

РОСЖЕЛДОР
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Ростовский государственный университет путей сообщения»
(ФГБОУ ВО РГУПС)

Г.В. Даровской

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ
И ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ
ДЕТАЛЕЙ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Учебно-методическое пособие
к курсовому проектированию

Ростов-на-Дону
2017

УДК 621.791.92(07) + 06

Рецензент – кандидат технических наук, доцент А.С. Шапшал

Даровской, Г.В.

Технологические методы восстановления и повышения износостойкости деталей подвижного состава: учебно-методическое пособие к курсовому проектированию / Г.В. Даровской; ФГБОУ ВО РГУПС. – Ростов н/Д, 2017. – 47 с.

Изложена последовательность проектирования технологического процесса восстановления изношенных деталей подвижного состава, включающая выбор оборудования и оснастки, а также нормирование этих работ.

Предназначено для самостоятельной работы при выполнении курсового проектирования по дисциплине «Технологические методы восстановления и повышения износостойкости деталей подвижного состава» для студентов специальностей, связанных с эксплуатацией, производством и ремонтом подвижного состава железных дорог.

Одобрено к изданию кафедрой «Технология металлов».

Введение

Восстановление и упрочнение деталей является важной народнохозяйственной проблемой, позволяющей:

- сократить выпуск запасных частей;
- сократить расход металлов, трудо- и энергозатрат на изготовление новых деталей;
- повысить износостойкость;
- снизить себестоимость ремонта.

Долговечность и работоспособность восстановленных и упрочненных деталей зависит от рационально выбранного технологического процесса.

При восстановлении деталей подвижного состава необходимо:

- повышение качества восстанавливаемых деталей;
- повышение уровня механизации и автоматизации, снижение затрат труда и стоимости ремонта;
- разработка новых и совершенствование применяющихся способов восстановления деталей.

Восстановление изношенных деталей с соблюдением условий сопряжения производят путем изменения размеров – методом ремонтных размеров, либо восстановлением не только условий сопряжения, но и размеров. Первый способ требует в основном механической обработки; второй – применения различных способов восстановления геометрических размеров деталей, а также их возможного упрочнения.

Целью курсового проекта является изучение основных принципов выбора и разработки технологии восстановления и упрочнения деталей, получение инженерных навыков в проектировании технологической оснастки и приспособлений, ознакомление со справочной информацией и необходимой нормативной документацией.

При разработке технологического процесса должны быть рассмотрены следующие вопросы:

- выбор способа восстановления и упрочнения детали;
- выбор состава покрытия наплавочных материалов;
- определение основных параметров нанесения покрытия, наплавки;
- выбор технологического оборудования;
- выбор и проектирование оснастки, приспособлений;
- контроль качества восстанавливаемых деталей;
- нормирование и определение стоимости работ;
- технико-экономические расчеты.

В задачу курсового проектирования входит разработка технологической документации, а также могут входить вопросы исследовательского характера, касающиеся различных аспектов разрабатываемых технологий и оборудования, вопросы техники безопасности.

Выполняя курсовой проект, студент должен приобрести навыки проектирования в соответствии с требованиями стандартов ЕСТД, ЕСКД, научиться пользоваться технической литературой, нормативами, справочными материалами.

При составлении данных методических указаний использованы аналогичные материалы МГУПС, составленные доцентом В.В. Засыпкиным.

При выполнении курсового проекта студент должен проявить необходимую самостоятельность в решении технических задач.

Роль руководителя сводится к контролю направленности работы и сроков ее выполнения.

Наиболее важные для ж.д. транспорта способы восстановления и упрочнения деталей в зависимости от толщин наносимого слоя могут быть разделены на три группы.

Малые толщины

1.	Гальванические покрытия	ГП
2.	Вакуумное напыление	ВН
3.	Электроискровое наращивание	ЭН
4.	Газовая наплавка и напыление	РГ
5.	Электрометаллизация	ЭМ
6.	Плазменная наплавка и напыление	ПН

Средние толщины

1.	Электроконтактная наплавка и плакирование	ЭК
2.	Вибродуговая наплавка	ВД
3.	Ручная дуговая наплавка	РД
4.	Наплавка в среде CO ₂	ГН
5.	Наплавка порошковой проволокой	ПП
6.	Аргоно-дуговая наплавка	АД
7.	Наплавка ТВЧ	ТВЧ

Большие толщины

1.	Наплавка под флюсом проволокой сплошного сечения	АФ
2.	Наплавка под керамическим флюсом	КФ
3.	Наплавка электродной лентой	АФЛ
4.	Электрошлаковая наплавка	ЭШ

Ввиду сложности отражения в одном методическом указании всех указанных технологий восстановления и упрочнения деталей предлагается следующая система изложения этих материалов.

Рассматриваются ручная дуговая наплавка и механизированные способы дуговой наплавки как наиболее часто применяемые на железнодорожном транспорте (наплавка в CO₂, под флюсом плавным и керамическим,

порошковой проволокой). Все механизированные способы дуговой наплавки рассмотрены с единой позиции в общем виде. Далее приводятся справочные данные для выбора основных технологических параметров процесса. В приложении приведены подробные методики и примеры расчетов технологии наплавки плоских поверхностей и тел вращения.

Для разработки технологий других способов наплавки и упрочнения (ТВЧ, электрометаллизации, электроискрового наращивания, электроконтактной наплавки и др.) необходимо пользоваться специальной литературой, приведенной в настоящем пособии.

1 СОДЕРЖАНИЕ И ОБЪЕМ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Курсовой проект состоит из расчетно-пояснительной записки и графической части.

Пояснительная записка объемом 30-40 страниц должна содержать:

- краткую характеристику изношенной детали, условия ее работы и пары трения, в состав которой она входит, а также характеристику материала детали;
- основные технические требования к восстанавливаемой поверхности, программу ремонта;
- обоснование и выбор способа восстановления и упрочнения;
- определение основных технологических параметров процесса, состава наплавочных материалов;
- выбор технологического оборудования и оснастки;
- контроль качества восстановленной и (или) упрочненной детали;
- расчет экономической эффективности восстановления детали;
- вопросы техники безопасности и охраны окружающей среды;
- список используемой литературы.

В приложении необходимо привести карту технологического процесса.

Объем графической части 3...4 листа формата А1, включая технологическую карту.

Графическая часть проекта должна содержать:

1 лист. Чертеж детали и сборочной единицы с указанием изношенной поверхности, предназначенной для восстановления, материала вида термической обработки, твердости и т.п. Эскиз пары трения, в состав которой входит восстанавливаемая деталь, необходимые технические требования.

2 лист. Технические характеристики (в виде таблиц) возможных способов восстановления детали. Схема технологического процесса ремонта детали.

3 лист. Технологическая оснастка и приспособления для наплавки или нанесения покрытий на восстанавливаемую деталь.

4 лист. Маршрутная технологическая карта ремонта детали. Графический материал, отражающий исследовательскую часть проекта.

Примечание: Для проектов исследовательского характера или конструкторских разработок перечень листов графической части определяет консультант.

2 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИЗНОШЕННОЙ ДЕТАЛИ

2.1 Назначение детали, условия ее работы, основные требования к ее механическим и другим свойствам

Выполнение работы начинается с изучения восстанавливаемой детали, ее конструкции и пары трения в целом, особенностей эксплуатации.

Определяется доминирующий характер износа, браковочные признаки, особенности износа и программа ремонта.

В табл. 1 приведена классификация основных видов изнашивания (условий работы) деталей различного назначения.

При выполнении этого раздела необходимо пользоваться специальной литературой (например, описание конструкций деталей и сборочных единиц вагонов, локомотивов и т.д.), а также техническими условиями, инструкциями по восстановлению и ремонту и другой литературой.

Существуют и другие виды износа деталей и разрушения: различные коррозионно-механические повреждения, термическая усталость и др.

В практике детали подвергаются одновременно нескольким видам износа. Поэтому очень важно определить доминирующий износ.

Необходим анализ свойств материала детали и сопрягаемой поверхности, характеристики основного металла, оценка его свариваемости, вид термической обработки детали, требование к точности размеров, состоянию поверхности и т.д.

2.2 Характеристика материала детали

Свойства и химический состав материала восстанавливаемой детали влияют на выбор способа нанесения покрытия.

Детали изготавливаются из различных марок сталей, чугунов, сплавов, цветных металлов.

Таблица 1

Виды изнашивания деталей

№ п/п	Условия работы деталей	Вид изнашивания	Примеры изнашиваемых деталей
1.	Скольжение деталей в абразивной среде	Абразивный износ	Детали почвообрабатывающих, строительных и дорожных машин
2.	Трение металла по металлу с абразивом без смазки	Абразивное изнашивание сопряженных пар трения	Валы, оси, фрикционные клинья вагонов
3.	Абразивный износ, сопровождающийся ударами	Ударно-абразивное изнашивание	Зубья экскаваторов, детали дробильных машин
4.	Скольжение в жидкой (газообразной) среде с абразивами	Гидроабразивное (газоабразивное) изнашивание	Детали насосов, смесителей, насосов землечерпалок
5.	Трение металла по металлу со смазкой	Изнашивание сопряженных пар	Валы, оси
6.	Качение металла по металлу	Изнашивание при трении качения	Подшипники качения, колесные пары
7.	Вырывание частиц металла из контактирующих поверхностей	«Схватывание»	Шестерни зубчатых передач, подшипники скольжения
8.	Истирание поверхности твердыми частицами газового потока	Газовая эрозия	Трубы экономайзеров, лопатки дымососов
9.	Трение металлических поверхностей с тонким слоем смазки	Износ при граничном трении, контактная усталость	Зубья шестерен
10.	Воздействие гидравлических потоков	Кавитационный износ	Трубопроводы, гребные винты
11.	Возникновение коррозионных повреждений на контактных поверхностях	Коррозия при трении (фреттинг-коррозия)	Болтовые и заклепочные соединения

Возможность применения различных методов дуговой наплавки обуславливает учет такого свойства металлов как свариваемость, т. е. склонность металла к образованию горячих и холодных трещин при наплавке, чувствительность к термическому циклу и ряд других свойств. Эти свойства материала определяют возможное усложнение технологического процесса для получения необходимого качества наносимого слоя. Так, при увеличении содержания углерода в стальной детали выше 0,25% перед наплавкой необходим предварительный подогрев детали на 200-250⁰С. В некоторых случаях необходима термическая обработка после наплавки. Иногда необходима дополнительная защита свариваемого металла от окисления в процессе сварки или наплавки.

Типы и свойства наплавленного металла

Разнообразие условий работы наплавливаемых деталей вызывает необходимость детально отбирать наплавленный металл по химическому составу и другим различным его свойствам.

Выбор металла того или иного типа должен быть уточнен на основе лабораторных и промышленных испытаний.

