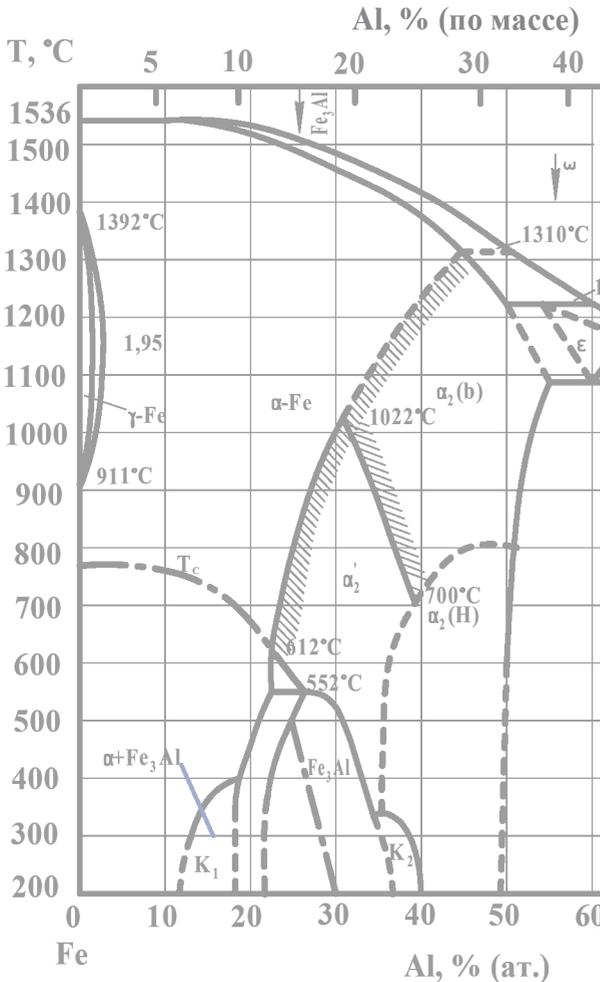


НОВЫЕ КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ



Лабораторный практикум



УДК 620.22(075.8)

ББК 30.3я73

Рецензенты:

д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой
«Сварочное, литейное производство

и материаловедение» Пензенского

государственного университета *А.Е. Розен*;

д-р техн. наук, профессор Тольяттинского

государственного университета

Б.Н. Перевезенцев.

Ковтунов, А.И. Новые конструкционные материалы : лаборат. практикум / А.И. Ковтунов, Ю.Ю. Хохлов, С.В. Мямин. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2016. – 1 оптический диск.

Лабораторный практикум направлен на изучение современных способов производства, механических и эксплуатационных свойств конструкционных материалов: пеноматериалов, биметаллов и слоистых конструкционных материалов.

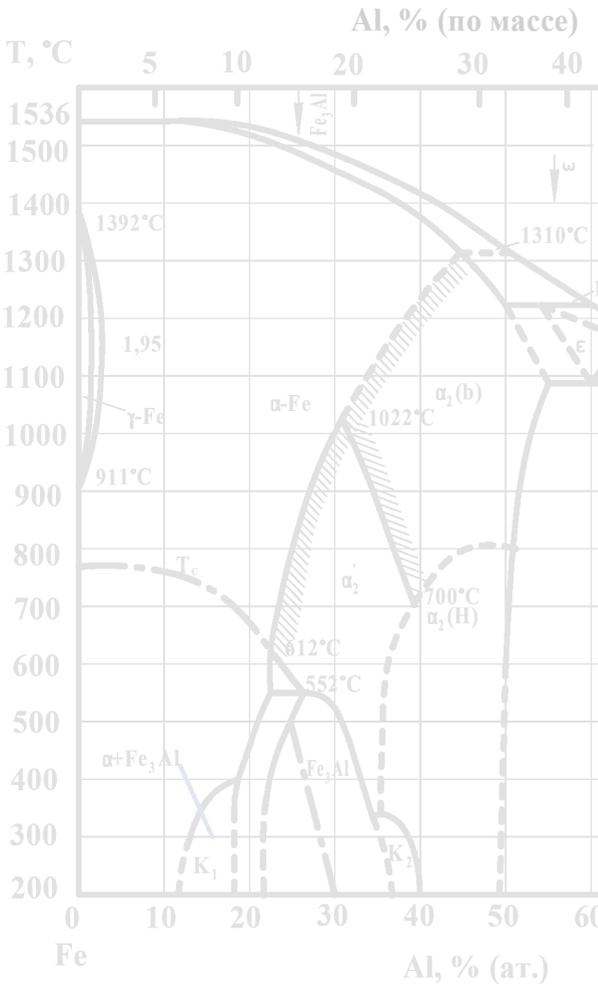
Предназначен для подготовки магистрантов по дисциплине «Новые конструкционные материалы» по направлению 15.04.01 «Машиностроение», магистерской программе «Технология и оборудование для пайки», «Производство, диагностика и ремонт сварных конструкций и деталей газонефтехимического оборудования» и по направлению 22.04.01 «Материаловедение и технологии наноматериалов и покрытий», магистерской программе «Сварка и пайка новых металлических и неметаллических неорганических материалов».

Текстовое электронное издание.

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом Тольяттинского государственного университета.

Минимальные системные требования: IBM PC-совместимый компьютер: Windows XP/Vista/7/8; 500 МГц или эквивалент; 128 Мб ОЗУ; SVGA; CD-ROM; Adobe Acrobat Reader.

Редактор *Т.Д. Савенкова*
Технический редактор *Н.П. Крюкова*
Компьютерная верстка:
Л.В. Сызганцева
Художественное оформление,
компьютерное проектирование:
И.И. Шишкина



Дата подписания к использованию
28.12.2016.
Объем издания 6,7 МБ.
Комплектация издания:
компакт-диск,
первичная упаковка.
Заказ № 1-39-16.

Издательство Тольяттинского
государственного университета
445020, г. Тольятти,
ул. Белорусская, 14,
тел. 8 (8482) 53-91-47
www.tltsu.ru

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	5
ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ И ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА	6
Лабораторная работа 1. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ ЛИТЬЯ НА ВЫСОТУ ПРОПИТКИ ГРАНУЛ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ПЕНОАЛЮМИНИЯ	7
Лабораторная работа 2. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АЛЮМИНИЯ НА СВОЙСТВА ЖАРСТОЙКИХ НАПЛАВЛЕННЫХ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ НИКЕЛЬ-АЛЮМИНИЙ	17
Лабораторная работа 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АЛЮМИНИЯ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ НАПЛАВЛЕННЫХ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ ЖЕЛЕЗО-АЛЮМИНИЙ	28
Лабораторная работа 4. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕПЛОВЫХ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ СЛОИСТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ТИТАН-АЛЮМИНИЙ НА ПРОЧНОСТЬ СЦЕПЛЕНИЯ СЛОЕВ КОМПОЗИТА	38
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	42
Приложение	43

ВВЕДЕНИЕ

Практикум включает четыре лабораторные работы, каждая из которых рассчитана на 4 академических часа. Вот их названия.

Лабораторная работа 1. Исследование влияния тепловых режимов литья на высоту пропитки гранул при формировании пеноалюминия.

Лабораторная работа 2. Исследование влияния алюминия на свойства жаростойких наплавленных сплавов системы никель-алюминий.

Лабораторная работа 3. Исследование влияния алюминия на износостойкость наплавленных сплавов системы железо-алюминий.

Лабораторная работа 4. Исследование влияния тепловых условий формирования слоистых композиционных материалов титан-алюминий на прочность сцепления слоев композита.

Практикум составлен в помощь студентам при выполнении ими лабораторных работ и не заменяет теоретическую часть данного курса. В процессе выполнения работ студенты определяют влияние тепловых режимов на процессы формирования пеноалюминия фильтрацией жидкого расплава через засыпку гранул из водорастворимых солей. В ходе выполнения работ магистранты знакомятся с жидкофазными технологиями формирования слоистых композиционных материалов и биметаллов со слоями и определяют влияние режимов на свойства материала.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ И ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА

При выполнении каждой лабораторной работы студент должен соблюдать следующий порядок.

