конструкций из металлов и сплавов.

На основании этого сформулирована цель работы: получение и исследование диффузионного соединения стали 45 через промежуточный слой из прессованного порошка никеля, позволяющий активировать диффузионные процессы и снизить температуру диффузионной сварки и поставлены задачи.

Задачи:

1. Выполнить обзор литературы по теории и технологии диффузионной сварки.

2. Получить диффузионное соединение образцов из стали 45 через промежуточный порошковый слой никеля разного технологического исполнения – порошок, нанесенный на сталь 45 в виде суспензии и прессованный порошковый слой никеля.

3. Изучить микроструктуру порошкового слоя и переходной зоны диффузионных соединений, полученных при различных температурах.

4. Исследовать фазообразование и диффузионные процессы на границе раздела соединений. Определить ширину переходной зоны и ее зависимость от температуры диффузионной сварки

5. Произвести моделирование термомеханического напряженного состояния, возникающего в диффузионном соединении в результате сварки для стали 45, сваренной через промежуточный порошковый слой никеля с помощью программы конечно-элементного анализа *ANSYS R 17.2*.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе приведены некоторые систематизированные данные по промежуточным прослойкам, применяемым при получении диффузионных соединений из разнородных материалов. Анализ публикаций по составу, свойствам и технологическому исполнению промежуточных слоев позволил дополнить и уточнить существующую классификацию, приведенную А. В. Люшинским.

Применение порошковых промежуточных слоев, позволяет получать диффузионные соединения однородных и разнородных материалов при пониженных температурах сварки, что приводит к снижению деформации свариваемых материалов.

Качественное диффузионное соединение получается через прессованный порошковый слой при оптимальной температуре 850 °С, что составляет $0,6T_{пл.}$. Формирование переходной зоны идет более активно в образцах, слой которых получен при $P_{прес.}$ от 400 до 600 МПа. Также следует отметить, что в этих образцах процесс спекания прессованного слоя активизируется вследствие его остаточной пористости ($\approx 42\%$). Оптимальным давлением для получения прессованного слоя с точки зрения формирования качественного диффузионного соединения следует принять $P_{прес.} = 500$ МПа.

Исследована микроструктура диффузионных соединений, элементный состав фаз, сформировавшихся в переходной зоне в процессе твердофазного взаимодействия. Определена ширина переходной зоны (оптимальная 50-80 мкм) и микротвердость (240-250 МПа). Переходная зона образована твердым раствором на основе α -Fe и упорядоченным твердым раствором FeNi₃. Анализ микроструктуры соединений, полученных через суспензию, показал наличие в приконтактной зоне пор, микротрещин, включений, в составе которых выявлены такие посторонние элементы, как углерод, кислород. Диффузионное соединение, полученное через прессованный слой никеля, более качественное, обнаружено незначительное количество оксидных включений в зернах феррита.

Проведено моделирование термомеханического напряженного состояния диффузионного соединения, по результатам которого рекомендовано осуществлять сварочное давление, передаваемое через шпильку, выполненную из материала с более высоким ТКЛР.

Анализ результатов работы показал, что оптимальным с точки зрения качества соединения и режимов ДС является применение в качестве прослойки прессованного слоя субмикронного порошка никеля.

Выводы:

1 Дополнена и уточнена, в результате анализа публикаций по составу, свойствам и технологическому исполнению промежуточных слоев, существующая классификация, приведенная А. В. Люшинским.

2 Получены диффузионные соединения стали 45 через промежуточный слой порошка никеля нанесенного в виде суспензии и в виде прессовки при различных температурах диффузионной сварки.

3 Определены оптимальная температура получения качественного диффузионного соединения (850°C , что составляет $0,6T_{\text{пл}}$) и оптимальное давления прессования порошкового слоя ($P = 500 \text{ МПа}$).

4 Исследована микроструктура диффузионных соединений и определена ширина переходной зоны (50-80 мкм). Переходная зона образована твердым раствором на основе $\alpha\text{-Fe}$ и упорядоченным твердым раствором FeNi_3 .

5 Выполнено моделирование термомеханического напряженного состояния диффузионного соединения, по результатам которого рекомендовано осуществлять сварочное давление, передаваемое через шпильку, выполненную из материала с более высоким ТКЛР.