Существует американская классификация наплавленных металлов по общему количеству легирующих примесей. В СССР была принята классификация наплавленного металла по характерным группам /13/:

- низколегированные и углеродистые стали;
- высокомарганцовистые аустенитные стали;
- хромоникелевые и хромоникельмарганцевые аустенитные и аустенитно-ферритные стали;
- хромистые, хромовольфрамовые и хромомолибденовые стали;
- высокохромистые чугуны;
- дисперсионно твердеющие сплавы на основе железа;
- медные сплавы;
- никелевые сплавы;
- хромокобальтовые сплавы (стеллиты);
- композиционные наплавочные сплавы.

В группе сталей медные сплавы рассматриваются в связи с изготовлением биметаллических деталей наплавкой бронзы на сталь взамен литых деталей из медных сплавов.

Композиционные наплавочные сплавы состоят из матрицы и твердых частиц, которые подготовлены заранее и вводятся в матрицу в процессе наплавки. Матричный сплав должен связывать эти частицы путем спаивания. Наплавку композиционных сплавов производят таким образом, чтобы предотвратить растворение зерен карбидов в матричном сплаве.

Наплавленный металл обычно маркируется по правилам маркировки легированных сталей. Например, для первой группы – 10Г2, 15Г2ХС; для второй – 60Х3, 70Х3СМН; для третьей – Г13, Г13Н4, Г13Х4Н3.

В работах /13, 25/ приведено около 50 типов наплавленного металла, относящихся к рассмотренным ранее группам.

Тип наносимого металла и его свойства в известной мере определяет и способ его нанесения.

2.3 Выбор и обоснование способа восстановления и упрочнения деталей

Это основной вопрос при разработке технологического процесса восстановления детали, целью которого является возвращение детали утраченной работоспособности оптимальным способом, обеспечивающим долговечность детали при наименьшей стоимости ее восстановления.

При выборе способа восстановления используют три критерия: применимости, долговечности и технико-экономической эффективности.

Критерий применимости. Это технологический критерий. Он характеризует применимость данного способа восстановления к конкретным деталям в зависимости от их конструктивно-технологических особенностей.

К этим особенностям относятся:

- форма поверхности;
- размеры детали;
- толщина стенки в месте наплавки;
- величина износа;
- материал детали и ее термическая обработка, свариваемость;
- характер и величина эксплуатационных нагрузок;
- шероховатость поверхности и точность изготовления;
- твердость поверхности;
- требуемое количество наплавленного металла;
- производительность восстановления;
- программа ремонта.

Критерий применимости является предварительным, он позволяет наметить один или несколько способов восстановления данной детали.

В зависимости от конструктивно-технологических особенностей, детали могут быть разделены на классы или группы. По классификации, применяемой в автомобильной промышленности, все детали разделены на 11 классов.

Некоторые детали ремонтируют путем замены части детали, а некоторые не подлежат ремонту и их заменяют новыми.

После выбора способа или группы способов по критерию применимости проводится оценка этих способов по критерию долговечности.

Пример выбора способа восстановления вала

Класс детали	Наблюдаемые дефекты	Возможные способы восстановления
Валы	Износ шеек под подшипники	Наплавка под флюсом в среде защитных газов, контактная наплавка, вибродуговая наплавка, электроискровое наращивание, хромирование, железнение, плазменная металлизация
	Износ резьбы	Наплавка под флюсом и в защитных газах
	Износ шлицов	То же, замена детали (или ее части)
	Погнутость (деформация)	Правка

Критерий долговечности. По этому критерию производится оценка способов восстановления деталей с точки зрения обеспечения работоспособности.

Основное техническое требование долговечности: минимальный ресурс восстановленной детали должен быть не меньше межремонтного ресурса работы машины. Главными здесь являются эксплуатационные свойства способов восстановления деталей.

К этим свойствам относятся:

- прочность сцепления основного и наплавленного металла;
- износостойкость;
- сопротивление поверхностных слоев усталостным разрушениям;
- коррозионная стойкость.

Количественные показатели этих свойств зависят от способа восстановления.

Окончательный выбор рационального способа восстановления осуществляется на основе критерия технико-экономической эффективности.

Критерий технико-экономической эффективности. Он устанавливает целесообразность того или иного способа восстановления деталей и может быть определен как $C_n \geq \frac{C_B}{K}$,

где C_n – стоимость новой детали;

C_B – стоимость восстановления детали;

K – коэффициент долговечности восстановленной детали.

То есть определение этого критерия сводится к расчету себестоимости восстановления деталей и определению коэффициента долговечности. Последний определяется на основе анализа эксплуатационных свойств покрытия.

Например, для вала, работающего на износ, при знакопеременной нагрузке в паре с подшипником скольжения, имеющим рабочий слой баббита, K принимает следующие значения:

- 1,0 - 1,25 – при хромировании;
- 0,85 - 1,0 – при железнении;
- 0,8 - 1,0 – при металлизации;
- 0,8 - 0,9 – при вибродуговой наплавке;
- 0,85 - 0,9 – при наплавке под флюсом или в CO_2 .

Чем ниже K , тем ниже должна быть себестоимость ее восстановления. При $K > 1$ рациональными могут быть и способы восстановления с высокой себестоимостью.

Способы нанесения слоя металла на поверхность детали Восстановление и упрочнение

Классификация способов нанесения слоя металла приведена на рис. 1, а способов упрочнения – на рис. 2.

Наибольшей производительностью характеризуется способ прикрепления элемента с необходимыми свойствами к поверхности детали. Чаще всего такой элемент приваривается дуговой сваркой. При нанесении на деталь расплавленного металла ее обычно предварительно подогревают.

Наиболее распространенными способами нанесения металла являются наплавка и напыление.

Наплавка и напыление преследуют две технологических цели: восстановление геометрических размеров детали и получение поверхностного слоя с особыми свойствами. Эти цели могут быть достигнуты либо комбинацией способов (один способ обеспечивает восстановление геометрии детали, другой – ее упрочнение), либо применением одного способа, выполняющего обе эти функции.

Оплавление шихты или пасты производится как наружным (газовое пламя, дуга), так и внутренним источником теплоты (токами высокой частоты).

Нанесение относительно тонкого слоя расплавленного металла может осуществляться металлизацией и плазменным напылением. Эти процессы сопровождаются механическим воздействием наносимого металла на поверхность детали. Особую группу составляет вакуумное напыление. Оно может служить для получения износостойких и антифрикционных, а также коррозионностойких и декоративных покрытий. Находят применение и различного рода гальванические покрытия.

Для железнодорожной техники в деповских и заводских условиях наибольшее значение имеют дуговая наплавка – ручная, в защитных газах, под флюсом и порошковой проволокой.

Каждый из рассмотренных способов восстановления и упрочнения детали имеет разновидности. Например, металлизация в зависимости от источника нагрева подразделяется на газовую, дуговую и детанационную.

Электроискровое наращивание занимает промежуточное положение между наплавкой и напылением и условно отнесено нами к наплавке.

Помимо основных или базовых способов возможны комбинированные способы нанесения покрытий. Например, плазменное напыление или металлизация с последующим дуговым оплавлением нанесенного слоя.

Каждая группа способов имеет свои преимущества и недостатки, рациональную область применения. В случае возникновения альтернативы (возможность применения нескольких из указанных способов) необходимо провести сравнительный технико-экономический анализ и определить оптимальный для данных конкретных условий способ нанесения металла на поверхность детали (заготовки).

Рациональные способы нанесения покрытий приведены в табл. 3.

2.4 Разработка технологического процесса ремонта изношенной детали

После выбора способа восстановления изношенной поверхности детали необходимо разработать принципиальную схему технологического процесса ее восстановления. Технологический процесс восстановления изношенной детали состоит из подготовительных операций, операций нанесения покрытия, последующей термической и механической обработки, а также контрольных операций.

В ремонтном производстве после разборки узла машины детали подлежат очистке, мойке и дефектации. При дефектации выявляются дефекты: трещины, сколы, износ. При наличии износа, превышающего допустимый, деталь может направляться на восстановление. При неравномерном износе может производиться предварительная механическая обработка восстанавливаемой поверхности.

Важным этапом является подготовка детали для нанесения покрытия в зависимости от способа его нанесения. Так, перед наплавкой осуществляют защиту отверстий шпоночных пазов и других поверхностей медными или графитовыми заглушками, асбестом. Для защиты от брызг детали покрывают эмульсиями.

Перед нанесением газотермических покрытий металлизацией для повышения прочности сцепления покрытия с основным металлом проводится дробеструйная обработка, а в некоторых случаях – нанесение «рваной резьбы» или подслоя.

Для деталей, обладающих пониженной свариваемостью ($C_s \geq 0,45\%$), для предотвращения трещин перед наплавкой рекомендуется ввести операцию предварительного подогрева до $T = 250 - 350^{\circ}\text{C}$. После нанесения покрытия при необходимости производится термическая или химико-термическая обработка. Завершающей является механическая обработка для получения чертежного размера восстанавливаемой детали.

Технологические характеристики методов нанесения покрытий приведены в табл. 4.



Рис. 1

* Все указанные способы могут быть и способами упрочнения детали..



* указанные способы являются одновременно способами восстановления деталей

Рис. 2

Таблица 3

Рациональные способы нанесения покрытий в зависимости от материала, термической обработки, величины износа и толщины детали

Материал и термическая обработка	Толщина детали в месте восстановления, мм															
	≤1		≤5			≤20			20...50			>50				
	Износ, мм (не более)															
	0,3	1,0	0,3	1,0	2,0	0,3	1,0	2,0	10,0	1,0	2,0	10,0	>10	2,0	10,0	>10
Низколегированная <0,4% С без ТО	ГП	ГП	РГ	РГ	ВД	ГП	ВД	РД	АФ	ВД	РД	АФ	АФ	РД	АФ	ЭШ
	ВН	ВН	ЭМ	ЭМ	ПН	ВН	ПН	АД	АФЛ	ПН	АД	РД	ПП	АД	ПП	АФ
	ЭН	ЭН	ПН	ПН		ЭН		ГН	КФ	ЭМ	ПН	АД	ЭШ	ГН	ГН	ПП
			ЭК	ЭК	ТВЧ	ЭК	ТВЧ		ПП			ГН		ПП	КФ	
				ВД								ПП				

Примечание:

1. Для деталей с содержанием углерода до 0,45% и легирующих элементов термическая обработка, как правило, не проводится;
2. Для деталей с содержанием углерода 0,45...1% и суммарным содержанием легирующих элементов до 6% и 6...13% применяют закалку с низким отпуском;
3. При выборе рационального способа восстановления деталей могут учитываться и другие факторы.

