

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Полоцкий государственный университет»

А. В. Дудан

ПРОИЗВОДСТВО СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Учебно-методический комплекс для студентов специальности
1-36 01 06 «Оборудование и технология сварочного производства»

В 2 частях

Часть 1

Новополоцк

ПГУ

2013

УДК 621.7-112.81(075.8)
ББК 30.4я73
Д81

Рекомендовано к изданию методической комиссией
машиностроительного факультета в качестве
учебно-методического комплекса (протокол № 6 от 07.06.2013)

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

главный сварщик ОАО «НЗМ» г. Новополоцка Ф. В. МАРЧЕНКО;
канд. техн. наук., доц. каф. технологии конструкционных материалов
УО «ПГУ» О. П. ШТЕМПЕЛЬ

Д81

Дудан, А. В.

Производство сварных конструкций : учеб.-метод. комплекс
для студентов специальности 1-36 01 06 «Оборудование и технология
сварочного производства». В 2 ч. Ч. 2 / А. В. Дудан. – Новополоцк :
ПГУ, 2013. – 188 с.

ISBN 978-985-531-407-4.

Рассмотрены общие вопросы и разработка технологий изготовления
сварных конструкций. Приведены основные виды технологических опера-
ций, примеры сборочно-сварочных приспособлений и технологической ос-
настки, порядок выбора режимов для различных технологических процес-
сов сварки. Изложены вопросы экономии материальных и трудовых ресур-
сов, эффективности использования методов и приемов сварки при произ-
водстве сварных конструкций.

Предназначен для студентов специальности 1-36 01 06 «Оборудование
и технология сварочного производства». Может быть полезен слушателям
ИПК УО «ПГУ» специальности 1-36 01 72 «Оборудование и технология
сварочного производства».

УДК 621.7-112.81(075.8)
ББК 30.4я73

ISBN 978-985-531-407-4 (Ч. 1)
ISBN 978-985-531-406-7

© Дудан А. В., 2013
© УО «ПГУ», 2013

ВВЕДЕНИЕ

Изготовление конструкций различного назначения с помощью сварки получает все большее распространение во всех промышленно развитых странах. Экономичность изготовления сварных конструкций является основополагающим фактором, обеспечивающим их приоритетное применение по сравнению с литыми, коваными и штампованными конструкциями.

Так, например, за последние 50 лет доля сварных заготовок при изготовлении металлоконструкций для металлообрабатывающего производства в России возросла с 25 до 50%, при этом объем выпуска сварных металлоконструкций для машиностроения за тот же период возрос с 3 до 25 млн т.

Машиностроение является отраслью с высокоразвитым сварочным производством. Технологический процесс изготовления сварных конструкций включает в себя последовательное выполнение заготовительных, сборочных, сварочных, контрольных, отделочных и других операций. Преобладающими способами сварки являются электродуговая и электрошлаковая.

В условиях широкого применения компьютерных средств проектирования и моделирования технологических процессов роль конструктора и технолога существенно возрастает. Вопросы проектирования и изготовления должны не противопоставляться друг другу, а решаться во взаимной связи. При разработке технологических процессов изготовления сварных конструкций следует стремиться к максимальной замене ручного труда путем комплексной механизации и автоматизации как отдельных операций, так и процесса в целом.

Технология выполнения сборочно-сварочных операций включает в себя десятки самостоятельных операций: установку и базирование заготовок, сборку, сварку, кантовку, транспортировку, зачистку швов и зоны сварки, правку, контроль, маркировку, окраску и т. п.

Разработка технологии предусматривает выбор схем базирования, последовательности сборки, технологической оснастки, элементов приспособлений, вспомогательного инструмента и материалов. При этом решают отдельные задачи:

- выбор сварочного оборудования;
- назначение параметров сварочных материалов (марка и диаметр сварочной проволоки, марки защитных газов, флюсов и т.п.);
- назначение параметров режимов сварки (сила тока, напряжение, скорость сварки и т. д.);
- назначение методов контроля в процессе и после окончания сварки.

Исходными данными при проектировании сварочного технологического процесса являются чертежи сварной конструкции, технические условия на ее изготовление и планируемая программа выпуска. Чертежи и технические условия содержат данные о применяемых материалах, конфигурации заготовок, размерах, типах сварных соединений. В чертежах и технических условиях определены также критерии для оценки качества получаемых сварных соединений. Характер требований к качеству сварной конструкции зависит от особенностей условий ее эксплуатации и возможных последствий выхода из строя.

С учетом программы выпуска производят оценку технико-экономической эффективности спроектированного сварочного технологического процесса.

Разработка технологии имеет целью обеспечить оптимальные условия выполнения каждой отдельной операции и всего процесса в целом. Для разных сварных конструкций представления об оптимальности технологического процесса могут сильно отличаться, поэтому вопросы рационального проектирования процесса изготовления сварных конструкций рассматриваются на примерах их изготовления (главным образом – на примере сварки плавлением). Особую важность при этом приобретают вопросы аттестации сварочного производства.

УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА

| | |
|--------------------------------------|---|
| Факультет | машиностроительный |
| Кафедра | «Технология конструкционных материалов» |
| Курс | 4 – 5 |
| Семестр | 8 – 9 |
| Лекции (часы) | 52 |
| Лабораторные занятия (часы) | 34 |
| Всего аудиторных часов по дисциплине | 86 |
| Всего часов по дисциплине | 183 |
| Экзамен (семестр) | 9 |
| Зачет (семестр) | 8 |
| Курсовой проект/работа (семестр) | 9 |

1. ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Программа составлена на основе образовательного стандарта ОС РБ 1-36 01 06-2007 в соответствии с требованиями к обязательному минимуму содержания основной образовательной программы по специальности 1-36 01 06 «Оборудование и технология сварочного производства».

Курс является специальной дисциплиной в подготовке инженеров по специальности 1-36 01 06 «Оборудование и технология сварочного производства» и входит в блок предметов, связанных с изучением, разработкой и проектированием технологических процессов изготовления сварных конструкций.

Основной целью преподавания дисциплины является формирование профессиональной подготовки в области изготовления различных сварных конструкций с широким использованием механизации и автоматизации производства, а также работы механического оборудования и технологических линий в сварочном производстве.

Задачи изучения дисциплины:

- изучение вопросов, относящихся к производству сварных конструкций, особенностям изготовления и контроля отдельных видов конструкций при различных типах производств;
- изучение особенностей выполнения технологических операций при единичном, мелкосерийном, серийном и крупносерийном производствах;
- изложение вопросов повышения производительности труда, экономии материалов и энергии, эффективности использования методов и приемов сварки, позволяющих уменьшить объем наплавленного металла, показ различных аспектов целесообразности применения роботов в сварочном производстве, рассмотрение как общих вопросов производства, так и особенностей изготовления и контроля отдельных типов сварных конструкций.

Для достижения поставленной цели и решения поставленных задач в результате изучения дисциплины «Производство сварных конструкций» студенты должны

знать:

- принципы оценки сварных конструкций на технологичность;
- принципы построения технологических процессов сборки-сварки различных сварных конструкций;
- основы проектирования и применения сборочно-сварочной оснастки;
- содержание и оборудование всех этапов производства сварных конструкций – заготовительных операций, сборочно-сварочных, мероприятий по снижению сварочных напряжений и деформаций, отделочных операций;
- особенности и специфику производства различных типов сварных конструкций;

уметь:

- разрабатывать принципиальную схему производственного процесса и технологию производства различных сварных конструкций;
- выбирать эффективные способы сварки, необходимое сборочное и вспомогательное оборудование и материалы с учетом специфики изготовления сборочной конструкции;
- производить нормирование сборочно-сварочных процессов (нормы времени, расход сварочных материалов);
- выдвигать и обосновывать предложения по совершенствованию производственных операций и внедрению новых прогрессивных технологий, повышению контроля качества сварных конструкций;

иметь навыки:

- составлять техническое задание на проектирование и проектировать приспособления для сборки под сварку сварных конструкций;
- выбирать наиболее рациональные методы повышения точности геометрических размеров сварной конструкции;
- разрабатывать маршрутную и операционную технологию изготовления конкретной сварной конструкции;

владеть профессиональными компетенциями:

- в производственно-технологической деятельности;
- в проектно-конструкторской и научно-исследовательской (экспериментальной) деятельности;
- в организационно-управленческой деятельности;
- в инновационной деятельности.

Методы (технологии) обучения

Основными методами (технологиями) обучения, отвечающими целям изучения дисциплины, являются:

- элементы учебно-исследовательской деятельности, реализация творческого подхода, реализуемые на лабораторных и практических занятиях и при самостоятельной работе;
- коммуникативные технологии, реализуемые на конференциях;
- проектные технологии, реализуемые при выполнении курсового проекта.

Организация самостоятельной работы студентов

При изучении дисциплины используются следующие формы самостоятельной работы:

- контролируемая самостоятельная работа в виде решения индивидуальных задач в аудитории во время проведения лабораторных и практических занятий под контролем преподавателя в соответствии с расписанием;
- управляемая самостоятельная работа в виде выполнения индивидуальных расчетных заданий с консультациями преподавателя;
- подготовка рефератов по индивидуальным темам, в том числе с использованием патентных материалов;
- подготовка курсового проекта по индивидуальным заданиям.

Диагностика компетенций студента

Оценка уровня знаний студента при защите курсового проекта производится по десятибалльной шкале в соответствии с критериями, утвержденными Министерством образования Республики Беларусь.

Оценка промежуточных учебных достижений студента также осуществляется по десятибалльной шкале.

Для оценки достижений студента используется следующий диагностический инструментарий:

- защита выполненных на лабораторных и практических занятиях индивидуальных заданий;
- защита курсового проекта;
- ответы на текущие контрольные вопросы по отдельным темам;
- выступление студента на конференции по подготовленному реферату;
- защита лабораторных и практических работ;
- сдача зачета по дисциплине;
- сдача экзамена.

Перечень дисциплин, усвоение которых студентами необходимо для изучения данной дисциплины:

- материаловедение;
- технология конструкционных материалов;
- проектирование сварных конструкций;
- теория сварочных процессов.

Перечень дисциплин, базирующихся на изучении данного курса:

- материаловедение сварки, термообработка, сварка специальных сталей и сплавов;
- проектирование производственных участков с элементами основ строительного производства и монтажа оборудования;
- дипломное проектирование.

В соответствии с базовым учебным планом специальности на изучение дисциплины отводится 183 часа, из них: аудиторных – 86 часов, курсовой проект – 30 часов. Распределение по видам занятий: лекции – 52 часа, лабораторные и практические работы – 34 часа.

2. ПРИМЕРНЫЙ ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН КУРСА

| № п/п | Название темы | Всего | Лек-ции | Лабораторные |
|------------------|---|---------------|-----------|--------------|
| | | Объем в часах | | |
| <i>8 семестр</i> | | | | |
| | РАЗДЕЛ 1. КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ | 16 | 10 | 6 |
| 1 | Введение в дисциплину | 2 | 2 | |
| 2 | Классификация сварных конструкций и особенности отдельных типов | 4 | 2 | 2 |
| 3 | Технологические особенности изготовления заготовок конструкций при использовании процессов сварки | 2 | 2 | |
| 4 | Технологичность сварных конструкций | 8 | 4 | 4 |
| | РАЗДЕЛ 2. ЗАГОТОВИТЕЛЬНЫЕ И ТРАНСПОРТНЫЕ ОПЕРАЦИИ | 8 | 8 | |
| 5 | Сварные и комбинированные заготовки и элементы конструкций | 2 | 2 | |
| 6 | Транспортные операции и транспортирующие механизмы | 2 | 2 | |
| 7 | Заготовительные операции | 4 | 4 | |
| | РАЗДЕЛ 3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ИЗГОТОВЛЕНИЯ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ПРИМЕНЯЕМАЯ ОСНАСТКА | 16 | 8 | 8 |
| 8 | Рациональное построение технологических процессов изготовления сварных конструкций | 4 | 2 | 2 |
| 9 | Производственный процесс изготовления сварных конструкций и его структура | 8 | 4 | 4 |
| 10 | Сборочно-сварочные приспособления: их классификация и особенности | 4 | 2 | 2 |
| | РАЗДЕЛ 4. ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА И КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ | 10 | 6 | 4 |
| 11 | Виды и особенности термической обработки сварных соединений | 2 | 2 | |
| 12 | Основы контроля качества сварных соединений | 8 | 4 | 4 |
| <i>9 семестр</i> | | | | |
| | РАЗДЕЛ 5. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ | 36 | 20 | 16 |
| 13 | Технология производства балочных, рамных и решетчатых конструкций | 8 | 4 | 4 |
| 14 | Технология изготовления негабаритных емкостей и резервуаров | 6 | 4 | 2 |
| 15 | Технология изготовления сосудов, работающих под давлением | 6 | 4 | 2 |
| 16 | Производство сварных труб и монтаж трубопроводов | 8 | 4 | 4 |
| 17 | Производство корпусных транспортных конструкций | 4 | 2 | 2 |
| 18 | Технология изготовления сварных деталей машин и приборов | 4 | 2 | 2 |
| | Итого | 86 | 52 | 34 |

Примерный перечень лабораторных и практических занятий

8 семестр

1. Базирование заготовок при выполнении технологического процесса сварки конструкции.
2. Контроль качества сварных соединений.
3. Технологичность изготовления сварных конструкций.
4. Разработка принципиальной схемы приспособления для сварки конструкции.
5. Устранение коробления элементов конструкции путем нагрева «пятнами».
6. Технологическая документация сборочно-сварочных работ.

9 семестр

7. Определение остаточных деформаций при дуговой сварке балок.
8. Обеспечение точности изготовления сварных изделий в приспособлениях.
9. Использование универсальных сборочно-наладочных приспособлений для сборки под сварку.
10. Устранение коробления элементов конструкций местным нагревом.
11. Методика ультразвукового контроля стыковых и угловых сварных соединений.
12. Магнитопорошковый контроль сварных соединений.

Курсовой проект

Курсовой проект на тему «Технология изготовления сварной конструкции» выполняется в 9-м семестре.

РАЗДЕЛ 1. КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

1. ВВЕДЕНИЕ В ДИСЦИПЛИНУ

1.1. История развития сварки при производстве сварных конструкций

Сварка является одним из наиболее прогрессивных методов обработки металлов и неметаллических материалов.

Впервые в 1882 г. русский изобретатель Н.Н. Бенардос изобрел способ соединения и разделения металлов непосредственно действием электрического тока с применением угольной дуги. В 1888 – 1890 гг. горный инженер Н.Г. Славянов разработал метод электрической сварки металлов металлическим электродом.

Широкое развитие сварка (электродуговая) металлов получила лишь после Великой Октябрьской социалистической революции.

Со второй половины 30-х годов сварка получила новое широкое применение в различных отраслях машиностроения: на автомобильных заводах в Москве и Горьком, при изготовлении всевозможных деталей и узлов машин на Ново-Краматорском заводе и др.; в энергомашиностроении (Металлический завод в Ленинграде, ныне в Санкт-Петербурге), при сооружении строительных конструкций.

С 40-х годов в СССР в результате деятельности Института электросварки АН УССР им. Е.О. Патона, а также других организаций началось успешное применение в промышленности автоматической и полуавтоматической сварки под слоем флюса, которое сыграло выдающуюся роль при создании вооружения в период Великой Отечественной войны, а позже – широкое внедрение во всех отраслях народного хозяйства. С этого же времени получают распространение сварные конструкции не только из углеродистых, но и из различных легированных сталей, а также из цветных металлов в наиболее ответственных машиностроительных и строительных конструкциях, работающих при статических и динамических нагрузках при низких и высоких температурах.

Начали применяться созданные в это время Институтом электросварки им. Е.О. Патона и разработанные на ряде заводов методы индустриального изготовления сварных листовых конструкций (резервуаров и др.); электрошлаковая сварка, сыгравшая большую роль в развитии тяже-

лого машиностроения; разработанный несколькими организациями способ сварки в среде углекислого газа, а также метод контактной сварки с непрерывным оплавлением.

В 50-е годы получили развитие различные автоматические и механизированные методы сварки. Непрерывно расширяется метод сварки под слоем флюса, значительных успехов достигло развитие методов сварки в среде аргона плавящимся и вольфрамовым электродами, в среде углекислого газа, электрошлаковый, а также автоматизированных методов контактной сварки. Начали внедряться новые сварочные процессы: холодная сварка, сварка трением, сварка токами высокой частоты, ультразвуковая сварка, вибронаплавка, электронно-лучевая и диффузионная сварка, сварка взрывом, различные процессы пайки металлов и сплавов и др.

Изготовление конструкций различного назначения с помощью сварки получает все большее распространение во всех промышленно развитых странах. Экономичность изготовления сварных конструкций является основополагающим фактором, обеспечивающим их приоритетное применение по сравнению с литыми, коваными и штампованными конструкциями.

Так, например, за последние 50 лет доля сварных заготовок при изготовлении металлоконструкций для металлообрабатывающего производства в России возросла с 25 до 50%, при этом объем выпуска сварных металлоконструкций для машиностроения за тот же период возрос с 3 до 25 млн т.

Значительно возрос уровень механизации и автоматизации сварочных работ: более чем на 40% все сварочные работы в промышленности, 20% в строительстве и 100% при изготовлении труб выполняются автоматами.

1.2. Преимущества сварных конструкций

Сварные конструкции обладают многими преимуществами по сравнению с клепаными. Применение сварки, по сравнению с клепкой, в конструкциях из малоуглеродистых сталей позволяет получать экономию металла: 10...20% – в стропильных фермах; 15...20% – в кранах; 15...20% – в сосудах. Снижение стоимости сварных изделий, по сравнению со стоимостью клепаных, происходит в результате уменьшения веса сварных конструкций и трудоемкости изготовления. Оборудование сварочных цехов проще и дешевле.

При производстве резервуаров, котлов, вагонов-цистерн, трубопроводов, сварных конструкций в судостроении имеет исключительное большое значение возможность получения плотных соединений. При использовании сварки создаются условия бесшумного процесса, что очень важно в вопросах охраны труда и техники безопасности.

Несмотря на значительные успехи в развитии литейной технологии, сварные конструкции по сравнению с литыми обладают важными преимуществами: уменьшается вес изделий в обработанном виде (чистый вес) – при переводе стальных литых изделий на сварные конструкции уменьшение веса достигает 30%, при переводе чугуновых – 50...60%. Это происходит вследствие того, что размеры литых конструкций часто зависят не только от прочности и жесткости, но и от условий производства литья; уменьшаются припуски на механическую обработку. Изделия после отливки весьма часто подвергаются механической обработке, и отход металла бывает значительный. В литых изделиях при недостаточно хорошо разработанном технологическом процессе возникают поры, усадочные раковины. По этой причине многие рамы под машины, рамы тележек, корпуса редукторов и т. п., ранее изготовлявшиеся литыми, в настоящее время свариваются.

Сварные конструкции позволяют рационализировать форму поковки, так как сваркой можно заменить одну сложную поковку большого габарита сочетанием двух или нескольких простых поволоков или сочетанием поковки с прокатным элементом.

Высокая производительность сварочного процесса, хорошее качество сварных соединений и экономичное использование металла способствуют тому, что сварочная техника стала ведущим технологическим процессом при изготовлении металлических конструкций всех видов.

Технологический процесс сборочно-сварочных операций включает в себя десятки самостоятельных операций: установку и базирование заготовок, сборку, сварку, кантовку, транспортировку, зачистку швов и зоны сварки, термообработку, правку, контроль качества изделия, маркировку, окраску и т. п.

Разработка технологии производства сварных конструкций предусматривает выбор схем базирования, последовательности сборки конструкции или узла; применения технологической оснастки, элементов приспособлений, вспомогательного инструмента и материалов. При этом решают отдельные задачи:

- выбор сварочного оборудования;
- назначение параметров сварочных материалов (марка и диаметр сварочной проволоки, марки защитных газов, флюсов и т. п.);
- назначение параметров режимов сварки (сила тока, напряжение, скорость сварки и т. п.);
- назначение методов контроля в процессе и после окончания сварки.

2. КЛАССИФИКАЦИЯ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ОСОБЕННОСТИ ОТДЕЛЬНЫХ ТИПОВ

2.1. Принципы классификации

Сварные конструкции классифицируются:

- по методу получения заготовок – листовые, листосварные, ковано-сварные и штампосварные конструкции;
- по целевому назначению – вагонные, судовые, авиационные, автомобильные и т. д.;
- в зависимости от толщины свариваемых элементов – тонкостенные и толстостенные;
- по применяемым материалам – стальные, алюминиевые, титановые, пластмассовые и др.

В зависимости от характерных особенностей работы *выделяют следующие типы сварных элементов и конструкций*: балки, колонны, решетчатые конструкции, оболочковые конструкции, корпусные транспортные конструкции, детали машин и приборов.

Балки – конструктивные элементы, работающие в основном на поперечный изгиб. Жестко соединенные между собой, балки образуют рамные конструкции;

Колонны – элементы, работающие преимущественно на сжатие или сжатие с продольным изгибом.

Решетчатые конструкции – это система стержней, соединенных в узлах таким образом, что стержни испытывают растяжение или сжатие. К ним относятся фермы, мачты, арматурные сетки и каркасы.

Оболочковые конструкции, как правило, испытывают избыточное давление; к ним предъявляют требования герметичности соединений. К ним относятся различные емкости, сосуды и трубопроводы.

Корпусные транспортные конструкции подвергаются динамическим нагрузкам; к ним предъявляют требования высокой жесткости при минимальной массе. Основные конструкции этого типа – корпуса судов, вагонов, кузова автомобилей.

Детали машин и приборов работают преимущественно при переменных, многократно повторяющихся нагрузках. Характерным требованием является получение точных размеров, обеспечиваемое, главным образом, механической обработкой заготовок или готовых деталей. Примером служат станины, валы, колеса.

В соответствии с такой классификацией рассмотрим конструктивные особенности каждого типа более подробно.

2.2. Балки и колонны

Балки являются наиболее распространенным элементом конструкций. Они входят в состав конструкций мостов, вагонов, плотин, самолетов, кранов, станков, каркасов зданий и др. сооружений.

Во всех случаях служебное назначение балок заключается в том, чтобы, приняв нагрузку от других элементов конструкций, передать ее на опоры (т. е. на те части конструкций, которые поддерживают балки) (рис. 2.1).

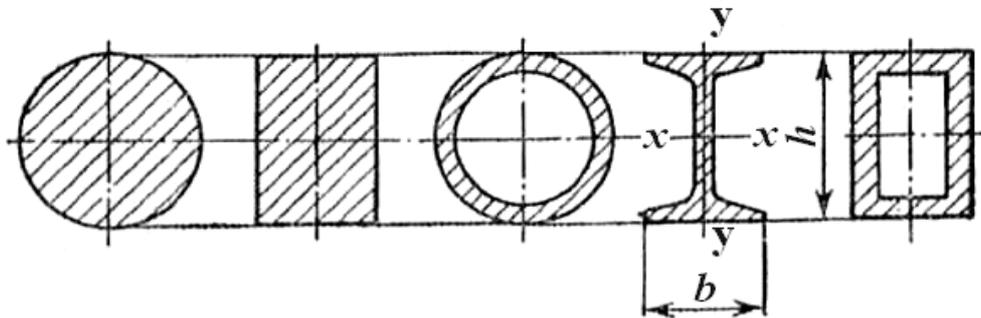


Рис. 2.1. Различные формы поперечных сечений

Типы поперечных сечений и размеры сварных балок весьма разнообразны. Если нагрузка приложена в вертикальной плоскости, чаще используют балки **двутаврового сечения**. При приложении нагрузки в вертикальной и горизонтальной плоскостях, а также при действии крутящего момента более целесообразно использование балок **коробчатого сечения**.

Обычно сварной двутавр состоит из трех основных листовых элементов: стенки и двух полок (поясов), но может иметь вертикальные и горизонтальные ребра жесткости (рис. 2.2).

При больших размерах двутавровой балки ее стенка (рис 2.3, *a*) и пояса (см. рис. 2.3, *б*) могут быть составными.

Такие балки нашли применение при сооружении пролетных строений автодорожных мостов. Устойчивость вертикальной стенки обеспечивается вертикальными и горизонтальными ребрами жесткости, сечение изменяется за счет изменения ширины и толщины поясов.

Двутавровые балки относятся к числу наиболее широко применяющихся элементов металлических конструкций, и поэтому в промышленности организовано их массовое изготовление в виде профильного проката, размеры которого установлены сортаментом. Прокатные двутавры обычно применяют для пролетов, не превышающих 8 м. При увеличении пролетов

применение прокатных профилей становится нерациональным, учитывая, что при постоянном поперечном сечении балки материал не по всей ее длине используется полноценно.

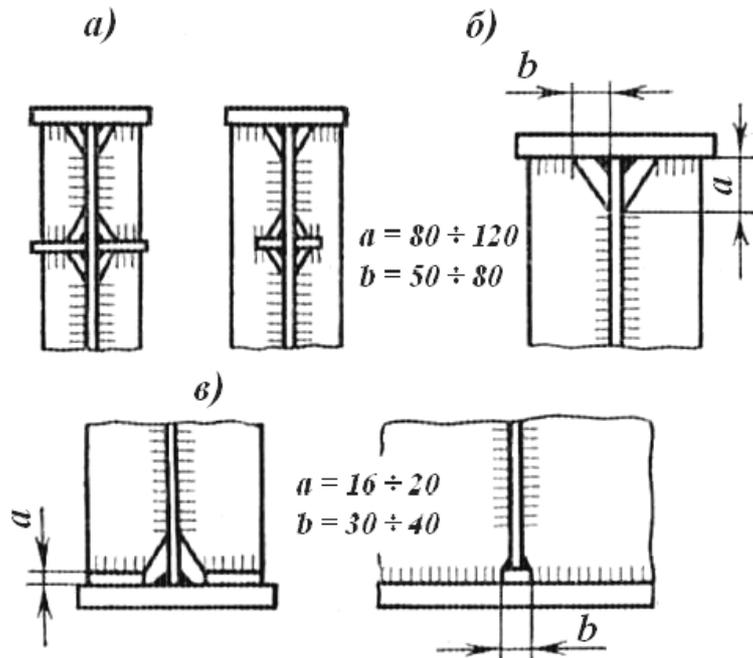


Рис. 2.2. Конструктивное оформление ребер жесткости двутавровых балок:
a – пересечение вертикальных и горизонтальных ребер жесткости;
б – крепление вертикальных ребер жесткости к верхнему поясу;
в – крепление вертикальных ребер жесткости к нижнему поясу

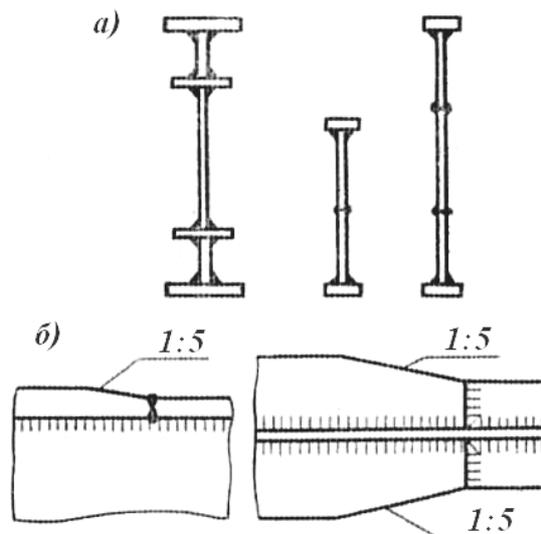


Рис. 2.3. Конструктивное оформление двутавровых балок больших размеров:
a – с составной стенкой; *б* – с полкой переменного сечения

Балки коробчатого сечения широко применяются в конструкциях мостовых кранов. Сварные элементы коробчатого сечения используют также в качестве стержней ферм крупных мостовых пролетных строений.

Колонны могут быть сплошными (рис. 2.4, а, б) и сквозные (см. рис. 2.4, в).