1. Ознакомиться с краткими теоретическими сведениями по предмету лабораторной работы.
2. Ознакомиться с принципом и порядком работы используемого лабораторного оборудования.
3. Ознакомиться с правилами техники безопасности при проведении лабораторной работы.
4. Ознакомиться с методикой проведения эксперимента и обработки его результатов.
5. Получить задание на лабораторную работу у преподавателя.
6. Записать исходные данные по работе.
7. Совместно с преподавателем и лаборантом подготовить и провести эксперимент согласно разделу «Методика проведения лабораторной работы».
8. Сформулировать выводы по результатам проведённой работы.
9. Оформить отчёт о лабораторной работе в виде отдельного документа на листах формата А4. Правильно оформленный титульный лист представлен в приложении.
10. Защитить отчёт о лабораторной работе.

Лабораторная работа 1

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ ЛИТЬЯ НА ВЫСОТУ ПРОПИТКИ ГРАНУЛ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ПЕНОАЛЮМИНИЯ

Цель работы — изучить влияние химического состава металла и тепловых условий заливки на высоту пропитки засыпки солевых гранул при формировании изделий из пеноалюминия.

Краткие теоретические сведения

Значительный интерес к разработке новых составов и технологий получения пеноматериалов объясняется наличием у изделий из этих материалов необычного комплекса свойств: низкая плотность, низкие значения коэффициентов тепло- и электропроводности, высокая сопротивляемость воздействию огня, экологическая чистота, способность эффективно поглощать энергию удара (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Физико-механические свойства пеноалюминия

Свойства	Значения
Прочность	32 МПа
Модуль Юнга	$E = 450$ МПа
Теплопроводность	< 5 Вт/(м · град)
Звукопроводимость	$< 1,1$ дБ/см
Электропроводность	$< 0,2$ МСм/м
Демпфирование	75 % при P_{const}

На сегодняшний день пеноалюминий сравнивают с такими материалами, как древесностружечные и дубовые плиты, так как прочность его соизмерима с прочностью дуба и пенобетона, а легкость — с легкостью древесностружечной плиты (табл. 1.2).

Таблица 1.2

Сравнительные свойства пеноалюминия и других материалов

Свойства	Материал		
	Пеноалюминий	Древесностружечные плиты	Дубовые плиты
Плотность, г/см ³	0,3–0,8	0,25–1,1	0,69
Прочность, МПа	45	0,4–3,5	5,0–123
Модуль Юнга, МПа	450	0,4–35	107,7
Электропроводность, МСм/м	0,2	3×10^{-6}	–
Теплопроводность, Вт/м · град	4,0–5,0 плохой проводник	0,046–0,18 теплоизоляторы	0,35–0,17 теплоизоляторы
Звукопроводность, дБ/см	1,1	–	2,4
Специфические свойства	негорюч, устойчив к внешним воздействиям	горюч, выделяет фенолы, неводостоек	горюч

Пеноалюминий получают разными способами. Наиболее широко используется технология, основанная на замешивании в алюминиевый расплав газа (азота, аргона, воздуха, углекислого газа, водяного пара) или проформа (вещества, при нагреве выделяющего газовую составляющую) и формировании пористой структуры при его разложении в процессе затвердевания алюминиевого расплава. Недостатком указанных технологий является нестабильность получаемого материала по пористости и размеру пор, малая дисперсность пузырьков, большая трудоемкость и, соответственно, высокая стоимость продукции из пеноалюминия.

С учетом рассмотренных недостатков была предложена технология, сущность которой заключается в предварительной засыпке солевых гранул в полость формы и заливке формы расплавленным металлом. Гранулы из получаемого материала легко удаляются при использовании водорастворимых солей.

Основные требования к выбору солей для изготовления пеноалюминия можно сформулировать следующим образом:

- 1) температура плавления соли должна быть выше температуры плавления алюминиевого расплава, $t > 660 \text{ }^\circ\text{C}$;

- 2) плотность соли при температуре заливки должна быть больше плотности алюминиевого расплава, $\rho > 2,3 \text{ г/см}^3$;
- 3) соль не должна вступать в химическое взаимодействие с алюминием;
- 4) соль должна обладать максимальной растворимостью в воде.

В качестве таких солей целесообразно применять бромиды, хлориды, иодиды и фториды щелочных и щелочноземельных металлов.

Таблица 1.3

Анализ выбора солей для изготовления пеноалюминия

№ п/п	Наименование	Формула	Плотность, г/см^3	$T_{\text{пл}}, ^\circ\text{C}$	Растворимость на 100 г воды, г	
					холодной	горячей
1	Бромид бария	BaBr_2	4,781	847	90	149
2	Бромид калия	KBr	2,75	730 735	52,8	104,8
3	Бромид кальция	CaBr_2	3,353	760 765	142	312
4	Бромид магния	MgBr_2	3,72	700	101	125,4
5	Бромид натрия	NaBr	3,21	750 755	94,6	121,2
6	Иодид бария	BaI_2	4,92 5,15	740	166,7	246,6
7	Иодид калия	KI	3,115–3,13	680–686	127,8	206,4
8	Иодид магния	MgI_2	4,24–4,43	700	120,8	185,7
9	Хлорид бария	BaCl_2	3,917 4,0 3,27	960	31,2	57,1
10	Хлорид кальция	CaCl_2	2,512	772 782	74,5	159
11	Хлорид магния	MgCl_2	2,41	708 714	54,6	73,4
12	Хлорид натрия	NaCl	2,165	800	35,6	39,1
13	Фторид калия	KF	2,48–2,50	857	96	150
14	Сульфат натрия	Na_2SO_4	2,698	884–890	52,9	42,5
15	Карбонат натрия	Na_2CO_3	2,533	852–854	–	–
16	Карбонат калия	K_2CO_3	2,428	891	111	155

В качестве наполнителя в лабораторной работе рекомендуется использовать хлорид натрия. Технология получения гранул заключается в выдавливании шнеком через перфорированную плиту (рис. 1.1) солевой массы. Бесконечный стержень разрезается на цилиндры из соли специальным ножом, смонтированным на валу шнека. Диаметр гранул соответствует размеру отверстий в перфорированной плите. Для формирования гранул в размолотую соль вводили воду и связующее. В качестве связывающих веществ рекомендуется применять спирт, сахарный сироп, раствор желатина и 5 % крахмальный клейстер. Необходимое количество связывающих веществ было установлено опытным путем. Проведенные исследования показали, что наилучший результат обеспечило применение раствора желатина. При этом технология гранулирования включала операцию размола в шаровой мельнице до размера менее 50 мкм, смешивание компонентов, непосредственно гранулирование и сушку гранул. Обычно операции смешивания и равномерного увлажнения порошкообразной смеси различными гранулирующими растворами совмещают и проводят в одном смесителе. Смешивание обеспечивается за счет энергичного принудительного кругового перемешивания частиц и сталкивания их друг с другом. Процесс перемешивания для получения однородной по составу смеси длится 3–5 минут. После перемешивания компонентов солевую массу загружают в шнековый гранулятор. Перфорированная плита и нож обеспечивают получение гранул в виде цилиндров необходимого размера.

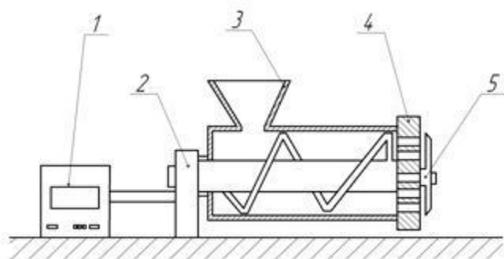


Рис. 1.1. Схема шнекового гранулятора:
1 – привод с блоком питания установки; 2 – шнек; 3 – шнек;
4 – перфорированная плита; 5 – нож

Для получения равномерной пористости в изделиях необходимо по возможности использовать гранулы, по форме максимально приближенные к сферическим. Поэтому после шнекового гранулятора гранулы отправляются в окомкователь. Окомкователь состоит из блока управления, привода с редуктором и тарелки (рис. 1.2). Такой вариант производства гранул обеспечивает высокую производительность процесса и форму гранул, близкую к сферической. Гранулы после окомкователя сепарируются на фракции и сушатся в течение 24 часов при температуре 120–150 °С.



Рис. 1.2. Внешний вид окомкователя

Гранулометрический состав используемых гранул определяет площадь проходного сечения засыпки. Проходное сечение определяет время затвердевания расплава и, следовательно, определяет глубину проникновения расплава (высоту пропитки) в солевую засыпку и получаемую толщину отливок из пеноалюминия.

Для исследования влияния тепловых режимов на высоту пропитки плавится алюминиевый расплав. Гранулы засыпают в металлическую форму с нижней литниковой системой (рис. 1.3). Нижняя литниковая система обеспечивает спокойное заполнение формы и наглядное представление о влиянии тепловых режимов на высоту пропитки. Высота пропитки измерялась от низа отливки до верхнего края сплошного сечения (рис. 1.4).