Таблица 4

Технологические характеристики способов (методов) нанесения покрытий

Способ нанесения покрытия	Производительность		Толщина наносимого покрытия, мм	Припуск на механическую обработку	Доля ОМ в НМ, %	Проч-ость сцепления, МПа	Деформация детали	Твердость HRC	Минимальный диаметр восстанавливаемой детали	Снижение сопротивления усталости
	кг/ч	см ³ /мин								
<i>Наплавка</i>										
Ручная газовая	0,15-1,5	1-3	0,4-3	0,4-0,8	5-30	480	значит.	18-42		25
Ручная дуговая	0,4-2,5	8-14	0,5-4	1,1-1,7	20-40	500	значит.	20-63		30
Наплавка под флюсом	2-15	16-24	3-10	0,8-1,5	27-60	650	значит.	17-60	45	15
Наплавка в СО ₂	1,5-4,5	18-36	0,5-3,5	0,7-1,3	12-45	550	значит.	20-62	15	15
Порошковой проволокой	2-9	16-36	1-7	0,6-1,2	12-35	600	значит.	18-60	20	15
Плазменная	1-2	45-72	0,2-5	0,4-0,9	5-30	490	незнач.	22-70	12	12
Аргонодуговая	0,3-3,6	12-26	0,2-2,5	0,4-0,9	6-25	450	незнач.	20-62	12	25
<i>Напыление</i>										
Газопламенное	0,4-4	35-80	0,2-2	0,3-0,7	отс.	25	отсутст.	20-48	-	30
Плазменное	0,8-12	40-90	0,2-2	0,03-0,06	отс.	45	отсутст.	18-63	10	25
<i>Гальваническое покрытие</i>										
Хромом	0,07-0,008	40-60	0,01-0,33	0,03-0,06	отс.	450	отсутст.	35-72	5	20
Железом	0,011-0,9	100-150	0,1-0,3	0,15-0,2	отс.	400	отсутст.	21-62	12	25

2.5 Выбор оптимального состава наносимого материала

Износостойкость и долговечность восстанавливаемой детали определяется составом и структурой покрытия (поверхностного слоя).

Выбор состава материала покрытия зависит от вида износа, условий работы детали. Кроме того, необходимо учитывать технологичность нанесения покрытия, его последующую механическую обработку.

Для восстановления изношенных деталей применяются различные материалы: штучные электроды для ручной дуговой наплавки, проволоки и ленты сплошного сечения, порошковые проволоки и ленты, порошковые материалы для наплавки и напыления, керамические ленты и прутки, флюсы плавные и керамические, различные защитные газы /19, 20/.

Различные марки этих материалов позволяют получить различный состав и структуру восстановленной поверхности детали для различных условий ее эксплуатации. Вид материала выбирается с учетом способа его нанесения.

При выборе материала для наплавки необходимо учитывать долю участия основного металла в наплавленном слое γ_0 и коэффициенты перехода легирующих элементов.

$$\gamma_0 = \frac{F_{\text{пр}}}{F_{\text{пр}} + F_{\text{н}}},$$

где $F_{\text{пр}}$ и $F_{\text{н}}$ – площади проплавления и наплавки.

$$C_{\text{н}} = C_{\text{ом}} \gamma_0 + C_{\text{эл}} (1 - \gamma_0),$$

где $C_{\text{н}}$ – исходное содержание элемента в наплавленном металле;

$C_{\text{ом}}$ – содержание элемента в основном металле;

$C_{\text{эл}}$ – содержание элемента в металле электрода.

При дуговой наплавке чистый наплавленный металл появляется лишь в 4 - 5 слоях.

При взаимодействии расплавленного металла с окружающей средой происходит окисление и выгорание элементов в процессе горения дуги. Это учитывается коэффициентом перехода легирующих элементов в наплавленный металл

$$C_{\text{ф}} = \eta_{\text{п}} \cdot C_{\text{н}},$$

где $C_{\text{ф}}$ – фактическое содержание легирующего элемента;

$\eta_{\text{п}}$ – коэффициент перехода.

При многослойной наплавке количество искомого легирующего элемента будет увеличиваться в соответствии с уменьшением γ_0 .

Значения $\eta_{\text{п}}$ приведены в табл. 5.

Коэффициенты перехода легирующих элементов

Способ наплавки	$\eta_{п}$					
	С	Mn	Si	Cr	Mo	Ti
Покрытыми электродами	0,1	0,5	0,2	0,75	0,85	-
Флюс АН-348А	0,8	0,76	2,9	0,67	0,76	0,19
Флюс АН-20	1,0	0,66	2,2	0,88	0,9	0,3
Наплавка в CO ₂	0,71	0,55	0,37	-	-	-

Состав наносимого при наплавке покрытия можно изменить с помощью различных методов легирования (рис. 3).

2.6 Определение основных параметров технологического процесса

Режим нанесения покрытия характеризуется совокупностью основных технологических параметров, обеспечивающих получение слоя заданных размеров, формы и качества. Режим определяется расчетным путем или по справочным данным.

Следует отметить, что для всех механизированных способов дуговой сварки и наплавки (сварки под флюсом, в защитных газах, порошковой проволокой) может быть применена единая методика расчетов.

Основными технологическими параметрами процесса дуговой наплавки являются: диаметр электрода, ток, скорость подачи электрода, напряжение на дуге, скорость наплавки. К дополнительным параметрам относятся: род и полярность тока, расход флюса и защитного газа, вылет электрода и смещение его от зенита при наплавке валов.

Ток определяется диаметром электрода и допустимой плотностью тока

$$I = \frac{\pi d_{э}^2}{4} \cdot j,$$

где j – допустимая плотность тока, А/мм².

При ручной дуговой сварке и наплавке плотность тока изменяется от 8,5 до 15 А/мм². Для сварки и наплавки под флюсом плотность тока изменяется от 20 до 65 А/мм² – для электрода диаметром 2,0 мм, и от 60 до 35 А/мм² – для электрода диаметром 6,0 мм. Для наплавки в углекислом газе электродом диаметром 0,8 - 2,0 мм применяются плотности тока от 300 – 200 А/мм² до 60 - 50 А/мм².

Для ручной дуговой сварки и наплавки ток выбирается в зависимости от диаметра электрода по эмпирическим формулам:

$$I = (35 \dots 60) d_{э}, \text{ или } I = (20 + 6 d_{э}) d_{э},$$

и далее уточняется по паспорту электрода. В свою очередь, диаметр электрода выбирается в зависимости от толщины наплавляемого слоя.

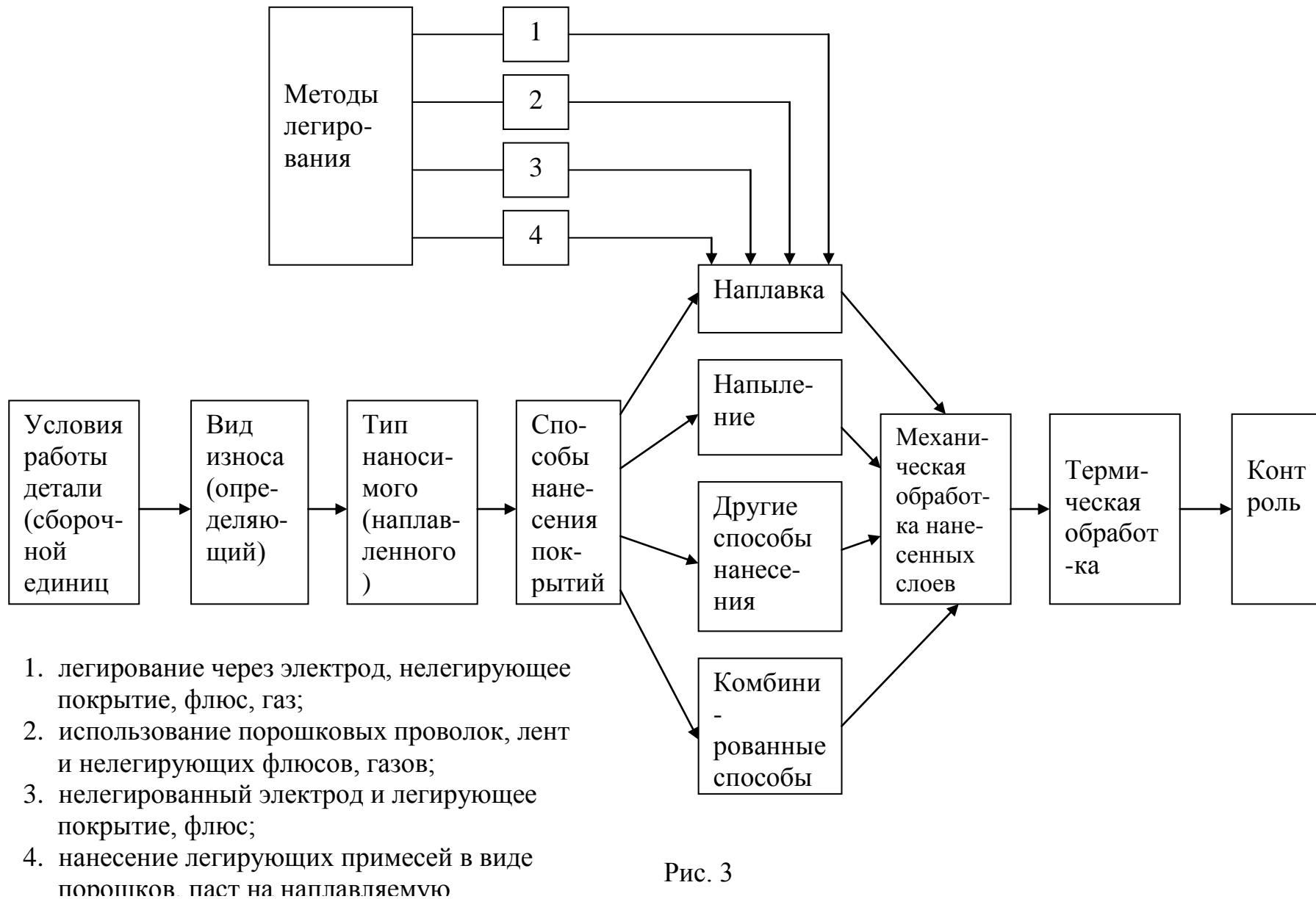


Рис. 3

Таблица 6

Зависимость диаметра электрода от толщины наплавляемого слоя

Толщина наплавляемого слоя, мм	2-3	3-4	4-5	5-6	свыше 6
Диаметр электрода, мм	2,0	2-3	3-4	4-5	5

При наплавке деталей небольшой толщины ток должен быть ограничен для предотвращения прожогов.

Глубина проплавления a связана с током соотношением

$$I = \frac{a}{K_a} \cdot 100 \text{ А},$$

где K_a – коэффициент, зависящий от условий проведения сварки. Значения K_a приведены в табл. 7.

Таблица 7

Зависимость коэффициента K_a от режима сварки

Флюс	Диаметр электрода	K_a , мм/100А		
		Переменный ток	Постоянный ток	
			прямая полярность	обратная полярность
ОСЦ-45	2	1,3	1,15	1,40-1,45
	3	1,10-1,15	0,95	1,30-1,25
АН-348А	4	1,0	0,85	1,10-1,15
	5	0,95	0,75	1,05-1,10

Для сварки в CO_2 током обратной полярности K_a больше, чем при сварке под флюсом на 10-15%.

Необходимо, чтобы $a < (0,5 \dots 0,7)S$,

где S – толщина детали в месте наплавки.

