

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования



**Пермский национальный исследовательский
политехнический университет**

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по образовательной
деятельности

 А.Б. Петроченков

« 07 » марта 20 23 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина: Технологии порошковой наплавки
(наименование)

Форма обучения: очная
(очная/очно-заочная/заочная)

Уровень высшего образования: магистратура
(бакалавриат/специалитет/магистратура)

Общая трудоёмкость: 108 (3)
(часы (ЗЕ))

Направление подготовки: 22.04.01 Материаловедение и технологии материалов
(код и наименование направления)

Направленность: Материаловедение высокотемпературных материалов
газотурбинных двигателей
(наименование образовательной программы)

1. Общие положения

1.1. Цели и задачи дисциплины

Развитие профессиональных компетенций, необходимых для получения знаний, умений и навыков при технологической подготовке процессов высокоэнергетической обработки материалов для машиностроительного оборудования, в частности процессов порошковой наплавки.

1.2. Изучаемые объекты дисциплины

Основные понятия о физических и технологических процессах наплавки. Основные виды наплавки металла. Способы наплавки, применяемые для аддитивного производства. Плазменная наплавка. Лазерная наплавка. Дефекты наплавленных деталей и причины их появления. Наружные и внутренние дефекты, возникающие при наплавке.

1.3. Входные требования

Не предусмотрены

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ПК-3.3	ИД-1ПК-3.3	Знать современные требования к исходным материалам и технологические возможности способов порошковой наплавки; зависимость свойств материалов и деталей от технологических факторов порошковой наплавки; принципы построения моделей и средств автоматизированного проектирования технологических процессов порошковой наплавки; критерии оценки технологичности и повышения эффективности применения оборудования порошковой наплавки	Знает технологии производства функциональных металлических, керамических, композиционных порошковых материалов	Зачет

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ПК-3.3	ИД-2ПК-3.3	Уметь анализировать конструкторскую документацию на детали, получаемые порошковой наплавкой; прогнозировать влияние способов наплавки на формообразование и эксплуатационные свойства изделия; осуществлять оптимальный выбор технологического оборудования для реализации режимов наплавки.	Умеет выбирать материалы и технологические процессы исследований наноструктурированных порошковых и композиционных материалов с заданными свойствами	Индивидуальное задание
ПК-3.3	ИД-3ПК-3.3	Владеть навыками анализа результатов экспериментальных технологических процессов порошковой наплавки.	Владеет навыками разработки инновационных технологических процессов производства наноструктурированных порошковых и композиционных материалов с заданными свойствами	Индивидуальное задание

3. Объем и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах
		Номер семестра
		3
1. Проведение учебных занятий (включая проведение текущего контроля успеваемости) в форме:	36	36
1.1. Контактная аудиторная работа, из них:		
- лекции (Л)	16	16
- лабораторные работы (ЛР)	16	16
- практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ)		
- контроль самостоятельной работы (КСР)	4	4
- контрольная работа		
1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС)	72	72
2. Промежуточная аттестация		
Экзамен		
Дифференцированный зачет		
Зачет	9	9
Курсовой проект (КП)		
Курсовая работа (КР)		
Общая трудоемкость дисциплины	108	108

4. Содержание дисциплины

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
3-й семестр				
Основные понятия о физических и технологических процессах наплавки.	4	4	0	24
Терминология и классификация методов аддитивного производства. Обобщенная схема операций при быстром прототипировании. Методы аддитивного производства. Методы с участием жидкой фазы и твердофазные методы аддитивного производства. Основные виды наплавки металла.				
Способы наплавки, применяемые для аддитивного производства.	8	8	0	24
Способы наплавки, применяемые для аддитивного производства. Плазменная наплавка. Лазерная наплавка. Электронно-лучевая наплавка. Послойная наплавка (DMD- или LENS-технология). Свойства наплавленного материала в сравнении со свойствами материала основы. Прогнозирование свойств наплавленного материала, структурные преобразования при наплавке.				
Дефекты наплавленных деталей и причины их появления.	4	4	0	24
Проблемы трещинообразования при выращивании изделий с использованием лазерного излучения. Субтрактивные технологии аддитивного производства.				
ИТОГО по 3-му семестру	16	16	0	72
ИТОГО по дисциплине	16	16	0	72

Тематика примерных лабораторных работ

№ п.п.	Наименование темы лабораторной работы
1	Концептуализация изделия и его проектирование в среде САПР
2	Выбор материала для порошковой наплавки
3	Сравнение методов нанесения покрытий, принципиальные схемы установок для лазерной наплавки.
4	Оценка качества готовых изделий, полученных порошковой наплавкой.