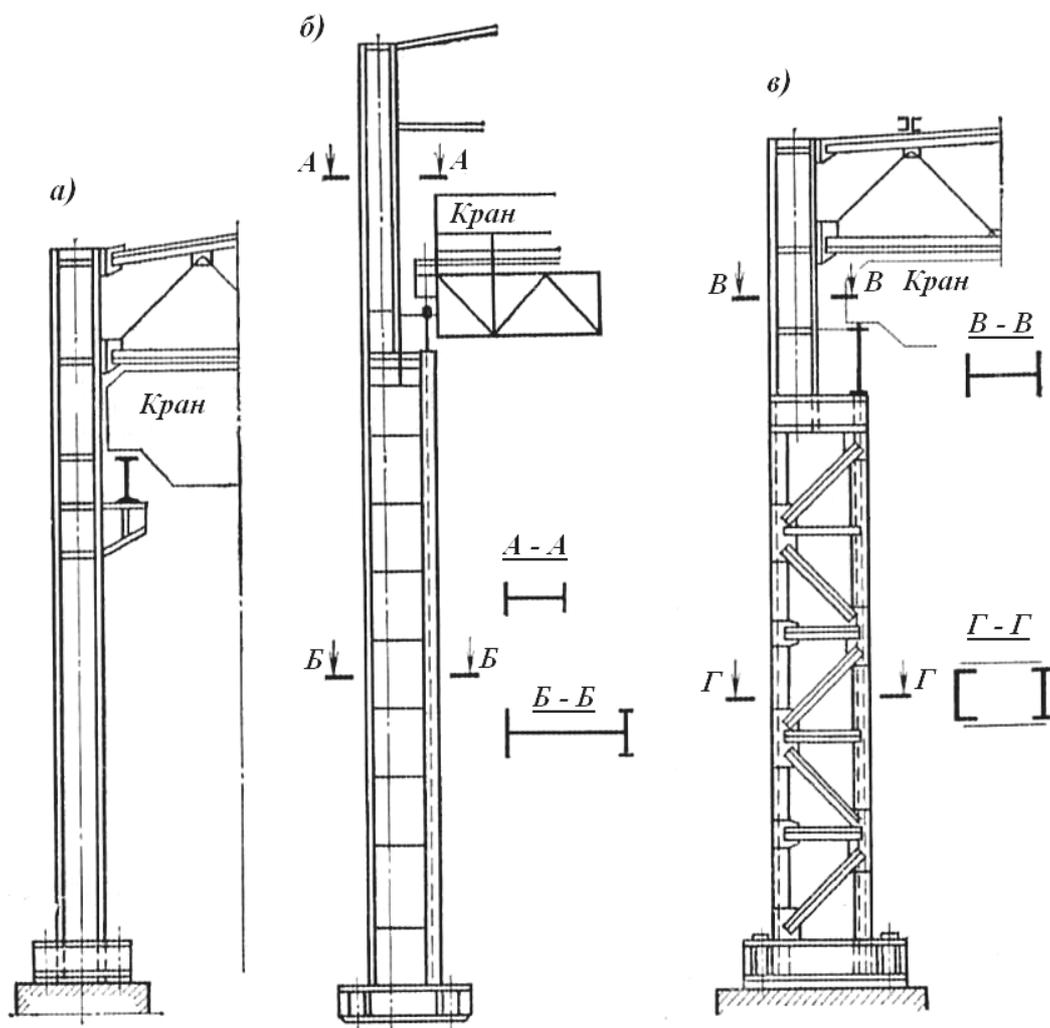


Рис. 2.4. Примеры колонн постоянного (а) и переменного (б, в) сечений:
а, б – сплошные; в – сквозная

Колонны цехов воспринимают нагрузку от кровли и от кранового моста в местах расположения опор подкрановых балок. Резкое увеличение нормальной силы изгибающего момента в этом сечении нередко приводит к необходимости использования ступенчатых колонн (см. рис. 2.4, б, в).

2.3. Балочные и решетчатые конструкции

Рама – наиболее распространенная конструкция, состоящая из балочных заготовок. Она представляет собой объемную пространственную конструкцию, предназначенную для объединения отдельных деталей и механизмов в единый агрегат. Основное требование к ней – жесткость конструкции. Поэтому входящие в состав сварной рамы балочные заготовки соединяют друг с другом либо непосредственно, либо с помощью вспомогательных элементов жесткости. Размеры рам и их конструктивное оформление весьма разнообразны, различны и методы получения балочных заготовок. Так, рамы клеток мощных прокатных станков собирают и сваривают из балочных заготовок в виде массивных стальных отливок. В рамах тележек железнодорожного подвижного состава используются литые сварные балки коробчатого сечения. Более крупные рамы обычно собирают из профильных и листовых элементов, укрепляя их во многих местах ребрами жесткости.

Общим для **решетчатых конструкций** является наличие в узлах соединений нескольких отдельных стержней того или иного сечения.

Фермы, как и балки, работают на поперечный изгиб. Конструктивные формы балок проще, однако при достаточно больших пролетах применение ферм более экономично.

Характерные схемы решеток ферм – **треугольная** (рис. 2.5, *а*) и **раскосная** (см. рис. 2.5, *б*) (они являются основными). Существуют фермы, воспринимающие нагрузки по верхнему (см. рис. 2.5, *в*) или нижнему (см. рис. 2.5, *г*) поясу. Иногда применяют безраскосные фермы с жесткими узлами (см. рис. 2.5, *д*). По очертанию поясов фермы могут быть с параллельными поясами или с поясами, образованными ломаной линией (см. рис. 2.5, *е*).

По назначению фермы разделяют на **стропильные** и **мостовые**.

Стропильные фермы работают при статической нагрузке. В качестве стержней используют прокатные и значительно реже – гнутые замкнутые сварные профили и трубы. Девяносто процентов ферм изготавливают из парных прокатных уголков. Стержни в узлах соединяют дуговой или контактной сваркой.

Мостовые фермы работают при переменных нагрузках и нередко при низких климатических температурах, что определяет высокую чувствительность их сварных соединений к концентрации напряжений. Это обстоятельство необходимо учитывать на стадии проектирования.

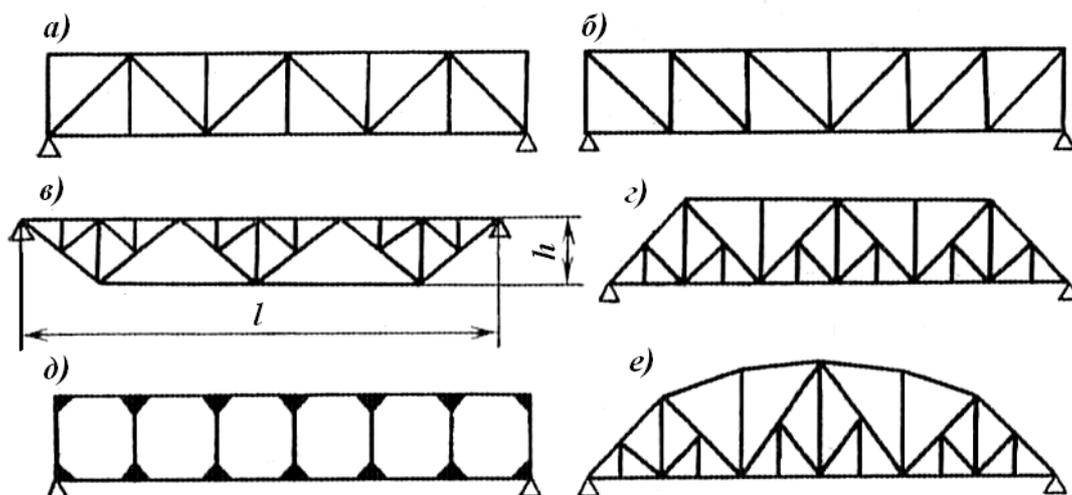


Рис. 2.5. Схемы решеток ферм

Пространственные решетчатые конструкции башенного типа используются при строительстве радиомачт, радиобашен, буровых вышек и т.д. Вследствие большой длины их монтируют из сваренных на заводе секций. Применяют прокат из трубы или уголка.

К решетчатым конструкциям следует отнести и сварные элементы арматуры железобетона – **сетки**, плоские и пространственные **каркасы**, изготавливаемые из взаимно перпендикулярных стержней круглого или периодического профиля, соединяемых контактной сваркой. Их назначение – армирование плит перекрытий, перегородок каналов, покрытия дорог и пр.

2.4. Оболочковые конструкции

В зависимости от габаритных размеров, конструктивного оформления и характерных особенностей изготовления и эксплуатации оболочковые конструкции разделяют на негабаритные емкости и сооружения, сосуды, работающие под давлением, трубы и трубопроводы. Их изготавливают из листовых заготовок сваркой.

Емкости и сооружения в основном имеют размеры, немного превышающие габариты подвижного железнодорожного состава. Поэтому на заводах их изготавливают по частям, отдельными секциями.

Вертикальные цилиндрические резервуары высотой 12 – 18 м, объемом до 50000 м³, используют для хранения нефтепродуктов. Различные конструкции газгольдеров (мокрые, сухие, сферические и цилиндрические) используют для хранения газов под давлением, в том числе взрывоопасных и ядовитых. Толщина стенок – до 40 мм.

К негабаритным сооружениям относят сооружения доменных комплексов (высотой 40 м с диаметром кожуха более 15 м); корпуса цементных печей (цилиндрическая труба диаметром 4,5 – 7 м и длиной 170 – 230 м); специальные камеры мощных гидротурбин.

По конструктивным особенностям сосуды, работающие под давлением, разделяют на три группы: **тонкостенные, со стенками средней толщины и многослойные.**

Тонкостенные сосуды с толщиной стенки 7 – 10 мм бывают цилиндрические, сферические и тороидальные (рис. 2.6). Пример – воздушные резервуары транспортных средств, ацетиленовые баллоны. Для изготовления используют углеродистые стали.

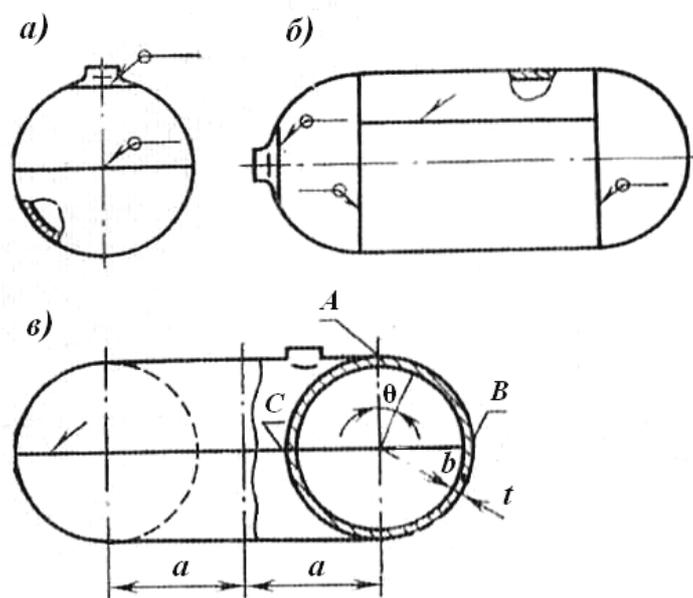


Рис. 2.6. Характерные типы сосудов:
а – сферический; б – цилиндрический; в – тороидальный

Сосуды со стенками средней толщины (до 40 мм) широко используются в химическом аппаратостроении, а также как емкости для хранения и транспортирования жидкостей и сжиженных газов. Для изготовления используются углеродистые высоколегированные стали, медь, алюминий, титан и их сплавы. С целью коррозионной защиты иногда используют двухслойный прокат с антикоррозионным слоем металла, толщиной несколько миллиметров.

Аппаратуру емкостного типа обычно выполняют в виде цилиндрических сосудов. Сосуды для хранения и транспортировки жидких газов выполняют двухстенными. Примером могут быть железнодорожные цистерны, различные теплообменники.

Толстостенные сосуды ($\delta > 40$ мм) обычно собирают из вальцованных или штампованных листовых заготовок, свариваемых продольными, кольцевыми и стыковыми швами.

У крупных сосудов высокого давления, применяющихся в химической промышленности, толщина стенок достигает 200 – 400 мм. Наряду с технологическими трудностями изготовления монолитных обечаек у таких сосудов возрастает опасность их хрупкого разрушения. Поэтому все чаще применяют **многослойные сосуды**, диаметр которых превышает 5 м. Днища и фланцы таких сосудов делают сплошными и приваривают к торцам многослойной обечайки стыковыми швами. В зависимости от рабочей среды внутренняя обечайка может быть двухслойной или из коррозионно-стойкой стали, а наружные части корпуса – из низколегированной стали.

На изготовление труб расходуется около 10% всего мирового производства стали, причем доля сварных труб превышает 50%. В условиях крупносерийного производства, используя различные методы сварки, выпускают сварные трубы с внешним диаметром от 6 до 1420 мм. Трубы диаметром от 6 до 529 мм изготавливают из рулонного материала с прямым швом, а трубы больших диаметров – из рулонного материала со спиральным швом или из отдельных листов с прямыми швами. Так как рулонный материал имеет ограниченную толщину (до 14 мм), то при выпуске труб большого диаметра (до 2520 мм) для работы под высоким давлением их выполняют из непрерывной ленты, полученной наращиванием листов требуемой толщины, либо в два слоя.

2.5. Корпусные транспортные конструкции

К крупным транспортным конструкциям относятся кузова цельнометаллических вагонов и автомобилей, корпуса различных судов. Они представляют собой жесткие пространственные конструкции из плоских или изогнутых листовых элементов и полотнищ, способные воспринимать вибрационные и динамические нагрузки.

Корпуса вагонов и судов имеют решетчатую основу, к которой крепится листовая обшивка. В настоящее время все типы судов, в том числе и танкеры водоизмещением 200000 т и выше, выпускаются исключительно со сварными корпусами. Огромные размеры цельносварной конструкции определяют накопление остаточных сварных напряжений в корпусе корабля, что может вызвать развитие трещин на большом протяжении. Во избежание таких дефектов предусматривают применение металла с высоким сопротивлением развитию трещин с применением технологических приемов сварки, исключающих возникновение концентраций напряжений.

Кузова легковых и кабины грузовых автомобилей выпускают в условиях серийного производства. К ним предъявляются требования минимальной массы, большой жесткости, высокой точности заготовок и технологичности сварных соединений и узлов. Такие кузова собирают из заготовок, штампованных из тонкого листа, и сваривают контактной точечной сваркой.

2.6. Детали машин и приборов

Детали машин и приборов имеют разнообразные формы и размеры. К ним можно отнести станины, валы и колеса, корпуса приборов, тяги, шатуны, вилки и т. п.

В тяжелом и энергетическом машиностроении сварные изделия (станины прессов, валы и колеса турбин и т. д.) имеют обычно весьма большие размеры и толщину элементов 100 мм и более. Изготовление таких изделий цельными, в виде поковки или отливки, порой затруднено или невозможно. Сварку таких элементов в основном ведут электрошлаковым методом. Кроме того, эти вопросы также связаны и с трудностями доставки узлов к местам эксплуатации.

Сварные детали общего машиностроения весьма разнообразны по конструкции, размерам и материалам. Требования к конструктивному оформлению и технологии изготовления этих деталей во многом определяются серийностью производства и условиями эксплуатации. Так, сварные станины станков для обеспечения прямолинейности направляющих элементов подвергают после сварки термообработке для снятия остаточных напряжений. При сварке валов из нескольких заготовок необходимо предусматривать искривление оси сваренной конструкции. Особенно это важно в крупносерийном производстве (уменьшение припусков на последующую механическую обработку).

В сварных деталях приборов используют разнообразные материалы и их сочетания при толщине элементов от десятых долей миллиметра до нескольких миллиметров. Это корпуса приборов, детали радиоламп, транзисторы и т. п. Производство их носит массовый характер. Применяют для их изготовления (ввиду малых размеров) контактную, конденсаторную, микроплазменную, электронно-лучевую, лазерную и др. виды сварки.

3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗАГОТОВОК КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПРОЦЕССОВ СВАРКИ

3.1. Дуговая сварка

Дуговая сварка (ручная, механизированная и автоматическая) является наиболее распространенным способом сварки. Ручная сварка применяется для сварки швов небольшого размера – за один проход без предварительной разделки кромок она позволяет сваривать детали толщиной 4 ... 8 мм. Автоматическая сварка может вестись одним или несколькими электродами под слоем флюса, в среде защитных газов (аргона, гелия, углекислого газа) или самозащитной проволокой. При этом резко повышается толщина свариваемых деталей (до 15 мм без разделки кромок) и производительность сварки (в 6 ... 8 раз по сравнению с ручной сваркой). Сварка в углекислом газе углеродистых и низколегированных сталей характеризуется стабильностью режима сварки, хорошим формированием сварного шва, высоким качеством соединения. Производительность механизированной сварки примерно в 2 ... 4 раза выше, чем ручной.

3.2. Контактная сварка

Контактная сварка (стыковая, точечная, шовная) отличается высокой производительностью и экономичностью. Ею хорошо свариваются углеродистые, низколегированные и некоторые коррозионно-стойкие стали, а также алюминий, титан и их сплавы.

При стыковой сварке заготовки свариваются по всей поверхности их касания. Можно сваривать стальные стержни, рельсы, прутки, трубы, прокат сечением до 10000 мм², а также прутки, трубы, прокат, штамповки из цветных металлов сечением до 4000 мм². Точечной сваркой соединяют листовые заготовки внахлест в отдельных местах (точками). Точечной сваркой сваривают заготовки (листы, прутки, швеллеры, уголки и т. п.) одинаковой или разной толщины – от сотых долей миллиметра до 30 мм. Шовной сваркой сваривают внахлест листовые заготовки непрерывным плотно-прочным швом (кузов автомобиля, герметичные емкости и т. п.).

3.3. Сварка трением

Сварка трением по сравнению с контактной сваркой в 2 ... 4 раза уменьшает припуски и в 1,5 ... 2 раза – брак. При применении сварки трением получают существенную экономию материалов. Так, гладкие и резь-

бовые калибры (пробки) ранее изготавливались из дорогой стали ШХ15 методомковки в несколько переходов (рис. 3.1, а). После внедрения сварки трением хвостовик из стали 45 приваривается к рабочей части из стали ШХ15 (см. рис. 3.1, б). Валики центров точились из прутка (рис. 3.2, а). Внедрение сварки трением (см. рис. 3.2, б) увеличило число операций (отрезка двух прутков и сварка), но зато в общем сократило затраты рабочего времени и значительно уменьшило расход инструментальной стали. Изготовление штамповарных заготовок клапанов двигателей внутреннего сгорания позволило резко сократить расход жаропрочной стали и упростить горячую штамповку (рис. 3.3).

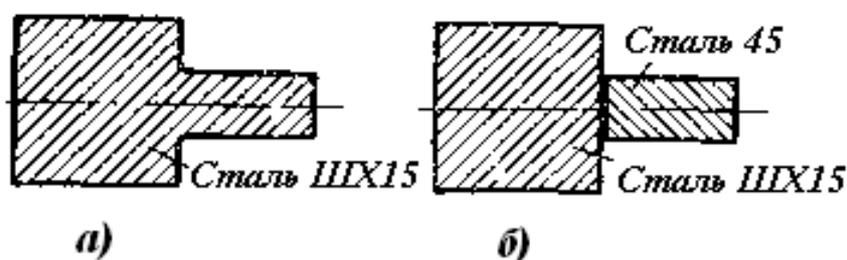


Рис. 3.1. Изготовление калибров по старой технологии (а) и с применением сварки трением (б)

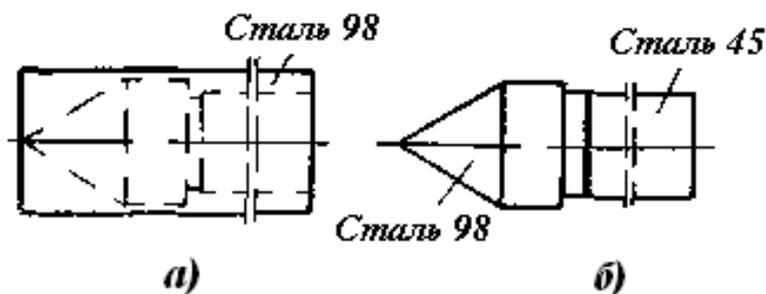


Рис. 3.2. Изготовление валиков вращающихся центров по старой технологии (а) и с применением сварки трением (б)

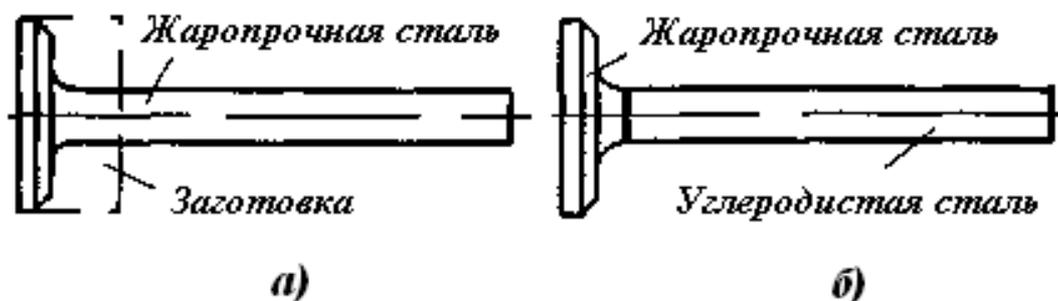


Рис. 3.3. Изготовление клапанов по старой технологии (а) и с применением сварки трением (б)

3.4. Электрошлаковая сварка

При электрошлаковой сварке основной и электродный металлы расплавляются теплотой, выделяющейся при прохождении электрического тока через шлаковую ванну.

Метод электрошлаковой сварки объединяет три способа:

- 1) сварка проволочными электродами (рис. 3.4, а);
- 2) сварка плавящимся мундштуком (см. рис. 3.4, б);
- 3) сварка электродами большого сечения (см. рис. 3.4, в).

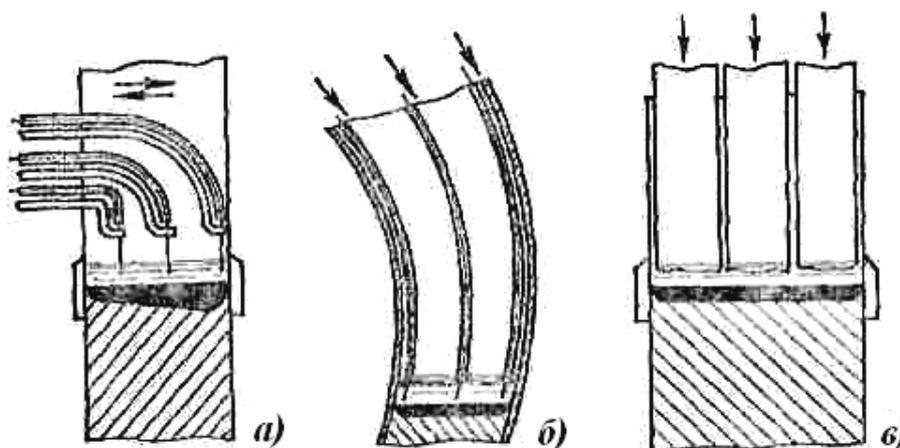


Рис. 3.4. Способы электрошлаковой сварки

Каждый из способов электрошлаковой сварки имеет свои особенности, но многие вопросы техники сварки являются для них общими.

Электрошлаковая сварка при производстве толстостенных (до 1 м и более) сварных конструкций в тяжелом машиностроении обеспечивает высокую экономическую эффективность: съем продукции с 1 м² производственной площади увеличивается в 2 раза, цикл производства уменьшается в 1,5 ... 2 раза, экономится металл, снижается расход электроэнергии в 1,5 ... 2 раза, а флюса – в 20 ... 40 раз, отпадает необходимость в предварительной разделке кромок, снижается себестоимость.

3.5. Электронно-лучевая сварка

Электронный луч представляет собой сжатый поток электронов, перемещающийся в вакууме с большой скоростью от катода к аноду в сильном электрическом поле. При соударении электронного потока с твердым

телом более 99% кинетической энергии электронов переходит в тепловую, расходуемую на нагрев этого тела. Температура в месте соударения может достигать 5000 ... 6000 °С. Электронный луч, образуемый за счет эмиссии электронов с нагретого в вакууме [$133(10^{-4} \dots 10^{-5})$ Па] катода, с помощью электростатических и электромагнитных линз фокусируется на поверхности свариваемых материалов (рис. 3.5).

При сварке электронным лучом теплота выделяется непосредственно в самом металле, который, частично испаряясь, оттесняет расплав в сторону, противоположную направлению сварки. Форма шва приобретает очертание F_1 (рис. 3.6), называемое «кинжальным» проплавлением. Отношение глубины проплавления к ширине может достигать 20 : 1.

Электронно-лучевая сварка позволяет получать сварные соединения из окончательно обработанных деталей без их существенных деформаций (например, блоки зубчатых колес взамен крупных поковок). Электронно-лучевая сварка гарантирует высокое качество сварного соединения деталей из тугоплавких металлов, жаропрочных, жаростойких и других материалов со скоростью, не уступающей дуговой сварке.

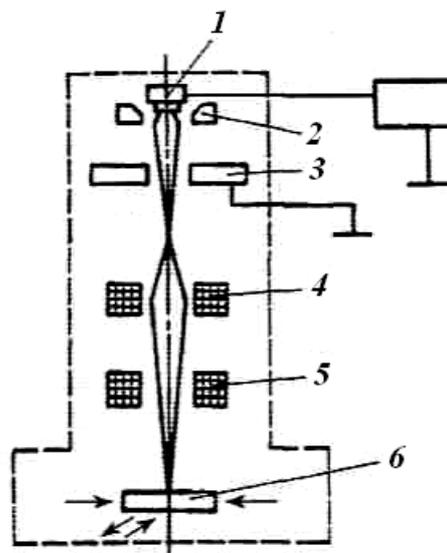


Рис. 3.5. Схема установки для электронно-лучевой сварки:
1 – катод электронной пушки;
2 – электроды; 3 – анод;
4, 5 – магнитная система;
6 – свариваемое изделие

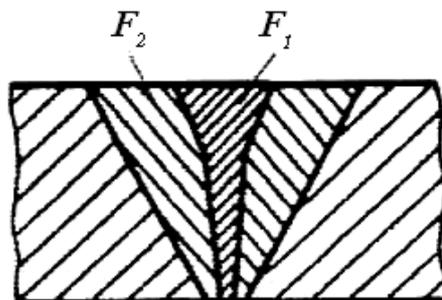


Рис. 3.6. Формы проплавления при дуговой (F_2) и электронно-лучевой (F_1) сварке

3.6. Диффузионная сварка

При диффузионной сварке соединение образуется в результате взаимной диффузии атомов в поверхностных слоях контактирующих материалов, находящихся в твердом состоянии. Диффузионные процессы в поверхностных слоях контактирующих заготовок протекают достаточно активно при нагреве до температур рекристаллизации ($0,4T_{nl}$) и давления,

необходимого для пластического деформирования микровыступов и их смятия с целью обеспечения физического контакта всей поверхности.

Диффузионную сварку в большинстве случаев выполняют в вакууме, однако она возможна в атмосфере инертных и защитных газов. Свариваемые заготовки 3 (рис. 3.7) устанавливают внутри охлаждаемой металлической камеры 2, в которой создается вакуум $133 (10^{-3} \dots 10^{-5})$ Па, и нагревают с помощью вольфрамового или молибденового нагревателя либо индуктора ТВЧ 4. Все вводы в камеру (5 – к вакуумному насосу, 6 – к высокочастотному генератору и др.) хорошо герметизируются. С целью ускорения процесса в камеру может быть введен электронный луч, позволяющий нагревать заготовки с еще более высокими скоростями, чем при использовании ТВЧ. Обычно такой нагрев применяют при диффузионной сварке тугоплавких металлов и сплавов.