Список использованных источников:

1. Люшинский, А. В. Диффузионная сварка разнородных материалов / А. В. Люшинский. – М: Издательский центр «Академия», 2006. – 208 с.
2. Конюшков, Г. В. Специальные методы сварки давлением / Г. В. Конюшков, Р. А. Мусин, Саратов: Ай Пи Эр Медиа, 2009. – 632 с.
3. Казаков, Н. Ф. Диффузионная сварка материалов / Н. Ф. Казаков. – М.: Машиностроение, 1981. – 271 с.
4. Казаков, Н. Ф. Диффузионная сварка материалов./ Н. Ф. Казаков – М.: Машиностроение, 1976.–312 с.
5. Гринберг, Б. А. «Получение и анализ структуры биметаллических соединений орторомбического алюминиды титана с титановым сплавом» / Б. А. Гринберг, В. В. Рыбин, В. А. Семенов, О. А. Елкина и др. «Материаловедение» № 4, 2005. С. 45–50.
6. Михеев, А. А. «Диффузионная сварка магнитных сплавов» / А. А. Михеев, «Технология машиностроения» № 3, 2003. С. 26–29.
7. Каракозов, Э. С. Механизм образования соединения между сплавом АМц и корундовой керамикой при диффузионной сварке / Э. С. Каракозов, Б. А. Харламов, А. М. Равич, А. А. Серов, «Сварочное производство», № 12, 1987. С. 33–36.
8. Мусин, Р. А. Диффузионная сварка жаропрочных сплавов / Р. А. Мусин, В. Н. Анцифиров, В. Ф. Квасницкий – М.: Металлургия, 1979. –208 с.
9. Бачин, В. А. Диффузионная сварка стекла и керамики с металлами / В. А. Бачин – М.: Машиностроение, 1986. – 184 с.
10. Конюшков, Г. В. Диффузионная сварка в электронике / Г. В. Конюшков, Ю. Н. Копылов – М.: Энергия, 1974. – 168 с.
11. Казаков, Н. Ф. Диффузионная сварка материалов. Справочник / Н. Ф. Казаков – М.: Машиностроение, 1981. – 271 с.
12. Гнусов, С. Ф. Низкотемпературная диффузионная сварка пластически деформированного молибдена / С. Ф. Гнусов, И. Н.

Севостьянова, А. Г. Мельникова, С. Н. Кульков, Е. В. Глушань // Сварочное производство – 2004. – №2 – С. 9-14.

13. Петренко, В. Р. Влияние технологических параметров диффузионной сварки сплава ВТ20 на качество сварного соединения / В. Р. Петренко, В. Ю. Полевин, Г. П. Бесплохотный, А. В. Пешков // Сварочное производство – 2005. – №6 – С. 17-20.

14. Григорьевский, В. И. Некоторые особенности пластической деформации материала в зоне контакта при диффузионной сварке тонкостенных конструкций / В. И. Григорьевский, В. К. Аникин // Сварочное производство – 1988. – №11 – С. 31-33.

15. Каракозов, Э. С. Влияние текстуры прокатки на формирование соединения при диффузионной сварке титановых сплавов / Э. С. Каракозов, А. П. Терновский // Сварочное производство – 1983. – №7 – С. 29-31.

16. Кочергин, К. А. Контактная сварка. / К. А. Кочергин – Л.: Машиностроение. Ленинград отд., 1987.– 240 с.

17. Каракозов, Э. С. Диффузионная сварка алюминия с вакуумноплотной корундовой керамикой / Э. С. Каракозов, Б. А. Харламов, А. М. Равич // Автоматическая сварка – 1985. – №1 – С. 24-26.

18. Бачин, В. А. Диффузионная сварка кварцевого стекла через алюминиевую прокладку / В. А. Бачин, А. Г. Браун, Э. А. Горицкая, В. Н. Казаков, Н. А. Трифонова // Сварочное производство – 1981. – №6 – С. 27-29.

19. Казаков, Н. Ф. Диффузионная сварка железоборосиликатного стекла с применением пластичной прокладки / Н. Ф. Казаков, А. А. Жарких, А. Г. Браун, Н. П. Бублик // Сварочное производство – 1984. – №10 – С. 15-16.

20. Евдокимов, В. Р. Диффузионная сварка охватывающего соединения алюмооксидной керамики с коррозионно-стойкой сталью / В. Р. Евдокимов, С. А. Каштанов, Л. Н. Ладос, С. Н. Шубин // Сварочное производство – 1995. – №8 – С. 2–3.

21. Прокопьев, С. В. Исследование и разработка технологии диффузионной сварки сегнетомягкой пьезокерамики с металлами. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, Красноярск 2003.

22. Люшинский, А. В. Диффузионная сварка через промежуточные прокладки на основе смесей ультрадисперсных порошков металлов. Ч. 2. Кинетика спекания под давлением порошковых промежуточных прокладок / А. В. Люшинский // Сварочное производство – 1992. – №12 – С. 16-22.

23. Люшинский, А. В. Диффузионная сварка через промежуточные прокладки на основе смесей ультрадисперсных порошков металлов. Ч. 1. получение промежуточных прокладок на основе ультрадисперсных порошков никеля, меди и кобальта / А. В. Люшинский // Сварочное производство – 1992. – №11 – С. 22-27.