Диаметр электрода для механизированной наплавки под флюсом может составлять 1,6-5,0 мм, а для наплавки в CO_2 – 0,8-2,0 мм. Для механизированной наплавки порошковой проволокой диаметр ее может составлять 1,4 - 3,0 мм.

Зная ток и диаметр электрода, можно определить коэффициенты расплавления и наплавки. Для РДН значение коэффициента наплавки может быть получено из паспорта электрода, а коэффициент расплавления найден по формуле

$$\alpha_p = \frac{\alpha_n}{1 - \Psi},$$

где Ψ – коэффициент потерь. Ψ можно принять равным 0,1.

Для механизированных способов наплавки значения α_p и α_n могут быть получены из эмпирических формул. При наплавке под флюсом АН-348А на обратной полярности $\alpha_p = \alpha_n = 11,6 \pm 0,4 \text{ г/А} \cdot \text{ч}$.

Для механизированных способов наплавки скорость подачи электрода определяется сварочным током и коэффициентом расплавления электрода

$$V_n = \frac{4 \alpha_p I}{\pi d_{\text{э}}^2 \rho}, \text{ м/ч,}$$

где ρ – плотность металла, г/см³,

$d_{\text{э}}$ – диаметр электрода, мм,

α_p – коэффициент расплавления, г/А · ч.

Напряжение на дуге обычно для РДН составляет 20-25 В и выбирается из паспорта электрода. Для сварки под флюсом U_d зависит от тока и определяется по эмпирической формуле

$$U_d = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{d_{\text{э}}^{0,5}} I_c \pm 1, \text{ В.}$$

Отношение ширины шва e к глубине проплавления a называется коэффициентом формы глубины проплавления $\Psi_{\text{пр}}$ /23/

$$\Psi_{\text{пр}} \approx (19 - 0,01 \cdot I) \frac{d_{\text{э}} U_d}{I}.$$

Для наплавки под флюсом $d_{\text{э}} = 2,0$ мм, $\Psi_{\text{пр}} = 1,7-6,0$.

По $\Psi_{\text{пр}}$ можно определить площадь проплавления

$$F_{\text{пр}} = \frac{\pi \cdot \Psi_{\text{пр}} \cdot a}{4}.$$

Масса наплавленного металла определяется по формуле

$$G_n = F_n' \cdot h_n \rho,$$

где F_n' – площадь наплаваемой поверхности детали;

h_n – толщина наплаваемого слоя.

Для наплавки серии валиков

$$G_n = F_n L \cdot \rho \cdot n_v,$$

где F_n – площадь сечения единичного валика;

L – длина валика;

n_v – количество наплавленных валиков.

$$F_n = 0,75 e \cdot q.$$

Для угловых швов $F_n = \frac{K_y K^2}{2},$

где K_y – коэффициент увеличения площади, $K_y = 1,1 - 1,3$.

Время горения дуги определяется по формуле

$$t_{\text{гд}} = \frac{G_n}{\alpha_n \cdot I}.$$

Зная F_n и $F_{\text{пр}}$, можно определить долю участия основного металла в наплавленном

$$\gamma_0 = \frac{F_{\text{пр}}}{F_{\text{пр}} + F_{\text{н}}} .$$

Скорость наплавки определяется по формуле

$$V_{\text{н}} = \frac{F_{\text{э}} V_{\text{н}}}{F_{\text{н}}} , \text{ м/ч} .$$

Значения $F_{\text{н}}$ и $F_{\text{пр}}$ принимаются в мм^2 , а $V_{\text{н}}$ – в м/ч.

Определение вылета электрода $h_{\text{э}}$

Таблица 8

Зависимость вылета электрода от его диаметра для наплавки под флюсом

$d_{\text{э}}$, мм	1,6-2,0	2,5-3,0	4,0-6,0
$h_{\text{в}}$, мм	15-25	20-40	30-60

Таблица 9

Зависимость вылета электрода от его диаметра для наплавки в CO_2

$d_{\text{э}}$, мм	0,5-0,8	1,0-1,4	1,6-2,0
$h_{\text{в}}$, мм	7-10	8-14	12-20

2.7. Справочные данные по режимам наплавки

Режимы наплавки цилиндрических деталей под флюсом и в CO_2 приведены в табл. 10 и 11.

Таблица 10

Режимы наплавки тел вращения под флюсом

Диаметр, мм		Режим наплавки					
детали	электро- да	Ток $I_{\text{д}}$, А	Напря- жение $U_{\text{д}}$, В	Скорость, м/ч		Шаг наплав- ки S , мм/об	Смеще- ние с зенита Δ , мм
				подачи электрода $V_{\text{п}}$	наплав- ки $V_{\text{н}}$		
50-60	1,2-1,6	110-130	25-28	75-80	16-24	4	4-5
60-75	1,6-2,0	120-150	26-29	110-115	15-28	4	5-6
75-100	2,0	130-180	26-29	125-130	16-32	4	5-7
100-200	2-3	220-250	27-30	160-170	16-32	4-5	8-10
200-300	2-3	250-280	27-30	180-190	16-36	5-6	10-15

Таблица 11

Режимы наплавки тел вращения в CO₂

Диаметр детали, мм	Диаметр электрода, мм	Сварочный ток, А	Напряжение на дуге, В	Смещение электрода, мм	Вылет электрода, мм	Расход углекислого газа, л/мин
20	0,8	90-110	18-19,5	3-5	8	6
30	0,8	90-110	18-19,5	3-5	8	6
40	1,0	100-130	19-20	5	10	7
50	1,2	120-150	19-21	5-8	12	7
80	1,2	120-150	19-21	6-8	12	8
90	1,6	150-180	21-22	-	15	12
120	2,0	170-200	22-23	-	15-20	15-20

При наплавке по винтовой линии шаг наплавки составляет 2-6 мм. Скорость наплавки $V_n = 15-35$ м/ч.

Таблица 12

Рекомендуемые режимы вибродуговой наплавки стальных деталей

Диаметр детали D, мм	Толщ. слоя δ , мм	Диаметр электр. провол. d_3 , мм	Сила тока I_n , А	Скорость наплавки V_{np} , м/мин	Шаг напл., мм/об	Расх. охл. жидк., л/мин	Ампл. вибр. электрода, мм	Примечание
20	0,5	1,6	120-150	2,2	1,1	0,2	1,5	Среднее напряж. на дуге $U_d=17-19$ В
40	0,7	1,6	120-150	1,2	1,3	0,4	1,8	
60	1,1	2	150-210	1,0	1,6	0,5	2,0	
80	1,5	2	150-210	0,6	1,8	0,6	2,0	
100	2,5	2,5	150-210	0,3	2-3	0,7	2,0	

Таблица 13

Режимы электроконтактной наплавки наружных поверхностей цилиндрических деталей

Проволока	Диаметр проволоки, мм	Ток, кА	Время, с		Усилие, кгс	Скорость наплавки, м/мин	Шаг, мм/об
			импульс	пауза			
Нп 65	2,0	8,5-10	0,02	0,06	130	1,8-2,0	2,0-2,2
	1,6	7-8	0,02	0,06	110	1,8-2,0	1,6-1,8
Св-08	2,5	8,5-10	0,02	0,06	150	1,8-2,0	2,5-2,8
	1,6	7-8	0,02	0,06	110	1,8-2,0	1,6-1,8
	1,6	5-6	0,04	0,08	110	1,6-1,8	1,6-1,8

Оптимальные параметры режима электроконтактной наплавки при восстановлении валов из стали 45 диаметров 30 - 60 мм порошками ПГ-СР2, ПГ-УС25, Х18Н10Т: $I = 10$ кА, $P = 150$ кгс, $t = 0,08$ с.

При электроконтактной наплавке чугунных валов порошком ПР-НП143 опытными параметрами режима являются: $I = 10,5$ кА, $P = 150$ кгс, $t = 0,06-0,08$ с. Шаг наплавки для всех указанных случаев составляет 2,75 мм/об. Размер частиц порошков 20 - 250 мкм.

Таблица 14

Режимы электроконтактной наплавки металлической лентой

Параметр	Детали	
	корпусные	типа вала
Сила тока, кА	7,8-8	16,1-18,1
Продолжительность импульса тока, с	0,12-0,8	0,04-0,08
Продолжительность паузы, с	0,08-0,1	0,1-0,12
Скорость наплавки, м/мин	0,05	0,7-1,2
Сила сжатия электродов, кгс	170-225	130-160
Марка стали ленты	20	40, 45, 50
Расход охлаждающей жидкости, л/мин	0,5-1	1,5-2

Таблица 15

Режимы наплавки некоторыми порошковыми проволоками и лентами

Марка	Диаметр и сечение, мм	Сила тока I_n , А	Напряжение U_d , В	Скорость наплавки $V_{нп}$, м/ч	Примечание
ПП-АН122	2,6	320-360	25-27	19-22	Подогрев 250-300 ⁰ С
ПП-АН103 ПП-АН104	3,6	380-400	28-32	25-35	
ПП-АН125	3,2	400-420	28-32	18-25	
ПП-АН135	3,2	380-240	30-34	8-12	
ПП-АН105	2,8	220-240	20-22	20-30	
ПП-АН108	2,8	260-320	24-26	18-25	
ПП-АН170	3,2	400-420	30-32	8-12	
ПП-АН138	2,6	260-280	24-26	15-18	
ПЛ-АН101	20x4	700-750	28-30	40-45	
ПЛ-АН171	20x4	700-1000	28-34	20-50	
ПП-У10Х4Г2Р	3,2	250-320	22-24	30-40	
ПЛ-У30Х30Г3ТЮ	45x3	900-950	33-35	15-18	
ПП-ТН250	2,6	280-340	24-26	15-25	
ПП-АН121	2,6	28 25	25-27	12-18	
ПП-АН120	3,6	350-420	28-30	12-18	
ПЛ-АН128	20x4	600-1000	26-36	15-40	

2.8 Выбор технологического оборудования

Для РДС выбирают источники питания постоянного и переменного тока с падающими внешними характеристиками. Для механизированной и автоматической наплавки предпочтительнее источники питания с жесткими (пологопадающими) внешними характеристиками.

Технические характеристики сварочных трансформаторов, преобразователей и выпрямителей приведены в справочной литературе /3, 22/.

Для наплавки применяются как универсальные, так и специализированные автоматы стационарного и переносного типа /3, 13/.

Для механизированной полуавтоматической наплавки под флюсом и в углекислом газе применяются полуавтоматы А-547Р, ПДГ-304, ПДГ-500, ПДПГ-500, ПШ-54, ПДГО-501И и др. /3, 13/.

Для наплавки порошковой проволокой применяются полуавтоматы А-765, ПШ-54, А-1197П, ПДГО-50-10 /3, 13/.

Для газопламенного напыления применяются горелки типа ГН (ГН-1, ГН-2, ГН-3, ГН-4) и ГАЛ-6, установки и наплавочные станки.