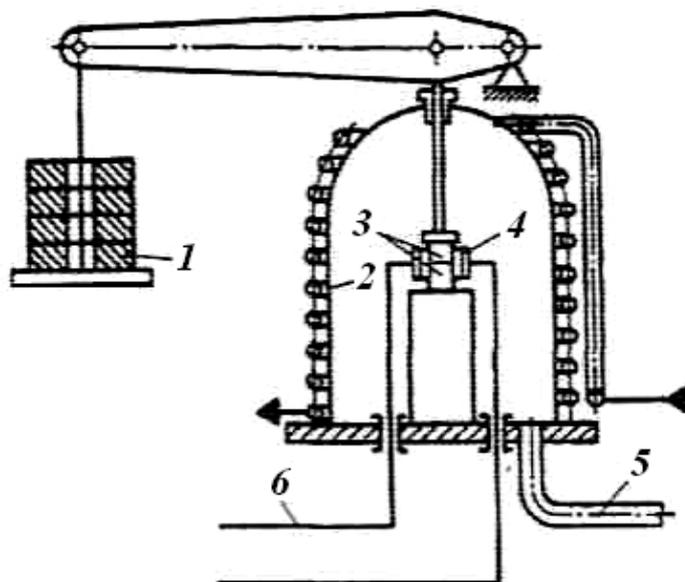


Рис. 3.7. Схема диффузионной сварки в вакууме:

- 1 – груз; 2 – камера; 3 – свариваемые заготовки; 4 – индуктор ТВЧ;
5 – патрубок вакуумного насоса; 6 – токоподвод высокочастотного генератора

После того как достигнута требуемая температура, к заготовкам прикладывают с помощью механического 1, гидравлического или пневматического устройства небольшое сжимающее давление (1 ... 20 МПа) в течение 5 ... 20 мин.

Диффузионная сварка позволяет соединять разнородные материалы, в том числе тугоплавкие металлы и неметаллические материалы с металлами, сваривать детали разной толщины; обеспечивать равнопрочность ос-

нового металла и сварного соединения. В процессе сварки исключается неблагоприятное влияние металлургических и ряда термических факторов.

Диффузионная сварка применяется при изготовлении резцов, угольников, магнитов, микрометров с пяткой из твердых сплавов, дисков газовых турбин.

При производстве заготовок ограниченно применяют также газовую, плазменную, ультразвуковую, лазерную и другую сварку. В изделиях сложной геометрической формы (телескопические соединения трубчатых элементов, сотовые конструкции и т. п.), при изготовлении которых наложение сварных швов оказалось бы затруднительным, целесообразно применять пайку.

Многообразие способов сварки и пайки, а также конструктивных и производственно-технологических факторов, влияющих на возможность их применения, требует тщательного технико-экономического обоснования выбора способа сварки.

Основные типы сварных соединений представлены на рис. 3.8.

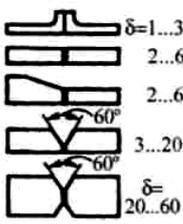
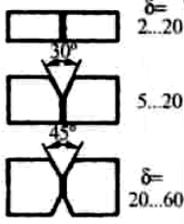
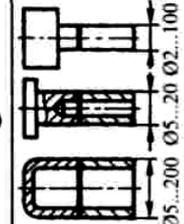
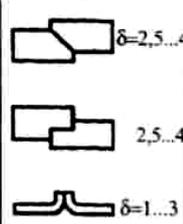
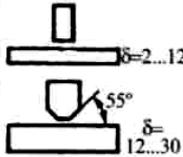
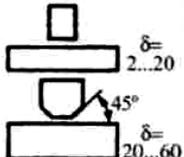
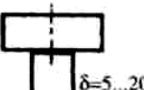
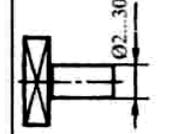
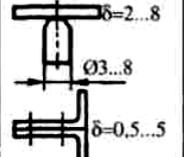
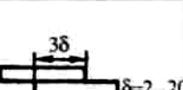
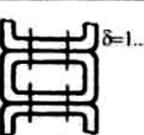
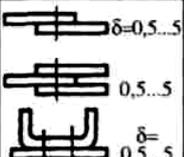
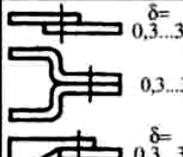
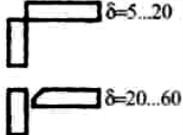
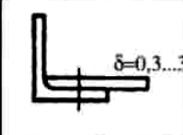
| | | Сварка | | | | |
|----------------|---|---|---|---|---|---|
| Тип соединения | ручная дуговая | автоматическая под флюсом | электронно-лучевая | контактная | | |
| | | | | стыковая | точечная | шовная |
| Стыковые |  |  |  |  | |  |
| Тавровые |  |  |  |  |  |  |
| Нахлесточные |  | |  | |  |  |
| Угловые |  | | |  | |  |

Рис. 3.8. Типы сварных соединений, применяемых при основных способах сварки плавлением и давлением

4. ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

4.1. Особенности изготовления сварных конструкций

Применение сварки открыло большие возможности в деле механизации и автоматизации производственных процессов, что позволяет улучшить качество выпускаемой продукции и повысить производительность труда.

Однако для полного использования всех преимуществ сварных конструкций необходимо учитывать ряд требований, предъявляемых к применяемым **материалам, форме сопряжений и узлов**, а также к **технологии их изготовления**.

Процесс сварки оказывает значительное тепловое воздействие на металл, которое может привести к существенным изменениям свойств основного металла, а также является причиной появления остаточных деформаций и напряжений в конструкции.

Влияние процесса сварки на металл. В результате сосредоточенного местного теплового воздействия в зоне шва происходят изменения свойств металла, связанные с плавлением, кристаллизацией, структурными превращениями, а также с местными пластическими деформациями.

Степень изменения свойств металла в районе шва зависит как от теплового режима сварки, так и от свойств основного металла.

Основной металл конструкции должен обладать свойствами, обеспечивающими его высокую эксплуатационную прочность и достаточно высокую технологическую прочность, т. е. материал сварных конструкций должен выдерживать без разрушения усилия, возникающие в процессе сварки.

Правильный выбор основного металла должен обеспечивать необходимые свойства металла в зонах, расположенных у сварных швов, которые подвергаются тепловому воздействию в процессе сварки.

Свойствами основного металла и металла сварного шва определяется степень влияния, которое могут оказать сварочные напряжения на прочность конструкции.

Обеспечение высокой эксплуатационной и технологической прочности достигается не только выбором материала и конструктивных форм, но также и технологией изготовления сварной конструкции.

Основной технологической мерой борьбы с появлением трещин в процессе изготовления конструкций является выбор теплового режима сварки.

Значение конструктивных форм. Наличие тесной взаимосвязи и влияния друг на друга материала, конструктивных форм соединений и технологии изготовления является характерной особенностью сварных соединений.

Выбранные конструктивные формы в известной степени определяют выбор методов и технологии сварки. Принятая технология, в свою очередь, влияет на изменение свойств металла и на точность выполнения проектных размеров и форм и определенного напряженного состояния конструкции.

4.2. Сварочные деформации, напряжения и перемещения

При проектировании и изготовлении сварных конструкций необходимо считаться с возможностью появления в них **остаточных деформаций, напряжений, перемещений** и принимать меры для их предотвращения в таких пределах, при которых влияние их не будет опасным.

Впервые на возникающие при сварке деформации, напряжения и на необходимость их учета указал родоначальник электродуговой сварки Н.Г. Славянов. Он отмечал, что причиной появления сварочных напряжений является неравномерный нагрев изделия при сварке, вызывающий местные пластические деформации. Он уже тогда указывал на разницу появления сварочных напряжений в хрупких и пластичных металлах и особую опасность напряжений, появляющихся при сварке жестко закрепленных деталей. Н.Г. Славянов разработал и некоторые меры борьбы с вредными влияниями напряжений (предварительный подогрев изделия, проковка сварных швов и др.), которые применяются и в настоящее время.

Изготовление сложнейших сварных конструкций возможно в основном благодаря решению проблемы управления сварочными деформациями, напряжениями и перемещениями.

По эксплуатационным условиям и по условиям прочности необходимо обеспечивать определенную точность изготовления конструкций, и появление в них сварочных деформаций нежелательно. В связи с этим разработка мер для предупреждения сварочных деформаций является одной из основных задач технологического процесса изготовления сварочных конструкций.

Степень проявления сварочных напряжений во многом определяется свойствами свариваемого металла и металла сварного шва.

В легированных сталях кроме напряжений, уравнивающихся в макрообъемах (**напряжения первого рода**), появляются структурные напряжения, уравнивающиеся в пределах микрообъемов (**напряжения второго рода**). При этом происходят значительные изменения прочностных свойств металла в районе шва. Это актуально в случае применения специальных сталей. Технология сварки конструкций из легированной стали существенно отличается от технологии сварки конструкций из малоуглеродистой стали. Для сохранения требуемой структуры металла в районе шва при сварке конструкций из легированной стали применяются предварительный и сопутствующий подогревы, а также последующая термическая обработка, которая наряду с изменением структуры одновременно снимает и структурные напряжения. При этом в готовой конструкции не будет также и остаточных напряжений первого рода.

При сварке малоуглеродистой и низколегированной сталей структурных напряжений не возникает. Для них ограничиваются вопросами, связанными только с напряжениями первого рода.

Напряжения, пластические деформации и искажения формы конструкций специфическим образом ухудшают свойства изделий. Поэтому их влияние обычно изучают отдельно.

4.2.1. Собственные напряжения и пластические деформации

Остаточные напряжения и деформации могут влиять на получение и сохранение точных размеров и форм сварных конструкций, а также на их прочность и работоспособность:

1. Перераспределение сил и напряжений в деталях в процессе механической обработки вызывает изменение их размеров и форм.

2. С течением времени происходят небольшая релаксация напряжений и перемещение нестабильных составляющих структуры металла, если они имеются. Возникают дополнительные перемещения.

3. В процессе изготовления, транспортировки, монтажа и эксплуатации сварных деталей с остаточными напряжениями собственные напряжения складываются с напряжениями от различных внешних нагрузок. Из-за этого происходят пластические деформации, которые дополнительно возрастают при неблагоприятных температурных условиях и изменяют размеры деталей.

4. Растягивающие остаточные напряжения снижают вибрационную прочность сварных конструкций. Если они действуют в зонах, где есть концентрация напряжений и неоднородность механических свойств, то там

в первую очередь возникают разрушения от усталости. Степень отрицательного влияния растягивающих напряжений зависит от уровня эксплуатационных напряжений и коэффициента концентрации напряжений. Чем выше рабочие напряжения и чем выше концентрация напряжений, тем меньше доля влияния растягивающих напряжений, и, наоборот, при невысоких рабочих напряжениях и малых концентрациях напряжений относительное отрицательное влияние растягивающих остаточных напряжений обнаруживается сильнее.

5. Остаточные растягивающие напряжения могут понижать статическую прочность сварных соединений. Степень влияния зависит от свойств металла, его деформационной способности, уровня концентрации напряжений, предварительной пластической деформации металла. Если металл при рассматриваемой температуре малочувствителен к концентрации напряжений и не испытал большой предварительной пластической деформации, то остаточные растягивающие напряжения не влияют на статическую прочность. В противном случае даже сами собственные напряжения могут вызвать самопроизвольные разрушения.

6. Сжимающие остаточные напряжения понижают местную устойчивость тонкостенных элементов сварных конструкций. При суммировании рабочих и остаточных напряжений потеря устойчивости может возникнуть при нагрузках меньше расчетных, а в некоторых случаях – даже от остаточных напряжений.

7. Коррозионное растрескивание, а иногда и процессы коррозии усиливаются под влиянием остаточных растягивающих напряжений как первого, так и более высоких родов.

8. Остаточные растягивающие напряжения являются необходимым условием появления холодных трещин в закаливаемых сталях. Они возникают непосредственно после сварки в процессе вылеживания сварных конструкций.

9. Остаточные напряжения являются носителями энергии упругой деформации. При одноосных напряжениях энергия, запасенная в единице объема, пропорциональна квадрату напряжения. Так как напряжения максимальны в зоне сварных соединений, то значительная часть энергии сосредоточена там. Начавшееся по каким-либо причинам разрушение в дальнейшем поддерживается энергией остаточных напряжений. Трещина может распространиться на значительную длину, сделав невозможным последующий ремонт разрушившейся детали. Энергия остаточных напряжений усиливает динамику процесса разрушения, увеличивает скорость движения трещин и способствует переходу от вязкого разрушения к хрупкому.

4.2.2. Перемещения, вызываемые сваркой

Отрицательное влияние перемещений может обнаруживаться непосредственно в процессе изготовления сварной конструкции:

1. Перемещения свариваемых деталей создают деформации в зоне кристаллизующегося металла и могут привести к образованию горячих трещин.

2. Во время сварки в ряде случаев возникают перемещения в зоне формирования сварного соединения. При электрошлаковой сварке изменение зазора изменяет скорость сварки. Сварочный зазор может закрываться или открываться в таких пределах, что процесс может даже прерваться. При дуговой сварке тонкого металла из-за потери устойчивости возникает прожог листов. В результате перемещений при сварке кромки листов смещаются по толщине и образуют ступеньки. При сварке листов внахлест остаточные перемещения, возникшие ранее, не позволяют деталям плотно прилегать друг к другу и сварка углового шва ведется по зазору с затеканием в него жидкого металла. При автоматической сварке угловых швов возможно даже их несплавление.

3. Перемещения элементов при сварке затрудняют последующий процесс сборки деталей между собой, а иногда делают ее невозможной без проведения дополнительной правки. Особенно часто это встречается при сварке тонких листов ($S \leq 4$ мм) и тонкостенных оболочек с кольцевыми швами. При поузловой сварке часто возникают затруднения из-за несовпадения посадочных и присоединительных размеров собираемых после сварки узлов вследствие возникших перемещений. Иногда это приводит к ручной пригонке и даже к предварительной полной сборке изделия, что уменьшает возможности механизации и автоматизации сварочного производства.

4. Из-за возникающих от сварки перемещений приходится назначать завышенные припуски на механическую обработку, чтобы иметь возможность обработать все предусмотренные чертежом поверхности. На рис. 4.1, *а* показан полый вал с угловым изломом θ в зоне кольцевого шва. При значительной длине вала необходимо увеличить толщину S стенки, чтобы можно было провести обточку по всей длине. Рама на рис. 4.1, *б* имеет пропеллерность. Толщина платиков l должна быть увеличена, чтобы после механической обработки верхние поверхности всех платиков лежали в одной плоскости. Это увеличивает расход металла и время на обработку.

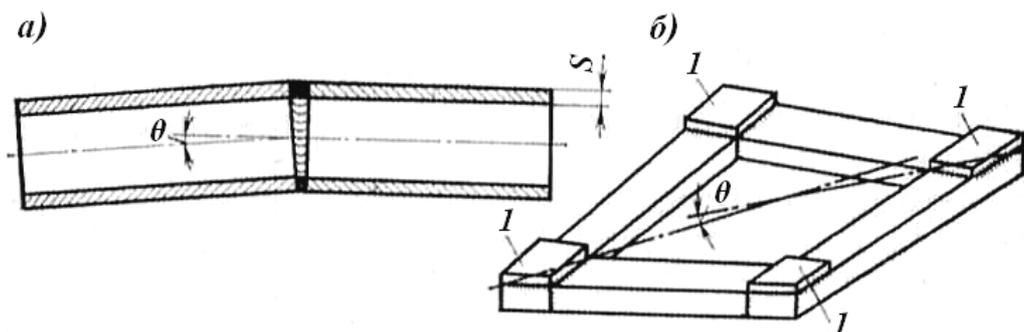


Рис. 4.1. Перемещения в сварных деталях, вызывающие увеличение припуска на механическую обработку

5. Некоторые виды перемещений изменяют геометрические характеристики сечений. Например, выполнение поясных швов двутавровой балки иногда уменьшает момент инерции вследствие приближения краев полок к главной оси поперечного сечения. Изгиб колонн от сварки, окружные сокращения оболочек от кольцевых швов, уменьшение кривизны в оболочках в местах приварки к ним различных элементов создают при эксплуатации более высокие напряжения вследствие появления не учтенных расчетом изгибающих моментов и растягивающих напряжений.

6. Начальные перемещения могут вызвать уменьшение устойчивости, в особенности местной. Общая устойчивость изогнутых колонн, сжатых труб с местными деформациями стенок также несколько снижается.

7. В летательных аппаратах, судах, энергетических установках перемещения, искажающие поверхности, которые обтекаются потоками газа или жидкости, увеличивают сопротивление потоку. В деталях машин и механизмов искажения размеров вызывают увеличение сил трения или даже заклинивание.

8. Значительные отклонения от правильных геометрических форм нарушают требования технической эстетики, ухудшают товарный вид таких изделий, как вагоны, автомобили, суда, предметы бытовой техники.

4.3. Методы уменьшения сварочных деформаций, напряжений и перемещений

Уменьшение сварочных деформаций, напряжений и перемещений в большинстве случаев достигается соответствующим выбором последовательности сборки и сварки. Такое решение наиболее рационально, так как в этом случае отпадает необходимость применения дополнительных прие-

мов, усложняющих технологический процесс изготовления сварных конструкций.

Однако при изготовлении сварных конструкций не во всех случаях удается избежать необходимости применения некоторых дополнительных мер.

Без применения специальных мер нельзя предотвратить или уменьшить сварочные напряжения.

4.3.1. Методы уменьшения сварочных напряжений

В основе известных методов уменьшения сварочных напряжений и искажений форм сварных конструкций лежат три основных способа их регулирования:

1. Уменьшение объема металла, вовлекаемого в пластическую деформацию на стадии его нагрева, и уменьшение самой пластической деформации.

2. Создание в зонах пластических деформаций, возникающих от нагрева, дополнительных деформаций противоположного знака. Это может быть выполнено как при остывании, так и после полного охлаждения.

3. Компенсация возникающих деформаций и перемещений путем симметричного расположения швов, создания дополнительных зон пластических деформаций, предварительного перемещения, обеспечение свободной усадки и др.

Рассмотрим некоторые методы.

Подогрев при сварке изменяет поля температуры и сварочных деформаций, а также в ряде случаев и свойства металла, воздействуя на термический цикл. При этом изменяются напряжения, создаваемые структурными превращениями. В отношении пластических деформаций подогрев, с одной стороны, уменьшает предел текучести, модуль упругости и перепад температур. Это способствует уменьшению максимальных остаточных напряжений. С другой стороны, он расширяет зону пластических деформаций. При подогреве до очень высоких температур, при которых предел текучести мал, остаточные напряжения также весьма малы.

Проковка применяется как в процессе сварки по остывающему металлу, так и после полного остывания. Проковкой осаживают металл по толщине, создавая пластические деформации удлинения в плоскости, перпендикулярной к направлению удара. Этим достигают уменьшения растягивающих или даже появления сжимающих остаточных напряжений. Эффект от проковки зависит от температуры, количества теплоты, которое

выделяется при проковке, и значения пластической деформации. Если температура в зоне проковки выше, чем в остальном (непрокованном) металле, то в процессе последующего остывания и температурного сокращения металла сжимающие напряжения будут уменьшаться и могут перейти даже в растягивающие. При холодной проковке нагрев обычно невелик и можно создать высокие сжимающие напряжения.

При импульсной обработке взрывом используют заряды ленточного типа, которые укладывают на обрабатываемые поверхности. Взрыв, который проводят в специальной камере, создает напряжения в поверхностном слое. Применяется как средство повышения выносливости сварных соединений при переменных нагрузках. При такой обработке происходит перераспределение остаточных напряжений.

Прокатка зоны сварного соединения используется, главным образом, для уменьшения остаточных перемещений или для заглаживания швов. В местах прокатки растягивающие напряжения уменьшаются и могут стать сжимающими.

Приложение нагрузок. Во время сварки нагрузки прикладывают так, чтобы в зоне сварки создать растягивающие напряжения. Это уменьшает остаточные напряжения растяжения и усадочную силу. Если нагружение производится после сварки, необходимо, чтобы напряжения от нагрузки складывались с остаточными растягивающими напряжениями и вызвали пластические деформации. Для полного их снятия напряжения от нагрузки должны быть близки к пределу текучести металла, что обычно труднодостижимо. Применяют как статическое, так и вибрационное нагружение.

Создание неравномерного нагрева и охлаждения. Если создать с двух сторон сварного соединения нагретые зоны, как показано на рис. 4.2, *а*, то металл, расширяясь, вызовет растяжение вдоль шва и сжатие поперек шва (см. рис. 4.2, *б*). Такая схема напряжений благоприятна для протекания пластических деформаций в направлении вдоль шва, что как раз необходимо для снятия остаточных растягивающих напряжений. Перемещая зоны нагрева, как показано стрелкой на рис. 4.2, *а*, охлаждая металл позади источника теплоты, процесс можно сделать непрерывным.

Если обеспечить концентрированное охлаждение участка с растягивающими напряжениями, то он будет сокращаться и вызывать суммирование остаточных напряжений с растягивающими напряжениями от охлаждения. Это вызовет пластическую деформацию и последующее снижение остаточных напряжений после выравнивания температур.

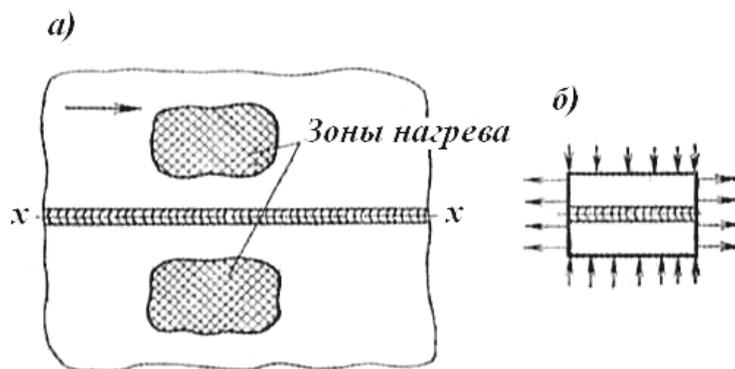


Рис. 4.2. Схема процесса снижения остаточных напряжений местным нагревом

Местный концентрированный нагрев отдельных зон применяют, чтобы вызвать усадку металла в месте нагрева и создать напряжения сжатия в соседних зонах.

Отпуск сварных конструкций применяют для изменения структуры и свойств металла и снижения остаточных напряжений. Такое применение целесообразно, если предъявляются повышенные требования к прочности сварной конструкции и точности ее размеров при последующей эксплуатации. Кроме того, иногда целесообразно восстановить пластические свойства в зонах, где концентрировались пластические деформации при сварке, а также повысить сопротивляемость хрупким разрушениям. В остальных случаях применение отпуска не рекомендуется из-за удорожания стоимости производства конструкций. Различают **общий, местный, поэтапный** и **поэлементный отпуск**.

Общий отпуск – равномерно нагревают изделие целиком.

Местный отпуск – нагревают лишь часть конструкции в зоне сварного соединения.

Поэтапный отпуск – источник нагрева движется вдоль конструкции и последовательно нагревает ее участки.

Поэлементный отпуск – термической обработке подвергают узлы сварной конструкции, а затем сваривают их между собой.

Основное достоинство отпуска как метода снижения остаточных напряжений – в том, что он не вызывает пластических деформаций, которые уменьшали бы пластичность металла.

Операция отпуска состоит из четырех стадий: нагрева, выравнивания температур, выдержки и остывания. Напряжения снимаются в основном на стадии нагрева (рис. 4.3).

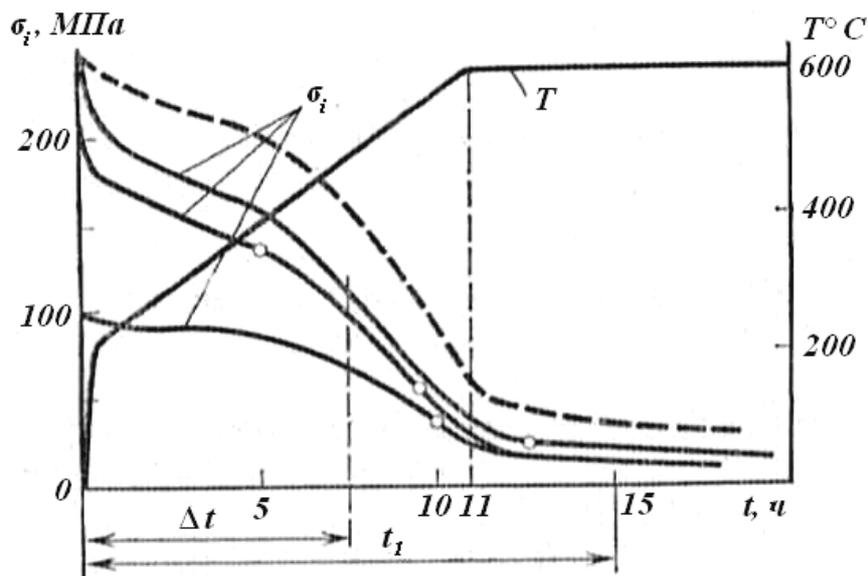


Рис. 4.3. Снижение интенсивности напряжений σ_i (сплошные кривые) и трехосных напряжений в сварном соединении большой толщины (пунктирная кривая)

4.3.2. Методы уменьшения деформаций и перемещений от сварки

Меры по уменьшению деформаций и перемещений от сварки предусматриваются на всех этапах проектирования и изготовления большинства сварных конструкций.

На стадии **разработки проекта** нужно принимать такие конструктивные решения, которые бы позволили технологу избежать значительных искажений сварной конструкции и организовать правку при необходимости:

1. Назначают минимальные объемы наплавляемого металла; сечения угловых швов принимают по расчету на прочность и в соответствии с рекомендациями о минимальных катетах швов.

2. Используют способы сварки с минимальным тепловложением, например, контактной вместо дуговой, многопроходной вместо однопроходной. При назначении вида сварки следует иметь в виду допустимые скорости охлаждения металла и не превышать их.

3. Балочные конструкции проектируют с таким поперечным сечением и расположением швов, чтобы моменты, создаваемые усадочными силами, были уравновешены, а углы излома от поперечных швов взаимно компенсировали прогибы. Это обеспечивает минимальный изгиб балок.

4. Следует стремиться к такой последовательности сборочно-сварочных операций, при которой моменты инерций и площади попереч-

ных сечений швов были бы по возможности максимальными. Например, последовательное наращивание элементов в сложных конструкциях дает большие искажения размеров, чем сборка всей конструкции на прихватках, а затем сварка.

5. В некоторых случаях целесообразно обеспечить свободное сокращение элементов от усадки, чтобы не вызывать искажений конструкции в целом. Например, нахлесточное, еще не сваренное соединение позволяет смещаться листам, не передавая остальной части конструкции усадку. Стыковое соединение листов выполняют до прикрепления их к другим частям конструкции.

6. В конструкциях с тонкостенными элементами швы располагают либо на жестких элементах, либо вблизи них.

7. Во всех случаях, когда есть опасения, что возникнут нежелательные искажения размеров и форм конструкций, проектирование ведут с учетом правки конструкции после сварки.

При **разработке технологии** и проведении сварки используют следующие мероприятия:

1. Применяют рациональную последовательность сборочно-сварочных операций. Например, конструкцию расчленяют на отдельные узлы, которые могут быть по отдельности легко выправлены, а затем сварены между собой с минимальными отклонениями. Сложную балочную конструкцию наращивают элементами с определенной последовательностью. Сборку целесообразно вести от наиболее жесткого элемента.

2. Назначают экономичные способы и режимы сварки с минимальным тепловложением и таким характером искажений, который безвреден для качества конструкции. Например, если недопустим излом длинной трубы в зоне кольцевого шва, то применяют многопроходную сварку. Регулированием скорости охлаждения и химического состава металла шва изменяют характер структурных превращений и усадочную силу.

3. Применяют соответствующую оснастку и приспособления для сборки и закрепления свариваемых элементов. Они эффективны для ликвидации временных перемещений. Это характерно при прижатии тонких листов при стыковой сварке соединений, закреплении ребер и диафрагм при выполнении угловых швов, удержании листа в плоскости при контактной точечной шовной сварке, фиксации элементов рамы при сварке ее в углах и пересечениях.