Рис. 1.3. Форма с нижней литниковой системой



Рис. 1.4. Определение глубины пропитки $H_{пр}$

Используемое оборудование и материалы

1. Печь плавильная Nabertherm TOP60/B130 с терморегулятором (рис. 1.5).

Таблица 1.4

Технические характеристики

Тип печи	GAZ
Загрузка	Вертикальная
Терморегулятор	B 130
Максимальная температура	1300 °C
Ширина внутренняя	410 мм
Глубина внутренняя	410 мм
Высота внутренняя	460 мм

Тип печи	GAZ
Объем	60 л
Ширина внешняя	580 мм
Глубина внешняя	820 мм
Высота внешняя	870 мм
Мощность	3,6 кВт
Сила тока	15,6 А
Электросеть	1-фазная



Рис. 1.5. Печь Nabertherm TOP60/V130 с терморегулятором

2. Тигли огнеупорные шамотные для плавки цветных металлов типа АН (рис. 1.6).



Рис. 1.6. Тигли огнеупорные шамотные для плавки цветных металлов типа АН

3. Сплав на основе алюминия АК12 – это литейный алюминиевый сплав, химический состав представлен в табл. 1.5.

Таблица 1.5

Химический состав материала АК12, %

Fe	Si	Mn	Ti	Al	Cu	Zr	Mg	Zn	Прим.
до 1,5	10–13	до 0,5	до 0,1	84,3–90	до 0,6	до 0,1	до 0,1	до 0,3	2,7



Рис. 1.7. Алюминиевая чужка

4. Форма с нижней литниковой системой (рис. 1.3).
5. Термостойкая краска.
6. Инструменты.

Методика проведения лабораторной работы

1. Получить задание у преподавателя.
2. Ознакомиться с краткими теоретическими сведениями по предмету лабораторной работы.
3. Ознакомиться с принципом и порядком работы лабораторного оборудования.
4. Ознакомиться с правилами техники безопасности при проведении лабораторной работы.
5. Подогреть форму, окрасить термостойкой краской и засыпать гранулы через литниковую систему.

6. Расплавить сплав на основе алюминия АК12 и подогреть до температуры заливки.
7. Подогреть форму до температуры под заливку 100 °С, 300 °С, 500 °С.
8. Провести 18 заливок, изменяя технологические параметры: температура расплава 750 °С, 850 °С, 950 °С, температура формы 100 °С, 300 °С, 500 °С.
9. Измерить высоту пропитки и записать в таблицу.

№ п/п	Температура формы, °С	Температура расплава, °С	Высота пропитки, мм
1	100	950	35
2	300	850	40
3	...		

10. Построить зависимости.
11. Составить отчет о лабораторной работе.

Содержание отчёта

1. Титульный лист.
2. Цель лабораторной работы.
3. Краткое описание технологии получения гранул и пеноалюминия.
4. Описание оборудования и материалов.
5. Порядок выполнения работы.
6. Результаты исследований в виде таблицы и графиков зависимостей:
 - высоты пропитки от температуры нагрева формы;
 - высоты пропитки от температуры нагрева расплава.
7. Анализ результатов работы.
8. Выводы.
9. Заключение.

Контрольные вопросы

1. Какими уникальными свойствами обладает пеноалюминий?
2. Какие способы производства пеноалюминия применяются в промышленности?
3. Какие основные требования предъявляют к выбору солей для изготовления пеноалюминия?
4. Какие соли применяются для изготовления гранул при производстве пеноалюминия?
5. Какие соли могут применяться для изготовления гранул при производстве пеноалюминия фильтрацией через солевую засыпку?
6. Каков химический состав материала АК12?
7. Что понимается под высотой пропитки?
8. От каких технологических режимов зависит высота пропитки?
9. Какую соль использовали в качестве наполнителя при проведении лабораторных работ?
10. Укажите область применения изделий из пеноалюминия.

Лабораторная работа 2

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АЛЮМИНИЯ НА СВОЙСТВА ЖАРОСТОЙКИХ НАПЛАВЛЕННЫХ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ НИКЕЛЬ-АЛЮМИНИЙ

Цель работы – усвоить методику и приобрести опыт исследования свойств жаростойких наплавленных интерметаллидных сплавов никель-алюминий.

Краткие теоретические сведения

Согласно диаграмме состояния в сплавах системы Al-Ni образуется пять соединений: Al_3Ni , Al_3Ni_2 , AlNi (β'), AlNi_3 (α'), Al_3Ni_5 . Соединение Al_3Ni имеет постоянный состав, остальные соединения – существенные области гомогенности. Соединение AlNi плавится конгруэнтно, Al_3Ni_2 , AlNi , AlNi_3 – по перитектическим реакциям. Соединение Al_3Ni_5 образуется при температуре 700 °С и имеет область гомогенности 32–36 % (ат.) Al.

Со стороны Al в системе имеет место эвтектическое превращение, температура которого, по данным различных авторов, колеблется в пределах 630–640 °С, а концентрация эвтектической точки – в пределах 2,5–3,06 % (ат.) [5,3–6,4 % (по массе)]. Температура перитектического превращения, при котором образуется соединение Al_3Ni , определена равной 854 °С, а концентрация жидкой фазы, участвующей в этом превращении, 15,1 и 15,3 % (ат.) [–28 или 28,4 % (по массе)] Ni. Соединение Al_2Ni_3 образуется при температуре 1133 °С. Температура перитектической реакции образования фазы Al_3Ni_2 по другим источникам составляет 1132 °С, а фазы Al_3Ni – 842 °С.

В этой системе со стороны никеля наблюдается эвтектическое равновесие. Растворимость алюминия в никеле уменьшается с 11 % при эвтектической температуре (1385 °С) до 6 % Al при температуре 750 °С. В равновесии с γ -твердым раствором на основе никеля находится γ' -фаза, представляющая раствор на основе интерметаллида Ni_3Al с ГЦК-решеткой.

Со стороны Ni неинвариантное превращение при 1385 °С является эвтектическим, а при температуре 1395 °С – перитектическим. При последнем превращении образуется соединение AlNi_3 .

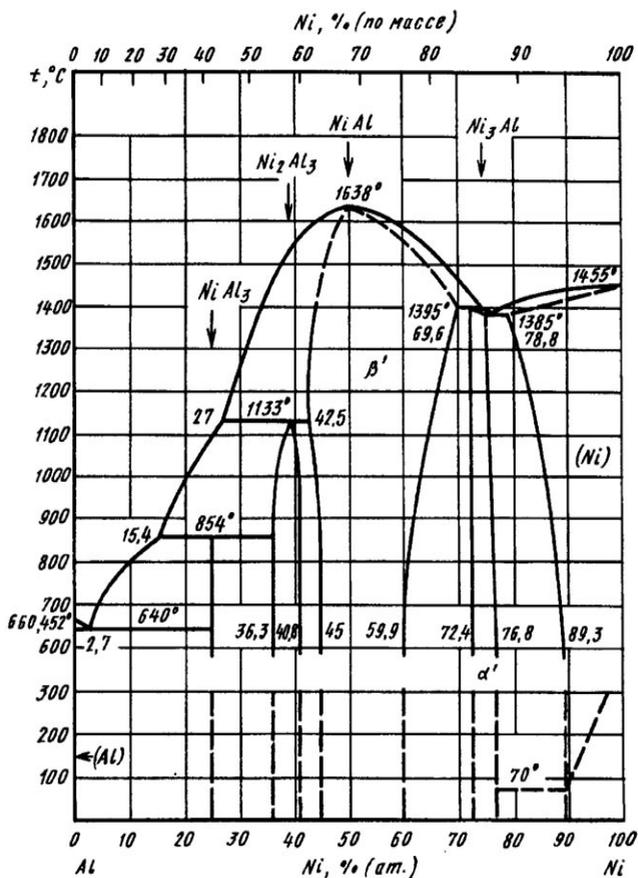


Рис. 2.1. Диаграмма состояния системы Al-Ni

Сведения о структуре представлены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Кристаллическая структура соединений системы Al-Ni

Соединение	Прототип	Символ Пирсона, пр. гр.	Параметры решетки, нм			Примечание
			a	b	c	
Al ₃ Ni	Al ₃ Ni	<i>oP16, Pnma</i>	0,6611	0,7366	0,4812	
Al ₃ Ni ₂	Al ₃ Ni ₂	<i>hpS, P3m1</i>	0,4036	—	0,4900	При концентрации 40 ат. % Ni

Соединение	Прото-тип	Символ Пирсона, пр. гр.	Параметры решетки, нм			Примечание
			a	b	c	
AlNi	CsCl	$cP2$, $Pm\bar{3}m$	0,2887	—	—	При концентрации 49,8 ат. % Ni
Al ₃ Ni ₅	Ga ₃ Pt ₅	$Cmmm$	—	—	—	При концентрации 32–36 ат. % Ni
AlNi ₃	AuCu ₃	$cP4$, $Pm\bar{3}m$	0,3589	—	—	При концентрации 75 ат. % Ni

Соединение NiAl₃ имеет орторомбическую элементарную ячейку, в которой находятся четыре атома никеля и двенадцать атомов алюминия, а соединение Ni₂Al₃ кристаллизуется в тригональной сингонии. Атомы алюминия образуют псевдокубическую структуру, атомы никеля занимают 2/3 центров псевдокубов, остальные остаются вакантными. Вакантные места лежат в плоскостях, перпендикулярных тригональной оси. Область гомогенности соединения NiAl₃ очень узка, а соединения Ni₂Al₃ — находится в пределах 4 ат. % никеля.