Для плазменного напыления применяются установки УПУ и УМП (УПУ-3М, УПУ-3Д, УПУ-7, УМП-5-68, УМП-6), установка А-1612-У4, Киев-4.

Для электродуговой металлизации выпускаются установки КДМ-1, КДМ-2, состоящие из сварочного выпрямителя и ручного металлизатора ЭМ-14М. Выпускаются также станочные металлизаторы ЭМ-12-67 и ЭМ-15.

Таблица 16

Технические характеристики некоторых трансформаторов для дуговой наплавки

Марка источника	Внешняя характеристика	Напряж. холост. хода, В	Номинал. мощность, кВА	Пределы регул. тока, А	Напряж. раб., В	Примечание
ТД-102У2	падающая	60-76	11,4	35-175	26	ручная наплавка
ТД-306У2	-«-	61-79	19,4	90-300	35	-«-
ТД-502У3	-«-	60-76	26,5	100-560	30	-«-
ТД1001У3	-«-	80	82	400-1200	44	автом. напл. под флюсом
ТДМ-317У2	-«-	80	21	60-370	33	ручная сварка, наплавка

Таблица 17

Технические характеристики некоторых сварочных выпрямителей,
применяемых при наплавке

Марка источника	Внешняя характеристика	Пределы регулиров., А	Мощность, кВА	Номинал. рабочее напряж., В	Примечание
ВД-306У3	падающая	45-315	21	32	Наплавка в защитных газах, полуавтом. наплавка
ВД-502У3	-«-	50-500	42	40	Ручная под флюсом
ВДУ-305У3	универсальная	50-315	23	35	Под флюсом, в защитных газах, ручная
ВДУ-1201У3	-«-	300-1250	120	50	Под флюсом
ВДГ-506-1	жесткая	80-630	37	24-70	Сварка в защитных газах
ВДУ-506М	универсальная	60-500	46	46	Механизир. способы сварки, наплавки

Таблица 18

Технические характеристики аппаратов для автоматической
наплавки под флюсом

Аппарат	Диаметр электродной проволоки (шир. ленты), мм	Пределы регулирования тока, А	Скорость подачи проволоки, м/ч	Скорость наплавки, м/ч	Регулир. скорости подачи проволоки
АБСК	2,0-6,0	300-1200	28-220	14-110	ступенчатое
АДС-1000-2	3,0-6,0 (20-100)	400-1200	30-120	15-70	плавное
АДС-1000-5	3,0-6,0 (20-100)	400-1200	60-360	12-120	-«-
А-348 МК	3,0-5,0 (20-80)	300-1000	28-225	-	ступенчатое
А-874Н	2,0-7,0 (15-100)	400-1000	48-408	5-116	плавное

Таблица 19

Технические характеристики некоторых полуавтоматов для дуговой наплавки в углекислом газе

Тип полуавтомата	Номин. ток при ПВ = 60%	Диаметр электродной проволоки, мм	Скорость подачи электродной проволоки, мм	Масса механизма подачи проволоки, кг
А-547Р	200	0,8-1,2	108-324	6
ПДГ-304	315	0,8-2,0	180-720	8
ПДГ-500-1	500	0,8-2,0	108-1080	15
ПДПГ-500	500	0,8-2,0	144-720	10,5

Таблица 20

Технические характеристики полуавтоматов для наплавки порошковой проволоки

Тип полуавтомата	Ток, А	Диаметр электродной проволоки, мм	Скорость подачи проволоки, м/ч	Масса механизма подачи, кг
А-765	450	1,6-2,0	58-580	52
ПШ-54	500	1,6-2,0	80-600	23
А-1197П	500	1,6-2,0	90-720	35
ПДГО-5010	500	1,6-3,2	120-720	30

2.9 Выбор и разработка вспомогательного оборудования технологической оснастки для восстановления изношенных деталей

Основными функциями вспомогательного оборудования и оснастки являются: фиксация и закрепление обрабатываемых деталей в удобном для работ положении, а также перемещение деталей в процессе нанесения покрытия.

Для этих целей можно применять универсальную и специализированную оснастку. Перемещение деталей может осуществляться с помощью манипуляторов, вращателей, кантователей и роликовых стенов и др. Выбор данного оборудования следует производить в зависимости от его технических характеристик, приведенных в справочной литературе.

При самостоятельном конструировании приспособлений необходимо пользоваться специальной литературой /12/.

2.10 Нормирование сварочных и наплавочных работ

В этом разделе рассматривается нормирование расхода покрытых электродов, электродной проволоки сплошного сечения и порошковой, флюсов, защитных газов. Расход других сварочных и наплавочных материалов (порошков, паст, прутков) может быть получен из специальной литературы.

Расход покрытых электродов $G_{эл}$ определяется формулой

$$\frac{G_{эл}}{G_n} = 1 + 0,9 K_{п} \frac{\lambda}{1 - \psi} = K_p,$$

где K_p – коэффициент расхода покрытых электродов. K_p обычно составляет 1,5-1,8 и указывается в паспорте электрода;

$K_{п}$ – коэффициент веса покрытия.

$$K_{п} = \frac{G_{п}}{G_m},$$

где $G_{п}$ – вес покрытия;

G_m – вес металла стержня на длине обмазанной части электрода;

λ – отношение длины стержня электрода к длине его обмазанной части.

Количество штучных электродов определяется по формуле

$$n_{э} = \frac{G_n \lambda}{(1 - \psi) m l_{э}},$$

где m – масса 1 пог. см стержня электрода;

$l_{э}$ – длина электрода.

Расход электродной проволоки при механизированных способах наплавки

$$G_{пр} = K_{пр} G_n,$$

для наплавки под флюсом $K_{пр} = 1,05$;

для наплавки в CO_2 $K_{пр} = 1,1$;

для наплавки порошковой проволокой $K_{пр} = 1,15$.

Расход флюса определяется в зависимости от массы наплавленного металла /16/

$$G_{ф} = K_{ф} G_n,$$

где $K_{ф} = 1,3$.

Расход защитных газов определяется в зависимости от диаметра электрода.

Таблица 21

Расход углекислого газа в зависимости от диаметра электрода

Диаметр электрода, мм	0,5-0,8	1,0-1,4	1,6-2,0
Расход CO_2 , л/мин	5-8	8-16	15-20

Расход электроэнергии определяется по формуле

$$W = \frac{0.24 UI}{1000 \eta_{и}} t_{гд} + P_0 (T - t_{гд}) ,$$

где $\eta_{и}$ – КПД источника питания;

P_0 – мощность холостого хода источника питания. Для сварочных трансформаторов и выпрямителей $P_0 = 0,3$ кВт;

T – время цикла наплавки

$$T = \frac{t_{гд}}{K_{сн}} ;$$

$K_{сн}$ – коэффициент загрузки сварочного поста: для РДС $K_{сн} = 0,5$;

для механизированных способов наплавки $K_{сн} = 0,6-0,8$.

Удельный расход электроэнергии $\frac{U_{д}}{\eta_{и} \alpha_{н}}$ составляет 3-4 кВт · ч / кг .

Нормируемые затраты рабочего времени делятся на подготовительно-заключительное время, вспомогательное время, время обслуживания рабочего места, время перерывов на отдых и естественные надобности /24/.

К подготовительно-заключительному времени $T_{пз}$ относятся затраты рабочего времени на получение производственного задания, документации, инструмента, сдачу выполненной работы.

Таблица 22

Нормативы подготовительно-заключительного времени

Перечень работ		Сложность работы		
		простая	средняя	высшая
		Время на сварку партии деталей, мин		
1.	Получение производственного задания, электродов и инструмента	4	6	8
2.	Ознакомление с работой	3	5	7
3.	Подготовка приспособлений к работе	-	2	4
4.	Включение и выключение источников питания	1	1	1
5.	Сдача работы	2	3	4

Основное время T_0 – это время сварки, наплавки

$$T_0 = t_{гд} ,$$

где $t_{гд}$ – время горения дуги, мин.

$$t_{гд} = \frac{60 G_{н}}{\alpha_{н} I} .$$

Иногда пользуются понятием основное время на 1 пог. м шва - T_o'

$$T_o' = \frac{60 \rho F_n}{\alpha_n I}$$

В отдельных случаях к основному времени вводятся поправки в виде коэффициентов.

Таблица 23

Поправочные коэффициенты к расчету основного времени

Характеристики шва	Наименование шва	Коэффициент
На горизонтальной плоскости в нижнем положении	Нижний	1,00
На вертикальной плоскости снизу вверх	Вертикальный	1,25
На вертикальной плоскости по горизонтальной линии	Горизонтальный	1,30
Кольцевой шов на вертикальной плоскости по окружности	Кольцевой	Без поворота 1,35
На горизонтальной плоскости в потолочном положении	Потолочный	1,6
Длина шва	Свыше 500 мм	1,0
	От 200 до 500 мм	1,1
	До 200 мм	1,2

Вспомогательное время при дуговой наплавке разделяется на связанное со сварным швом и связанное с наплавляемым изделием. К первой группе относят затраты времени на осмотр, очистку кромок, зачистку швов от шлака и брызг, промер и осмотр швов.

Таблица 24

Нормы вспомогательного времени

Наименование работы	Время на 1 м шва, мин	Примечание
Зачистка кромок под сварку при толщине металла: до 10 мм свыше 10 мм	0,3	
	0,45	
Зачистка швов от шлака	$0,6 + 1,2 (n-1)$	0,6 – время на зачистку последнего слоя, 1,2 – время на зачистку промежуточных слоев, n – кол-во слоев
Зачистка сварного соединения от брызг в зависимости от толщины металла	до 5	1,0
	6-8	1,3
	9-12	1,5
	13-18	1,8
	св. 18	2,1
Время на осмотр и промер шва	0,3	
Время на смену электродов	0,11 мин/шт	

Ко второй группе относится время, затрачиваемое на установку, снятие и кантование свариваемых изделий, необходимое для перемещения сварщика при сварке (наплавке) громоздких изделий, клеймение. Время на установку одного клейма составляет 0,5 мин.

Таблица 25

Время на установку, поворот и снятие изделия вручную

Элементы работы	Вес изделия, кг				
	5	10	15	25	40
	Время, мин				
Поднести и уложить	0,14	0,22	0,30	0,45	-
Снять и отнести	0,10	0,15	0,20	0,30	-
Повернуть на 90 ⁰	0,09	0,10	0,12	0,14	0,20
Повернуть на 180 ⁰	0,11	0,30	0,16	0,20	0,25

Таблица 26

Время на установку, поворот и снятие изделий с помощью крана

Элементы работы	Вес изделия, кг			
	120	200	300	500
	Время, мин			
Поднести и уложить	2,1	2,2	2,3	2,4
Снять и отнести	2,0	2,1	2,2	2,3
Повернуть	2,1	2,2	2,3	2,4

Таблица 27

Время на перемещение сварщика

Характер перемещения	Расстояние перемещения, м				
	2	4	6	8	10
	Время перемещения, мин				
Свободное	0,1	0,14	0,18	0,22	0,26
Стесненное	0,30	0,45	0,60	-	-
Подъем и опускание на высоту до 3,0 м с установкой и уборкой лестницы	2,0				
То же без установки лестницы	0,4				

$$T_B = T_{вс1} + T_{вс2} + 0,11n_э .$$

Сумма основного и вспомогательного времени представляет собой оперативное время

$$T_{оп} = T_o + T_B .$$

Время на обслуживание рабочего места включает затраты на раскладку инструмента, подключение проводов к источнику питания, уборку инструментов и рабочего места. Нормы времени на обслуживание рабочего места исчисляются в процентах к оперативному времени.