4. Назначают размеры заготовок с учетом последующей усадки, например, выставление переменного по длине зазора при электрошлаковой

сварке (рис. 4.4, а), компенсация угла при сварке стыковых соединений (см. рис. 4.4, б), создание предварительной кривизны балки (см. рис. 4.4, в) путем выкраивания стенки с кривизной, натяжение Δ (см. рис. 4.4, з) или термическое удлинение Δ_T стенки двутавра (см. рис. 4.4, д), чтобы она при последующей усадке не потеряла устойчивости.

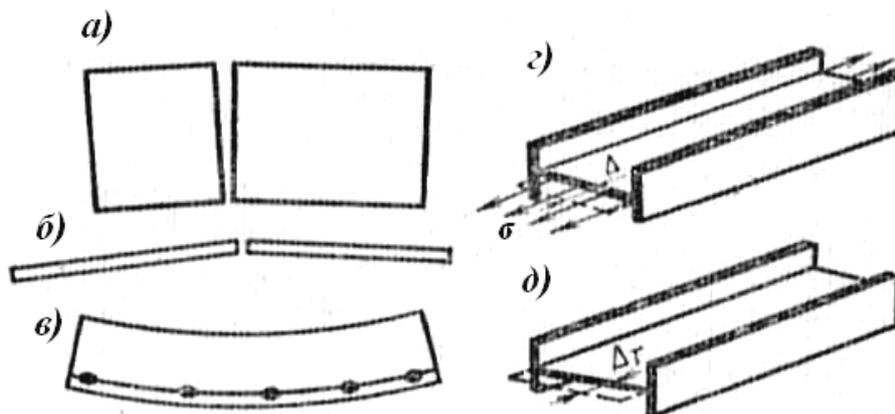


Рис. 4.4. Создание перемещений, противоположных сварочным

5. Предварительной пластической деформацией заготовок перед сваркой создают перемещения, противоположные ожидаемым при сварке. Например, изгибают полки, чтобы уменьшить грибовидность от укладки продольных швов в балке, раскатывают края обечаек перед сваркой кольцевых швов.

6. Искусственным охлаждением – подачей воды при контактной сварке, обдувом газо-водяной смесью при других способах сварки, использованием охлаждающих подкладок и накладок в зажимных приспособлениях – уменьшают зону пластических деформаций.

7. Создают в зоне сварки приспособлениями или специальными установками напряжения растяжения, чтобы уменьшить усадочную силу. Этот способ применяют при сварке балок.

8. Создают непосредственно после сварки пластические деформации удлинения проковкой металла специальным инструментом или сварочным электродом при точечной контактной сварке.

Для **правки конструкций** после сварки используют различные механические и термические способы.

Механические способы основаны на создании пластических деформаций удлинения с целью компенсации пластических деформаций укорочения, вызванных сваркой, и включают гибку, растяжение, проковку, ста-

тическое осаждение металла по толщине под прессом для его удлинения в плоскости, вибрацию, прокатку.

Термические способы также основаны на создании пластических деформаций необходимого знака. При местных нагревах (термическая правка) создают пластические деформации укорочения. Нагрев проводится вне зон пластических деформаций, возникших при сварке.

Термическая правка путем общего нагрева детали при отпуске возможна только с использованием специальных приспособлений, так как напряжения снижаются как в зонах растяжения, так и в зонах сжатия.

4.4. Обеспечение высокой технологичности сварных конструкций

Термин «технологичность» характеризует комплекс свойств, способствующих изготовлению конструкций с наименьшей затратой **материалов, труда и времени** при одновременном обеспечении заданных для нее качественных показателей.

Технологичность конкретной конструкции оценивают качественно и количественно. Качественная оценка характеризует технологичность обобщенно на основании опыта исполнителя. Она предшествует количественной оценке и выражается численным показателем, характеризующим степень удовлетворения требований к технологичности конструкции. Необходимость количественной оценки, номенклатура показателей и методика их определения устанавливаются отраслевыми стандартами и стандартами предприятия.

Изделие считают технологичным, если оно запроектировано так, что при его изготовлении обеспечена возможность применения высокопроизводительных технологических процессов.

Выбор материала

Выбор материала наряду с конструктивными формами сварных соединений и узлов в значительной степени определяет не только прочностные характеристики проектируемого изделия, но и технологические возможности процесса его изготовления.

Для сварной конструкции с позиций обеспечения лучшей технологичности наиболее желательным является такой материал, который допускает сварку обычными сравнительно простыми приемами, не требующими создания особых условий, осложняющих производство (таких, например, как предварительный и сопутствующий подогрев изделия или последующая его термическая обработка и т. п.)

В процессе остывания сварного соединения в нем при некоторых условиях возможно появление трещин. Условия образования трещин зависят от свойств металла, формы и размеров подготовленных к сварке кромок и от технологии сварки.

В зависимости от температуры образования трещин различают горячие и холодные трещины.

Горячие трещины возникают при температуре, близкой к линии солидуса, в процессе уменьшения затвердевшей прослойки жидкого металла, находящегося в замкнутом объеме между уже затвердевшими кристаллами. На процесс их образования большое влияние оказывает химический состав металла шва, определяющий свойства жидких прослоек.

Для некоторых составов повышение механической прочности идет медленнее, чем рост напряжений, возникающих от сокращения объема. Это и приводит к образованию горячих трещин. Сера, углерод, кремний и водород способствуют образованию горячих трещин, а марганец повышает стойкость металла к трещинообразованию.

Холодные трещины возникают в швах и околошовной зоне, как правило, при температурах ниже 300 °С. Причиной их образования является концентрация углерода и легирующих элементов, вызывающих закалку. Появлению таких трещин способствует также загрязнение металла фосфором.

Для большинства сварных конструкций из малоуглеродистых и низколегированных сталей холодные трещины нехарактерны. Они могут появляться при сварке углеродистых и легированных сталей. Основными мерами борьбы с появлением холодных трещин является подбор теплового режима сварки, применение подогрева и последующей термической обработки.

Снижение материалоемкости сварной конструкции во многом зависит от конструктивных форм, возможно более точного учета характера и значений действующих нагрузок, применения уточненных методов расчета. Решение этих вопросов позволяет устранить излишний запас прочности, уменьшить массу слабо участвующего в работе металла. Целесообразно вместо пространственных решетчатых конструкций использовать оболочковые; удовлетворять требования высокой жесткости, применяя гнутые или гофрированные тонколистовые, а также сотовые элементы; при работе на продольную устойчивость использовать трубчатые элементы.

Наибольшая экономия металла может быть получена при использовании прочных и высокопрочных сталей, а также сплавов с высокой удельной прочностью (алюминиевых, титановых). Большие перспективы имеет применение композиционных материалов (двухслойные стали).

Технологические пробы

Для определения пригодности материала к применению в сварных конструкциях существуют различные специальные пробы, которые позволяют произвести оценку технологической прочности применительно к выбранным сварочным материалам и технологическим условиям. В технологических пробах в известной мере воспроизводятся условия выполнения сварных швов, соответствующие достаточно жестким условиям сварки, характерным для производства данной конструкции. Удовлетворительное выполнение такой пробы может служить некоторой гарантией, обеспечивающей в указанных условиях достаточную технологическую прочность сварных соединений. Пробы дают только качественную оценку и не относятся к числу обязательных испытаний, применяющихся при определении свойств металла. Однако применение проб позволяет проверить правильность выбора сварочных материалов, уточнить режимы сварочного процесса.

Снижение трудоемкости изготовления и сокращение объема монтажных работ

В этом плане важным является выбор размеров и методов получения заготовок, а также приемов их сварки. Вопросы, непосредственно связанные со сваркой, возникают при членении изделия на отдельные заготовки. Выбор варианта расчленения весьма важен с точки зрения его влияния на технологичность конструкции. При проектировании уникальных изделий больших размеров и массы членение нередко является единственно возможным решением задачи. Переход к сварному варианту из небольших простых литых заготовок позволяет применить машинную формовку и значительно сократить трудоемкость. При неравномерном нагружении различных частей сварной конструкции целесообразно выбирать материалы и методы получения заготовок с учетом различия требований к механическим свойствам отдельных частей. Невозможность доставки крупных сварных изделий целиком к месту эксплуатации предопределяет проведение отдельных сварочных операций при монтаже. При этом методы сварки и конструктивное оформление соединений могут отличаться от применяемых на заводе. Поэтому размеры элементов и места расположения монтажных швов назначают одновременно с выбором метода сварки. Выбор метода сварки включает назначение типа сварного соединения, приемов его выполнения и применения присадочного металла, а также термообработки (если это необходимо).

Для общей характеристики технологичности конструкции рассмотрим пример применения цельносварных пролетных строений, в которых главные фермы приняты с жестким нижним поясом (рис. 4.5).

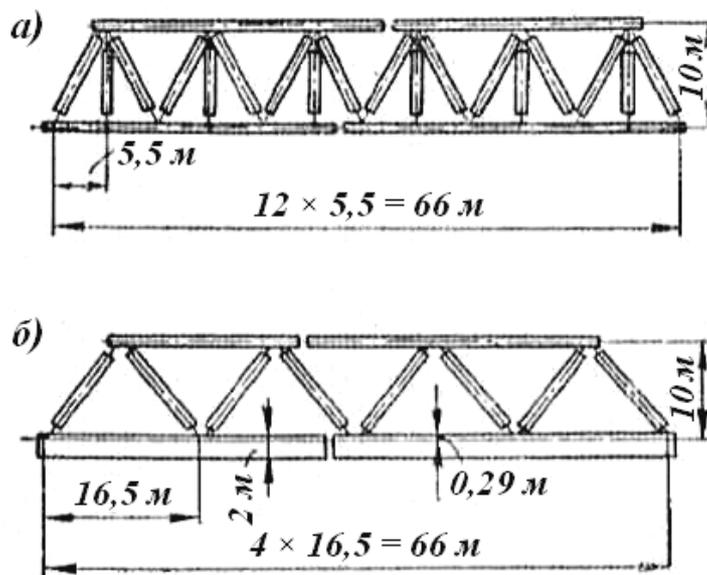


Рис. 4.5. Монтажные схемы главных ферм пролетного строения железнодорожного моста: *а* – ферма с обыкновенной треугольной решеткой и подвесками; *б* – ферма системы НИИ мостов

Возможность увеличения длины (до 16,5 м) нашли путем применения нижнего пояса в виде балки жесткости допускающей внеузловое прикрепление поперечных балок проезжей части. Замена позволила значительно сократить количество монтажных элементов по сравнению с обычной стержневой системой, для которой длина панели нижнего пояса должна быть принята в соответствии с шагом поперечных балок, равным 5,5 м. Кроме того, в конструкции цельносварного пролетного строения стержневые элементы главных ферм приняты в виде сплошных сварных двутавров с широкими полками вместо обычных стержней сквозного сечения, составленных из прокатных профилей, скрепленных между собой соединительными планками и диафрагмами.

Это позволило значительно сократить количество различных отдельных деталей и упростить процесс заготовки и сборки элементов конструкции на заводе. Количество отдельных деталей для клепаной конструкции составляет 2500 штук, тогда как для сварной конструкции оно равно 1150 штук.

Общий вес пролетного строения клепаной конструкции составляет 237 т, а для сварной конструкции он равен 172 т, что дает экономию металла 27%.

Недостаточная технологичность конструкции ограничивает применение механизации и автоматизации современного сварного производства. Так, например, наличие коротких швов в изделиях индивидуального производства ограничивает применение электродуговой автоматической сварки.

Применение коротких швов, кроме того, может быть нежелательным еще и потому, что они создают концентрацию напряжений, которая не опасна при статических нагрузках, но нежелательна при действии вибрационной нагрузки. В таких случаях замена коротких швов непрерывными дает двойной эффект: обеспечивает возможность применения автоматической сварки и способствует повышению выносливости элементов конструкций.

Применение коротких швов, выполняемых электродуговой сваркой, в некоторых случаях заменяют сварными точечными соединениями, выполненными высокопроизводительным способом контактной сварки. Это относится к узлам легких стропильных ферм и другим элементам строительных конструкций и позволяет значительно повысить уровень механизации сварки и снизить стоимость изготовления конструкций.

Экономия времени

Наибольшая экономия времени достигается в условиях непрерывного поточного автоматизированного производства при крупносерийном и массовом выпуске продукции, когда все операции согласованы во времени и выпускаются механизмами. Однако доля сварных конструкций, изготавливаемых в крупносерийном и массовом производстве, невелика (кузова автомобилей, приборы, трубы). Основным является серийное и мелкосерийное производство с часто меняющейся номенклатурой выпуска изделий. Традиционные методы механизации и автоматизации в этом производстве малоэффективны.

РАЗДЕЛ 2. ЗАГОТОВИТЕЛЬНЫЕ И ТРАНСПОРТНЫЕ ОПЕРАЦИИ

5. СВАРНЫЕ И КОМБИНИРОВАННЫЕ ЗАГОТОВКИ И ЭЛЕМЕНТЫ КОНСТРУКЦИЙ

5.1. Сварные заготовки и элементы конструкций

Детали машин сваривают из заготовок, получаемых самыми различными способами.

Многие сварные заготовки изготавливают из листового проката, фасонных и гнутых профилей, что обеспечивает возможность получения легких изделий повышенной жесткости и устойчивости. К таким заготовкам относятся рамы (рис. 5.1), станины, барабаны, корпуса редукторов, зубчатые колеса (рис. 5.2), штанги с проушинами (рис. 5.3), тяги (рис. 5.4), подшипниковые опоры разных систем (рис. 5.5) и т. п. Все они выполняются из листового проката с усилением корпусов приваркой ребер жесткости.

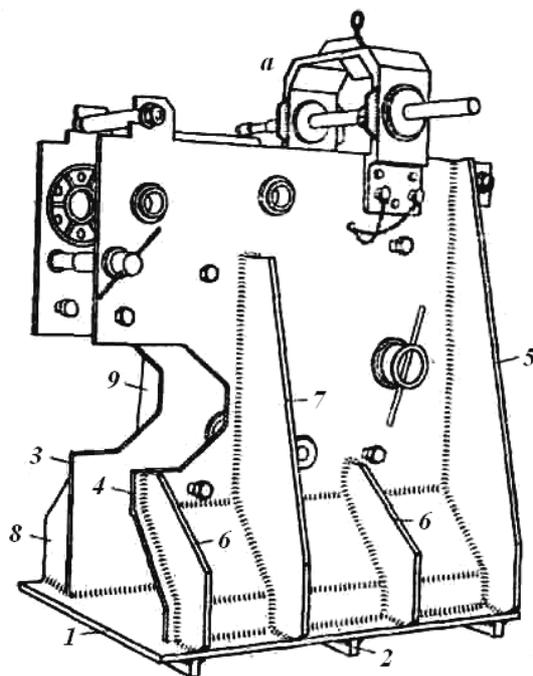


Рис. 5.1. Сварная рама механических ножниц

В ряде случаев применение сварки дает существенный экономический эффект и снижает трудоемкость механической обработки заготовки.

Замена литых деталей машин сварными позволяет получить экономию металла до 50%.

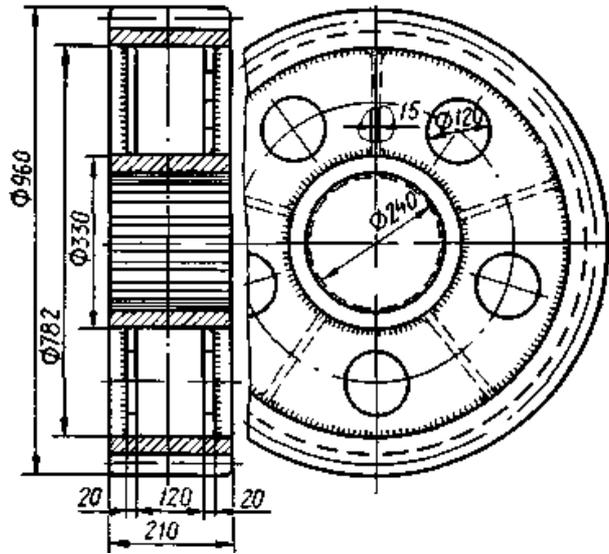


Рис. 5.2. Сварное зубчатое колесо

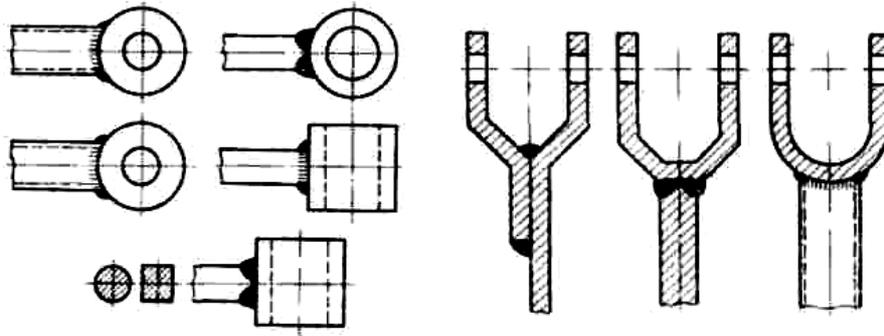


Рис. 5.3. Штанги с проушинами

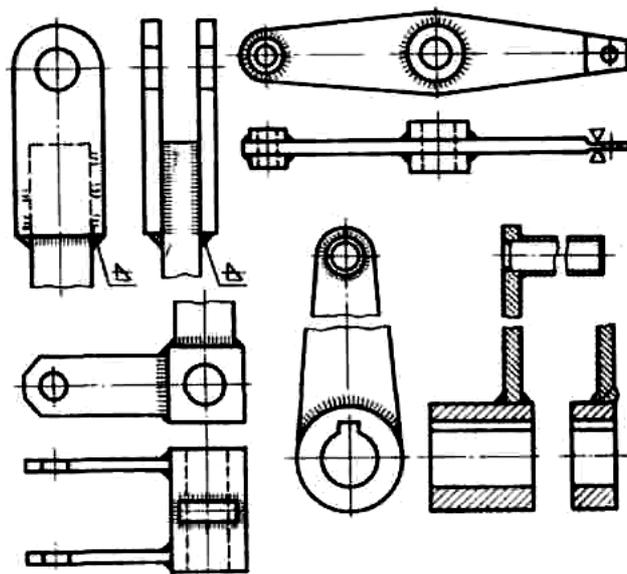


Рис. 5.4. Сварные тяги

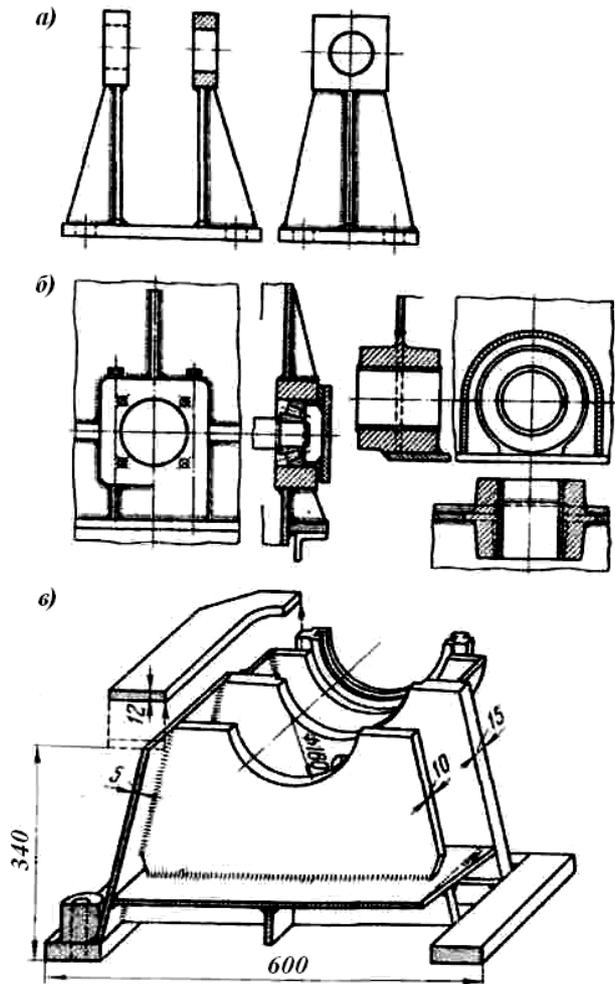


Рис. 5.5. Сварные подшипниковые опоры

Переход с литья по выплавляемым моделям на рельефную сварку при изготовлении проушин амортизаторов автомобилей и мотоциклов уменьшает расход металла на 35%, а трудоемкость – на 90%.

Примером использования сварки для повышения технологичности конструктивного решения также может служить полуось трактора. Если полуось расчленить на две части, то внутренние шлицы можно легко обработать протяжкой. Для изготовления заготовок таких полуосей используют сварку трением на специальной машине (рис. 5.6).

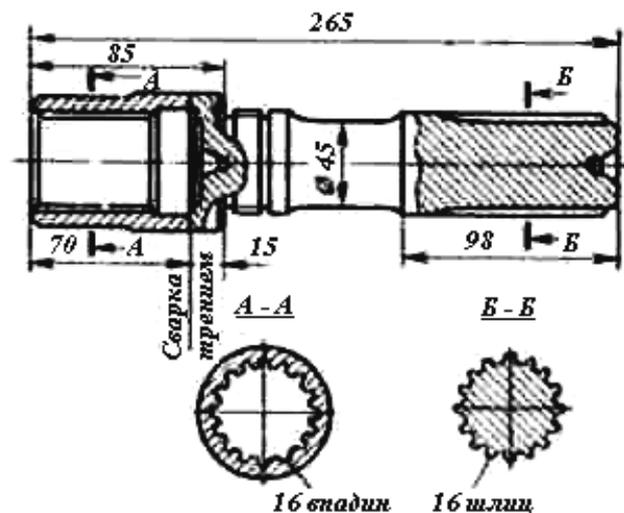


Рис. 5.6. Полуось трактора

5.2. Комбинированные заготовки и элементы конструкций

В современном машиностроении тенденции в изготовлении крупных заготовок ведут к замене литых заготовок комбинированными, которые получают сочетаниемковки и литья со сваркой.

Преимущества:

1. Это позволяет подойти дифференцированно к различным частям детали, в частности:

- использовать в одной конструкции разнородные материалы, наиболее соответствующие условиям работы различных элементов;
- уменьшить массу и металлоемкость конструкций.

2. Комбинированные заготовки обладают большей технологичностью.

3. Их внедрение снижает сроки освоения производства, сокращает расходы на литейную и штамповочную оснастку.

Сварно-литые заготовки изготавливают при производстве станин прессов, прокатных станков, станков, корпусов редукторов, картеров тепловозных двигателей, толстостенных сосудов, различных деталей вагонов и т. п.

Особенности:

1. Расчленение крупногабаритных цельнолитых заготовок позволяет использовать более точные способы литья (в кокиль, под давлением), применение которых резко снижает объем механической обработки.

2. При наличии в детали стенок толщиной свыше 30 мм, сопрягаемых со стенками малых сечений и с частями, имеющими сложный профиль, применяют сварно-литую заготовку.

3. При сочетании стенок постоянного сечения толщиной до 30 мм со сложными фасонными профилями переменного сечения применяют сварно-листо-литые заготовки.

4. При конструировании сварно-литых заготовок прибыли на отливке располагают вдали от кромок, подлежащих сварке. Повышенное содержание серы и углерода в местах расположения прибылей приводит к появлению дефектов в сварных швах и в прилегающих к ним зонах металла отливки.

5. При конструировании сварно-литых заготовок, образующих жесткий контур, следует предусматривать соединение отдельного элемента с остальной частью конструкции не более чем двумя сварными швами. В случае большего числа стыков осуществить сварку намного сложнее, а иногда невозможно.

6. При конструировании крупногабаритных сварно-литых заготовок стремятся к тому, чтобы габаритные размеры мелких отливок обеспечивали возможность машинной формовки, а длина отдельных частей во избежание коробления не превышала 4 ... 5 м.

7. В сварно-литых заготовках с нечетным числом отверстий разъем размещают в плоскости, поперечной к оси среднего отверстия, что существенно упрощает сварку.

8. В зависимости от размеров поперечного сечения, типа сварного шва и материала сварку элементов заготовки производят различными видами дуговой, контактной или электрошлаковой сварки.

9. Экономическая эффективность применения сварной конструкции вместо литой растет с увеличением массы и габаритов заготовки. Например, удельная себестоимость литой заготовки сегмента массой 40 кг составляет 362 у.е./т, а соответствующей сварной заготовки массой 33,5 кг – 270 у.е./т (снижение себестоимости на 25,4%).

Штампо-сварные заготовки (рамы, кожухи, ободы, шкивы, емкости и др.) изготавливают обычно из листового материала.

Особенности:

1. Они позволяют заменить литые или штампованные заготовки, требующие в дальнейшем довольно дорогой механической обработки.

2. Конструкция штампо-сварной заготовки должна одновременно отвечать условиям технологичности и листовой штамповки, и сварки.

3. Штампо-сварные заготовки имеют ряд преимуществ: высокая производительность изготовления; сокращение расхода материала и снижение массы конструкции; простота получения заготовок со сложными конструктивными формами; сравнительно низкая себестоимость изготовления заготовок.

4. Штампо-сварные заготовки сваривают в основном контактными способами сварки.

5. Изготовление крупных цельнокованых деталей обычно сопряжено с большими отходами материала, значительной неоднородностью свойств металла по сечению поковки, использованием уникального оборудования. Применение сварной заготовки из отдельных поковок приводит к значительному снижению трудовых, материальных и энергетических затрат и повышению качества изделий. Однако, в отличие от литья, точность и форма поковок ограничиваются возможностями применяемого оборудования и инструмента, обычно требуется значительная механическая обработка перед сваркой.

Примерами конструкций, изготовленных из поковок, служат различные сварные валы (рис. 5.7).

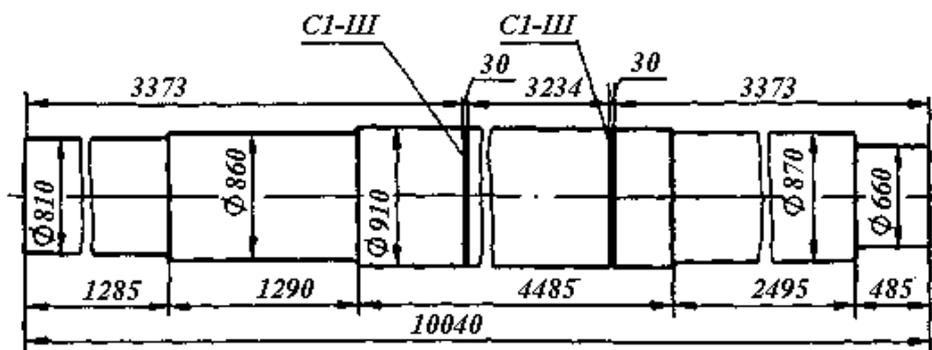


Рис. 5.7. Сварной вал шахтной подъемной машины

Сварно-ковано-литые заготовки изготавливают сочетанием литых элементов с поковками или заготовками из проката, соединяемых затем сваркой. Такие конструкции часто применяются в тяжелом и энергетическом машиностроении – роторы турбин, массивные валы; крупные зубчатые колеса, рамы и т. п.

Особенности:

1. По сравнению с литыми (или коваными) сварно-ковано-литые заготовки имеют следующие *преимущества*: значительное снижение массы заготовки; упрощение литейной и штамповочной технологии изготовления соответствующих элементов заготовки; повышение качества и точности изготовления отдельных элементов заготовки; сокращение производственного цикла.

Например, при изготовлении щековой дробилки масса литой станины составляла 115 т. Переход к сварной конструкции позволил снизить массу на 26,5 т и сократить срок изготовления с 5 ... 6 мес. до 2 ... 3 мес. Переход от литой к сварно-ковано-литой конструкции рамы экскаватора снизил массу на 32%, а трудоемкость изготовления – с 300 до 147 ч.

2. Соединение элементов сварно-ковано-литых заготовок производится в основном электрошлаковой или контактной стыковой сваркой и реже – дуговыми способами сварки.