5. Организационно-педагогические условия

5.1. Образовательные технологии, используемые для формирования компетенций

Проведение лекционных занятий по дисциплине основывается на активном методе обучения, при котором учащиеся не пассивные слушатели, а активные участники занятия, отвечающие на вопросы преподавателя. Вопросы преподавателя нацелены на активизацию процессов усвоения материала, а также на развитие логического мышления. Преподаватель заранее намечает список вопросов, стимулирующих ассоциативное мышление и установление связей с ранее освоенным материалом.

Практические занятия проводятся на основе реализации метода обучения действием: определяются проблемные области, формируются группы. При проведении практических занятий преследуются следующие цели: применение знаний отдельных дисциплин и креативных методов для решения проблем и принятия решений; отработка у обучающихся навыков командной работы, межличностных коммуникаций и развитие лидерских качеств; закрепление основ теоретических знаний.

Проведение лабораторных занятий основывается на интерактивном методе обучения, при котором обучающиеся взаимодействуют не только с преподавателем, но и друг с другом. При этом доминирует активность учащихся в процессе обучения. Место преподавателя в интерактивных занятиях сводится к направлению деятельности обучающихся на достижение целей занятия.

При проведении учебных занятий используются интерактивные лекции, групповые дискуссии, ролевые игры, тренинги и анализ ситуаций и имитационных моделей.

5.2. Методические указания для обучающихся по изучению дисциплины

При изучении дисциплины обучающимся целесообразно выполнять следующие рекомендации:

1. Изучение учебной дисциплины должно вестись систематически.
2. После изучения какого-либо раздела по учебнику или конспектным материалам рекомендуется по памяти воспроизвести основные термины, определения, понятия раздела.
3. Особое внимание следует уделить выполнению отчетов по практическим занятиям, лабораторным работам и индивидуальным комплексным заданиям на самостоятельную работу.
4. Вся тематика вопросов, изучаемых самостоятельно, задается на лекциях преподавателем. Им же даются источники (в первую очередь вновь изданные в периодической научной литературе) для более детального понимания вопросов, озвученных на лекции.

6. Перечень учебно-методического и информационного обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

6.1. Печатная учебно-методическая литература

№ п/п	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке
1. Основная литература		
1	Аддитивные технологии в производстве металлических конструкций : учебник / Щербаков А. В., Гапонова Д. А., Слива А. П., Гуденко А. В., Родякина Р. В. Москва : МЭИ, 2022. 675 с. 54,925 усл. печ. л.	15

2	Лазерные аддитивные технологии в машиностроении : учебное пособие / Григорьянц А. Г., Шиганов И. Н., Мисюров А. И., Третьяков Р. С. Москва : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2018. 278 с. 22,75 усл. печ. л.	2
2. Дополнительная литература		
2.1. Учебные и научные издания		
1	Методы контроля качества в машиностроении : учебное пособие / Кравченко Е. Г., Мокрицкий Б. Я., Верещагина А. С., Схиртладзе А. Г. Старый Оскол : ТНТ, 2017. 130 с. 7,67 усл. печ. л.	6
2	Соколов А. Г. Инженерия поверхности и технологии повышения эксплуатационных свойств изделий из металлических сплавов : учебное пособие. Москва Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. 299 с.	1
3	Соколов А. Г., Иосифов В. В., Схиртладзе А. Г. Методы инженерии поверхности, применяемые в машиностроении для повышения эксплуатационных свойств изделий : учебное пособие для вузов. Старый Оскол : ТНТ, 2019. 243 с. 14,2 усл. печ. л.	2
4	Шишковский И. В. Лазерный синтез функционально-градиентных мезоструктур и объемных изделий. Москва : Физматлит, 2009. 421 с.	2
2.2. Периодические издания		
1	Сварочное производство : научно-технический и производственный журнал. Москва : Машиностроение, 1930 - .	
2.3. Нормативно-технические издания		
	Не используется	
3. Методические указания для студентов по освоению дисциплины		
	Не используется	
4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента		
	Не используется	