Таблица 28

Нормы времени для различных условий сварки

Условия выполнения сварки	Время на обслуживание рабочего места, мин		Время на отдых и естественные надобности, мин		Коэффициент к оперативному времени	
	Тип производства					
	Единичное и мелко-серийное	Серийное и крупно-серийное	Единичное и мелко-серийное	Серийное и крупно-серийное	Единичное и мелко-серийное	Серийное и крупно-серийное
В нормальном положении	3	2	6	6	1,09	1,10
В неудобном положении	5	2	8	8	1,13	1,12
В напряженном положении	6	-	11	-	1,17	-

Штучное время определяется либо как сумма T_o , T_B , $T_{обс}$ и $T_{отд}$, либо как $T_{ш} = K_1 T_{оп}$, где коэффициент $K_1 > 1$ учитывает $T_{обс}$ и $T_{отд}$ (табл. 28).

Сумма штучного времени и доли подготовительно-заключительного времени, относящегося к одной детали, называется штучно-калькуляционным временем

$$T_{шк} = T_{ш} + \frac{T_{пз}}{n},$$

где n – количество деталей и партий.

3 РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

На заключительном этапе курсового проектирования в пояснительной записке должны быть отражены основные требования техники безопасности.

Различные методы восстановления и упрочнения деталей имеют свои особенности в охране труда и воздействия на окружающую среду. Эти вопросы должны быть отражены в полной мере. Необходимая информация может быть получена из справочной литературы, рекомендуемой руководителем проекта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 **Сидоров А.И.** Восстановление деталей машин напылением и наплавкой / А.И. Сидоров. – М. : Машиностроение, 1987. – 189 с.
- 2 **Молодых, Н.В.** Восстановление деталей машин : справочник / Н.В. Молодых, А.С. Зенкин. – М. : Машиностроение, 1989. – 480 с.
- 3 **Толстов, И.А.** Справочник по наплавке / И.А. Толстов, В.А. Коротков. – Челябинск : Metallurgy, 1990. – 381 с.
- 4 Исследование и применение вибродуговой наплавки / под ред. И.Р. Пацкевича. – М. : Машиностроение, 1964. – 232 с.
- 5 **Вайнерман, А.С.** Плазменная наплавка металлов. – М. : Машиностроение, 1969. – 191 с.
- 6 **Клименко, Ю.В.** Электроконтактная наплавка / Ю.В. Клименко. – М. : Metallurgy, 1979. – 150 с.
- 7 **Никитин, М.М.** Технология и оборудование вакуумного напыления / М.М. Никитин. – М. : Metallurgy, 1992. – 111 с.
- 8 **Левин, Э.Л.** Термомеханическое упрочнение деталей при восстановлении наплавкой / Э.Л. Левин, И.С. Синяговский, Г.С. Трофимов. – М. : Колос, 1974. – 160 с.
- 9 Газотермические покрытия из порошковых материалов : справочник / под ред. Ю.С. Борисова. – Киев : Наукова думка, 1987. – 540 с.
- 10 Сварочные и наплавочные работы при ремонте деталей строительных машин: справочник. – М. : Стройиздат, 1981. – 158 с.
- 11 **Кравцов, Т.Г.** Электродуговая наплавка электродной лентой / Т.Г. Кравцов. – М. : Машиностроение, 1978. – 167 с.
- 12 **Севбо, П.И.** Конструирование и расчет механического сварочного оборудования / П.И. Севбо. – Киев : Наукова думка, 1978. – 396 с.
- 13 **Шехтер, С.Я.** Наплавка деталей металлургического оборудования : справочник / С.Я. Шехтер, А.Я. Шварцер. – М. : Metallurgy, 1981. – 159 с.
- 14 МПС. Департамент вагонного хозяйства. Инструкция по сварке и наплавке при ремонте грузовых вагонов. – М. : Транспорт, 1999. – 215 с.
- 15 МПС. ЦТ 336. Инструкция по сварочным и наплавочным работам при ремонте тепловозов, электровозов, электропоездов и дизель поездов. – М. : 1996. – 457 с.
- 16 Справочное пособие по нормированию материалов и электроэнергии для сварочной техники / под ред. В.П. Юрьева. – М. : Машиностроение, 1972. – 150 с.
- 17 **Иванов, Г.П.** Технология электроискрового упрочнения инструмента и деталей машин / Г.П. Иванов. – М. : Машгиз, 1957. – 302 с.
- 18 Основы легирования наплавленного металла. Абразивный износ / Л.С. Лившиц [и др.]. – М. : Машгиз, 1969. – 190 с.
- 19 Сварочные материалы для дуговой сварки. Т. 1 / под ред. Н.Н. Потапова. – М. : Машиностроение, 1989. – 544 с.

20 Сварочные материалы для дуговой сварки. Т. 2 / под ред. Н.Н. Потапова. – М. : Машиностроение, 1993. – 766 с.

21 Газотермические покрытия из порошковых материалов : справочник / Ю.С. Борисов [и др.]. – Киев : Наукова думка, 1987. – 543 с.

22 **Милютин, В.С.** Источники питания для сварки / В.С. Милютин, В.А. Коротков. – Челябинск : Metallургия Урала, 1999. – 366 с.

23 **Акулов, А.И.** Технология и оборудование сварки плавлением / А.И. Акулов, Г.А. Бельчук, В.П. Демянчевич. – М. : Машиностроение, 1977. – 432 с.

24 **Гитлевич, А.Д.** Техническое нормирование технологических процессов в сварочных цехах / А.Д. Гитлевич, П.А. Животинский, Д.Ф. Жмакин. – М. : Машиностроение, 1962. – 170 с.

25 Технология электрической сварки плавлением / под ред. Б.Е. Патона. – М : Машгиз, 1962. – 663 с.

**СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ ПО СВАРОЧНЫМ
И НАПЛАВОЧНЫМ МАТЕРИАЛАМ**

Таблица А1

Некоторые наплавочные электроды для ручной дуговой наплавки

Группа условий работы	Марка	Тип наплавленного металла	Твердость HV/HRC	Примеры деталей и узлов
I	ВСН-9 ЦН-16 ЭНУ-2 Т-620	140X10Н2Г2АР 175Н8Х6С5 350X15Г3Р1 320X23С2ГТР	до 700 до 600 -«- св. 600 (59-63)	Ножи дорожных машин, клыки и зубья ковшей экскаваторов и т.п.
II	ВНК/ЛИВТ	80X4С	560-600	Элементы газовой арматуры, детали пескоструйных аппаратов и др.
III	ЦНИИН-4 ОМГ-Н ВСН-6 ОЗШ	65X25Г13Н3 65X11Н3 110X14В13Ф2 09X32Н9С2М2	300/50 (250-310)НВ 520-570 58-62	Породоразрушающий инструмент: зубья ковшей, экскаваторов, детали дробильных аппаратов и др.
IV	12АН/ЛИВТ	95X7Г5С	280-350	Детали землечерпалок, насосов и др.
V	ЭН-60М ВСН-10	60X2СМ 50X12Н4М2	56-62 400-450	Детали строительно-дорожных машин, вагонов и др.
VI	К2-55 ЖСН-60р	14Г2Х 105В6Х5М3Ф3	29-36 550-600	Рельсы, колесные пары и др.
VII	НР-70 УОНИ-13/55	30С2ХМ Э-55	30-39 (140-210)НВ	Валы, оси, пальцы, крестовины, рельсы и др.
VIII	ОЗШ-1 ОЗН-300	16Г2ХМ 15Г3	350-400 (250-300)НВ	Зубья шестерен и др.
IX	12АН/ЛИВТ	95X7Г5С	280-350	Лопасты гидротурбин, гребные валы и др.
X	ЦН-6Л	08X17Н8С6Г	300-380	Клапаны насосов
XI	ЦН-2	190К62Х29В5С 2	420	Клапаны двигателей внутр. сгорания
XII	УОНИ-13/НЖ	20X13	400	Аппараты химич. производства, детали насосов

Некоторые наплавочные проволоки сплошного сечения

Марка и тип	Рекомендуемый флюс	Твердость НВ, НРС	Назначение	
			Группа	Применение
Нп-25, Нп-30, Нп-35	АН-348А	160-220	VII-VIII	Восстановительная наплавка
Нп-40, Нп-45	-«-	170-230	-«-	-«-
Нп-50	-«-	180-240	-«-	Шпиндели, оси и т.д.
Нп-65	-«-	220-300	-«-	Опорные катки, натяжные колеса, оси и др.
Нп-80, Нп-85	-«-	260-360	-«-	Коленчатые валы, крестовины карданов и др.
Нп-50Г	-«-	200-270	-«-	Оси, валы и др.
Нп-30ХГСА	АН-20 АН-26	220-300	VI	Шестерни, крановые колеса и др.
Нп- 40Х3Г2МФ	-«-	33-44	III	Детали дробилок и др.
Нп-50ХФА	-«-	43-50	V	Коленчатые валы, шлицевые валы
Нп-105К	-«-	38	I, III, IV	Зубья ковшей экскаваторов, детали землечерпалок
Нп-30Х13	ОФ-6	38-45	IX	Детали насосов
Нп-Г13А	-«-	220-280	III	Ж.д. крестовины, зубья ковшей экскаваторов
Нп- 30Х10Г10Т	-«-	200-220	IX	Лопасты гидротурбин, плунжеры и др.
Сварочная проволока для наплавки				
Св-08	АН-348	120-180	VII	Валы, оси (восстановительная наплавка)
Св-10Г2	-«-	180-210	-«-	-«-
Св-18ХГС	АН-20, 26	240-300	VI-VIII	Оси, шпиндели
Св-10Х171	ОФ-6	30-38	IX	Уплотнительная арматура и др.