Соединение Ni₃Al упорядочено по типу L1₂ и существует в узком интервале концентраций вблизи 75 ат. % Ni.

Электронная структура соединения Ni₃Al в наши дни подробно исследована экспериментальными методами. При описании сил связи в двойном соединении Ni₃Al выделяют не только металлическую и ковалентную составляющие, но и ионный вклад. Сложилось представление, согласно которому обмен местами для атомов алюминия и никеля энергетически чрезвычайно невыгоден и при отклонении от стехиометрии в позициях недостающих атомов образуются вакансии. Именно с этим обстоятельством связывают узкую область гомогенности соединения Ni₃Al.

В настоящее время сложилось представление о кристаллической решетке Ni₃Al как состоящей из двух подрешеток — для атомов Ni и атомов Al, для которых обмен местами практически невозможен. При отклонении от стехиометрии недостающие атомы замещаются вакансиями. Именно этим обстоятельством обусловлена узкая область гомогенности двойного соединения Ni₃Al. При легировании третьему элементу присущ определенный тип замещения. Степень дальнего порядка S , по рентгеновским данным, для Ni₃Al определе-

на как $(1,00 \pm 0,05)$; 0,97; 0,98. Ni_3Al является основной упрочняющей фазой в никелевых жаропрочных сплавах, в которой легирующие элементы могут заменить любой входящий в нее элемент. Так, до 60 % алюминия может быть заменено титаном, а никель может замещаться кобальтом. Фаза Ni_3Al – это сверхструктура типа Cu_3Au с ГЦК-решеткой, с периодом всего на 0,1 % больше, чем у γ -раствора.

В силу особенностей связи атомов в кристаллической решетке и их упорядоченного распределения интерметаллическое соединение Ni_3Al обладает пониженной плотностью (7530 кг/м^3) и термической стабильностью структуры до температуры плавления. По данным, NiAl обладает еще более низкой плотностью – 4800 кг/м^3 .

Данные о механических свойствах алюминидов никеля неоднозначны. Так, указывается, что микротвердость фазы NiAl_3 составляет 5684–5978 МПа, по данным – 7546, 5831 МПа, а в исследованиях В.Н. Еременко, Н.Д. Лесника, Т.С. Ивановой – 8036 МПа. Микротвердость фазы Ni_2Al_3 , по данным различных источников, варьируется от 7056 до 9300–12750 МПа, а фазы NiAl – 3087 МПа. Сведения о микротвердости соединения Ni_3Al неточны.

Однако наибольший практический интерес вызывают соединения Ni_3Al и NiAl , что обуславливается их высокой механической стойкостью при высоких температурах и химической и эрозионной стойкостью в широком диапазоне температур. При $900 \text{ }^\circ\text{C}$ предел текучести интерметаллида NiAl составляет 78 МПа, предел прочности – 141 МПа, модуль упругости – 157 ГПа. Предельная температура применения сплавов на основе NiAl составляет $1600 \text{ }^\circ\text{C}$, на основе Ni_3Al – $1300 \text{ }^\circ\text{C}$.

Соединение Ni_3Al широко применяется как основа при создании нового класса литейных конструкционных материалов, поскольку γ' -фаза является упрочняющей фазой в никелевых суперсплавах. Особенностью этого соединения являются температурные аномалии его деформационных характеристик и связанный с ними эффект термического упрочнения. Наблюдается повышение предела текучести в интервале температур $800 \dots 900 \text{ }^\circ\text{C}$. Так, для сплава ВКНА-1В при $20 \text{ }^\circ\text{C}$ предел текучести составляет $\sigma_{0,2} = 380 \text{ МПа}$, такой же, как и у сплава КНА-4. При $1200 \text{ }^\circ\text{C}$ предел текучести равен $\sigma_{0,2} = 185 \text{ МПа}$, в то время как у КНА-4 $\sigma_{0,2} = 115 \text{ МПа}$. Аномаль-

ное повышение предела текучести проявляется в сплавах с дальним атомным порядком и сильнее всего – со сверхструктурой $L1_2$.

В настоящее время продолжают попытки использования алюминидов никеля в качестве самостоятельного конструкционного материала. Трудности технического применения алюминидов никеля связаны с хрупкостью этого материала в поликристаллическом состоянии, преодолеть которую пытаются в основном с помощью легирования.

Однако в качестве наплавленных слоев сплавы алюминий-никель могут довольно успешно применяться. Учитывая, что промышленностью не выпускаются стандартные проволоки системы никель-алюминий, предложено при наплавке использовать сразу две электродные проволоки, реализуя двухдуговую наплавку.

При двухдуговой наплавке принцип процесса наплавки остается неизменным. Каждая горелка присоединена к отдельному источнику постоянного либо переменного тока. Образовавшиеся две дуги при малом расстоянии между электродами горят в одном газовом пузыре.

Важное достоинство двухдуговой наплавки заключается в возможности использовать источники питания меньшей мощности, чем при однодуговой наплавке, и применять несложные дуговые автоматы, рассчитанные на сварку электродной проволокой диаметром не более 6 мм. Также появляется возможность регулирования режимов наплавки для каждой проволоки индивидуально.

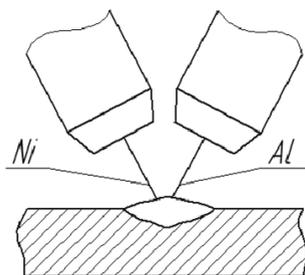


Рис. 2.2. Схема двухдуговой наплавки

Наиболее часто применяется двухдуговая наплавка, при которой наклонены либо обе горелки (рис. 2.2), либо одна наклонена,

а другая расположена вертикально. Это позволяет увеличить толщину шва, улучшить его формирование, повысить механические свойства наплавленного валика (за счет снижения скорости охлаждения) и увеличить скорость наплавки.

Используемое оборудование и материалы

Для проведения лабораторной работы специально сконструирована установка, состоящая из рамы с направляющими рельсами; подвижного портала с закрепленными на нем двумя горелками с механизмами регулирования; двух источников питания.

1. Установка для автоматической двухдуговой наплавки (рис. 2.3) обеспечивает возможность осуществления двухдуговой наплавки в автоматическом режиме.



Рис. 2.3. Установка для автоматической двухдуговой наплавки

Рама установки размером 800×350 мм крепится перпендикулярно стене специальными кронштейнами. На раме закреплена направляющая серии HG длиной 700 мм.

Передвижение портала осуществляется шаговым двигателем при зацеплении зубчатой рейки, установленной на оси, и зубчатой шестерни, установленной на валу двигателя.

Управление шаговыми двигателями осуществляется специализированными приводами, собранными в едином блоке управления,

состоящем из программируемого контроллера SMC-3, программируемого блока управления SMSD-3.0 и блока питания.

Механизм позиционирования предназначен для обеспечения качества процесса наплавки путем изменения геометрии ввода электродных проволок в место сварки и позволяет регулировать вылет электрода, угол ввода присадочных проволок, расстояние между дугами.

2. Сварочная горелка ТВ1 (2 ед.). Для регулировки положения сварочных горелок применяли механизм, состоящий из специализированного исполнительного механизма линейного перемещения с низким люфтом передвижения. Его рабочий ход составляет 100 мм. К данному механизму крепится пластина с пазами для перемещения хомутов для закрепления горелок, с помощью которой осуществляется регулировка положения горелок.

Схема установки представлена на рис. 2.4.