3. Преимущества комбинированных сварных конструкций, в которых использованы одновременно заготовки, полученные различными способами (отливки, поковки, листовой и сортовой прокат), прежде всего проявляются при изготовлении тонкостенных протяженных деталей.

4. Эффективным направлением является *использование в различных частях сварных конструкций разнородных материалов*, наиболее полно отвечающих требованиям эксплуатации, применение двухслойного проката со специальными свойствами облицовочного слоя и других сочетаний.

Примером может служить ротор газовой турбины. По ободу диск ротора подвергается действию высоких температур и относительно небольших усилий, а центральная часть работает в условиях невысоких температур и воздействия больших усилий. Подобрать материал, одинаково хорошо работающий в этих условиях, очень трудно. Поэтому целесообразно изготовить сварной ротор: центральную часть – из высокопрочной стали перлитного класса, а обод диска – из жаропрочной аустенитной (рис. 5.8).

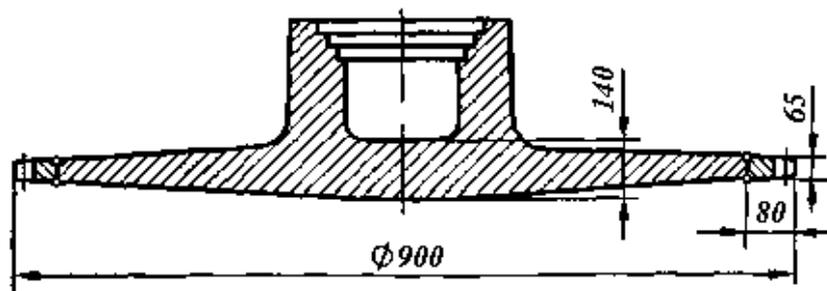


Рис. 5.8. Сварной вариант ротора газовой турбины

5.3. Техничко-экономическое обоснование выбора варианта изготовления цельных или комбинированных заготовок и элементов конструкций

1. Техничко-экономическое сравнение вариантов изготовления цельных литых или штампованных заготовок, с одной стороны, и сварно-литых или сварно-штампованных заготовок, с другой, производится:

- по уменьшению (или увеличению) массы заготовки;
- по затратам на изготовление модельной оснастки, штампов и других приспособлений;
- по времени цикла подготовки и освоения производства;
- себестоимости изготовления заготовки.

2. При оценке различных вариантов изготовления заготовки в каждом конкретном случае следует учитывать особенности данной конструкции, технологические свойства материала, тип производства, требуемую точность изготовления и другие факторы.

В качестве примера рассмотрим три варианта изготовления заготовки шестерни большого размера (рис. 5.9).

Первый вариант заготовки (рис. 5.9, а) изготовлен из кованого обода, диска из листовой стали и катаной ступицы. Он выгоден тогда, когда серия изготавливаемых заготовок невелика, т. е. в единичном производстве. Изготавливать в этом случае литейную оснастку долго и дорого. Сварно-

литой вариант (см. рис. 5.9, б) выгоден тогда, когда отформовать и отлить всю шестерню сразу не представляется возможным из-за отсутствия соответствующего оборудования. Размеры литой ступицы существенно меньше. Кроме того, применение катаного обода дает более высокое качество и износостойкость поверхности зубьев. Второй вариант можно применить в серийном производстве. Третий вариант (см. рис. 5.9, в) – полностью литая заготовка – рационален только в крупносерийном производстве, когда на предприятии имеются возможности для изготовления соответствующих модельной оснастки и форм.

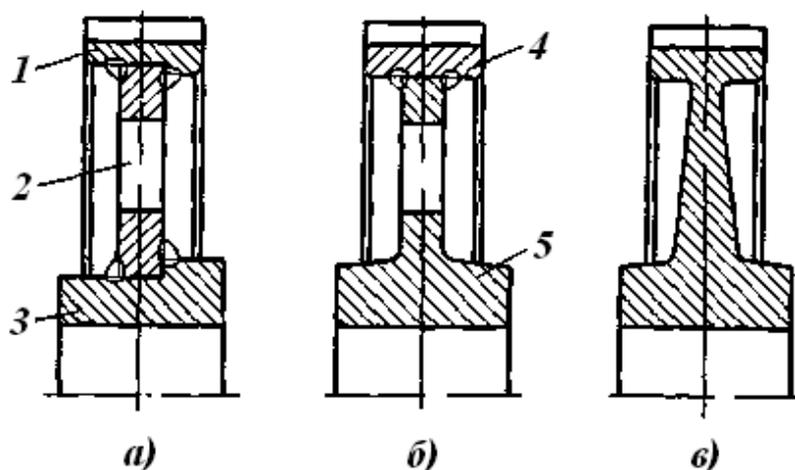


Рис. 5.9. Конструктивные варианты заготовки шестерни:

а – сварно-штампованный, б – сварно-литой, в – литой;

1 – обод кованный, 2 – ребро из листовой стали, 3 – ступица из проката,
4 – обод катанный, 5 – ступица литая

3. При технико-экономическом сопоставлении возможных вариантов изготовления цельных (литых, кованных, штампованных) и комбинированных (сварных) заготовок следует определять число «критической» серийности N , показывающее, при каком максимальном количестве деталей наиболее экономичен сварной вариант:

$$N = \frac{M}{S - Q},$$

где S – стоимость одной комбинированной заготовки; Q – стоимость одной цельной заготовки; M – стоимость одного модельного комплекта, штампов и других приспособлений, необходимых для изготовления цельной детали.

6. ТРАНСПОРТНЫЕ ОПЕРАЦИИ И ТРАНСПОРТИРУЮЩИЕ МЕХАНИЗМЫ

6.1. Транспортирующие механизмы

Комплексная механизация и автоматизация производства немыслима без наличия системы транспортирующих устройств. Они позволяют уменьшить долю ручного труда и используются для заготовок массой более 20 ... 25 кг.

Эффективное использование транспортирующих устройств достигается, когда они соответствуют характеру производства, типу выпускаемых изделий, их размерам, массе и др.

В *мелкосерийном производстве* транспортирование заготовок, деталей, узлов и готовых изделий осуществляют главным образом с помощью **мостовых кранов, автопогрузчиков и самоходных тележек**. Длительность закрепления и освобождения листовых элементов при использовании кранов сокращают применением специализированных захватов (вакуумные, электромагнитные и др.).

Самоходные порталы дополняют крановое оборудование; удобны для подачи листовых заготовок и деталей с промежуточного склада к рабочему месту, а иногда – для манипулирования деталью. Конструктивная схема такого портала показана на рис. 6.1, а.

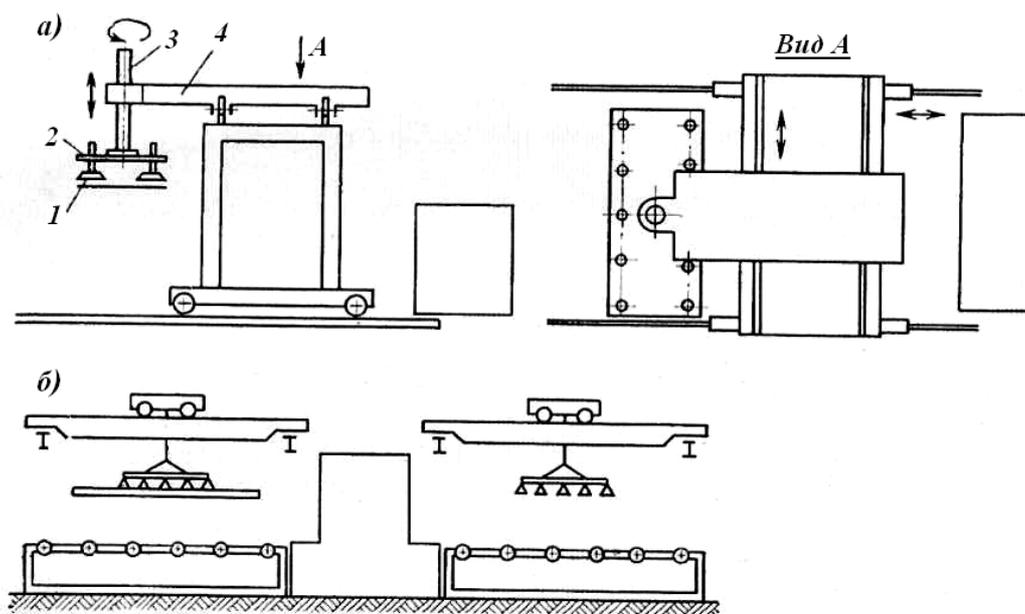


Рис. 6.1. Схемы самоходных порталов:
1 – захват, 2 – траверса, 3 – колонна, 4 – тележка

Контейнеры с заготовками подают мостовым краном и устанавливают между рельсами портала. Захват заготовок производится посредством траверсы 2 с захватами 1, закрепленной на тележке 4, которая, в свою очередь, перемещается по верху портала поперек направления его движения. Поворотная колонна 3 позволяет ориентировать заготовку в горизонтальной плоскости. Листоукладчики иногда перемещают по эстакаде (см. рис. 6.1, б).

Для кантовки крупных изделий или узлов используют **четырёхкрюковый мостовой кран** (рис. 6.2). После подъема узла (см. рис. 6.2, б) поворот осуществляют, опуская одну пару крюков при одновременном подъеме второй пары (см. рис. 6.2, в).

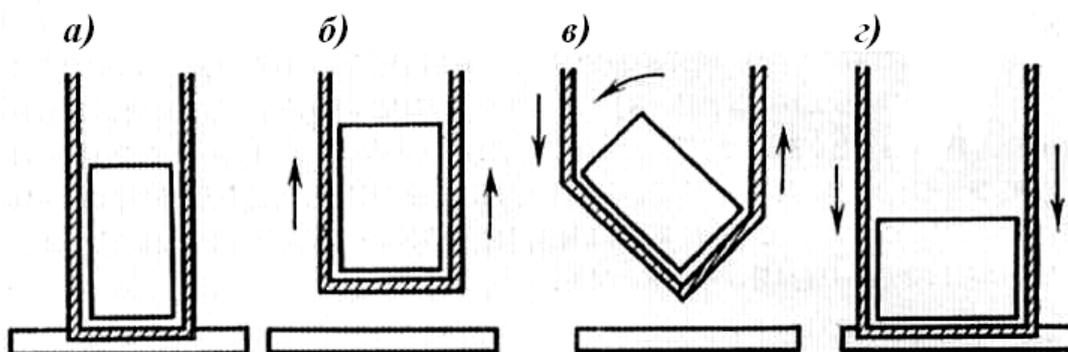


Рис. 6.2. Кантовка изделий с помощью четырехкрюкового мостового крана:
а – г – последовательность положений при кантовке

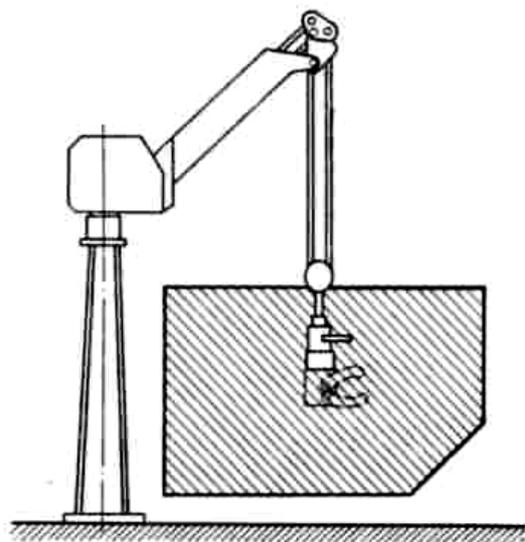


Рис. 6.3. Схема шарнирно-балансирного манипулятора (ШБМ)

Шарнирно-балансирные манипуляторы (ШБМ), или уравновешенные подъемники с ручным управлением (рис. 6.3), используют для механизации транспортно-складских и монтажных работ, а также операций установки-снятия деталей при обслуживании технологического оборудования. При этом вертикальный подъем-опускание осуществляется электромеханическим или пневматическим приводом, а горизонтальное перемещение – вручную. В зависимости от условий эксплуатации ШБМ могут устанавливаться на полу (на основании, тележке или колонне), а также могут крепить к стенке или потолку.

В серийном производстве для транспортирования широко используют различные конвейеры. Универсальные конвейеры могут использоваться и в мелкосерийном производстве.

Роликовые конвейеры бывают приводные и не приводные. Движение грузов по не приводному конвейеру обеспечивают либо наклоном секции конвейера на $1,5 \dots 3^\circ$, либо с помощью тягового элемента. Для разворота листов и полотнищ в мелкосерийном производстве используют шаровые или роликовые поворотные опоры (рис. 6.4, б, в). Сборочные и сварочные станды нередко оборудуют подъемными роликами (см. рис. 6.4, а), которые поднимают собранный и сваренный листовый элемент 1 над поверхностью станда 2, облегчая выполнение транспортной операции.

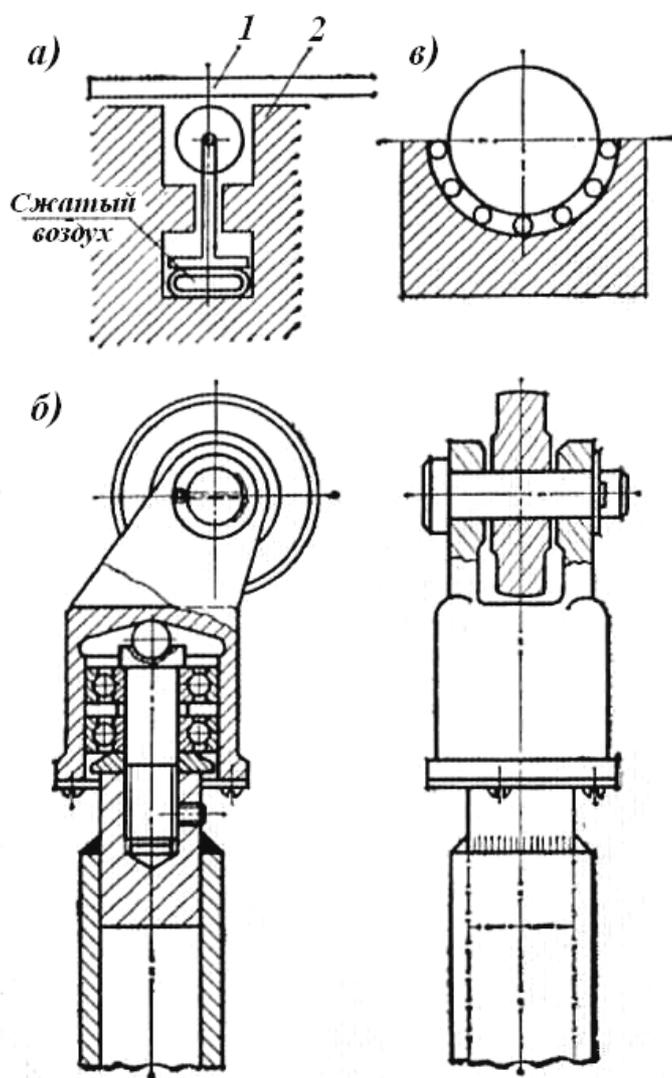


Рис. 6.4. Опоры для перемещения листов:
 1 – сваренный листовый элемент; 2 – станд

Приводные роликовые конвейеры с групповым или индивидуальным приводом перемещают изделие по горизонтали. Усилие для преодоления сопротивления движения при подаче к станку или сварочному устройству создают парными, принудительно прижатыми вращающимися валками (рис. 6.5, *а*) или заталкивающим устройством (см. рис. 6.5, *б*).

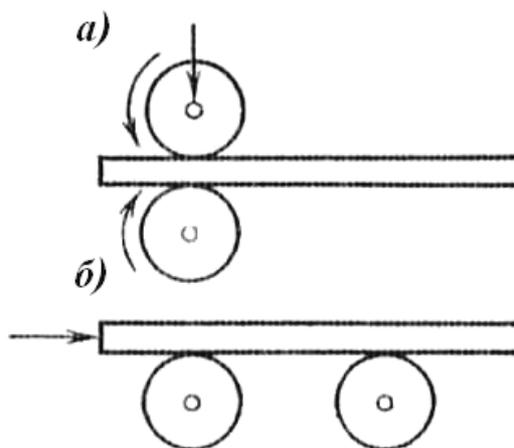


Рис. 6.5. Схемы устройств для принудительной подачи листов

Для транспортирования изделий или заготовок цилиндрической формы применяют фасонные криволинейные (рис. 6.6, *а*) или двухконические ролики (см. рис. 6.6, *б*). Цилиндрические изделия больших диаметров обычно транспортируют с помощью парных роликов (см. рис. 6.6, *в*). Для вращения изделия на отдельных рабочих местах между транспортирующими роликами конвейера располагают подъемные ролики поперечного направления (см. рис. 6.6, *г*).

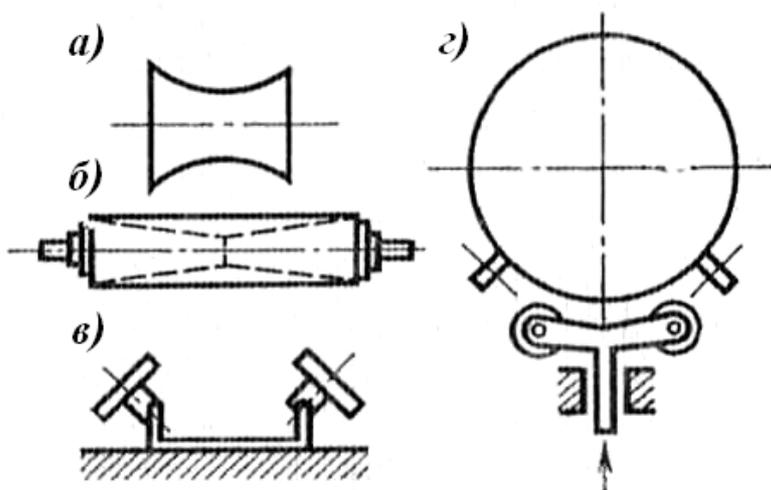


Рис. 6.6. Схемы роликовых конвейеров для цилиндрических заготовок

В поточных линиях изготовления труб большого диаметра для перегрузки с одного роликового конвейера на другой, параллельный первому, применяют передвижные конвейеры, располагая их на тележке, которая перемещается по рельсовому пути перпендикулярно к оси конвейера. Работа подвижного и неподвижного конвейеров легко автоматизируется, и возможно даже управление циклом с помощью ЭВМ.

Перегрузку листовых элементов на параллельный конвейер с одновременной кантовкой на 90° осуществляют, как показано на рис. 6.7, а, а на 180° – как на рис. 6.7, б.

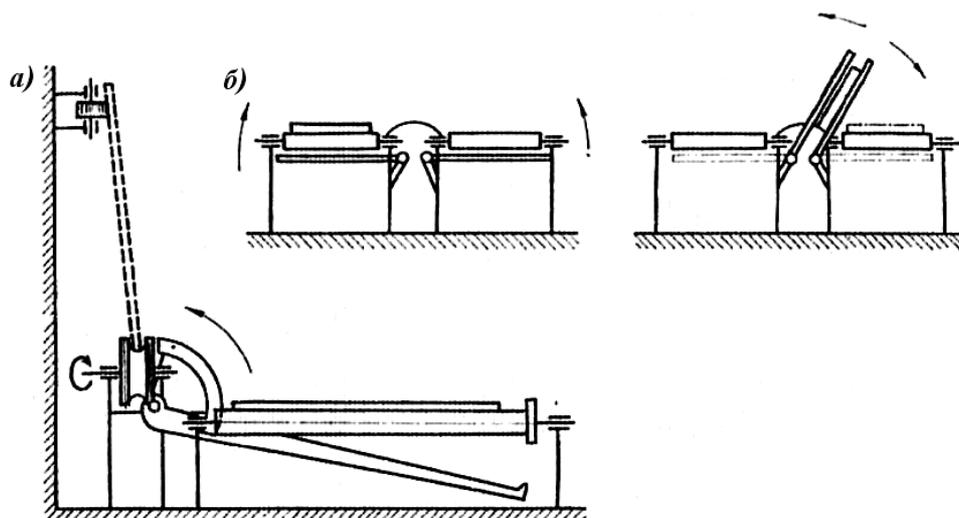


Рис. 6.7. Схемы перегрузочных устройств

Нередко возникает необходимость подачи на роликовый конвейер длинномерных заготовок (труб, профильного проката) по 1 шт. После того, как труба 3 (рис. 6.8, а) передана на следующую позицию, на ролики 4 требуется подать следующую трубу 2. Поворот системы рычагов с помощью пневмоцилиндра 5 обеспечивает прием очередной трубы 2 и смещение труб на стеллаже на полшага. Обратный ход поршня пневмоцилиндра 5 осуществляет прием очередной трубы 2 на ролики 4 конвейера, отделение трубы 1 и фиксирование ее.

Другим примером служит подача на ролики конвейера профильного проката, например Z-образного сечения, в строго ориентированном положении. Магазин 1 (см. рис. 6.8, б) представляет собой рамку с гнездами, куда укладываются профили 2. Механизм подачи имеет такую же рамку 3, которая при подъеме принимает профили в свои гнезда, перемещает их на один шаг и опускает, причем крайний профиль оказывается на роликах конвейера 4, а рамка 3 возвращается в исходное положение.

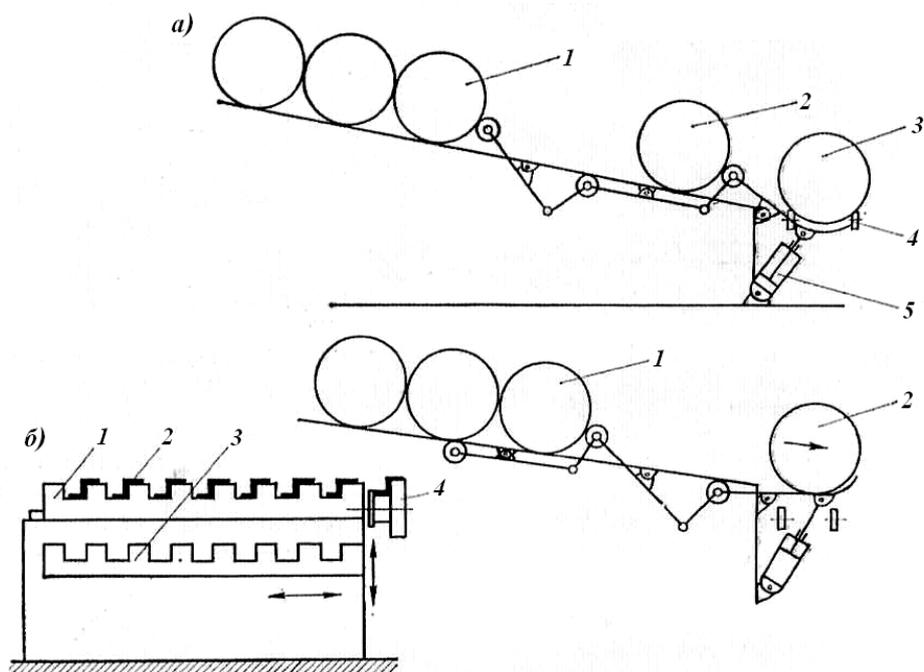


Рис. 6.8. Схемы механизмов загрузки роликовых конвейеров:
 а – подача труб; 1, 2, 3 – трубы, 4 – ролики, 5 – пневмоцилиндр;
 б – подача профильного проката; 1 – магазин, 2 – профиль, 3 – рамка

Пластинчатый конвейер также является универсальным (рис. 6.9, а). Две параллельные тяговые втулочно-роликовые цепи 1 приводятся от двух звездочек, сидящих на общем валу. Опорные катки 2 цепей перемещаются по элементам поддерживающей конструкции 3. Отдельные пластины 4, прикрепленные к звеньям тяговых цепей 1, образуют настил для транспортировки изделий практически любой формы. Иногда детали укладывают непосредственно на звенья цепи без настила (см. рис. 6.9, б). Оси шарниров цепей для этого располагают эксцентрично.

В серийном и массовом производстве получили широкое распространение **подвесные конвейеры**, как основное транспортирующее устройство предприятий. Они позволяют перемещать изделия длиной до 12 м и весом до 8 т. Достоинствами этих конвейеров являются пространственность трассы, доступность изделия со всех сторон, экономия производственной площади. Одновременно с транспортированием изделия могут проводить различные технологические операции – мойку, очистку, сушку, окраску.

В зависимости от характера крепления несущей подвески к тяговому элементу различают конвейеры грузонесущие и толкающие.

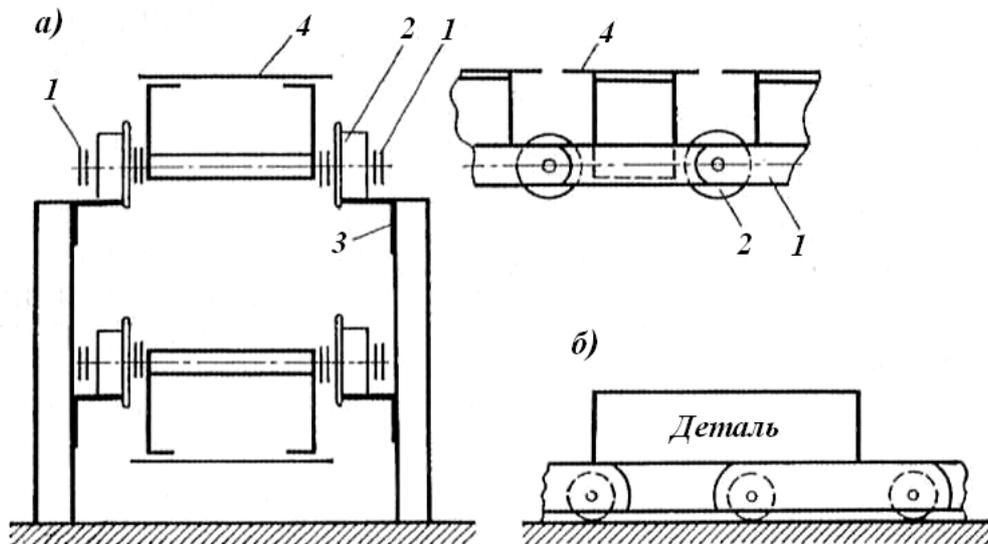


Рис. 6.9. Пластинчатый конвейер: 1 – втулочно-роликовая цепь; 2 – опорные катки; 3 – поддерживающая конструкция; 4 – несущая пластина

Грузонесущие подвесные конвейеры (рис. 6.10) имеют направляющий путь 1, по которому движутся каретки 2, поддерживающие тяговую цепь 3 и несущие подвески 4 с грузами. Тяговая цепь обладает гибкостью в вертикальном и горизонтальном направлениях и движется по замкнутому направляющему пути.

Подвески конвейера можно загружать и разгружать вручную, полуавтоматически и автоматически.

Полуавтоматическую загрузку обычно осуществляют на участках вертикальных подъемов и спусков пути конвейера (рис. 6.11, а). В этом случае груз на роликовом столе рабочий вручную цепляет к подвеске конвейера. Подобным образом происходит разгрузка изделия.

Перегибы пути в вертикальной плоскости используют и для автоматической загрузки, применяя подвески с вилкообразным основанием, наклоненным на $2 \dots 3^\circ$ в сторону его задней стенки (см. рис. 6.11, б). По наклонному роликовому конвейеру 1 грузы самоходом подаются на гребенчатый роликовый стол 2. На участке подъема пути подвеска 3 лапами вилочного основания за-

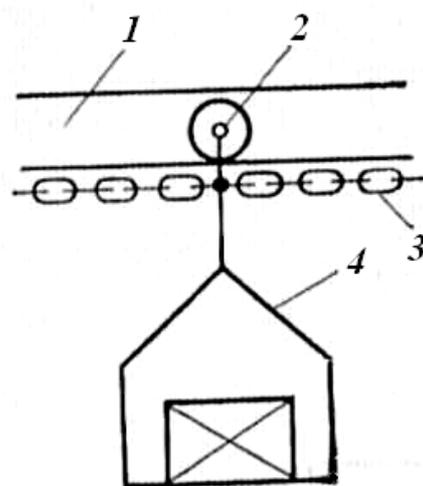


Рис. 6.10. Подвесной грузонесущий конвейер:
1 – направляющий путь;
2 – каретка; 3 – тяговая цепь;
4 – подвеска

ходит между роликами загрузочного стола и, поднимаясь, захватывает лежащий на нем груз. При горизонтальном движении подвески возможен автоматический подъем гребенчатого стола при подходе подвески.