6.2. Электронная учебно-методическая литература

Вид литературы	Наименование разработки	Ссылка на информационный ресурс	Доступность (сеть Интернет / локальная сеть; авторизованный / свободный доступ)
Дополнительная литература	Методы инженерии поверхности, применяемые в машиностроении для повышения эксплуатационных свойств изделий	https://elib.pstu.ru/Record/RUPSTUbooks227884	локальная сеть; авторизованный доступ
Дополнительная литература	Новые методы ресурсосберегающей технологии : Актив. методы управления формообразованием при наплавке	https://elib.pstu.ru/Record/RUPSTUbooks4697	локальная сеть; авторизованный доступ
Основная литература	Лазерные технологии обработки материалов	https://elib.pstu.ru/Record/RUPSTUbooks149813	локальная сеть; авторизованный доступ

6.3. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, используемое при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Вид ПО	Наименование ПО
Операционные системы	Windows 10 (подп. Azure Dev Tools for Teaching)
Офисные приложения.	Microsoft Office Professional 2007. лиц. 42661567
Прикладное программное обеспечение общего назначения	Dr.Web Enterprise Security Suite, 3000 лиц, ПНИПУ ОЦНИТ 2017

6.4. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Наименование	Ссылка на информационный ресурс
База данных Scopus	https://www.scopus.com/
База данных Web of Science	http://www.webofscience.com/
База данных компании Springer Customer Service Center GmbH	http://link.springer.com/ http://www.springerprotocols.com/ http://materials.springer.com/ http://zbmath.org/ http://npg.com/
Научная библиотека Пермского национального исследовательского политехнического университета	http://lib.pstu.ru/
Электронно-библиотечная система Лань	https://e.lanbook.com/
Информационные ресурсы Сети КонсультантПлюс	http://www.consultant.ru/

7. Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине

Вид занятий	Наименование необходимого основного оборудования и технических средств обучения	Количество единиц
Лабораторная работа	Микротвердомер ПМТ-3	1
Лабораторная работа	Оптический микроскоп Axiovert-40MAT	1
Лабораторная работа	Оптический микроскоп МИМ-7	1
Лабораторная работа	Твердомер Ergotest	1
Лабораторная работа	Учебный лабораторный комплекс «Фемтоскан» (компьютерный класс)	1
Лабораторная работа	Энергодисперсионный рентгенофлуоресцентный спектрометр EDX-800HS	1
Лекция	Медиапроектор, ноутбук	1

8. Фонд оценочных средств дисциплины

Описан в отдельном документе

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
образования
**«Пермский национальный исследовательский политехнический
университет»**
Передовая инженерная школа
«Высшая школа авиационного двигателестроения»

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ
для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине
«Технологии порошковой наплавки»
Приложение к рабочей программе дисциплины

Направление подготовки: 22.04.01 Материаловедение и технологии материалов

Направленность (профиль) образовательной программы: Материаловедение высокотемпературных материалов газотурбинных двигателей

Квалификация выпускника: «Магистр»

Форма обучения: Очная

Курс: 2

Семестр: 3

Трудоёмкость:

Кредитов по рабочему учебному плану: 3 ЗЕ

Часов по рабочему учебному плану: 108 ч.

Форма промежуточной аттестации:

Зачет: 3 семестр

Пермь, 2022

Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине является частью (приложением) к рабочей программе дисциплины. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине разработан в соответствии с общей частью фонда оценочных средств для проведения промежуточной аттестации основной образовательной программы, которая устанавливает систему оценивания результатов промежуточной аттестации и критерии выставления оценок. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине устанавливает формы и процедуры текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.

1. Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине, объекты оценивания и виды контроля

Согласно РПД освоение учебного материала дисциплины запланировано в течение одного семестра (3-го семестра учебного плана) и разбито на 2 учебных модуля. В каждом модуле предусмотрены аудиторские лекционные и лабораторные занятия, а также самостоятельная работа студентов. В рамках освоения учебного материала дисциплины формируются компоненты компетенций *знать, уметь, владеть*, указанные в РПД, которые выступают в качестве контролируемых результатов обучения по дисциплине (табл. 1.1).

Контроль уровня усвоенных знаний, освоенных умений и приобретенных владений осуществляется в рамках текущего, рубежного и промежуточного контроля при изучении теоретического материала, сдаче отчетов по лабораторным работам и зачета. Виды контроля сведены в таблицу 1.1.