24. Каракозов, Э. С. Использование промежуточных сред на основе никеля для диффузионной сварки магнитных материалов / Э. С. Каракозов, В. Г. Панаев, В. Э. Тарлавский // Сварочное производство – 1984. – №4 – С. 15-17

25. Каракозов, Э. С. Диффузионная сварка магнитных материалов через пористые прокладки из прокатанных лент / Э. С. Каракозов, В. Г. Панаев, В. Э. Тарлавский, А. В. Люшинский // Сварочное производство – 1984. – №10 – С. 18-20.

26. Рыжонков, Д. И. Получение ультрадисперсных материалов с регулируемыми свойствами для диффузионной сварки магнитных материалов / Д. И. Рыжонков, Т. В. Самсонова, В. В. Левина, А. В. Люшинский // Сварочное производство – 1995. – №7 – С. 23-26.

27. Тезисы докладов IX всесоюзной научно-технической конференции по диффузионному соединению металлических и неметаллических материалов. Москва, 1979. – 118 с.

28. Терновский А. П. Диффузионная сварка с принудительным деформированием / А. П. Терновский // Сварочное производство – 1988.–№9 – С.1-4.
29. . Бачин, В. А. Теория, технология и оборудование диффузионной сварки / В. А. Бачин, В. Ф. Квасницкий, Д. И. Котельников и др.; – М.: Машиностроение, 1991. – 352 с.
30. Шоршоров, М. Х. Клинопрессовая сварка давлением разнородных металлов / М. Х. Шоршоров, В. А. Колесниченко, В. П. Алехин – М.: Металлургия, 1982. – 112 с.
31. Кочергин, К. А. Контактная сварка / К. А. Кочергин – Л.: Машиностроение, 1987.–240 с.
32. . Маркашова, Л. И. Влияние поверхностных оксидов на свойства сварных соединений при различных способах подготовки поверхностей и параметрах сварки давлением / Л. И. Маркашова, Г. М. Григоренко, В. В. Арсенюк, А. Н. Чубенко «Сварочное производство», 2006, № 4, с. 13–20.
33. Красулин, Ю. Л. Взаимодействие металла с полупроводником в твердой фазе / Ю. Л. Красулин. – М., «Наука», 1971. – 120 с.
34. Конюшков, Г. В. Диффузионная сварка в электронике / Г. В. Конюшков, Ю. Н. Копылов. – М.: «Энергия», 1974. – 168 с.
35. Красулин, Ю. Л. Микросварка давлением / Ю. Л. Красулин. – М., «Металлургия», 1976. – 160 с.
36. Каракозов, Э. С. Сварка металлов давлением / Э. С. Каракозов. – М.: Машиностроение, 1986. – 272 с.
37. Каракозов, Э. С. Соединение металлов в твердой фазе / Э. С. Каракозов – М.: Металлургия, 1976. –261 с.
38. Шьюмон, П. Диффузия в твердых телах / П. Шьюмон, М.: Металлургия, 1966. – 236 с.
39. Пономарев, Д. В. Исследование переходной зоны титан–алюминий при диффузионной сварке / Д. В. Пономарев, С. Г. Емельянов, А. В. Башурин, В. Н. Гадалов // Технология металлов, 2008, № 9, С. 12–15.

40. Карпинос, Д. М. Композиционные материалы в технике / Д. М. Карпинос – Киев: Техника, 1985. – 19 с.

41. Люшинский, А. В. «Критерии выбора промежуточных слоев при диффузионной сварке разнородных материалов» / А. В. Люшинский // Сварочное производство. – 2001. – № 5. – С. 40-43.

42. Люшинский, А. В. Особенности диффузионной сварки вольфрамового сплава ВНЖ95 / А. В. Люшинский, В. И. Малинов, Н. И. Качалин, Г. В. Баранов // Сварочное производство. 2008. – № 8. – С. 26–28.

43. Гельман, А. С. Основы сварки давлением / А. С. Гельман, М.: Машиностроение, 1970. – 310 с.

44. Адаменко, Н. А. Свойства сварных соединений композиционного материала с промежуточными активированными прослойками / Н. А. Адаменко, Ю. П. Трыков, А. В. Фетисов, Э. В. Седов // Сварочное производство – 2000. – №8 – С. 17-19.

45. Петренко, В. Р. Влияние защитных сред на качество соединения при диффузионной сварке титана / В. Р. Петренко, Г. П. Бесплохотный, А. В. Пешков // Технология машиностроения. – 2005. – № 7. – С. 37–39.

46. Ганеева, А. А. Свойства слоистого композиционного материала и перспективы его использования / А. А. Ганеева, А. А. Круглов, Р. Я. Лутфуллин // Деформация и разрушение материалов. – 2011. № 7. – С. 38–40.