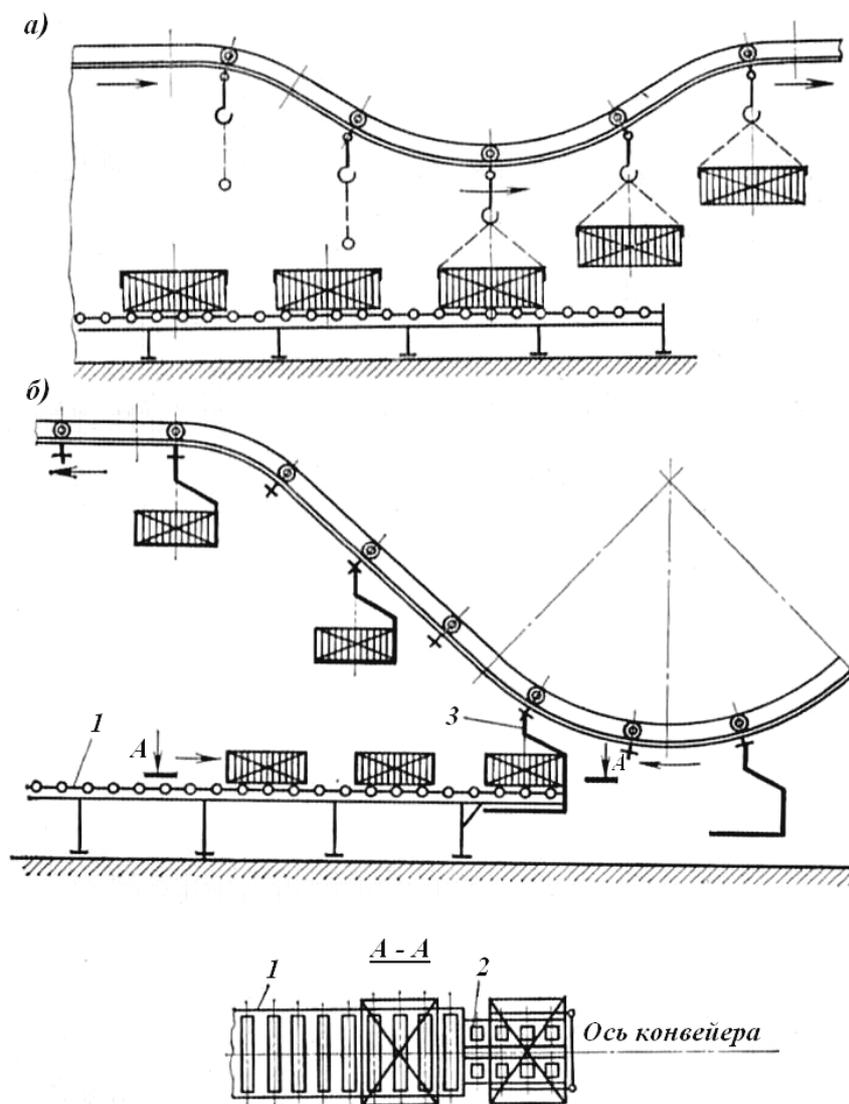


Рис. 6.11. Загрузка подвесок роликового конвейера на участке вертикального перегиба пути: *а* – полуавтоматическая; *б* – автоматическая;
 1 – роликовый конвейер; 2 – гребенчатый роликовый стол

Толкающий подвесной конвейер (рис. 6.12) имеет тяговый путь 1, по которому движутся каретки 2, поддерживающие тяговую цепь 3, и грузовой путь *б*, по которому перемещаются тележки 5 с подвесками грузов 7. Грузовые пути могут иметь ответвления от приводного контура трассы в любую сторону в горизонтальной плоскости для перевода тележек на приводной контур другого конвейера.

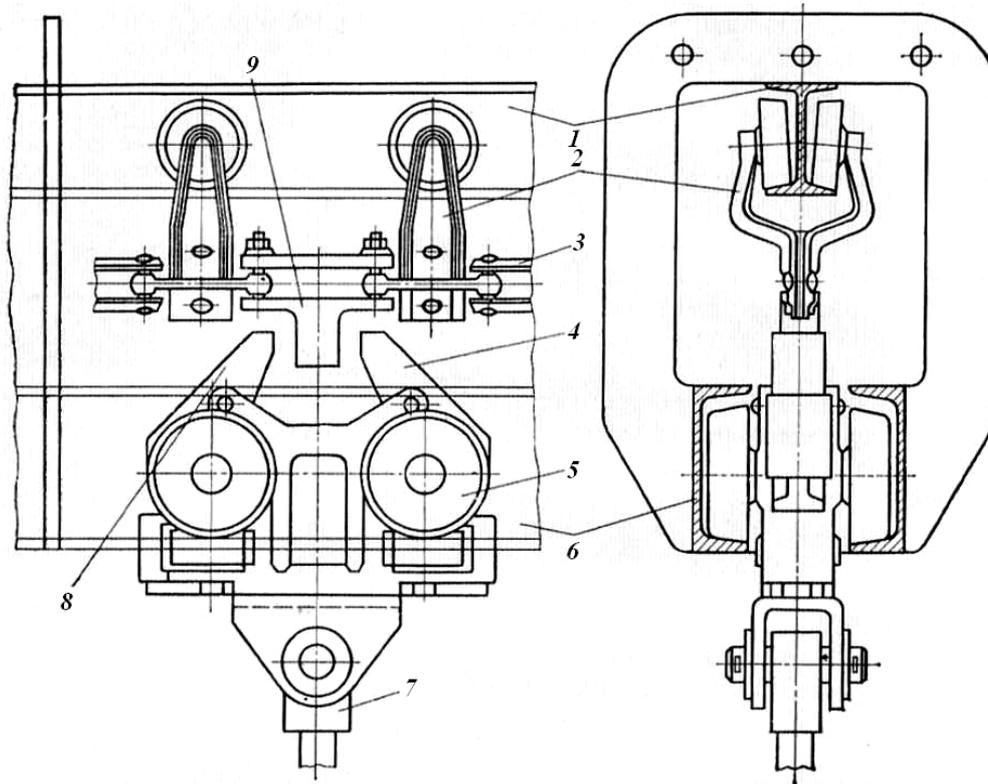


Рис. 6.12. Подвесной толкающий конвейер: 1 – тяговый путь; 2 – каретка; 3 – тяговая цепь; 4 – упор; 5 – тележка; 6 – грузовой путь; 7 – подвески грузов

Перевод тележек с одной трассы на другую с возможностью остановки в требуемом месте позволяет разделять и комплектовать грузы в порядке выполнения сборочно-сварочных операций, организовывать подвесные склады под потолком цеха на подвесках, создавать опускающие секции и т. д.

Подвесные толкающие конвейеры обеспечивают наиболее высокую производительность и являются основным внутритранспортным средством при разветвленной и устойчивой схеме перевозок со значительным количеством мест разгрузки и загрузки с интенсивностью свыше 30 подач в час. Толкающие конвейеры позволяют применять **автоматическое адресование грузов**.

Для обеспечения нормальной работы поточных и автоматических линий и равномерной их загрузки подвесные толкающие конвейеры работают непрерывно. Несущие подвески проходят мимо рабочего места и, не получая сигнала об остановке, отправляются на склад, где автоматически останавливаются при упоре друг в друга. Как только путь окажется свободным, происходит захватывание очередного упора непрерывно движущегося тягового элемента и подвеска снова отправляется в путь. В том месте, где изделие надо опустить к рабочему месту 5 (рис. 6.13, а, б), гру-

зовой путь делают разъемным и отрезок пути 2 (опускную секцию) вместе с тележками 1 и траверсой 3 с подвешенным изделием опускают, а после проведения работ поднимают в вертикальных направляющих с помощью механизма. Как показано на рис. 6.13, а, опускную секцию 2 располагают вне магистральной линии 4, с тем, чтобы непрерывность движения конвейера не нарушалась.

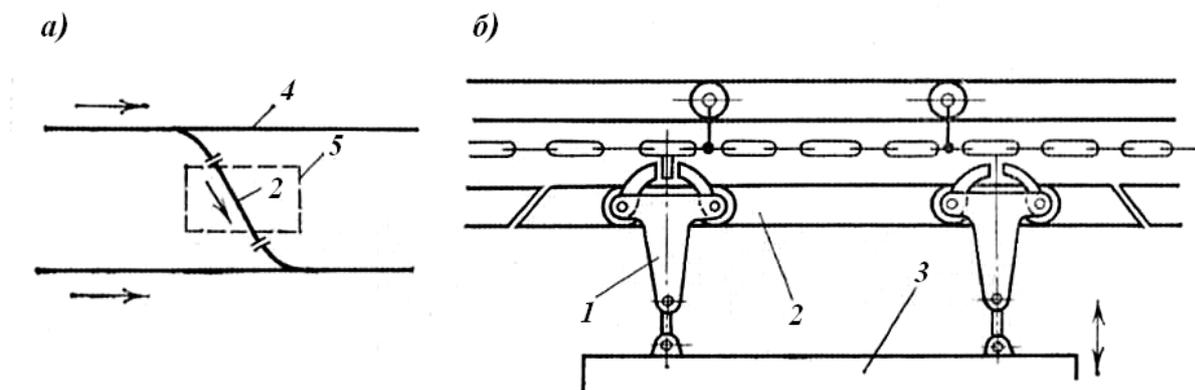


Рис. 6.13. Опускная секция подвешеного толкающего конвейера: а – план расположения рабочего места; б – схема опускной секции; 1 – тележка; 2 – отрезок пути; 3 – траверса; 4 – магистральная линия; 5 – рабочее место

Автоматическую шаговую подачу непрерывных заготовок в виде лент, полос, стержней осуществляют с помощью **валиковых, клещевых и крючковых устройств**. Привод таких устройств обычно обеспечивают кинематической связью с ходом пуансона или хобота точечной контактной машины. Шаг перемещения заготовки при этом равен: у валиковой подачи – 200 мм, у клещевой – 100 мм, у крючкового типа – 50 мм; скорость составляет 250 ^{ХОДОВ}/_{МИН}, 600 двойных ^{ХОДОВ}/_{МИН} и 200 ^{ХОДОВ}/_{МИН} соответственно.

Для передачи деталей или узлов с одной позиции на другую в поточной, а еще чаще в автоматизированной линии широко используются **шаговые конвейеры**. В конвейерах этого типа детали или узлы на размер шага перемещают устройства, совершающие возвратно-поступательное движение (цеп тележек, штанга или рамка). Движение задается либо гибким тяговым элементом с приводом от электромотора, либо силовым цилиндром (гидравлическим или пневматическим), либо от электромотора через передачу шестерня-рейка.

Иногда в шаговых конвейерах используют **тележки-спутники**, как на двухъярусном конвейере автоматической линии сборки и сварки пола кабины автомобиля ЗиЛ (рис. 6.14). Тележки движутся в одном направлении и передаются с одного яруса на другой гидроподъемниками. Каждая

тележка-спутник является кондуктором, фиксирующим на ней детали, и имеет медные шины для точечной сварки. Т-образные сцепки тележек расцепляются при подъеме их к электродам машин и цепляются при опускании после сварки. То же происходит при передаче тележек с одного яруса на другой. Необходимая точность положения спутников достигается с помощью специальных пневматических конусных фиксаторов.

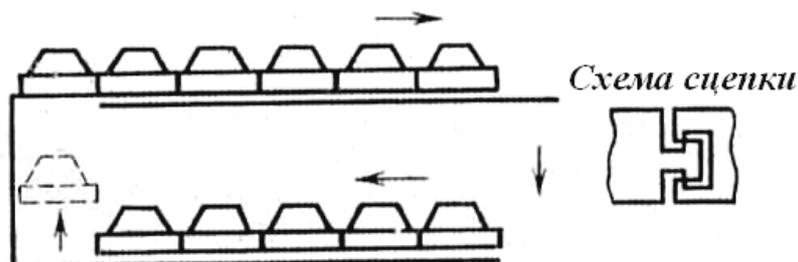


Рис. 6.14. Схема двухъярусного шагового конвейера с тележками-спутниками

При шаговой подаче производственный процесс имеет прерывистый характер – рабочая операция сменяется транспортной. В условиях современного производства нередко требуется осуществление непрерывного цикла, т. е. выполнение рабочих операций в процессе транспортирования. Для заготовок деталей небольших размеров применяют автоматические **роторные линии и установки** (рис. 6.15), где технологические операции выполняются в процессе транспортирования. Привод линии прост, поскольку все технологические и транспортные роторы находятся в жестком зацеплении. Передача деталей с одного ротора на другой осуществляется клещевыми захватами и специальными переталкивателями без потери ориентации деталей. В таких линиях обычно отсутствуют межоперационные накопители, сборники и бункера; загрузочное устройство устанавливается только в начале линии. Линии сложны, поскольку каждая позиция технологического ротора должна иметь весь набор оснастки, необходимой для выполнения данной операции. Поэтому роторные линии используют только в условиях крупносерийного и массового производства.

Большие перспективы несет применение **аккумуляторных тележек** с устройствами автоматического управления движением по разветвленному пути (рис. 6.16). Направление задается укладкой под полом проводника, в котором генерируется переменный ток, причем отдельные участки имеют разные частоты. Тележки снабжены датчиками положения, которые воспринимают поле индуктивного контура и обеспечивают симметрию движения тележки относительно оси расположения с точностью ± 1 мм.

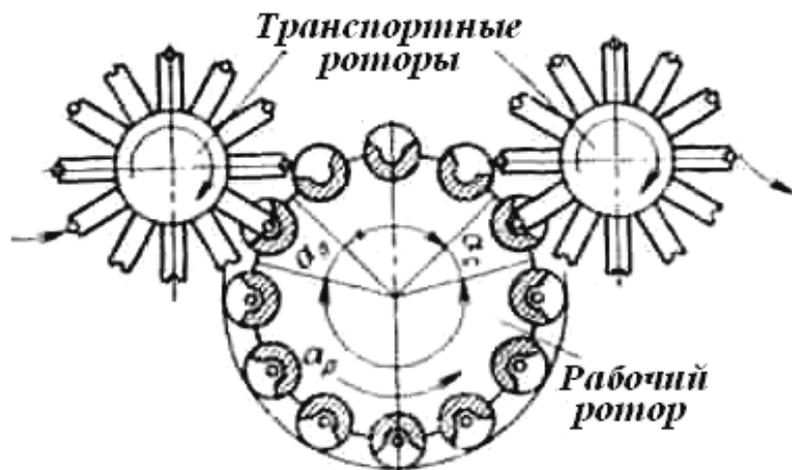


Рис. 6.15. Схема автоматической роторной линии:
 α_n – сектор питания; α_p – рабочий сектор; α_c – сектор съема

Перемещение тележек с одного направляющего контура на другой осуществляется автоматически переключением рабочей частоты датчиков по команде мини-ЭВМ. Тележки обычно оснащают либо подъемным столом, либо рольгангом, которые взаимодействуют с подъемными устройствами сборочно-сварочного оборудования на рабочих позициях. Самоходные тележки по сравнению с системой автоматического адресования грузов подвесных толкающих конвейеров имеют большую гибкость и могут использоваться в серийном и даже в мелкосерийном производстве.

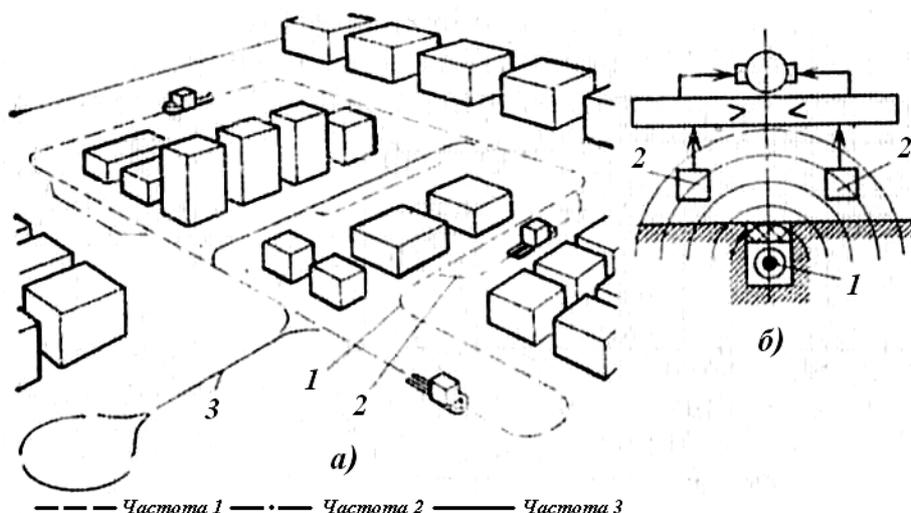


Рис. 6.16. Использование аккумуляторных тележек с автоматическим управлением:
 а – схема маршрутов движения; б – схема расположения индуктивных датчиков

6.2. Загрузочные устройства

Обеспечение непрерывной работы автоматически действующих установок и шаговых конвейеров требует автоматизации подачи на них заготовок или деталей. Эту задачу выполняет **загрузочное устройство**, которое имеет накопитель для хранения запаса заготовок и отсекаТЕЛЬ для отделения от всей массы одной заготовки и подачи ее в рабочую зону в строго ориентированном положении. Накопители бывают **магазинные** и **бункерные**.

В **магазинном** накопителе (рис. 6.17, *a – e*) заготовки укладывают в ориентированном положении заранее. Магазинные устройства, изображенные на рис. 6.17, *a – d*, относятся к гравитационному типу, так как перемещение заготовок в магазине происходит под действием силы тяжести. Для небольших заготовок устройства этого типа просты и надежны, однако для заготовок больших размеров и массы приходится использовать иные схемы. Существует схема магазинного накопителя с принудительной подачей плоских листовых заготовок 2 в вертикальной плоскости ходовым винтом 1 и в горизонтальной – возвратно-поступательным движением толкателя 3. Шаговое перемещение стопы заготовок задается датчиком 4.

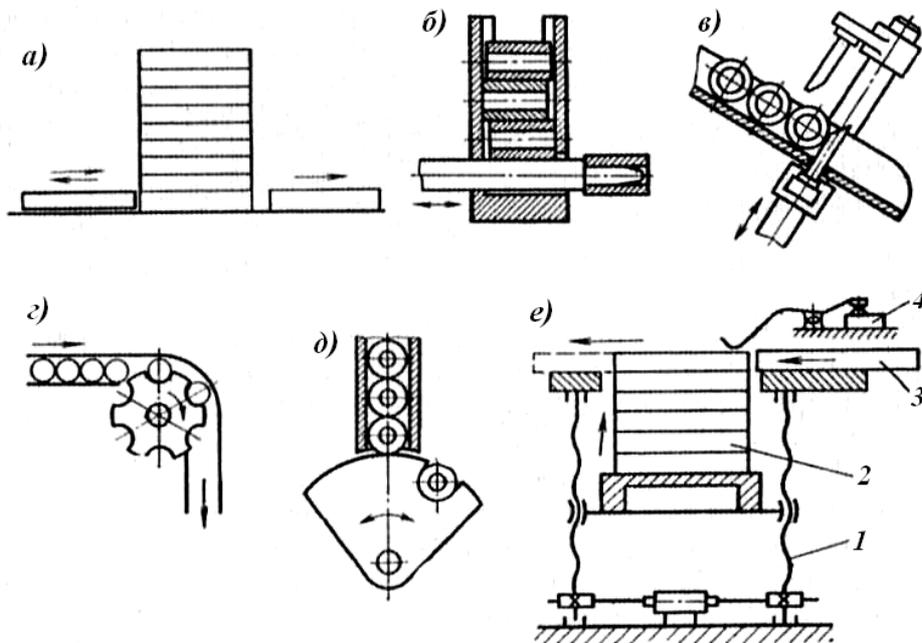


Рис. 6.17. Схемы магазинных накопителей с отсекателями: *a, б* – вертикальные гравитационные; *в* – наклонный; *г, д* – барабанные; *е* – вертикальный с ходовым винтом; 1 – ходовой винт; 2 – заготовки; 3 – толкатель; 4 – концевой выключатель ходового винта

Недостатком магазинных устройств является трудоемкость ориентирования и укладки заготовок при зарядке магазина, выполняемой обычно вручную.

В **бункерные** накопители заготовки загружают навалом. Ориентация заготовок осуществляется автоматически. Бункерные устройства высокопроизводительные. Различают бункерные устройства с захватными механизмами и без них. В устройствах первой группы захват заготовок осуществляется с помощью механических перемещений штырей, крюков, шиберов. Так, из бункера 1 (рис. 6.18) заготовки сферической формы подаются толкателем 2 на лоток 3, где задерживаются упором 5 и располагаются в один ряд. Отсюда питатель 4 выдает заготовки поштучно. Лоток 3 с питателем 4 работают как самостоятельное загрузочное устройство магазинного типа.

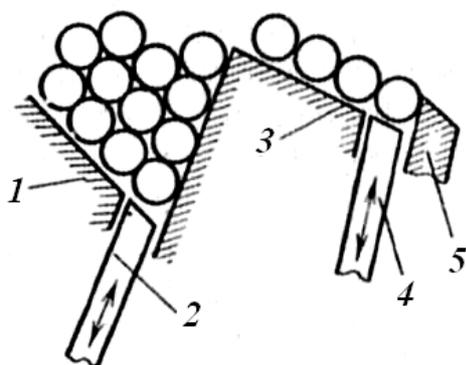


Рис. 6.18. Схема бункерного устройства с захватным механизмом: 1 – бункер; 2 – толкатель; 3 – лоток; 4 – питатель; 5 – упор

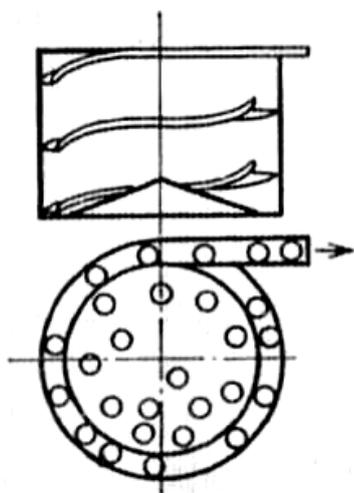


Рис. 6.19. Круговой вибробункер

Лоток 3 с питателем 4 работают как самостоятельное загрузочное устройство магазинного типа.

В бункерных устройствах второй группы подача заготовок осуществляется за счет сил инерции и трения, создаваемых при вибрации. Большое распространение получили вибрационные загрузочные устройства с круговыми бункерами, на стенках которых расположен спиральный лоток (рис. 6.19).

Двигаясь по лотку, заготовки ориентируются и располагаются в один слой. Для заготовок типа дисков, колец и пластинок используют спиральный лоток, имеющий наклон к центру бункера, и буртик, не превышающий высоты заготовки (рис. 6.20, а). При перемещении заготовок по лотку те из них, которые попадут во второй слой, будут соскальзывать обратно в бункер. Ориентация колпачков, высота которых меньше или равна диаметру, достигается с помощью плоского лотка с язычком (см. рис. 6.20, б). Заготовки, оказавшиеся доньшком вниз, проходят над язычком, а остальные выпадают в вырез

лотка. Заготовки роликов или трубочек (см. рис. 6.20, *в*), перемещающиеся в вертикальном положении, сбрасываются обратно в чашу бункера. С помощью козырька можно ориентировать и двухступенчатые заготовки (см. рис. 6.20, *з*). Заготовки в виде болтов, винтов и др., а также колпачки ориентируются на прямолинейном участке на выходе со спиральной лотки (см. рис. 6.20, *д*, *е*). При ориентации деталей несимметричной формы иногда используют струю сжатого воздуха.

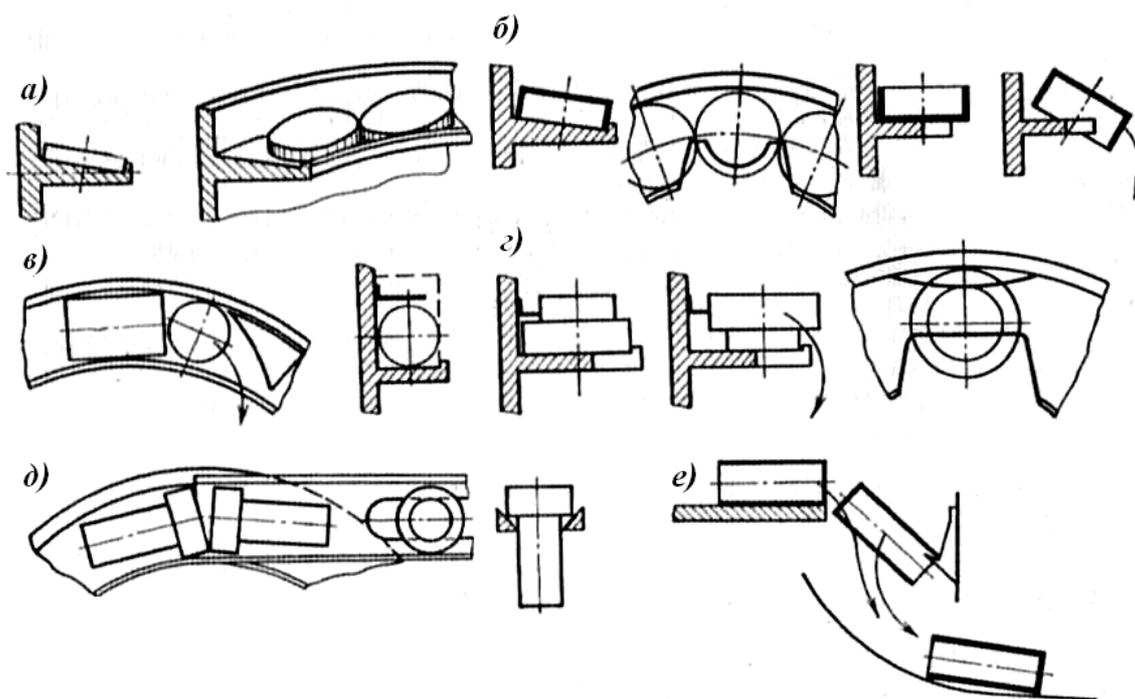


Рис. 6.20. Приемы ориентации в вибрационных загрузочных устройствах

Скорость подачи заготовок на рабочую позицию по лоткам может достигать 40 м/мин.

Для деталей с неярко выраженными внешними признаками, при которых ориентировка механическими методами затруднена, применяют на выходном лотке систему электромагнитов.

Использование вибробункерных загрузочных устройств целесообразно для небольших заготовок или деталей.

7. ЗАГОТОВИТЕЛЬНЫЕ ОПЕРАЦИИ

7.1. Виды деформаций у заготовок из проката

Листовые, кованные и штампованные заготовки обычно поступают на сварку в виде, не требующем проведения дополнительных операций.

По-другому обстоит дело с деталями из проката. После подбора металла по размерам и маркам стали появляется необходимость выполнения *заготовительных операций*:

- правки;
- разметки;
- обработки кромок;
- гибки;
- очистки изделий под сварку.

Иногда листовый прокат поставляется металлургическими заводами в неуправленном виде. Кроме того, при транспортировке заготовок могут возникнуть дополнительные деформации.

Основными видами деформаций листовой стали являются **волнистость, серповидность, листовые выпучины, заломленные кромки, погнутость** (рис. 7.1).