Некоторые порошковые проволоки (ПП) и ленты (ПЛ) для дуговой наплавки

Марка проволоки и ленты	Тип наплавленно-го металла	Флюс	Твердость НВ, НРС	Назначение (гр. условий работы)	Примечание
ПП-ТН250	14ГСТ	самозащит.	240-260	5, 6	
ПП-АН121	20ХГТ	-«-	280-350	7, 8	
ПП-АН120	18Х17М	АН-348 АН-60	350-400	5, 6	
ПП-АН128	20Х2Г2СТ	АН-348 или как самозащ.	38-45	6, 7, 8	20x4 мм
ПП-АН122	30Х5Г2СМ	самозащит.	50-56	5, 7	
ПП-АН103	200Х12М	АН-20 АН-15М	40-44	5, 3, 2	
ПП-АН104	200Х12ВФ	-«-	-«-	-«-	
ПП-АН105	90Х13Н4	самозащит.	20	3	
ПП-АН135	250Х10Н8СА	-«-	50-58	3	
ПЛ-У25Х25Г3Ф2	250Х25Г3Ф2	АН-20 АН-15М	52-56	1, 4	45x3 мм
ПЛ-У30Х30Г3ТЮ	300Х30Г3ТЮ	АН-60	45-50	3, 5	-«-
ПП-АН170	80Х20Р3Т	самозащит.	58-67	1, 4	ширина слоя 30-50 мм
ПП-АН125	300Х15СПРТ	-«-	50-58	1, 3, 4	
ПП-АН170 (плющенко)	80Х20Р3Т	-«-	58-65	1, 3, 4	ширина слоя 40-70 мм
ПЛ-АН171	100Х20Р4С3Г2	-«-	65-68	1, 4	20x4 мм
ПЛ-АН101	300Х25М3Н3Г2 (сормайт)	самозащит.	50-56	1, 2, 4, 9, 11, 12	20x4 мм
ПП-ПГС-02	350Х32Р1	самозащит.	57	2, 4	
ПП-У10Х4Г2Р	100Х4Г2Р	-«-	56-62	5	
ПП-АН108	10Х14Т	-«-	42-48	4, 9	
ПП-АН138	10Х15Н2ГТ	-«-	240-260	9	

Некоторые порошки для плазменной наплавки и газотермического напыления

Марка порошка	Тип наплавленного металла	Назначение (группа)	Твердость HRC	Технологические особенности
ПГ-С1	300Х28Н4С4	1, 2, 3	51	Подогрев 500 ⁰ С замедленное охлаждение
ПГ-УС25	450Х38Н2С2	1	55	-«-
ПГ-С27	400Х27Н2С2	1, 2	53	-«-
ПГ-АН1	250Х30С2Р	1, 2	54	-«-
ПГ-Ф1Х6-2	450Х35ГСР	1	52	Подогрев 500 ⁰ С
ПГ-СР2	400Х14Н80С2 Р2	3, 5	38-43	Подогрев 450 ⁰ С с оплавлением
ПГ-СР3	600Х15Н80С3 Р3	3, 5	47-52	-«-
ПГ-СР4	800Х17Н80С4 Р4	1, 7	57-62	Подогрев 550 ⁰ С с оплавлением
ВСНГН	400Х13Н16РС В75	1, 2, 4	60-62	Подогрев 450 ⁰ С
60% ПГ-СР4 + 40% CrC ₂	-	1, 2, 4, 5	60-65	Напыление с оплавлением
65% ПГ-СР4 + 35% TiC	-	1, 2, 4, 5	40-45	Без оплавления
ХВС-3	150Х12Ф6С3	1, 2, 3, 7	40-45	-«-

МЕТОДИКА РАСЧЕТА РЕЖИМОВ НАПЛАВОЧНЫХ РАБОТ

1. Наплавка плоских поверхностей

1. Определяем полную толщину наплавленного слоя (плоская поверхность)

$$h_n = h_{и} + h_{п} + h_{с}, \quad (Б1)$$

где $h_{и}$ – величина износа;

$h_{п}$ – механическая обработка перед наплавкой;

$h_{с}$ – припуск на механическую обработку после наплавки.

Обычно $h_n = h_{и} + h_{с}$, т.е. обычно $h_{п} = 0$;

$$h_{с} = 1,0-2,0 \text{ мм.}$$

2. Определяем высоту единичного валика q , при перекрытии которого формируется слой наплавленного металла. Толщина наплавленного слоя при РДС не должна превышать 2,0-3,0 мм. Для механизированных способов наплавки она составляет 2,5-4,0 мм

$$q = \frac{h_n}{K_{vy}},$$

где коэффициент $K_{vy} = 1,3-1,5$.

3. Определим коэффициент K_{vy} аналитически.

Эквивалентная толщина наплавленного слоя $h_3 = h_n$ может быть получена из очевидного соотношения

$$B \cdot h_n = n_b \cdot F_n, \quad (Б2)$$

где B – ширина наплавляемой поверхности;

n_b – количество валиков;

F_n – площадь поперечного сечения одиночного валика.

$$n_b = \frac{1}{1 - \Pi} \left(\frac{B}{e} - 1 \right) + 1, \quad (Б3)$$

где e – ширина валика;

Π – перекрытие валиков безразмерное, т.е. отношение величины перекрытия к ширине валика.

$$l_n = \Pi \cdot e,$$

где l_n – величина перекрытия валиков.

$$\Pi = \frac{l_n}{e}. \text{ Обычно } \Pi = \frac{1}{3} \dots \frac{1}{2} \text{ (рис. Б1).}$$

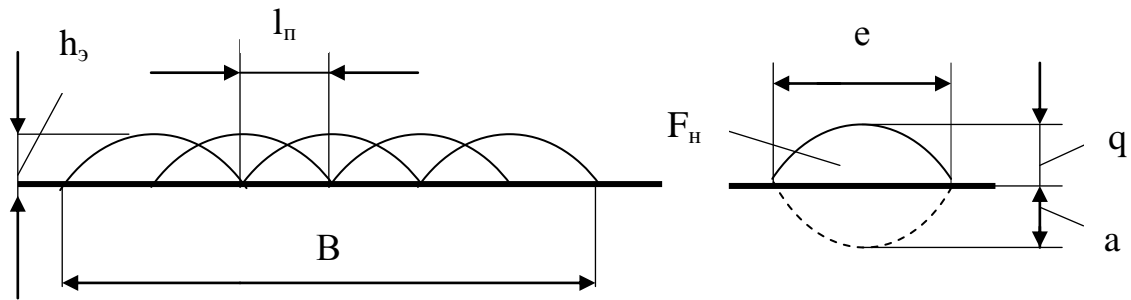


Рис. Б1

$$B = n_{\text{в}} \cdot e - (n_{\text{в}} - 1)\Pi \cdot e . \quad (\text{Б4})$$

Отсюда

$$\Pi_{\text{в}} = \frac{B - \text{Пе}}{e(1 - \Pi)} . \quad (\text{Б5})$$

4. Выражения (Б3) и (Б5) эквивалентны.

Из (Б2) и (Б5) имеем

$$h_{\text{н}} = h_{\text{3}} = \frac{F_{\text{н}} (B - \text{Пе})}{\text{Ве} (1 - \Pi)} \approx \frac{0,8q}{1 - \Pi} . \quad (\text{Б6})$$

При $\Pi = 0,5$, $B \gg \text{Пе}$ и $F_{\text{н}} = 0,8q$.

$h_{\text{н}} = h_{\text{3}} = 1,6q$ для однослойной наплавки, с небольшим запасом можно принять

$$h_{\text{н}} = h_{\text{3}} \approx 1,4 . \quad (\text{Б7})$$

Откуда $q = \frac{h_{\text{н}}}{1,4}$.

5. Значение $F_{\text{н}}$ можно принять для РДС

$$F_{\text{н}} = (6 \div 12) d_{\text{3}} ,$$

где d_{3} – выбирается в зависимости от толщины свариваемой (наплавляемой) детали (табл. 6).

Для механизированных способов наплавки $F_{\text{н}}$ может быть принята от 0,2 до 0,5 см² для средних режимов.

Если требуемая толщина наплавленного слоя относительно велика, то наплавку необходимо вести в два и более слоя.

$$n_{\text{сл}} = \frac{h_{\text{н}}}{h_{\text{3}}} ,$$

где $n_{\text{сл}}$ – число наплавленных слоев.

6. Зная $F_{\text{н}}$ и q , определяем ширину одиночного валика

$$F_{\text{н}} = 0,8qe ,$$

откуда

$$e = \frac{F_{\text{н}}}{0,8q} .$$

Отношение $\frac{e}{q} = \psi_B$ – коэффициент формы валика. Обычно $\psi_B = 6 \dots 10$.

7. Далее по формуле (Б3) или (Б5) определяем значения n_B . После этого становится ясной картина строения наплавленного слоя:

- количество наплавленных слоев;
- количество валиков в слое;
- расположение валиков относительно наплавленной поверхности.

8. Воспользуемся известным соотношением для определения скорости наплавки V_H

$$F_H V_H = V_n F_{\text{э}} \quad (\text{Б8})$$

Откуда $V_H = \frac{V_n F_{\text{э}}}{F_H}$.

Обычно для ручной дуговой и механизированной (полуавтоматической) сварки или наплавки скорость не определяется. Иногда V_H целесообразно определять для проверочных расчетов.

Если нет никаких особых условий, то V_H находится в пределах от 10 до 40 м/ч.

Задав V_H , можно найти правую часть уравнения (Б8). Откуда

$$V_n F_{\text{э}} \rho = \alpha_n I, \quad (\text{Б9})$$

где ρ – плотность металла электрода;

α_n – коэффициент наплавки;

I – сварочный ток.

Таким образом, выбор V_H (при $F_H = \text{const}$) определяет производительность наплавочных работ.

Формулы (Б8) и (Б9) служат для дальнейших расчетов.

9. Массу наплавленного металла можно определить по формуле (Б10)

$$G_H = F_H \cdot l \cdot \rho \cdot n_B, \quad (\text{Б10})$$

где l – длина валиков,

Либо по формуле (Б11)

$$G_H = B \cdot l \cdot h_n \cdot \rho, \quad (\text{Б11})$$

где $(B \cdot l)$ – площадь наплаваемой поверхности.

Возможен обратный путь расчета: по заданной производительности определить V_H .

Для РДС производительность наплавки при коэффициенте наплавки 8,5–9,5 г/А·ч составляет 1500–2500 г/ч.

Для наплавки под флюсом при коэффициенте наплавки 12–13 г/А·ч производительность составляет от 3000 до 8000 г/ч.

Для наплавки в CO_2 при коэффициенте наплавки 12–16 г/А·ч производительность составляет от 500 до 5000 г/ч.

Для наплавки порошковой проволокой при коэффициенте наплавки 13-16 г/А·ч производительность составляет от 3000 до 6000 г/ч.

10. В зависимости от принятой производительности наплавки можно определить произведение $V_n F_3$ и далее найти сварочный ток и скорость подачи электрода.

После определения сварочного тока и диаметра электрода необходимо проверить, чтобы глубина проплавления не превышала 0,5-0,8 толщины наплавляемой детали.

Пример. Примем производительность наплавки в CO_2 5000 г/ч.

$\alpha_n I = 5000$ г/ч. Примем $\alpha_n = 14$ г/А·ч. Тогда $I = \frac{5000}{14} \approx 350$ А. По току и

коэффициенту расплавления $\alpha_p = \frac{\alpha_n}{1 - \psi}$ выбираем (находим) диаметр электрода

$d_3 = 2,0$ мм.