Таблица 1.1. Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине

Контролируемые результаты обучения по дисциплине (ЗУВы)	Вид контроля					
	Текущий		Рубежный		Итоговый	
	С	ТО	ПЗ	Т/КР		Зачёт
Усвоенные знания						
современные требования к исходным материалам и технологические возможности способов порошковой наплавки; зависимость свойств материалов и деталей от технологических факторов порошковой наплавки; принципы построения моделей и средств автоматизированного проектирования технологических процессов порошковой наплавки; критерии оценки технологичности и повышения эффективности применения оборудования порошковой наплавки		+		+		ТВ
Освоенные умения						
анализировать конструкторскую документацию на детали, получаемые порошковой наплавкой; прогнозировать влияние способов наплавки на формообразование и эксплуатационные свойства изделия; осуществлять оптимальный	+		+			ПЗ

выбор технологического оборудования для реализации режимов наплавки						
Приобретенные владения						
навыками анализа результатов экспериментальных технологических процессов порошковой наплавки			+			ПЗ

С – собеседование по теме; ТО – коллоквиум (теоретический опрос); КЗ – кейс-задача (индивидуальное задание); ОЛР – отчет по лабораторной работе; Т/КР – рубежное тестирование (контрольная работа); ТВ – теоретический вопрос; ПЗ – практическое задание; КЗ – комплексное задание дифференцированного зачета.

Итоговой оценкой достижения результатов обучения по дисциплине является промежуточная аттестация в виде зачета, проводимая с учётом результатов текущего и рубежного контроля.

2. Виды контроля, типовые контрольные задания и шкалы оценивания результатов обучения

Текущий контроль успеваемости имеет целью обеспечение максимальной эффективности учебного процесса, управление процессом формирования заданных компетенций обучаемых, повышение мотивации к учебе и предусматривает оценивание хода освоения дисциплины. В соответствии с Положением о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по образовательным программам высшего образования

- программам бакалавриата, специалитета и магистратуры в ПНИПУ предусмотрены следующие виды и периодичность текущего контроля успеваемости обучающихся:

- входной контроль, проверка исходного уровня подготовленности обучаемого и его соответствия предъявляемым требованиям для изучения данной дисциплины;

- текущий контроль усвоения материала (уровня освоения компонента «знать» заданных компетенций) на каждом групповом занятии и контроль посещаемости лекционных занятий;

- промежуточный и рубежный контроль освоения обучаемыми отдельных компонентов «знать», «уметь» заданных компетенций путем компьютерного или бланочного тестирования, контрольных опросов, контрольных работ (индивидуальных домашних заданий), защиты отчетов по лабораторным работам, рефератов, эссе и т.д.

Рубежный контроль по дисциплине проводится на следующей неделе после прохождения модуля дисциплины, а промежуточный – во время каждого контрольного мероприятия внутри модулей дисциплины;

- межсессионная аттестация, единовременное подведение итогов текущей успеваемости не менее одного раза в семестр по всем дисциплинам для каждого направления подготовки (специальности), курса, группы;

- контроль остаточных знаний.

2.1. Текущий контроль усвоения материала

Текущий контроль усвоения материала в форме собеседования или выборочного теоретического опроса студентов проводится по каждой теме. Результаты по 4-балльной шкале оценивания заносятся в книжку преподавателя и

учитываются в виде интегральной оценки при проведении промежуточной аттестации.

2.2. Рубежный контроль

Рубежный контроль для комплексного оценивания усвоенных знаний, освоенных умений и приобретенных владений (табл. 1.1) проводится в форме защиты практических заданий и рубежных контрольных работ (после изучения каждого модуля учебной дисциплины).

2.2.1. Защита лабораторных работ

Всего запланировано 4 ЛР. Типовые темы ЛР приведены в РПД.

Защита ЛР проводится индивидуально каждым студентом или группой студентов. Типовые шкала и критерии оценки приведены в общей части ФОС образовательной программы.

2.2.2. Рубежная контрольная работа

Согласно РПД запланировано 3 рубежные контрольные работы (КР) после освоения студентами учебных модулей дисциплины. Первая КР по модулю 1 «Основные понятия о физических и технологических процессах наплавки», вторая КР – по модулю 2 «Способы наплавки, применяемые для аддитивного производства», третья КР – по модулю 3 «Дефекты наплавленных деталей и причины их появления»

Типовые задания первой КР:

- 1) Классификация методов аддитивного производства.
- 2) Обобщенная схема операций при быстром прототипировании.
- 3) Методы аддитивного производства. Методы с участием жидкой фазы и твердофазные методы аддитивного производства.
- 4) Основные виды наплавки металла.