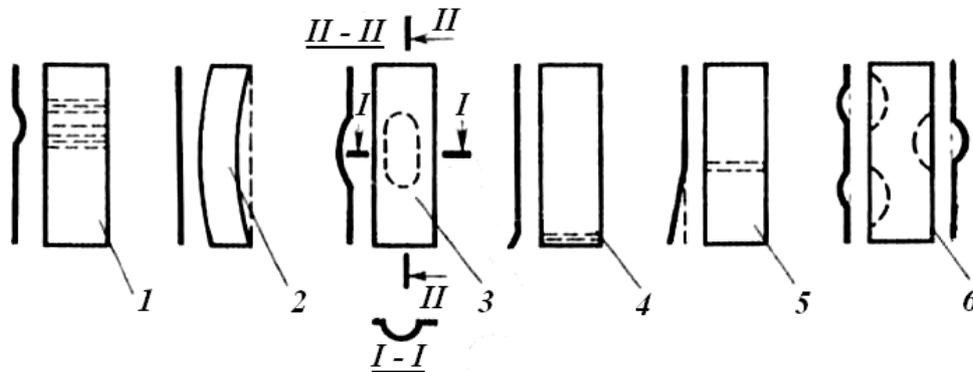


Рис. 7.1. Виды деформации листовой стали:

1 – волнистость; 2 – серповидность в плоскости; 3 – местные выпучины; 4 – заломленные кромки; 5 – местная погнутость; 6 – волнистость поперек части листа

7.2. Приемы выполнения операций и их технологическая наследственность

Основные заготовительные операции или приемы включают правку, разметку, резку, обработку кромок, гибку и очистку проката.

Правка

Правка – это создание местной пластической деформации, как правило, в холодном состоянии.

1. Для устранения *волнистости* листов и полос толщиной 0,5 ... 50 мм широко используют *многовалковые машины*. Правка достигается многократным изгибом при пропускании листов между верхними и нижними рядами валков, расположенных в шахматном порядке (рис. 7.2, *а*). Нижние приводные валики располагают в неподвижной станине, верхние приводные валики – в подвижной части станины.

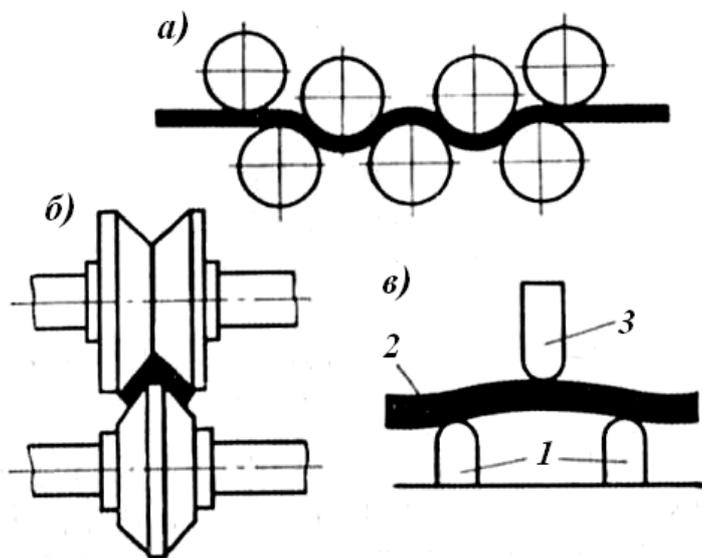


Рис. 7.2. Схемы правки листовых и профильных элементов:

а – на листоправильных вальцах; *б* – в углоправильных вальцах; *в* – на прессе

2. Листы толщиной более 40 ... 50 мм обычно *правят под прессом* (см. рис. 7.2, *в*).

3. Тонкие листы, толщиной менее 0,5 мм, правят растяжением на специальных *растяжных машинах*. Серповидность листов правится ограниченно.

4. Правку мелко- и среднесортového, а также профильного проката производят *на роликовых машинах* (см. рис. 7.2, *б*), работающих по той же схеме, что и листоправильные.

5. Для двутавров и швеллеров такой способ применяется для исправления только в плоскости меньшего момента сопротивления. Исправление в другой плоскости осуществляют изгибом на *правильногибочных прессах кулачкового типа* (см. рис. 7.2, *в*).

Холодная деформация сопровождается уменьшением пластичности металла. Поэтому относительное остаточное удлинение δ наиболее деформированных волокон необходимо ограничивать. Строительными нормами и правилами (СНиП) допускают δ при холодной правке до 1%; при холодной гибке – до 2%, что соответствует радиусу изгиба не более 50 толщин листа при правке и не более 25 толщин при гибке. Исходя из этого устанавливают предельные значения искривлений в холодном состоянии.

При необходимости создания более значительных деформаций правка и гибка стальных профилей должны производиться в горячем состоянии после нагрева сталей до температуры 900 ... 1000 °С. Деформирование при высокой температуре сопровождается процессом рекристаллизации, и пластические свойства металла при этом не снижаются.

Разметка

Индивидуальная разметка трудоемка. Наметка более производительна, однако изготовление специальных наметочных шаблонов не всегда экономически целесообразно. Оптический метод позволяет вести разметку без шаблона – по чертежу, проектируемому на размечаемую поверхность. Разметочно-маркировочные машины с пневмокернером производят разметку со скоростью до 8 ... 10 м/мин при точности ± 1 мм. В этих машинах применяется программа управления. Использование приспособлений для мерной резки проката, а также машин для термической резки с масштабной фотокопировальной системой управления или программным управлением позволяет обходиться без разметки.

Автоматизация раскроя листового и профильного прокатов снижает трудоемкость при коэффициенте использования металла до 90%. При этом сокращение сроков подготовки данных для термической резки позволяет использовать высокопроизводительные порталные машины с ЧПУ в условиях мелкосерийного и единичного производства.

В настоящее время используют различные системы автоматизированного проектирования и раскроя листового и профильного проката. Раскрой может быть **ручным, механизированным** или **автоматическим**.

При *ручном* методе формирование карт раскроя осуществляется макетированием. Для этого по предварительно составленной программе в масштабе 1:10 вычерчиваются основные детали. Их маркируют и используют для составления карт раскроя листового материала. Масштабные копии деталей вручную размещают в пределах контуров листа проката с учетом технологических требований и экономии материала.

Компоновку производят на специальных столах, оборудованных системой присоса и координатометрами для снятия координат характерных

точек, необходимых для программирования резки. Описание карты раскроя в виде таблицы включает в себя кодовые номера деталей, записываемые в порядке вырезки, координаты двух точек каждой детали в системе координат листа, направление обхода каждой детали. Для каждой детали имеется запись маршрута по координатам опорных точек. Эти данные вводятся в ЭВМ, и осуществляется раскрой.

При *механизированном* методе формирование карты раскроя выполняются на экране дисплея. Исходной информацией, находящейся в памяти ЭВМ, является аналитическое представление о контуре каждой детали. Номер детали, марку материала, толщину, кратность детали и др. в диалоговом режиме оператор вводит в ЭВМ – вызывает из памяти машины и размещает на экране контуры вырезаемых деталей. Далее перемещает и вращает эти контуры в пределах габаритов исходного листа.

При *автоматическом* методе формирование карты раскроя осуществляется через ЭВМ. На экране дисплея и на графопостроителе появляются полностью готовые карты раскроя и исчерпывающая дополнительная информация о наименованиях деталей, коэффициенте использования металла, нумерация вырезаемых деталей и др.

Резка и обработка кромок

Резка деталей с прямолинейными кромками из листов толщиной до 40 мм, как правило, производится на **гильотинных ножницах** (рис. 7.3, а). Разрезаемый лист 2 заводится между нижним 1 и верхним 4 ножами до упора 5 и зажимается прижимом 3. Верхний нож, нажимая на лист, производит скалывание. Погрешность размера составляет $\pm 2 \dots 3$ мм при резке по разметке и $\pm 1,5 \dots 2,5$ мм при резке по упору. Прямой рез со скосом кромки под сварку можно получить, используя специальные ножницы (см. рис. 7.3, б). При включении гидроцилиндра 1 качающийся ножедержатель 3 поворачивается сначала вокруг оси А, производя прямой рез ножом 7; когда упор 2 ножедержателя 3 дойдет до выступа детали 4, они повернутся вокруг оси Б, отводя прижим 5 от регулируемого упора 6. Нож 8 совершит рез на скос.

Дисковые ножницы (см. рис. 7.3, в) позволяют осуществлять вырезку листовых деталей с непрямолинейными кромками толщиной 20 ... 25 мм. Для получения листовой заготовки заданной ширины с параллельными кромками дисковые ножи целесообразно располагать попарно на заданном расстоянии друг от друга (см. рис. 7.3, г).

Многодисковые ножницы предназначены для продольной обрезки кромок или роспуска рулонного материала на полосы.

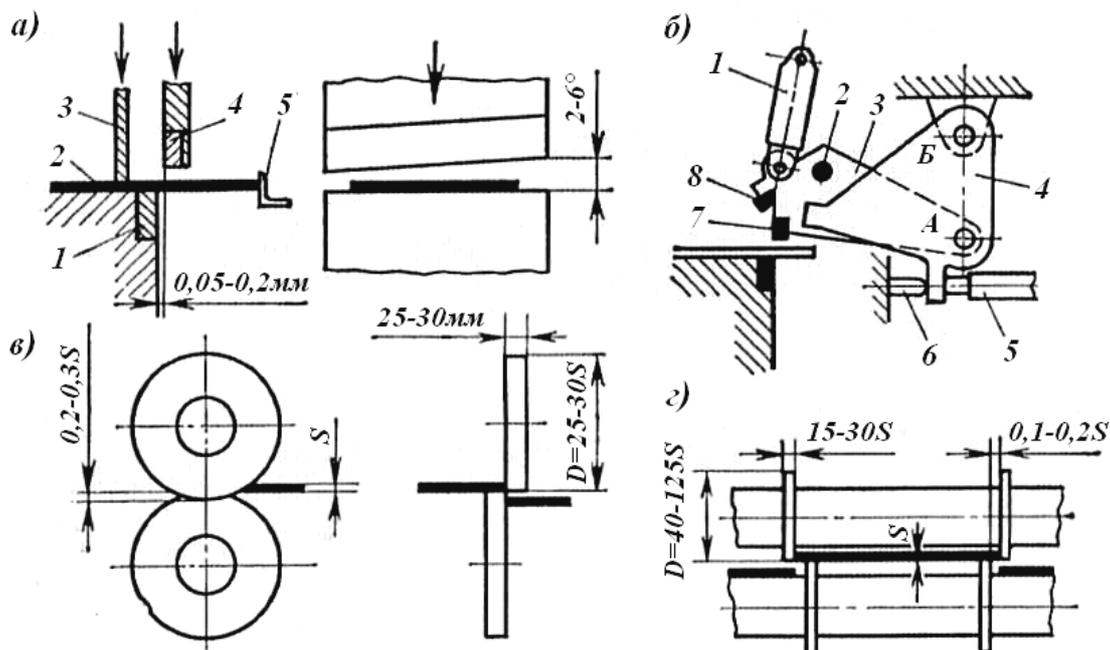


Рис. 7.3. Схема резки металла на ножницах различных типов: а – гильотинные ножницы с прямым резом; 1 – нижний нож; 2 – лист; 3 – прижим; 4 – верхний нож; 5 – упор; б – гильотинные ножницы с прямым резом со скосом кромки; 1 – гидроцилиндр; 2 – упор; 3 – ножедержатель; 4 – деталь; 5 – прижим; б – упор; 7 – прямой нож; 8 – косой нож; в – дисковые ножницы; г – многодисковые ножницы

При резке на ножницах металл у кромки реза подвергается значительной пластической деформации. Если эта кромка в дальнейшем попадает в зону сварки и полностью переплавляется, то ее обработка не требуется. В противном случае рекомендуется механическая обработка кромки.

Для поперечной резки фасонного проката применяют **прессножницы** с фасонными ножами или дисковые пилы. В некоторых случаях применяют резку гладким диском либо за счет трения, либо контактно-дуговым оплавлением.

Для получения листовых заготовок толщиной до 6 мм различной конфигурации применяют также **штамповочно-вырубные револьверные прессы с ЧПУ**. Они могут снабжаться лазерными головками с кислородным или воздушным дутьем и отсосом. В этом случае двухкоординатное перемещение листа обеспечивает непрерывное продвижение луча лазера по контуру, составленному из отрезков прямой и дуг окружностей.

Разделительная **термическая резка** менее производительна, чем резка на ножницах, но более универсальная и применяется для получения как прямолинейного, так и криволинейного профиля, в широком диапазоне толщин. Наряду с *газопламенной кислородной резкой* все шире применяют

плазменно-дуговую резку. Использование в качестве плазмообразующего газа сжатого воздуха дает не только экономические, но и технические преимущества: качество реза и скорость резки, особенно при резке металла малой и средней толщины (до 60 мм).

Широкое применение получила резка с помощью *луча лазера.* Высокая плотность потока ($10^5 \dots 10^6$ Вт/см²) обеспечивает резку тонколистовых материалов, чувствительных к перегреву, таких, как высоколегированные, высокопрочные сплавы железа, алюминия, титана, никеля, а также возможен раскрой неметаллических материалов – пластмасс, дерева, ткани, кожи, стекла, резины. Процесс характеризуется высокими скоростями резки (до 6 ... 10 м/мин) при малой ширине реза.

Ручную и полуавтоматическую резку листов производят обычно по разметке; автоматическую – по масштабному чертежу или на машинах с программным управлением.

Механическую обработку кромок производят:

- а) для обеспечения требуемой точности сборки;
- б) для образования фасок, имеющих сложное очертание;
- в) для удаления металла кромок, обрезанных ножницами или с помощью термической резки, когда это необходимо.

Гибка

Детали цилиндрической или конической формы получают гибкой листов на *листогибочных вальцах:*

- трехвалковых;
- четырехвалковых;
- двухвалковых с эластичным полиуретановым покрытием нижнего вала.

При отношении радиуса изгиба (R) к толщине листа (S) $R/S \geq 25$ гибку выполняют *в холодном* состоянии; при меньшем значении этого отношения – *в горячем.*

При гибке в вальцах концевой участок листа a (рис. 7.4, *а*) остается почти плоским. Ширина этого участка при использовании трехвалковых вальцов определяется расстоянием между осями валков a (см. рис. 7.4, *б*) и может оказаться значительной. В вальцах несвальцованным остается только участок шириной $(1 \dots 2)S$, зажатый между средними валками (см. рис. 7.4, *в*). Обеспечение заданной кривизны в зоне стыка может быть получено калибровкой уже сваренной обечайки либо путем предварительной подгибки кромок (под прессом либо с подкладным листом, согнутым по заданному радиусу). После выверки параллельности оси вала и кромок листа гибку начинают со средней части (см. рис. 7.4, *г*).

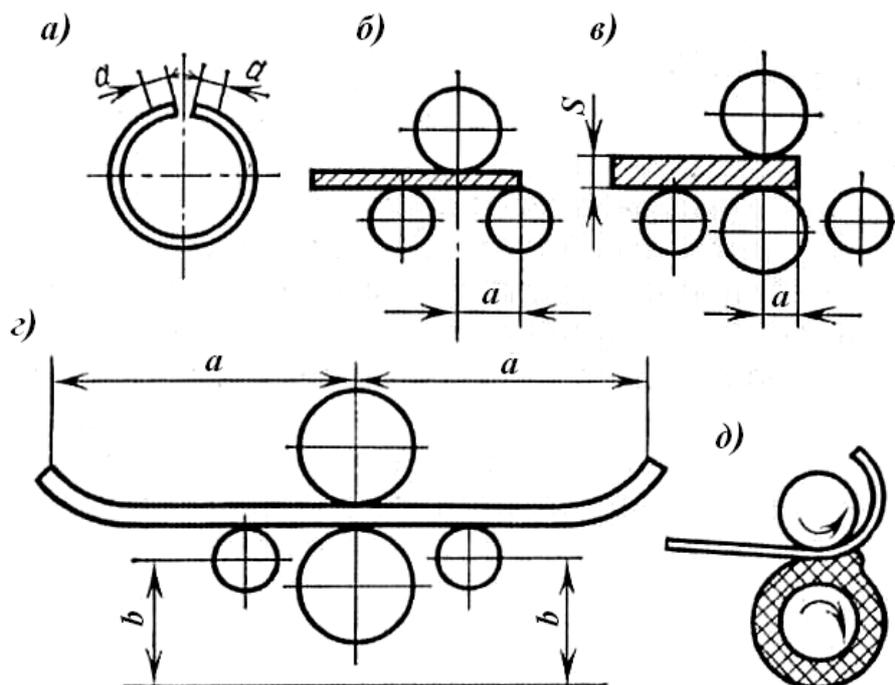


Рис. 7.4. Схемы вальцовки обечаек: *a* – обечайка с необвальцованными кромками; *б, в* – установка листа в трех- и четырехвалковых вальцах; *г* – положение листа в начале гибки в вальцах; *д* – гибка листа в двухвалковых вальцах

Использование двухвалковых гибочных вальцов с эластичным полиуретановым покрытием нижнего валка (см. рис. 7.4, *д*) устраняет необходимость дополнительной операции подгибки кромок при вальцовке обечаек из листов толщиной 6 мм.

Для получения деталей из толстого листового металла применяют *горячую гибку* с применением вальцов и прессов.

Для формирования элементов оболочек больших размеров применяют *штамповку взрывом*. В серийном и массовом производстве для получения элементов со сложными поверхностями широко используют *холодную штамповку* из листов толщиной до 10 мм. Высокая производительность, точность размеров и форм заготовок, их малая масса и низкая себестоимость обеспечивают создание весьма технологичных штампо-сварных изделий.

При холодной гибке профильного проката и труб используют *роликогибочные* и *трубогибочные станки*.

При гибке таких профилей в зоне сечения, испытывающей напряжения сжатия, возможна потеря устойчивости с образованием гофр. В этом случае используют *специальные гибочные станки* (рис. 7.5) с *индукционным нагревом* непрерывно перемещаемой и изгибаемой заготовки.

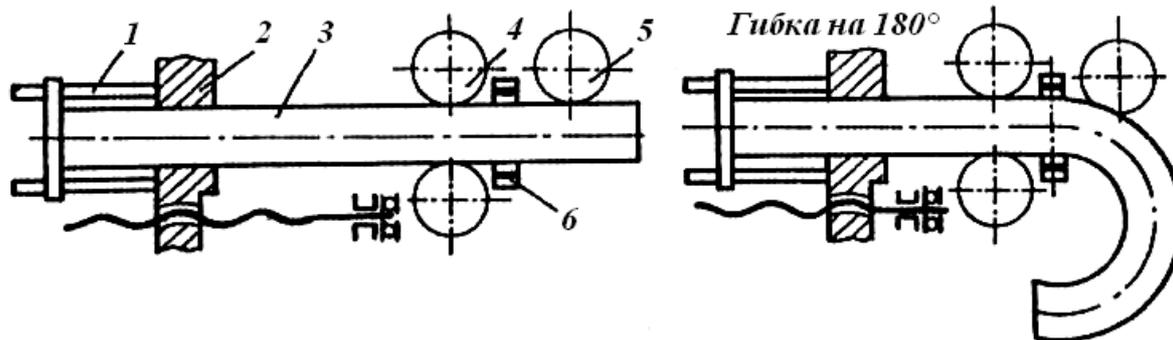


Рис. 7.5. Схема трубогибочного станка с индукционным подогревом:
 1 — подвижный упор; 2 — зажим; 3 — труба; 4 — направляющие ролики;
 5 — гибочный ролик; 6 — индуктор

В сварных конструкциях используют *гнуемые профильные элементы* (сортовые и гофрированные). Эти профили выпускают металлургические заводы, небольшие партии нестандартных профилей могут изготавливаться на кромкогибочных станках и прессах.

Гофрирование (рис. 7.6) повышает жесткость листов. Его предпочтительно производить штамповкой, а не гибкой, чтобы поперечные кромки листов оставались плоскими.

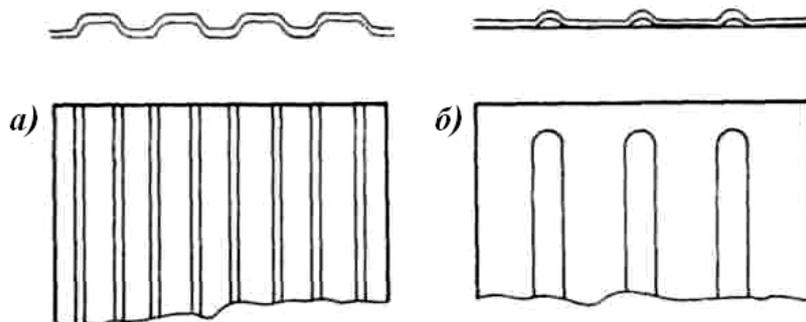


Рис. 7.6. Гофрированные листы

Очистка

Для очистки проката, деталей и сварных узлов применяют *механические* и *химические методы*.

1. Механические методы очистки:

- удаление загрязнений, ржавчины и окалины производят с помощью *дробеструйных* и *дробеметных аппаратов*;
- используют зачистные станки, рабочим органом которых являются металлические щетки, иглофрезы, шлифовальные круги и ленты.

При дробеструйной и дробеметной очистке применяют стальную или чугунную дробь размером 0,7 ... 4 мм в зависимости от толщины металла. Обработку ведут в камере.

2. Химические методы очистки

Химическими методами производят обезжиривание и травление поверхности.

Различают ванный и струйный химические методы.

В первом случае детали последовательно опускают в ванну с различными растворами и выдерживают в каждом определенное время.

Во втором случае последовательная подача растворов различного состава на поверхности деталей производится струйным методом, что позволяет осуществлять непрерывный процесс.

Способ эффективен, однако его применение ограничено из-за высокой стоимости оборудования для очистки сточных вод. Для предохранения металла от коррозии кроме очистки обычно проводят *пассивирование и грунтовку поверхности*, позволяющие осуществлять сварку без удаления защитного покрытия.

7.3. Применяемое оборудование и комплексная механизация заготовительных операций

На эффективное использование машин и механизмов заготовительных участков оказывает большое влияние механизация транспортных и установочных операций. Поэтому важной задачей является **комплексное использование** механизмов, снижающих ручные затраты труда.

Рассмотрим пример рациональной организации приемки и складирования листового металла в условиях *мелкосерийного производства* (рис 7.7). Горизонтальное складирование в пачки выполняют по габаритам и маркам металла. Краны оснащают траверсами с электромагнитными или вакуумными захватами. Пакеты листов с сортировочных площадок *1* подают мостовым краном на стеллажи *2* к листопрямильным вальцам *3*. Комплексная механизация участка правки обеспечивается приводным рольгангом *4* и перегрузочными мостами *5*. Листы правят и хранят на складе. При этом производительность труда увеличивается за счет увеличения партии листов одинаковой толщины.

В серийном производстве, в частности на судостроительных предприятиях, операции очистки металла, грунтовки, сушки, маркировки, разметки и резки выполняют на автоматизированных поточных линиях.

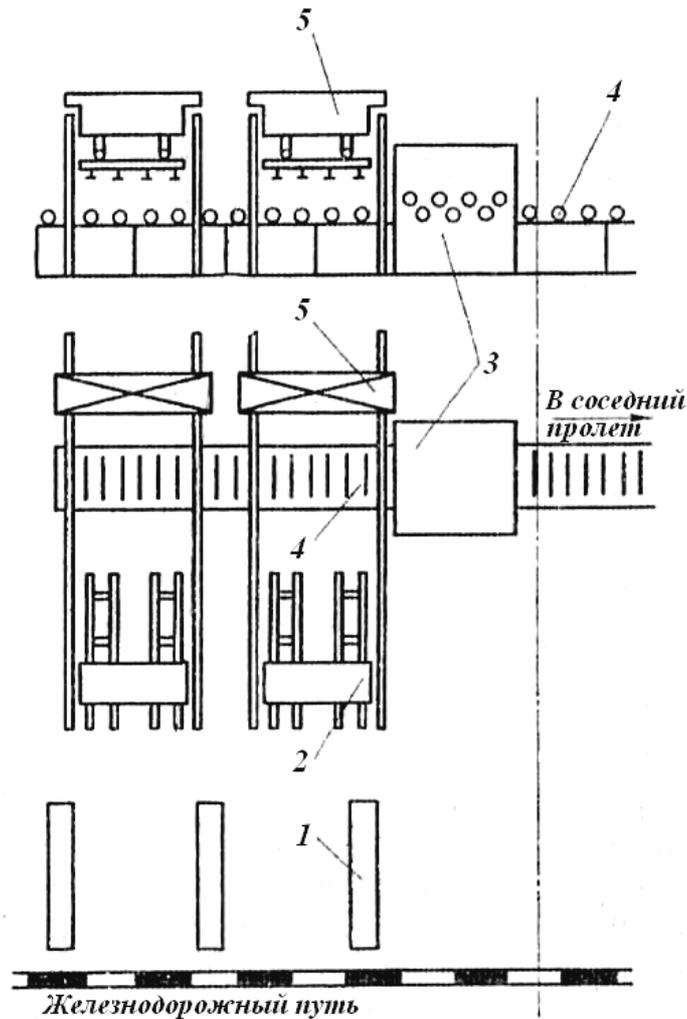


Рис. 7.7. Участок приемки и правки листового металла: 1 – площадка; 2 – стеллаж; 3 – листоправильные вальцы; 4 – рольганг; 5 – перегрузочный мост

С входного рольганга 2 (рис. 7.8) листы 1 автоматически снимаются кантователем 3 и в вертикальном положении транспортируются через последовательно расположенные камеры: подогрева 4, дробеметную 5, грунтовки листов в электростатическом поле 6, терморadiационной сушки 7 и затем с помощью тележки с кантователем 8 выдаются в накопитель или рольганг 9. Все операции выполняются в автоматическом режиме управления с пульта одним рабочим.

Комплексная механизация участка термической резки заготовок с криволинейными кромками из листовой стали толщиной выше 2 мм организовывается следующим образом.

Составление управляющих программ для разметочно-маркировочных машин см. в разделе описания термической резки.

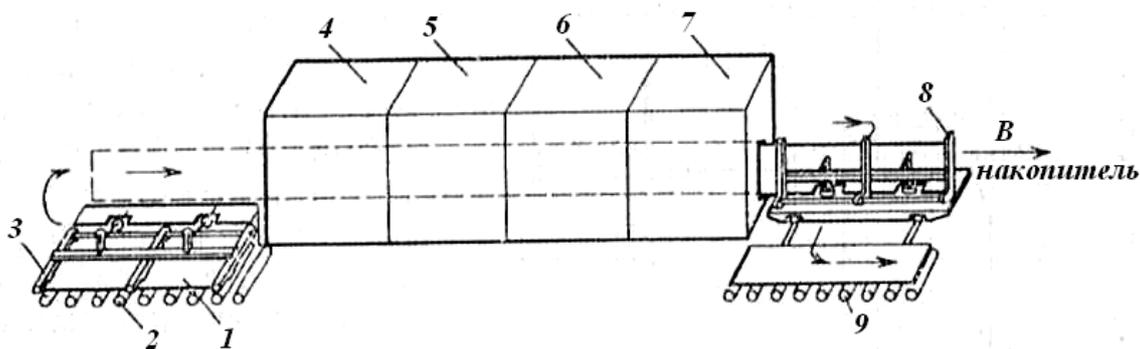


Рис. 7.8. Автоматизированная линия очистки и грунтовки листов:

1 – лист; 2, 9 – рольганг; 3 – кантователь; 4 – камера подогрева; 5 – дробеметная камера; 6 – камера грунтовки; 7 – камера сушки; 8 – кантователь

В поточных линиях маркировки и термической резки подачу листов обычно осуществляют по рольгангам на раскроечных платформах (рис. 7.9, б), у которых на основании 3 установлены ребра 2, служащие опорой листа 1. На этих платформах производится маркировка и термическая резка листов, а также уборка вырезанных деталей и отходов. После линии очистки и грунтовки из накопителя 1 (см. рис. 7.9, а) лист подается гидротолкателем 2 в двухсторонний кантователь 3, укладывающий его на раскроечную платформу 5.

Участок оборудован приемным рольгангом 4 и двумя подающими рольгангами 6, рольгангом съема разрезанного листа 11 и возвратным рольгангом 13. Передача с рольганга одного направления на другой, расположенный перпендикулярно, производится подъемом секции роликов. Работа ведется в полуавтоматическом режиме.