47. . Powder Diffraction File (PDF 4+, 2010), Inorganic Phases, International Center for Diffraction Data, Swarthmore, PA, USA.

48. P. Villars, K. Cenzual, Pearson's Crystal Date: Crystal Structure Database for Inorganic Compounds (on CD-ROM), Release 2010/11, ASM International (R), Materials Park, Ohio, USA.

49. Казаков, Н. Ф. Исследование и разработка технологии диффузионной сварки магнитно-твердых материалов с магнитно-мягкими

с применением промежуточного слоя из порошков / Н. Ф. Казаков, В. В. Абрамов, Н. М. Машкова, М.: ПНИЛДСВ, 1968. ч.1, с.107–112.

50. Каракозов, Э. С. Соединение магнитно-твердых сплавов типа ЮНДК с электротехнической сталью / Э. С. Каракозов, В. В. Абрамов, В. К. Федотов // Автоматическая сварка. – 1969. – № 9. – С. 43–45.

51. Вансовская, К. М. Металлические покрытия, нанесенные химическим способом / К. М. Вансовская, Л.: Машиностроение, Ленингр. отделение, 1985. – 103 с.

52. Герасимов, М. В. «Многослойные никель-фосфорные покрытия для защиты стали от атмосферной коррозии» / М. В. Герасимов // Технология машиностроения. – 2008. – № 8. – С. 33–36.

53. Вансовская, К. М. Металлические покрытия, нанесенные химическим способом / К. М. Вансовская, Л.: Машиностроение, Ленингр. отделение, 1985. – 103 с.

54. Анциферов, В. Н. Порошковая металлургия и напыленные покрытия / В. Н. Анциферов, Г. В. Бобров, Л. К. Дружинин и др. М.: Металлургия, 1987. – 792 с.

55. Гегузин, Я. Е. Физика спекания / Я. Е. Гегузин, М.: Наука, 1984. – 312 с.

56. Криштал М. М. Сканирующая электронная микроскопия и рентгеноспектральный микроанализ в примерах практического применения./ М. М. Криштал, И. С. Ясников, А. М. Филатов и др. – М.: Техносфера, 2009. – 208 с.

57. ГОСТ 21318-75 Измерение микротвердости царапанием алмазными наконечниками. – М.: Издательство стандартов, 1988. – 28 с.

58. ГОСТ 1497 Металлы. Методы испытаний на растяжение – М.: Издательство «Стандартинформ», 2005. – 22 с.

59. Ющенко, К. А. Применение наноструктурных материалов при диффузионной сварке жаропрочных никелевых сплавов / К. А. Ющенко,

Б. А. Задерий, А. В. Звягинцева и др. // Автоматическая сварка. 2006. № 11, С. 3–10.

60. Диаграммы состояния двойных металлических систем. Справочник: В 3 т.: Т. 2 / Под общ. ред. Н. П. Лякишева. – М.: Машиностроение, 1996. – 992 с.

61. Хансен, М. Структуры двойных сплавов / М. Хансен, К. Андерко – пер. с англ. М.: Metallurgizdat, 1962. – том 1 – 608 с., том 2 – 609 с.

62. Либенсон, Г. А. Процессы порошковой металлургии. В 2-х т. Т. 2. Формование и спекание./ Г. А. Либенсон, В. Ю. Лопатин, Г. В. Комарицкий – М.: «МИСИС», 2002. – 320 с.

63. Mezey L.Z., Giber J. // Japanese Journal of Applied Physics. 1982. V.21. pp. 1569-1571.

64. Enjo T., Ikeuchi K., Akikawa N. // J. J Jpn Weld Soc . 1982. Vol. 51, No. 3, P. 272-279.

65. Физические величины: Справочник / А. П. Бабичев, Н. А. Бабушкина, А. М. Братковский и др., – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 1232 с.

Министерство образования и науки РФ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт
институт
«Материаловедение и технологии обработки материалов»
Кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
Темных В.И.

подпись инициалы, фамилия

« 20 » июня 2017 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Получение и исследование диффузионных соединений через
промежуточные слои

22.04.01 Материаловедение и технологии материалов

код и наименование направление

22.04.01.04 Синтез и литьё новых металлических материалов

код и наименование направление магистерской программы

Научный руководитель

Зем 20.06.17 г.
подпись, дата

доцент, к.т.н. Г. М. Зеер
должность, ученая степень, инициалы, фамилия

Выпускник

Королёва 19.06.17 г.
подпись, дата

Ю. П. Королёва
инициалы, фамилия

Рецензент

Зеленкова 23.06.17 г.
подпись, дата

доцент, к.т.н. Е. Г. Зеленкова
должность, ученая степень, инициалы, фамилия

Красноярск 2017 год