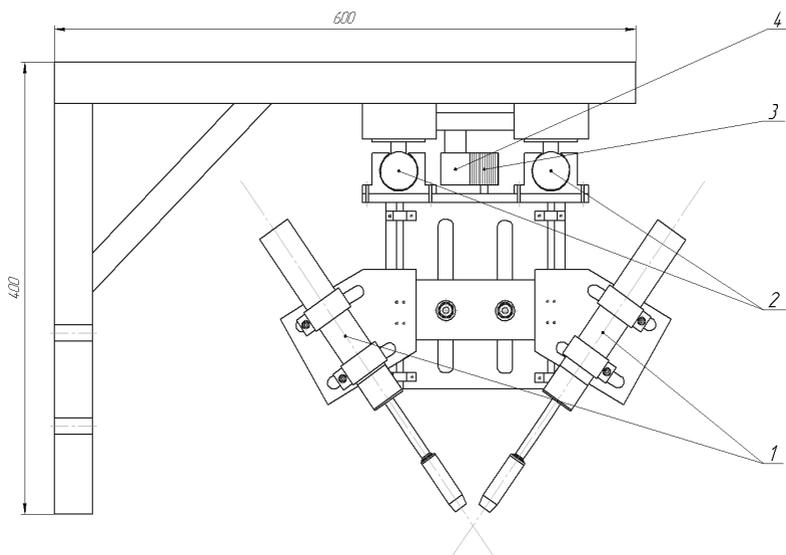


Рис. 2.4. Схема установки для наплавки: 1 – вертикальные горелки; 2 – направляющие; 3 – зубчатая шестерня; 4 – зубчатая рейка

3. В качестве источника питания использовали универсальные сварочные источники Migatronik BDH 550 в количестве 2 ед. (рис. 2.5).



Рис. 2.5. Сварочный полуавтомат Migatronic BDH 550

Таблица 2.2

Технические характеристики

Напряжение питания	440 В, 50 Гц
Предохранитель	35 А
Напряжение холостого хода	20–58 В
Диаметр сварочной проволоки	0,8–2,4 мм
Максимальный сварочный ток ПВ = 100 %	400 А
Диапазон регулирования сварочного тока	5–500 А
Максимальный вес скomплектованного аппарата (без проволоки)	280 кг
Габаритные размеры	1140×520×1430 мм

4. Для наплавки использовали образцы из стали марки Ст3 размером 120×120 мм и толщиной 10 мм.

5. Для наплавки применяли сварочные проволоки СвА7 диаметром 1,2 мм и НП2 диаметром 1 мм.

6. Штангенциркуль.

7. Универсальный шаблон сварщика УШС-3.

8. Инструменты.

Указания к выполнению работы

Скорость наплавки можно варьировать в пределах 0,11–0,14 м/мин. Скорость подачи алюминиевой проволоки – в пределах 2–4 м/мин, никелевой проволоки – 3–5 м/мин. Напряжение на дуге для алюминиевой проволоки можно изменять в пределах 6–12 В, а для никелевой – 17–23 В. Все режимы наплавки устанавливаются с помощью блоков настройки сварочного источника и блока управления.

Геометрические размеры наплавленных валиков измеряются электронным штангенциркулем DIGITAL CALIPER с точностью измерения 0,01 мм и универсальным шаблоном сварщика УШС-3. Измерения необходимо проводить непосредственно на образцах (ширина шва и величина усиления) и макрошлифах (глубина проплавления).

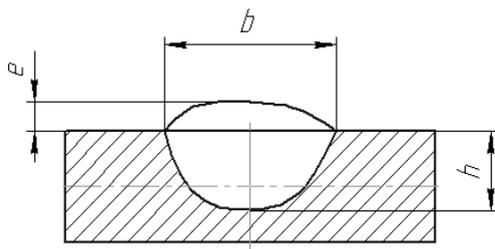


Рис. 2.6. Схема измерения геометрических параметров шва

Жаростойкость наплавленного металла оценивается при выдержке образцов в печи сопротивления при 950 °С в течение 1000 часов. Образцы с одинаковой площадью поверхности вырезаются из наплавленных валиков. Жаростойкость оценивается по относительному изменению массы образцов.

Содержание алюминия в наплавленном валике можно рассчитать по формуле

$$\text{Al}(\%) = \frac{F_{\text{п/ал}} V_{\text{ал}} \rho_{\text{Al}} / V_{\text{н}}}{F_{\text{п/ал}} V_{\text{п/ал}} \rho_{\text{Al}} / V_{\text{н}} + F_{\text{п/н}} V_{\text{п/н}} \rho_{\text{н}} / V_{\text{н}} + F_{\text{пр}} \rho_{\text{ст}}} (1 - \psi), \quad (2.1)$$

где $F_{\text{п/ал}}$ – площадь алюминиевой электродной проволоки; $V_{\text{п/ал}}$ – скорость подачи алюминиевой электродной проволоки; ρ_{Al} – плотность наплавляемой алюминиевой проволоки; $V_{\text{н}}$ – скорость наплавки;

$F_{\text{пр}}$ – площадь проплавления; $\rho_{\text{ст}}$ – плотность стали; ψ – коэффициент, учитывающий потери алюминия при наплавке, среднее значение которого для указанного случая составляет 0,2; $F_{\text{п/н}}$ – площадь никелевой электродной проволоки; $V_{\text{п/н}}$ – скорость подачи никелевой электродной проволоки; $\rho_{\text{н}}$ – плотность наплавляемой никелевой проволоки.

Содержание никеля в наплавленном валике можно рассчитать по формуле

$$\text{Ni (\%)} = \frac{F_{\text{п/н}} V_{\text{п/н}} \rho_{\text{н}} / V_{\text{н}}}{F_{\text{п/ал}} V_{\text{п/ал}} \rho_{\text{Al}} / V_{\text{н}} + F_{\text{п/н}} V_{\text{п/н}} \rho_{\text{н}} / V_{\text{нн}} + F_{\text{пр}} \rho_{\text{ст}}} (1 - \psi). \quad (2.2)$$

Методика проведения лабораторной работы

1. Получить задание у преподавателя.
2. Ознакомиться с краткими теоретическими сведениями по предмету лабораторной работы.
3. Ознакомиться с принципом и порядком работы лабораторного оборудования.
4. Ознакомиться с правилами техники безопасности при проведении лабораторной работы.
5. Настроить оборудование и наплавить образцы, варьируя скоростью подачи присадочной проволоки.
6. С каждого наплавленного валика вырезать по 3 образца размером 10×10 мм для измерения твердости, испытания жаростойкости и анализа структуры (металлографические исследования).
7. Измерить геометрические параметры наплавленного валика и рассчитать содержание алюминия.
8. Измерить твердость наплавленного покрытия. Результаты измерений занести в таблицу и построить зависимость твердости от содержания алюминия.
9. Провести исследования и рассчитать относительную износостойкость наплавленного металла, результаты занести в таблицу. Построить зависимость износостойкости от содержания алюминия.
10. Провести исследования жаростойкости наплавленного металла и занести полученные данные в таблицу. Построить зависимость жаростойкости от содержания алюминия в наплавленном металле.

11. Приготовить микрошлифы наплавленных покрытий и исследовать микроструктуру.
12. Проанализировав полученные результаты, сделать вывод о влиянии алюминия на структуру и свойства покрытий.
13. Составить отчет о лабораторной работе.

Содержание отчёта

1. Титульный лист.
2. Цель лабораторной работы.
3. Краткое описание теоретических сведений.
4. Описание оборудования и материалов.
5. Порядок выполнения работы.
6. Анализ результатов работы.
7. Выводы.
8. Заключение.

Контрольные вопросы

1. Какие интерметаллидные фазы образуются в системе никель-алюминий?
2. Какие интерметаллидные сплавы системы никель-алюминий применяются в промышленности?
3. Благодаря каким свойствам никель-алюминиевые сплавы применяются в промышленности?
4. Какие методы повышения прочности алюминидов никеля применяются?
5. Укажите предельные температуры применения интерметаллидных сплавов на основе Ni_3Al и $NiAl$.
6. Почему для наплавки покрытий на основе алюминидов никеля применяют двухдуговую наплавку?
7. В чем сущность двухдуговой наплавки?

Лабораторная работа 3

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АЛЮМИНИЯ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ НАПЛАВЛЕННЫХ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ ЖЕЛЕЗО-АЛЮМИНИЙ

Цель работы – усвоить методику и приобрести опыт исследования износостойкости наплавленных интерметаллидных покрытий системы железо-алюминий.