Типовые задания второй КР:

- 1) Способы наплавки, применяемые для аддитивного производства.
- 2) Плазменная наплавка.
- 3) Лазерная наплавка.
- 4) Электронно-лучевая наплавка.
- 5) Послойная наплавка (DMD- или LENS-технология).
- 6) Свойства наплавленного материала в сравнении со свойствами материала основы.
- 7) Структурные преобразования при наплавке.

Типовые задания третьей КР:

- 1) Проблемы трещинообразования при выращивании изделий с использованием лазерного излучения.
- 2) Субтрактивные технологии аддитивного производства.

2.3. Выполнение комплексного индивидуального задания на самостоятельную работу

Для оценивания навыков и опыта деятельности (владения), как результата обучения по дисциплине, не имеющей курсового проекта или работы, используется индивидуальное комплексное задание студенту.

Типовые шкала и критерии оценки результатов защиты индивидуального комплексного задания приведены в общей части ФОС образовательной программы.

2.4. Промежуточная аттестация (итоговый контроль)

Допуск к промежуточной аттестации осуществляется по результатам текущего и рубежного контроля. Условиями допуска являются успешная сдача всех лабораторных работ и положительная интегральная оценка по результатам текущего и рубежного контроля.

2.4.1. Процедура промежуточной аттестации без дополнительного аттестационного испытания

Промежуточная аттестация проводится в форме зачета. Зачет по дисциплине основывается на результатах выполнения предыдущих индивидуальных заданий студента по данной дисциплине.

Критерии выведения итоговой оценки за компоненты компетенций при проведении промежуточной аттестации в виде зачета приведены в общей части ФОС образовательной программы.

2.4.2.1. Типовые вопросы и задания для зачета по дисциплине

Типовые комплексные задания для контроля приобретенных владений (Приложение 1):

1. Выполнить расчет параметров автоматической наплавки под слоем флюса.
2. Выполнить анализ структуры материала, полученного SLM-методом по оцифрованному изображению.
3. Предложить варианты порошкового быстрого прототипирования.

2.4.2.2. Шкалы оценивания результатов обучения на зачете

Оценка результатов обучения по дисциплине в форме уровня сформированности компонентов *знать, уметь, владеть* заявленных компетенций проводится по 4-х балльной шкале оценивания.

Типовые шкала и критерии оценки результатов обучения при сдаче зачета для компонентов *знать, уметь и владеть* приведены в общей части ФОС образовательной программы.

3. Критерии оценивания уровня сформированности компонентов и компетенций

3.1. Оценка уровня сформированности компонентов компетенций

При оценке уровня сформированности компетенций в рамках выборочного контроля при зачете считается, что *полученная оценка за компонент проверяемой в билете компетенции обобщается на соответствующий компонент всех компетенций, формируемых в рамках данной учебной дисциплины.*

Общая оценка уровня сформированности всех компетенций проводится путем агрегирования оценок, полученных студентом за каждый компонент формируемых компетенций, с учетом результатов текущего и рубежного контроля в виде интегральной оценки по 4-х балльной шкале. Все результаты контроля заносятся в оценочный лист и заполняются преподавателем по итогам промежуточной аттестации.

Форма оценочного листа и требования к его заполнению приведены в общей части ФОС образовательной программы.

При формировании итоговой оценки промежуточной аттестации в виде зачета

используются типовые критерии, приведенные в общей части ФОС образовательной программы.

Вариант 1.

Расчет параметров режимов автоматической наплавки под слоем флюса

Таблица 1 – Зависимость силы тока от диаметра детали

Диаметр детали, мм	Сила тока А при диаметре электродной проволоки, мм	
	1,2-1,6	2-2,5
50-60	120-140	140-160
65-75	150-170	180-220
80-100	180-200	230-280
150-200	230-250	300-350
250-300	270-300	350-380

Скорость наплавки V_H , м/ч

$$V_H = \frac{\alpha_n \cdot I}{h \cdot S \cdot \gamma} \quad (1)$$

Частота вращения детали n , мин⁻¹

$$n = \frac{1000 \cdot V_H}{60\pi \cdot d} \quad (2)$$

Скорость подачи проволоки $V_{ПР}$, м/ч

$$V_{ПР} = \frac{4 \cdot \alpha_n \cdot I}{\pi \cdot d_{np}^2 \cdot \gamma} \quad (3)$$

Шаг наплавки S , мм/об

$$S = (2 \div 2,5) \cdot d_{ПР} \quad (4)$$

Вылет электрода δ , мм

$$\delta = (10 \div 12) \cdot d_{ПР} \quad (5)$$

Смещение электрода ℓ , мм

$$\ell = (0,05 \div 0,07) \cdot d \quad (6)$$

где α_n - коэффициент наплавки, г/А·ч (при наплавке постоянным током обратной полярности; $\alpha_n = 11—14$); h - толщина наплавленного слоя, мм; γ - плотность электродной проволоки, г/см³ ($\gamma = 7,85$); d_{np} - диаметр электродной проволоки, мм; I - сила тока, А; d - диаметр детали, мм.