Скорость подачи электрода равна

$$V_n = \frac{4 \alpha_p I}{\pi d_3^2 \rho} = \frac{4 \cdot 15,5 \cdot 350}{3,14 \cdot 4 \cdot 7,85} = 220 \text{ м/ч.}$$

11. Время наплавки может быть определено

$$t_{гд} = \frac{G_n}{\alpha_n I} . \quad (B12)$$

Время наплавки можно определить, зная V_n , длину l и количество наплавляемых валиков n_v

$$t_{гд} = \frac{l}{V_n} n_v . \quad (B13)$$

Такой расчет является поверочным. Значения $t_{гд}$ по формулам (B12) и (B13) должны совпадать.

12. Определяется вылет электрода для механизированных способов наплавки (табл. 8, 9).

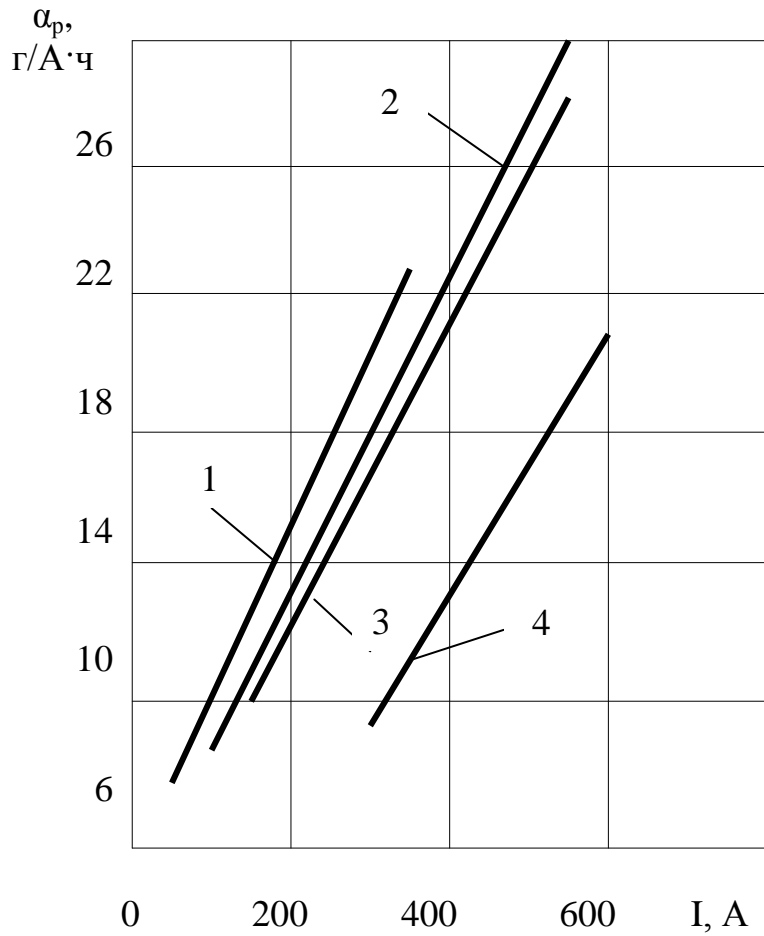


Рис. Б2. Зависимость коэффициента расплавления от тока при сварке в CO_2 :

- 1) $d_3 = 0,8$ мм;
- 2) $d_3 = 1,2$ мм;
- 3) $d_3 = 1,4$ мм;
- 4) $d_3 = 2,0$ мм

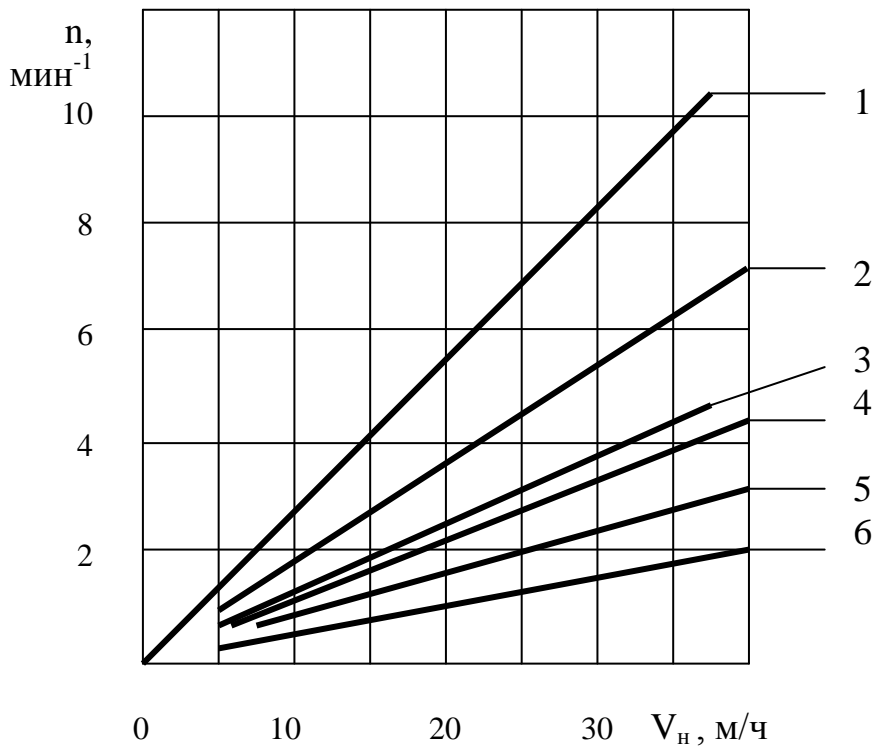


Рис. Б3. Зависимость частоты вращения от диаметра детали и скорости наплавки

- 1 - $d_3 = 30$ мм;
- 2 - $d_3 = 40$ мм;
- 3 - $d_3 = 50$ мм;
- 4 - $d_3 = 60$ мм;
- 5 - $d_3 = 70$ мм;
- 6 - $d_3 = 100$ мм

II. Наплавка цилиндрических деталей (тел вращения)

В этом случае для механизированных способов наплавки целесообразно принять схему наплавки по винтовой линии.

1. Пусть износ на одну сторону (по радиусу) будет равен $h_{и}$, а припуск на механическую обработку $h_{с}$. Тогда $h_{н} = h_{и} + h_{с}$.

$$D_1 - D_2 = 2h_{н},$$

где D_1, D_2 – диаметры детали после и до наплавки.

2. Высота одиночного валика $q = \frac{h_{н}}{K_{вы}}$; $K_{вы} = 1,3-1,5$.

Толщина наплавленного слоя при РДС не должна превышать 3,0 мм, а для механизированных способов наплавки она составляет 2,5-4,0 мм.

Если требуется большая толщина наплавленного металла, то наплавку следует вести в несколько слоев

$$n_{сл} = \frac{h_{н}}{h_{э}}.$$

За $h_{э}$ может быть принята максимальная высота наплаваемого слоя.

3. Из условия удержания металла от стекания в зависимости от диаметра детали выбирают диаметр электрода и сварочный ток согласно табл. 10, 11, 12.

4. Для данной среды, тока и диаметра электрода выбирают (определяют) коэффициенты наплавки и расплавления $\alpha_{н}$, $\alpha_{р}$ (рис. Б2).

5. Зная q и $\psi = \frac{e}{q}$, находим e ; $\psi_{в}$ находится в пределах 3...7.

Коэффициент формы валика можно регулировать изменением $U_{д}$.

6. По e и q находим площадь наплавленного металла валика

$$F_{н} = (0.75 \div 0.8) e q.$$

7. Определяем скорость подачи электрода

$$V_{н} \cdot F_{э} \cdot \rho = \alpha_{н} I \quad \text{или} \quad V_{н} = \frac{4 \alpha_{н} I}{\pi d_{э}^2 \rho}, \text{ м/ч.}$$

8. Определяем линейную скорость наплавки из соотношения

$$\frac{F_{н}}{F_{э}} = \frac{V_{н}}{V_{н}}.$$

9. Определяем шаг наплавки $S = \frac{e}{2}$ для $\Pi = 0,5$.

10. Зная V_n и диаметр наплавляемой детали, определим частоту ее вращения

$$n = \frac{1000 V_n}{60 \pi D}, \quad (\text{Б14})$$

где n – частота вращения детали, об/мин;

V_n – скорость наплавки, м/ч;

D – диаметр наплавляемой детали, мм.

Зависимость частоты вращения детали от диаметра и скорости наплавки приведена на рис. Б3.

11. Время наплавки. Пусть длина детали равна L . При шаге наплавки $S = \frac{e}{2}$ необходимо совершить $\frac{2L}{e}$ оборотов. Время одного оборота детали равно $\frac{1}{n}$ мин. То есть время наплавки одного слоя равно

$$t_{\text{гд}} = T_0 = \frac{2L}{en}, \text{ мин.}$$

Для многослойной наплавки

$$t_{\text{гд}} = T_0 = \frac{2L \cdot i}{e \cdot n}, \quad (\text{Б15})$$

где i – число слоев (проходов).

L и e должны иметь одинаковую размерность.

Время наплавки может быть определено и другим способом

$$t_n = T_0 = \frac{G_n}{\alpha_n I} = \frac{\pi}{4} (D_1^2 - D_2^2) \frac{L \gamma}{\alpha_n I} \quad (\text{Б16})$$

Значения $t_{\text{гд}}$ из формулы (Б15) и t_n из формулы (Б16) должны совпадать.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
1 СОДЕРЖАНИЕ И ОБЪЕМ КУРСОВОГО ПРОЕКТА	5
2 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИЗНОШЕННОЙ ДЕТАЛИ	6
2.1 Назначение детали, особенности ее работы и требования к свойствам	6
2.2 Характеристика материала детали	6
2.3. Выбор и обоснование способа восстановления изношенных деталей	9
2.4 Разработка технологического процесса ремонта изношенной детали	12
2.5 Выбор оптимального состава наносимого материала	17
2.6 Определение основных параметров технологического процесса . .	18
2.7 Справочные данные по режимам наплавки	22
2.8 Выбор технологического оборудования	25
2.9 Выбор и разработка технологической оснастки	27
2.10 Нормирование сварочных и наплавочных работ	28
3 РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ	32
Библиографический список	33
ПРИЛОЖЕНИЕ А	
Справочные данные по сварочным и наплавочным материалам . .	35
ПРИЛОЖЕНИЕ Б	
Методика расчета режимов наплавочных работ	39

Учебное издание

Даровской Геннадий Викторович

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ
И ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ
ДЕТАЛЕЙ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА**

Печатается в авторской редакции
Технический редактор Т.И. Исаева

Подписано в печать 23.10.17. Формат 60×84/16
Бумага газетная. Ризография. Усл. печ. л. 2,76.
Тираж экз. Изд. № 90469. Заказ .

Редакционно-издательский центр ФГБОУ ВО РГУПС.

Адрес университета: 344038, Ростов н/Д, пл. Ростовского Стрелкового Полка
Народного Ополчения, д. 2.