Краткие теоретические сведения

В равновесных условиях алюминий с железом образуют твердые растворы, интерметаллические соединения и эвтектику. Растворимость железа в алюминии незначительна (0,053 % при эвтектической температуре 654 °С), растворимость алюминия в железе в 600 раз выше и составляет примерно 32 %. При затвердевании в структуре сплавов алюминия с железом появляются кристаллы соединения FeAl_3 (59,18 % Al). При содержании до 1,8 % железа и температуре 654 °С образуется эвтектика $\text{Al} + \text{FeAl}_3$ (рис. 3.1). Дальнейшее увеличение содержания железа в сплаве влечет за собой появление химических соединений следующих составов: Fe_2Al_7 (62,93 % Al), Fe_2Al_5 (54,71 % Al), FeAl_2 (49,13 % Al), FeAl (32,57 % Al) и др. (рис. 3.1).

Компоненты системы Fe-Al обладают простейшими структурами: α -Fe – кубическая объемно-центрированная, $a = 2,8664 \text{ \AA}$; γ -Fe – кубическая гранецентрированная, $a = 3,656 \text{ \AA}$; Al – кубическая гранецентрированная, $a = 4,04914 \text{ \AA}$.

Несмотря на сравнительно близкие величины периодов, структурные компоненты не образуют непрерывный ряд твердых растворов. На α -модификации железа базируется ограниченный ряд твердых растворов с максимальным содержанием алюминия, равным приблизительно 53 ат. % при температуре 1103 °С. Из этого твердого раствора в результате превращения, состоящего в упорядочении распределения атомов железа и алюминия, образуются два самых богатых железом соединения – FeAl и Fe_3Al со следующими структурами: FeAl – кубическая примитивная структура типа CsCl, $a = 2,903 \text{ \AA}$; Fe_3Al – кубическая гранецентрированная типа

DO_3 (BiFe_3), $a = 5,78 \text{ \AA}$. При $552 \text{ }^\circ\text{C}$ и $26,8 \%$ (ат.) Al реализуется вы-
 рожденное перитектоидное превращение $\alpha + \alpha_2 \leftrightarrow \text{Fe}_3\text{Al}$; в точке
 с указанными выше координатами сосуществуют ферромагнитная
 фаза $\alpha\text{-Fe}$ и парамагнитная Fe_3Al . По имеющимся данным, упоря-
 доченная структура типа Fe_3Al образуется в сплавах, содержащих от
 25 до 34 % ат. Al, после медленного охлаждения. После закалки этих
 сплавов от температуры $600 \text{ }^\circ\text{C}$ и выше возникает структура FeAl .
 Процесс упорядочения характеризуется изменением ряда физиче-
 ских свойств, в частности более низким значением точки Кюри,
 изменением периода кристаллической решетки при комнатной
 температуре в зависимости от содержания алюминия. При его со-
 держании до 10 вес. % период кристаллической решетки увеличи-
 вается линейно с повышением содержания легирующего элемента.
 Сплавы с содержанием алюминия от 10 до 20 вес. % характеризуют-
 ся в упорядоченном состоянии почти постоянным периодом решетки.
 В области невысокого содержания алюминия образуется также
 нестабильная фаза Fe_2Al с гексагональной структурой типа MgZn_2
 (фаза Лавеса), $a = 4,76 \text{ \AA}$; $b = 7,70 \text{ \AA}$; $a/c = 1,62$.

При содержании алюминия, превышающем 50 ат. %, в системе
 Al-Fe образуются фазы FeAl_2 , Fe_2Al_5 , FeAl_3 ($\text{Fe}_4\text{Al}_{13}$) и метастабиль-
 ные соединения FeAl_6 . Структура FeAl_6 – ромбическая с периодами
 решетки $a = 7,440 \text{ \AA}$; $b = 6,4644 \text{ \AA}$; $c = 8,779 \text{ \AA}$. Структура $\text{Fe}_4\text{Al}_{13}$
 (FeAl_3) – одна из самых сложных структур интерметаллических со-
 единений, имеющая моноклинную элементарную ячейку с перио-
 дами $a = 15,489 \text{ \AA}$; $b = 8,0834 \text{ \AA}$; $c = 12,476 \text{ \AA}$; $\beta = 107^\circ 43'$. Структура
 соединения Fe_2Al_5 , более богатого железом, чем FeAl_3 , ромбическая
 с параметрами $a = 7,68 \text{ \AA}$; $b = 6,40 \text{ \AA}$; $c = 4,20 \text{ \AA}$.

Особенности строения и параметров кристаллической решетки
 во многом определяют механические и эксплуатационные
 свойства соединений системы Fe-Al. Так, при отношении числа вал-
 лентных электронов к числу атомов в решетке, равному $3/2$, интер-
 металлические соединения образуют β -фазы с ОЦК структурой или
 со сложной кубической решеткой. К таким относится соединение
 FeAl , которое обладает металлическими свойствами, однако уча-
 стие d -электронов в межатомной связи определяет появление
 ковалентной составляющей. Интерметаллиды этого типа характе-

пературы микротвердость соединений падает. Точка перегиба в значениях микротвердости лежит в пределах $0,3-0,5 t_{пл}$. Для фаз $FeAl_3$ и $FeAl_2$ разупрочнение наступает при $0,5 t_{пл}$; фаза Fe_2Al_3 разупрочняется при $0,45 t_{пл}$, фаза $FeAl$ – при $0,33 t_{пл}$. А для Fe_3Al происходит постепенное снижение твердости. Приведенные данные объясняют хорошую деформируемость исследуемых материалов при повышенных температурах и могут служить обоснованием выбора температуры обработки. Высокая твердость некоторых фаз также характеризует их высокую абразивную износостойкость.

Прочностные свойства этих фаз изменяются практически противоположно твердости. Наибольшей прочностью при растяжении обладают фазы Fe_3Al , $FeAl$, а наименьшей – фазы $FeAl_3$, $FeAl_2$, Fe_2Al_7 , Fe_2Al_3 . Наиболее высокой прочностью при сжатии обладают фазы Fe_3Al , $FeAl$, Fe_2Al_7 . Высокая прочность при сжатии фазы Fe_2Al_7 объясняется наличием мягкой межзеренной прослойки алюминия. Однако разрушение соединения Fe_2Al_7 протекает хрупко – на диаграмме практически не регистрируется площадка текучести. Значительно хрупки и фазы $FeAl_3$, Fe_2Al_3 , $FeAl_2$.

Следует отметить, что всем интерметаллидам системы железо-алюминий присущ хрупкий характер разрушения. Хрупкость этих соединений объясняется их сложным кристаллическим строением, наличием ковалентной и ионной связи. При деформации подобных соединений скольжение быстро прекращается и при дальнейшей деформации полос оно не возникает. Искажение кристаллической решетки, вызывающее появление полос скольжения, кристаллографически ограничено, что и приводит к хрупкому разрушению.

Несмотря на хрупкость при низких температурах, при высоких температурах интерметаллические соединения в какой-то мере становятся пластичными.

В работах В.Р. Рябова также отмечено, что в сплавах $FeAl$, Fe_3Al с увеличением содержания железа зерна приобретают более правильную форму и заметно увеличиваются в размере.