Параметры режима наплавки подставлять в формулы без изменения размерностей.

Толщина покрытия h , мм, наносимого на наружные цилиндрические поверхности, определяется по следующей формуле:

$$h = \frac{I}{2} + z_1 + z_2 \quad (7)$$

где I - износ детали, мм; z_1 - припуск на обработку перед покрытием, мм (на сторону). Ориентировано $z_1 = 0,1 \dots 0,3$ мм; z_2 - припуск на механическую обработку после нанесения покрытия, мм (на сторону, см. табл.2).

Таблица 2 – Припуск на механическую обработку при восстановлении деталей различными способами

Способ восстановления	Минимальный припуск односторонний z_2 , мм
Ручная электродуговая наплавка	1,4...1,7
Наплавка под слоем флюса	0,8...1,1
Вибродуговая наплавка	0,6...0,8
Наплавка в среде углекислого газа	0,6...0,8
Плазменная наплавка	0,4...0,6
Аргонно-дуговая наплавка	0,4...0,6
Электроконтактная наплавка	0,2...0,5
Газотермическое напыление	0,2...0,6
Осталивание	0,1...0,20
Хромирование	0,05...0,1

В зависимости от необходимой твердости наплавленного слоя применяют следующие марки проволок и флюсов.

Наплавка проволоками Св-08А, Нп-30, Нп-40, Нп-60, Нп-30ХГСА под слоем плавленных флюсов (АН-348А, ОСЦ-45) обеспечивает твердость НВ 187-300. Использование керамических флюсов (АНК-18, ШСН) с указанными проволоками позволяет повысить твердость до (HRC-40-55) без термообработки.

Норма времени на выполнение наплавочных работ под слоем флюса и другими механизированными способами наплавки (T_H) складывается из следующих элементов затрат времени:

$$T_H = T_O + T_{BC} + T_{ДОП} + \frac{T_{ПЗ}}{n} \quad (8)$$

где T_O – основное время определяется по следующей формуле:

$$T_O = \frac{\pi \cdot d \cdot l}{1000 \cdot V_n \cdot S} \quad (9)$$

где l - длина наплавляемой поверхности детали, мм; n - количество наплавляемых деталей в партии, шт. (в учебных целях можно принять 7 – 22 шт.):

T_{BC} - вспомогательное время наплавки (в учебных целях для механизированных способов наплавки принимается равным 2 – 4 мин.); $T_{ДОП}$ - дополнительное время определяется по следующей формуле:

$$T_{ДОП} = \frac{(T_O + T_{BC}) \cdot K}{100} \quad (10)$$

где $K=10-14\%$ - коэффициент, учитывающий долю дополнительного времени от основного и вспомогательного; $T_{ПЗ}$ - принимается (в учебных целях) равным 16-20 мин.

Вариант 2.

Расчет режимов плазменной наплавки

При плазменной наплавке расчет таких параметров режима как скорость, частота вращения, толщина покрытий рекомендуется выполнять соответственно по формулам 1, 2, 7, принятых для расчета режима наплавки под слоем флюса.

Рациональное значение силы тока при плазменной наплавке находится в пределах 200-230 А. Коэффициент наплавки $a = 10-13$ г/А-ч.

Расход порошка определяется по формуле

$$Q = 0,1 \cdot v \cdot S \cdot h \cdot \gamma \cdot K_{II},$$

где Q - расход порошка, г/с; S - шаг наплавки, см/об ($S = 0,4-0,5$); h - толщина наплавленного слоя, мм; γ - плотность наплавленного металла, г/см³. Для порошковых твердых сплавов на железной основе $\gamma = 7,4$; для сплавов на никелевой основе $\gamma = 0,8$. K_{II} - коэффициент, учитывающий потери порошка, $K_{II} = 1,12-1,17$.

Норма времени рассчитывается по тем же формулам, что и при наплавке под слоем флюса. Полярность прямая. Наплавка осуществляется на установках для плазменного напыления (УМП-6, УПУ-3Д) и плазменной сварки (УПС-301), модернизированных под плазменную наплавку.