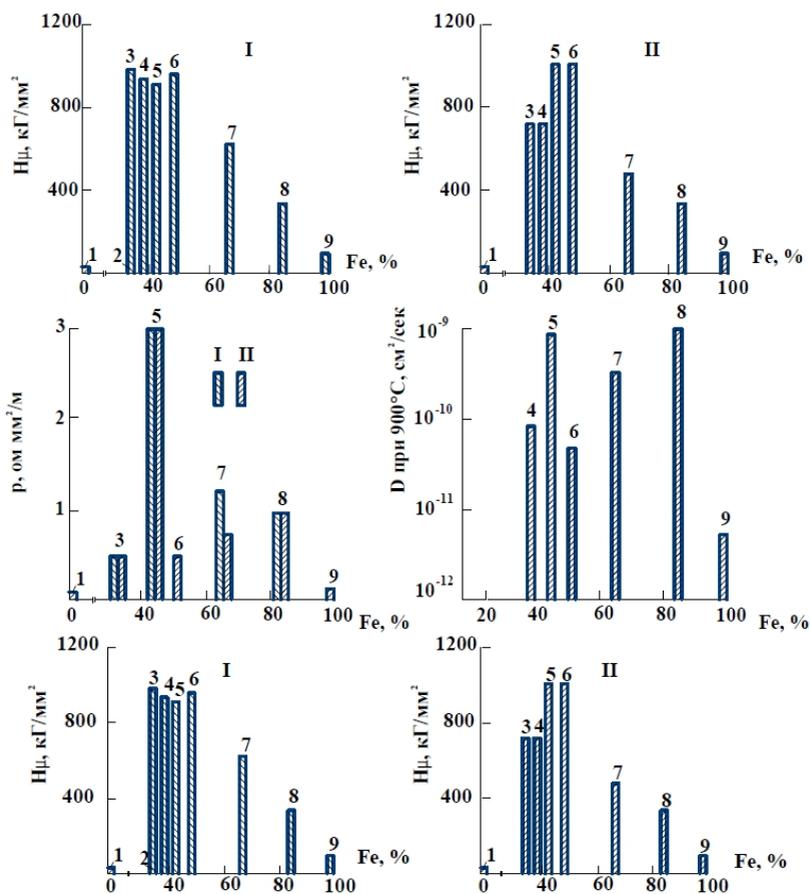


Рис. 3.2. Свойства интерметаллических фаз системы железо-алюминий: *I* – литое состояние; *II* – состояние после отжига; *I* – Al; 2 – Al + $FeAl_3$; 3 – Fe_2Al_3 ; 4 – $FeAl_3$; 5 – Fe_2Al_3 ; 6 – $FeAl_3$; 7 – $FeAl$; 8 – Fe_3Al ; 9 – Fe [3]

Возможность промышленного использования в качестве специальных покрытий сплавов на основе алюминида железа во многом обусловлена наличием у них при комнатной температуре (в некоторых случаях и при минусовых температурах) определенной минимальной пластичности, которая соответствует достаточному уровню их вязкости разрушения. Наибольшего внимания заслуживают упорядоченные интерметаллидные сплавы на основе Fe_3Al и фазы $FeAl$, отличающиеся относительно высокой твердостью и, следовательно, высокой относительной износостойкостью.

Используемое оборудование и материалы

Наплавку алюминия на стальные образцы проводили неплавящимся электродом в среде аргона.

Исследования процессов наплавки осуществлялись при помощи специально сконструированной установки.

1. Установка для автоматической аргонодуговой наплавки износостойких покрытий состоит из рамы с направляющими рельсами, механизма позиционирования, оборудования для подачи присадочной проволоки, источника питания (рис. 3.3). Данная установка обеспечивает возможность одновременного ввода в сварочную ванну двух проволок, что позволяет формировать покрытия на основе двойных и тройных сплавов.

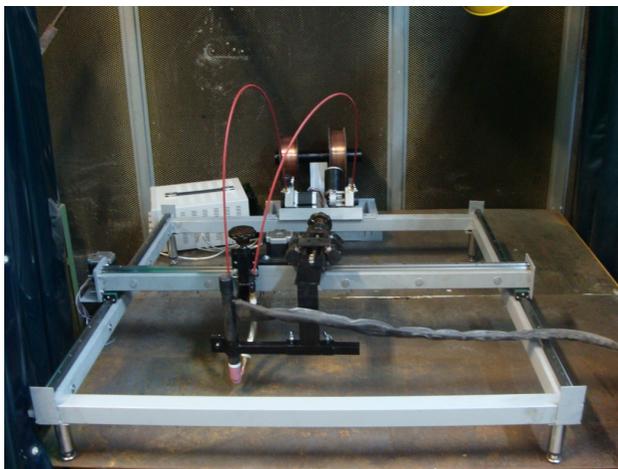


Рис. 3.3. Установка для автоматической аргонодуговой наплавки износостойких покрытий

Рама установки размером 1000×1000 мм выполнена из трубы квадратного сечения 40×40. Две направляющие серии НГ длиной 1000 мм установлены на верхней поверхности рамы для перемещения каретки со сварочной горелкой. На каретке, выполненной из квадратной трубы, установлена еще одна направляющая для продольного перемещения.

Передвижение по осям осуществляется шаговыми двигателями при зацеплении зубчатой рейки, установленной на оси, и зубчатой шестерни, установленной на валу двигателя.

Управление шаговыми двигателями осуществляется специализированными приводами, собранными в едином блоке управления, состоящем из программируемого контроллера SMC-3, программируемого блока управления SMSD-3.0 и блока питания.

Механизм позиционирования предназначен для обеспечения качества процесса наплавки путем изменения геометрии ввода подающих проволок в место сварки и позволяет регулировать длину дуги, угол ввода присадочных проволок, высоту ввода присадочных проволок, расстояние от мундштуков до сварочной дуги.

2. Для наплавки использовали сварочную горелку AUT-TIG 400W фирмы Abicor-Bensel.

Для регулировки положения сварочной горелки применяли механизм, состоящий из специализированного исполнительного механизма линейного перемещения с низким люфтом передвижения. Его рабочий ход составляет 150 мм.

К данному механизму крепится кронштейн для регулировки положения горелки с двумя осями, который позволяет в процессе подготовки к наплавке выставить длину сварочной дуги и положение горелки относительно точки ввода присадочных проволок.

Оборудование для подачи присадочной проволоки состоит из подающего механизма с двигателем постоянного тока типа 45402BVE фирмы TVi Industries GmbH. Применение подающего механизма с шаговым двигателем позволяет снизить стабильную минимальную скорость подающего механизма до 0 и работать в диапазоне скоростей подачи 0–1 м/мин, что необходимо для введения легирующих элементов в состав наплавленного металла в минимально необходимом количестве.

3. В качестве источника питания предлагается использовать универсальный сварочный источник Migatronik BDH 550 (рис. 2.5).

4. Для наплавки рекомендуется использовать образцы из стали марки Ст3 размером 120×120 мм толщиной 10–12 мм. Для наплавки рекомендуется использовать проволоку Св-А5, Св-АМц, Св-АМг3, Св-АМг6, Св-АК5 по ГОСТ 7871-75. Применение проволоки из

алюминиевых сплавов позволит определить влияние кремния, марганца и магния на свойства наплавленного металла.

Силу сварочного тока и напряжение в процессе наплавки необходимо контролировать регистратором MRF-02M фирмы TELMA.

5. Штангенциркуль.
6. Универсальный шаблон сварщика УШС-3.
7. Инструменты.

Указания к выполнению работы

Наплавку покрытий рекомендуется проводить при постоянном значении силы тока (300 А) и скорости наплавки (0,15 м/мин). Скорость подачи присадочной проволоки варьируется в пределах 1–6 м/мин.

Геометрические размеры наплавленных валиков рекомендуется измерять по методике, предложенной в лабораторной работе 2.

Твердость наплавленного металла измеряется твердомером по шкале HRC.

Износостойкость при абразивном изнашивании выражается в виде относительной износостойкости:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l_{\text{э}}}{\Delta l_{\text{м}}}, \quad (3.1)$$

где $\Delta l_{\text{э}}$ – линейный износ эталона; $\Delta l_{\text{м}}$ – линейный износ испытуемого материала.

Линейный износ эталона из стали 20 и испытуемого образца измеряется микрометром.

Содержание алюминия в наплавленном валике можно рассчитать по формуле

$$\text{Al}(\%) = \frac{F_{\text{п/п}} V_{\text{п/п}} \rho_{\text{Al}} / V_{\text{н}}}{F_{\text{п/п}} V_{\text{п/п}} \rho_{\text{Al}} / V_{\text{н}} + F_{\text{пр}} \rho_{\text{ст}}} (1 - \psi), \quad (3.2)$$

где $F_{\text{п/п}}$ – площадь присадочной проволоки; $V_{\text{п/п}}$ – скорость подачи присадочной проволоки; ρ_{Al} – плотность наплавляемой алюминиевой проволоки; $V_{\text{н}}$ – скорость наплавки; $F_{\text{пр}}$ – площадь проплавления; $\rho_{\text{ст}}$ – плотность стали; ψ – коэффициент, учитывающий потери алюминия при наплавке, среднее значение которого для указанного случая составляет 0,2.

Методика проведения лабораторной работы

1. Получить задание у преподавателя.
2. Ознакомиться с краткими теоретическими сведениями по предмету лабораторной работы.
3. Ознакомиться с принципом и порядком работы лабораторного оборудования.
4. Ознакомиться с правилами техники безопасности при проведении лабораторной работы.
5. Настроить оборудование и наплавить образцы, варьируя скоростью подачи присадочной проволоки.
6. С каждого наплавленного валика вырезать по 3 образца размером 10×10 мм для измерения твердости, испытания на износостойкость и анализа структуры (металлографические исследования).
7. Измерить геометрические параметры наплавленного валика и рассчитать содержание алюминия.
8. Измерить твердость наплавленного покрытия. Результаты измерений занести в таблицу и построить зависимость твердости от содержания алюминия.
9. Провести исследования и рассчитать относительную износостойкость наплавленного металла, результаты занести в таблицу. Построить зависимость износостойкости от содержания алюминия.
10. Приготовить микрошлифы наплавленных покрытий и исследовать микроструктуру.
11. Проанализировав полученные результаты, сделать вывод о влиянии алюминия на структуру и свойства покрытий.
12. Составить отчет о лабораторной работе.

Содержание отчёта

1. Титульный лист.
2. Цель лабораторной работы.
3. Краткое описание теоретических сведений.
4. Описание оборудования и материалов.
5. Порядок выполнения работы.
6. Анализ результатов работы.
7. Выводы.
8. Заключение.

Контрольные вопросы

1. Какие интерметаллидные фазы образуются в системе железо-алюминий?
2. Как изменяются свойства системы железо-алюминий с увеличением содержания алюминия?
3. Какие интерметаллидные фазы системы железо-алюминий обладают необходимыми механическими свойствами для применения в качестве наплавленных покрытий?

Лабораторная работа 4

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕПЛОВЫХ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ СЛОИСТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ТИТАН-АЛЮМИНИЙ НА ПРОЧНОСТЬ СЦЕПЛЕНИЯ СЛОЕВ КОМПОЗИТА

Цель работы – изучение влияния температуры на структуру и механические свойства слоистых композиционных материалов титан-алюминий, получаемых жидкофазным способом.

Краткие теоретические сведения

Слоистые металлические композиционные материалы (СКМ), в том числе титано-алюминиевые, применяются в машиностроении для изготовления переходников, предназначенных для сварки различных конструкций из разнородных металлов, корпусов, узлов и деталей космической аппаратуры, летательных аппаратов, химической, криогенной и атомной техники и т. д. Слоистые композиционные материалы характеризуются заданной прочностью, сплошностью сечения, коррозионной стойкостью, усталостной прочностью при динамических нагрузках, жаростойкостью, жаропрочностью, физико-механическими свойствами и структурой.

Прочность сцепления слоев в СКМ зависит от способа изготовления, температуры и времени процесса, свойств исходных составляющих и прочих условий.

При жидкофазном способе изготовления СКМ методом самопроизвольной пропитки (под действием капиллярных сил) алюминиевый расплав затягивается между пластинами титанового пакета и формируется соединение. Так как капиллярные силы являются важным фактором, то необходимо правильно выставить величину зазора между пластинами.

Жидкофазные способы формирования СКМ характеризуются высокими температурами процесса – от 700 °С и выше. Такая температура провоцирует высокую скорость роста интерметаллидных соединений на границе раздела слоев.

Образующиеся интерметаллидные соединения снижают прочность сцепления слоев в СКМ. Связано это с тем, что эти фазы яв-

ляются хрупкими, имеют большое число пор и большие внутренние напряжения. При работе СКМ на срез разрушение происходит по слою интерметаллида. Поры, находящиеся в нем, являются концентраторами напряжений, что дополнительно снижает прочность.

Добиться необходимой сплошности и прочности сцепления слоев возможно, варьируя параметрами режимов процесса.

Еще одной проблемой при изготовлении СКМ жидкофазным способом является необходимость адгезионной связи твердого тела и жидкого расплава. Расплавленный алюминий покрывается оксидной пленкой, которая препятствует смачиванию титановой поверхности. Решить эту проблему можно, используя активирующий флюс. Главной задачей флюса является растворение оксида алюминия. При этом необходимо, чтобы флюс не изменял свойства металлов СКМ и не взаимодействовал ни с одним из них.

Таким образом, для получения прочного соединения слоистого композиционного материала необходимо правильно подобрать технологические режимы процесса (температуру расплава, время выдержки и т. п.) и выбрать подходящий активирующий флюс. Для активации поверхности титановых пластин при производстве алюминия предлагается использовать водный раствор флюса на основе эвтектической системы KF-AlF₃.

Оборудование и материалы

1. Термическая печь сопротивления ТК-27.1250.Н.1Ф с силовым блоком и регулятором температуры.
2. Термопары хромель-алюмель.
3. Восьмиканальный микропроцессорный измеритель – регулятор ТРМ138.
4. Шамотные тигли.
5. Алюминий А7.
6. Пластины из ВТ1-0.
7. Водный раствор флюса на основе эвтектической системы KF-AlF₃.
8. Метизы.
9. Микротвердомер ПМТ-3М с микрофотонасадкой.
10. Цифровая фотокамера.

Методика проведения лабораторной работы

1. Ознакомиться с лабораторным оборудованием.
2. Приготовить расплав алюминия А7.
3. Приготовить состав активирующего флюса 56 % AlF_3 , 44 % KF.
4. Изготовить 12 пластин для получения нахлесточных образцов (рис. 4.1).

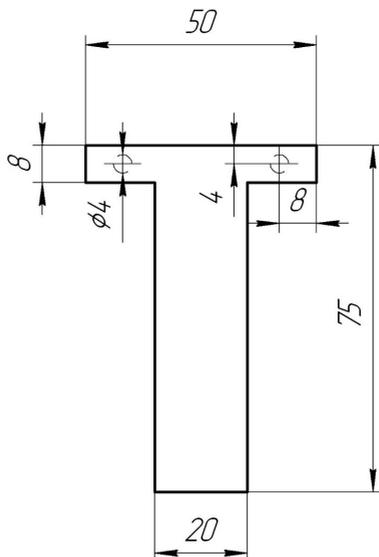


Рис. 4.1. Внешний вид пластины

5. Изготовить 9 пластин размерами 50×25 мм для получения трехслойных образцов СКМ титан-алюминий.
6. Зачистить часть пластины с отверстиями в районе будущей нахлестки.
7. Нанести на пластины водный раствор активирующего флюса.
8. Просушить пластины до полного испарения влаги с флюсового покрытия.
9. Собрать образцы в нахлесточные соединения и трехслойные стальные пакеты.
10. Получить соединение титан-алюминий жидкофазным способом при изменении температуры алюминиевого расплава с 700 °С до 950 °С с интервалом в 50 °С.

11. Получить трехслойные соединения СКМ титан-алюминий при температурах расплава 700 °С, 750 °С и 950 °С.
12. Произвести механические испытания нахлесточных образцов.
13. Изготовить микрошлифы из трехслойного композиционного материала титан-алюминий.
14. Изучить структуру, фазовый состав и микротвердость слоев в СКМ сталь-алюминий, полученном при разной температуре расплава.
15. Составить отчет о лабораторной работе.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Программа работы.
3. Описание оборудования и материалов.
4. Графики зависимостей:
 - прочности сцепления слоев от температуры процесса жидкофазного формирования;
 - распределения микротвердости в слоях СКМ;
 - толщины интерметаллидного слоя от температуры процесса жидкофазного формирования.
5. Выводы и рекомендации применения жидкофазного процесса формирования СКМ сталь-алюминий.

Контрольные вопросы

1. Что такое интерметаллидные фазы и по какой причине они образуются?
2. Какие интерметаллидные фазы образуют титан и алюминий?
3. Какие действия предпринимаются для устранения интерметаллидных соединений в СКМ титан-алюминий?
4. В чем сущность жидкофазного способа формирования СКМ титан-алюминий?
5. Преимущества и недостатки жидкофазного способа формирования СКМ титан – алюминий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тепловые условия формирования пеноалюминия фильтрацией через водорастворимые соли / А.И. Ковтунов [и др.] // Литейщик России. – 2011. – № 6. – С. 43–45.
2. Исследование процессов формирования пеноалюминия фильтрацией через водорастворимые соли / А.И. Ковтунов [и др.] // Технология легких сплавов. – 2011. – № 4. – С. 74–78.
3. Ковтунов, А.И. Исследование физико-механических свойств пеноалюминия, полученного фильтрацией через водорастворимые соли / А.И. Ковтунов, Ю.Ю. Хохлов, Д.А. Семистенов // Заготовительные производства в машиностроении. – 2012. – № 6.

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Тольяттинский государственный университет»
Институт машиностроения

Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением
и родственные процессы»

Лабораторная работа № _____

по курсу « _____ »

(Наименование лабораторной работы)

Выполнил(а)
студент группы _____
Фамилия И.О. _____

Принял:
Профессор кафедры «СОМДиРП»,
д.т.н. Ковтунов А.И. _____

Тольятти, 201_