Резке предшествует разметка линий последующей гибки деталей и их маркировка. При этом необходимо, чтобы положение листа в системах координат разметочно-маркировочной машины и машины термической резки были одинаковы. Разметку осуществляют пневмокернером или нанесением линий краски различной толщины или цвета. Исполнительная часть машины 7 представляет собой портал продольного хода, на котором смонтирована тележка поперечного хода.

После разметки и маркировки листы на тех же раскроечных платформах 5 подаются к машинам термической резки 8, а по окончании резки – в зону действия перегружателя-кантователя 9. Траверса с большим числом магнитов (до 800 шт.) снимает все детали, и если необходимо, то кантует их для зачистки грата на 180° , а затем возвращает в исходное положение и укладывает на ленточный транспортер 10. На этой стадии происходит ме-

ханизированная сортировка всех деталей. После снятия деталей платформа 5 на позиции 12 наклоняется для сброса отходов в бункер, а затем возвращается рольгангом 13 на приемный рольганг 4.

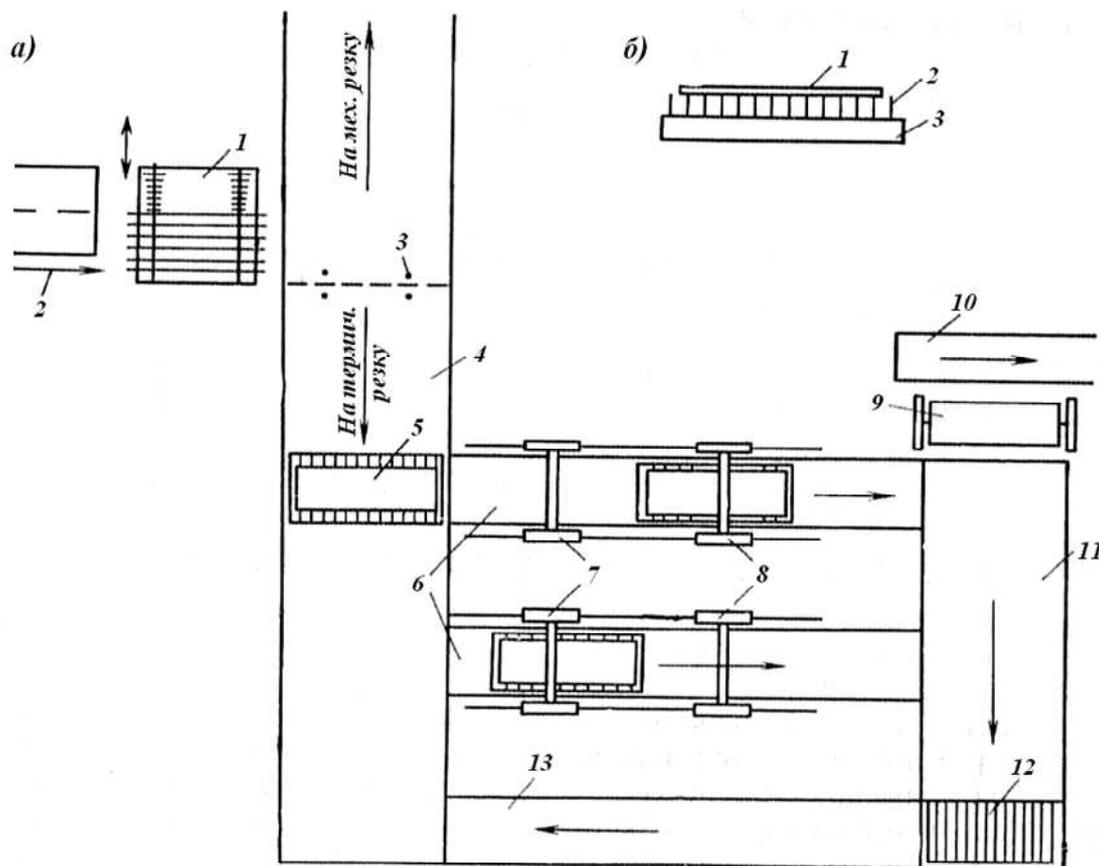


Рис. 7.9. Участок разметки, маркировки и термической резки листов:
а – схема участка: 1 – накопитель; 2 – гидротолкатель; 3 – двухсторонний кантователь; 4 – рольганг; 5 – раскроечная платформа; 6 – подающий рольганг; 7 – машина подачи листа; 8 – машина термической резки; 9 – перегружатель-кантователь; 10 – ленточный транспортер; 11 – рольганг съема; 12 – платформа; 13 – возвратный рольганг;
б – раскроечная платформа: 1 – лист; 2 – ребро; 3 – основание

Наличие автоматической системы раскроя и подготовки программ на ЭВМ позволяет перейти от раскроя листов стандартных размеров к индивидуальному раскрою каждого листа. Для этого необходимо в автоматическом режиме выполнить измерения всех листов, поступающих на завод, их маркировку, упорядоченное хранение, а также организовать выдачу в производство по команде ЭВМ.

Использование оборудования с ЧПУ для термической резки и маркировки, а также применение автоматического проектирования управляю-

щих программ позволяет создавать *гибкие автоматизированные производства (ГАП) по выпуску плоских фигурных заготовок из листового проката*. В таком ГАП для получения конкретных заготовок достаточно введения в ЭВМ исходных данных о требуемых заготовках и их количестве.

При резке листов механическими ножницами большие трудозатраты обычно связаны с подачей листа к ножам и с уборкой отходов. Оснащение ножниц комплексом механизмов, управление одним оператором исключают ручной труд (рис. 7.10). Захват листа, его разворот и укладку на подающую тележку 5 осуществляют с помощью универсального портального манипулятора 8, имеющего колонну 7 с траверсой 6, снабженной вакуумными захватами. Уложенный на рольганг 2 лист с помощью прижимов 4 крепится к механизму подачи 3. Самоходная тележка 5 по рельсам 9 подает лист к ножам 1, после чего механизмом подачи 3 производится точная установка листа.

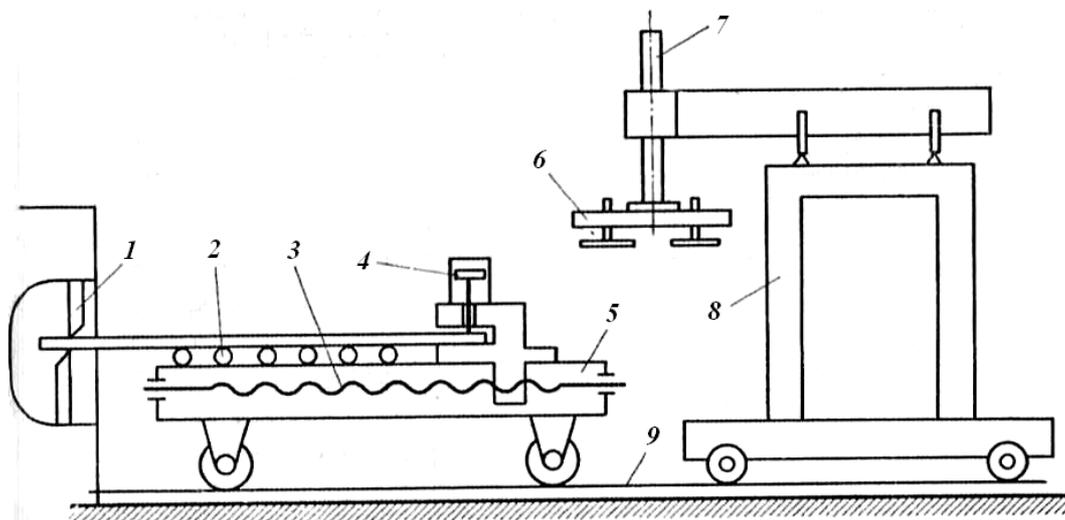


Рис. 7.10. Механизация подачи листа к гильотинным ножницам:
1 – нож; 2 – рольганг; 3 – механизм подачи; 4 – прижим; 5 – подающая тележка;
6 – траверса; 7 – колонна; 8 – манипулятор; 9 – рельсы

При резке по упору партии одинаковых деталей процесс может быть автоматизирован. Подача листа отключается конечными выключателями. Отрезанные детали собирают в тележку, подкатываемую под ножницы. Перед обрезкой кромок тележку откатывают и обрезки падают в приямок, откуда механизм сталкивает их в бункер.

Примером комплексной механизации заготовительных операций в серийном производстве могут служить поточные линии заготовок труб больших диаметров.

РАЗДЕЛ 3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ИЗГОТОВЛЕНИЯ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ПРИМЕНЯЕМАЯ ОСНАСТКА

8. РАЦИОНАЛЬНОЕ ПОСТРОЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

8.1. Исходные данные для проектирования технологического процесса изготовления сварных конструкций

Надежность и долговечность сварных конструкций, их экономичность в изготовлении и эксплуатации являются основными показателями качества технологического процесса изготовления конструкций в сборочно-сварочном производстве.

При проектировании технологии изготовления сварного изделия разрабатывают комплекс работ, включающий в себя заготовительные, сборочные, сварочные и контрольные операции.

Исходными данными для проектирования технологического процесса изготовления сварной конструкции являются **чертежи изделия, технические условия и планируемая программа выпуска.**

Чертежи изделия содержат данные о материале заготовок, их конфигурации, размерах, типах сварных соединений, т. е. решения, которые были приняты конструктором в процессе проектирования изделия и должны быть приняты к исполнению технологом. Технолог не имеет права вносить изменения в чертежи, поэтому любому отклонению от чертежа должно предшествовать его исправление конструктором.

Программа выпуска содержит сведения о числе изделий, которые надо изготовить в течение конкретного срока (например, за год). Эти цифры служат основанием для выбора оборудования, технологической оснастки, средств механизации и автоматизации. Кроме того, по программе выпуска производят оценку экономической эффективности этого выбора.

Производственный процесс изготовления изделий включает различные *технологические, контрольные и транспортные операции*. Главное требование, определяющее последовательность выполнения этих операций, их содержание и обеспечение оснасткой, – ***это выполнение заданной программы выпуска изделий высокого качества в кратчайшие сроки при минимальной стоимости.***

Условно все конструкции можно разделить на три группы:

группа 1 – особо ответственные конструкции, разрушение которых может привести к человеческим жертвам (сосуды, работающие под давлением, грузоподъемные машины, транспортные устройства и т. п.);

группа 2 – ответственные конструкции, разрушение которых вызывает большие материальные потери (устройства технологических линий, выход из строя которых приводит к остановке всей линии);

группа 3 – неответственные конструкции – все прочие.

Условия эксплуатации конструкции и возможные последствия вследствие ее некачественного изготовления определяют технические условия (требования) к технологии изготовления этой конструкции.

Технические условия на изготовление определенного типа конструкций содержат перечень требований, которые предъявляются к материалам, оборудованию, а также к выполнению технологических и контрольных операций. Технические условия согласно ГОСТ 15001-99 должны соответствовать требованиям технического задания и стандартов на данный вид продукции, т. е. учитывать опыт проектирования, изготовления и эксплуатации, накопленный при выпуске подобных изделий.

8.2. Этапы проектирования сварных конструкций

Существуют три этапа проектирования сварных конструкций:

- эскизное проектирование;
- стадия технического проекта;
- рабочее проектирование.

На этапе **эскизного проектирования** выявляют принципиальную возможность обеспечения заданных служебных свойств изделия при различных вариантах конструктивного оформления и оценивают их технологическую целесообразность.

Генеральное конструктивное оформление обычно предопределяется предшествующим опытом создания изделий данного типа. Выбор форм и размеров отдельных элементов определяется параметрами и особенностями конкретной проектируемой конструкции.

При проектировании этих элементов:

- выбирают материал свариваемых заготовок;
- выбирают методы получения заготовок;
- выбирают способ сварки;
- конструктор назначает расположение сварных соединений и их тип.

Таким образом, основные вопросы технологичности сварных конструкций решаются уже на этом первом этапе проектирования путем умелого использования возможностей компоновки отдельных заготовок и прогрессивных приемов изготовления с помощью сварки.

На стадии **технического проекта** конструкции всех основных узлов и наиболее трудоемких деталей обычно разрабатывают в нескольких вариантах, которые затем сравнивают по их технологичности и надежности в эксплуатации. В случае необходимости производят расчеты трудоемкости изготовления, металлоемкости и других показателей. Не всегда удается изыскать вариант, существенно превосходящий все другие; тогда выбор производят на основании того показателя, который в данном случае является решающим.

На этапе **рабочего проектирования** производят детальную технологическую проработку принятого варианта конструкции.

В первую очередь прорабатывают:

- чертежи и технические условия на крупные заготовки, в особенности, поставляемые извне;
- чертежи всех основных узлов и деталей;
- технические условия на изготовление, сборку, монтаж узлов и деталей и их испытания.

Рабочие чертежи направляют в отдел главного сварщика.

Здесь при разработке рабочей технологии спроектированной конструкции выявляют недостатки, связанные, в основном, с выбором материалов (по их свариваемости), видов заготовок, размеров швов, характера подготовки кромок, припусков на механическую обработку, допусков формы и размеров, методов контрольных операций.

Необходимые изменения по согласованию с конструктором вносят в чертежи и технологическую документацию до запуска изделия в производство.

В ряде случаев при создании новых типов сварных конструкций, освоении новых материалов или сварочных процессов к решению наиболее сложных вопросов привлекают научно-исследовательские организации.

8.3. Рациональное построение технологических процессов изготовления сварных конструкций

Для проектирования технологического процесса *исходными данными* являются: чертеж изделия; технические условия на его изготовление; планируемая программа выпуска.

Чертеж изделия:

1. В процессе создания конструкции и оформления чертежей конструктор решает ряд вопросов технологического характера:

- расчленение сварного изделия на отдельные элементы;
- выбор материалов и методов получения заготовок.

2. Учитываются следующие факторы:

- данные о свариваемости выбранных материалов;
- возможности использования того или иного способа сварки;
- доступность сварного соединения и удобство его выполнения.

3. Конструктивное оформление сварных соединений конкретизирует решения конструктора в части выбора метода и приемов сборки и сварки.

Так, данные чертежа о разделке кромок под сварку определяют метод сварки, положение изделия при сварке, допустимые зазоры при сборке под сварку и т. п.

4. Указанные на чертежах величины допусков на размеры отдельных деталей и готового изделия, а также величины припусков на обработку после сварки определяют требования к точности сборки и ограничению деформаций от сварки.

Технические условия (ТУ):

1. Технические условия на изготовление определенного типа конструкций (ТУ) содержат перечень требований, которые следует предъявлять к материалам, оборудованию и выполнению технологических операций на разных стадиях процесса производства.

2. ТУ являются кратким изложением опыта проектирования, изготовления и эксплуатации, накопленного в данной отрасли производства.

3. Проектирование технологических процессов изготовления должно выполняться, как правило, в соответствии с требованиями ТУ.

4. Необходимость отклонения от них в каждом отдельном случае должна быть достаточно обоснована.

Программа выпуска:

– содержит сведения о числе изделий, которые необходимо изготовить в течении конкретного срока (например, за год);

– служит основанием для выбора оборудования, технологической оснастки, средств механизации и автоматизации;

– по программе выпуска производят оценку экономической эффективности указанного выше выбора.

Производственный процесс изготовления изделий включает различные технологические, контрольные и транспортные операции. Главное требование, определяющее последовательность выполнения этих опера-

ций, их содержание и обеспечение оснасткой – это выполнение заданной программы выпуска изделий в кратчайшие сроки при минимальной стоимости.

Последовательность выполнения основных сборочно-сварочных операций определяется выбором варианта членения конструкции на технологические узлы, подузлы и отдельные детали. Оптимальность членения определяется следующими соображениями:

1. На монтажной площадке условия труда, возможности применения высокопроизводительной оснастки и средств контроля качества менее благоприятны, чем на заводе. Поэтому изделия больших габаритов целесообразно расчленять на транспортабельные узлы, что позволит свести к минимуму работы на монтаже.

2. С позиции доступности сварных соединений, удобства их выполнения и последующего послеоперационного контроля сборочно-сварочные работы целесообразно выполнять путем последовательного укрупнения отдельных элементов в подузлы и узлы с последующей общей сборкой изделия. Такое чередование сборочных и сварочных операций облегчает использование высокопроизводительной сварочной оснастки, но при малой жесткости в узлах могут возникать деформации. С позиции уменьшения сварочных деформаций сборка всей конструкции сразу часто оказывается более целесообразной.

3. Для оценки ожидаемых сварочных деформаций и выбора рациональной последовательности сборочно-сварочных операций следует пользоваться расчетными методами.

4. Требуемую точность размеров и форм сварного изделия следует обеспечивать рациональным построением технологического процесса, применением правочных работ на стадии заготовки элементов, сборки и сварки отдельных узлов. Правка готового изделия является, как правило, крайне трудоемкой и редко применяется.

5. Термообработка всей конструкции может существенно усложнить процесс изготовления, особенно в условиях серийного и массового производства. Поэтому в случае необходимости улучшения механических свойств, снятия остаточных напряжений или стабилизации размеров в какой-либо зоне конструкции выгодно выбрать такую последовательность сборки и сварки, которая позволит производить местную и предварительную термообработку отдельных подузлов и узлов.

6. Разработка технологического процесса сварки конструкции должна предусматривать возможности сокращения тяжелого физического труда на основе комплексной механизации и автоматизации производства.

8.4. Основные направления механизации и автоматизации сварки конструкций

Под механизацией производственного процесса понимают замену ручного труда работой машин.

При **автоматизированном процессе** обслуживающий персонал выполняет лишь функции наладки и наблюдения за работой приборов и систем управления. Систему управления составляют механизмы и средства связи, обеспечивающие точное и согласованное во времени взаимодействие рабочих и вспомогательных агрегатов и устройств.

В области сварочного производства трудовые затраты собственно на сварочные работы обычно не превышают 30%. Большой объем занимают заготовительные, сборочные и вспомогательные, особенно транспортные операции. Следовательно, повышение производительности только сварочных работ не может дать существенного эффекта. Отсюда – необходимость комплексной механизации и автоматизации, охватывающей не только основные операции (заготовительные, сборочные, сварочные, отделочные), но и вспомогательные (транспортные, контрольные) операции.

Совершенствование производства сварных конструкций наряду с применением специальных приспособлений и механизмов требует и рациональной их компоновки. При этом требования как к механизмам, так и к компоновке определяются характером производства:

- для *серийного и мелкосерийного производства* требуются универсальные устройства, пригодные для работы в широком диапазоне типоразмеров заготовок и изделий;
- для *крупносерийного и массового производства* используют более производительное специальное оборудование в составе поточных, автоматических и роторных линий конкретного целевого назначения.

Создание таких линий требует больших затрат на проектирование, изготовление и монтаж, тогда как в случае смены выпускаемой модели изделия эти линии переналадке обычно не подвергаются. Более целесообразны переналаживаемые **гибкие автоматизированные производственные системы (ГАПС)**.

Гибкой можно назвать систему, состоящую из универсального станка и квалифицированного рабочего. Противоположностью является жесткая система, состоящая из специализированного однопозиционного станка и рабочего-оператора малой квалификации.

Универсальность *промышленных роботов* (ПР) дает возможность автоматизировать практически любые операции, выполняемые человеком, а быстрота смены программы позволяет обеспечить ту же гибкость, которой обладает производство, обслуживаемое человеком. Использование роботов позволяет создавать сварочные автоматические линии и робототехнические комплексы.

9. ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ПРОЦЕСС ИЗГОТОВЛЕНИЯ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ЕГО СТРУКТУРА

9.1. Особенности сборочно-сварочных операций

1. Сборочная операция должна обеспечивать правильное взаимное расположение и закрепление собираемого сварочного изделия.

2. Для выполнения сборочной операции используют сборочное или сборочно-сварочное оборудование. В первом случае сборка заканчивается прихваткой; во втором – собранное изделие сразу сваривают.

3. Сборку производят на плите, стеллаже или в специальном приспособлении.

4. В условиях индивидуального производства расположение деталей в узле в большинстве случаев задается разметкой; для их фиксации используют струбицы, планки, скобы с клиньями и другие простейшие универсальные приспособления. Использование специальных сборочных приспособлений позволяет повысить производительность труда и улучшить качество сборки.

5. Собранный узел должен обладать жесткостью и прочностью, необходимыми как для извлечения его из сборочного приспособления и транспортировки к месту сварки, так и для уменьшения деформаций при сварке. Поэтому фиксация собранных деталей наиболее часто осуществляется на прихватках.

Особенности выполнения прихваток:

– размеры и расположение прихваток определяются условиями прочности и жесткости, а также требованиями исключения их вредного влияния на качество выполнения сварных соединений и работоспособность конструкций;

– прихватки должны иметь ограниченное поперечное сечение и длину и располагаться в местах, обеспечивающих их полную переварку при укладке основных швов;

– наложенные прихватки в местах, где швы проектом не предусмотрены, после сварки изделия следует удалить, а поверхности тщательно зачистить.

6. Последовательность выполнения сборочно-сварочных операций может быть различной. Наиболее часто встречающиеся случаи:

А. Производство сварки после полного завершения сборки.

Б. Сборка и сварка выполняются попеременно, например, при изготовлении конструкции путем наращивания отдельных элементов.

В. Общей сборке и сварке конструкции предшествуют сборка и сварка подузлов и узлов.

7. Сборку иногда производят при плотном сопряжении собираемых деталей, но чаще – с заданным технологическим зазором. Размещение деталей в приспособлении (базирование) осуществляют таким образом, чтобы технологические базы деталей опирались на установочные поверхности приспособления. В общем случае для этого достаточно прижать деталь к шести опорным точкам, расположенным в трех взаимно перпендикулярных плоскостях (рис. 9.1, а); цилиндрические детали удобно базировать с помощью призмы (см. рис. 9.1, б); детали с цилиндрическими отверстиями базируют по плоскости и цилиндрическому пальцу или оправке (см. рис. 9.1, в, г).

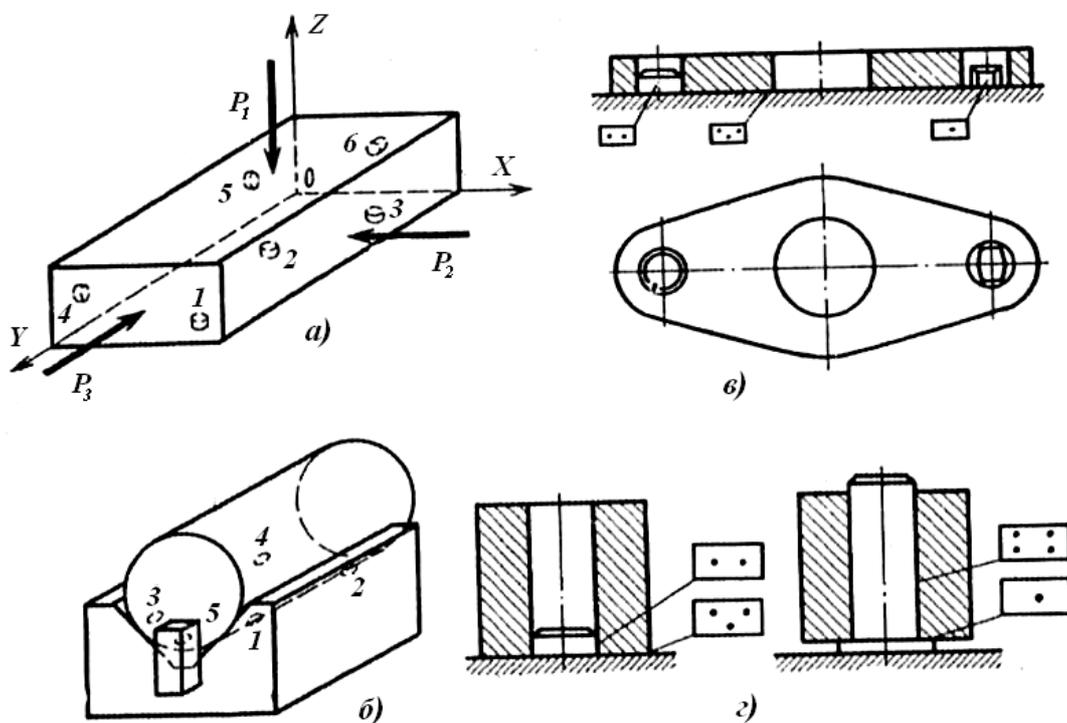


Рис. 9.1. Схемы базирования деталей

8. Требуемое взаимное расположение деталей сварного узла обеспечиваются с помощью установочных элементов приспособления – упоров, фиксаторов, призм, шаблонов и др.

9. Применительно к выпуску конкретного изделия перечень необходимых сборочно-сварочных приспособлений составляется в процессе проектирования технологии изготовления этой конструкции. При этом решается вопрос, какие из приспособлений могут использоваться в готовом виде, а какие намечаются к проектированию и изготовлению. Целесообразность проектирования и изготовления приспособления должна обосновываться экономическими расчетами.

10. Для качественного и производительного выполнения сварочной операции необходимо обеспечить:

- а) сборку соединений с оптимальным зазором;
- б) доступность зоны соединения для инструмента;
- в) рациональное чередование сборочных и сварочных операций и соответствующую последовательность наложения швов;
- г) позиционирование свариваемых кромок в пространстве и относительное перемещение инструмента и изделия, соответствующее оптимальным условиям сварки.

Если сварку производить после полного завершения сборки, то пространственная жесткость конструкции будет способствовать уменьшению сварочных деформаций. Однако доступность некоторых соединений при этом может стать ограниченной. Чередование сборочных и сварочных операций при изготовлении конструкции путем наращивания отдельных элементов облегчает доступность соединений, но нередко способствует увеличению деформаций от сварки. Общей сборке сложной конструкции может предшествовать сборка и сварка относительно простых узлов, обладающих пространственной жесткостью, соединения которых легко доступны для сварки.

Позиционирование изделия для выполнения каждого соединения в наиболее благоприятном для сварки положении требует неоднократного поворота изделия. Так, при дуговой сварке стыковые соединения обычно располагают в нижнем положении, а для угловых швов предпочтительным является положение «в лодочку». Кроме периодических установочных поворотов изделия применительно к сварке круговых и кольцевых швов требуется вращение изделия с постоянной сварочной скоростью.

При выполнении сварочных операций требуется также задавать положение инструмента относительно свариваемых кромок и перемещать его

со скоростью сварки. Для механизации этих операций используют устройства, обеспечивающие позиционирование или перемещение изделия, а также инструмента (сварочной головки) относительно изделия.

9.2. Порядок разработки технологического процесса изготовления сварных конструкций

Классификация технологических процессов

Проектирование технологических процессов сварки представляет собой сложную оптимизационную задачу, основанную на использовании расчетных аналитических методов проектирования. Оптимальный вариант технологического процесса изготовления сложной сварной конструкции выбирается из нескольких расчетных вариантов технологии.

В зависимости от основного назначения различают *перспективные* и *рабочие технологические процессы* (ТП).

Перспективный ТП включает в себя последовательность технологических операций, разбивку конструкции на отдельные технологические узлы или элементы, эскизную проработку специальных приспособлений и оснастки, расчеты режимов основных сварочных процессов, расчеты ожидаемых сварочных напряжений и деформаций, сравнительную оценку разработанных вариантов технологии.

После окончательного утверждения технического проекта и принятого варианта технологии выполняют рабочее проектирование конструкции (составление конструкторской документации) и разработку рабочей технологии (составление технологической документации).

Рабочий ТП включает в себя следующие действия:

- уточнения и изменения принципиального технологического процесса, связанные с изменением конструкции на этапе рабочего проектирования;
- разработку технологических карт, в которых указывают все параметры режима сварки, применяемые сварочные материалы и оборудование;
- краткие описания технологических приемов выполнения отдельных сварочных операций;
- требования к прочности и качеству сварных конструкций на отдельных этапах их изготовления;
- указания методов проверки точности и контроля качества соединений, узлов и готовой конструкции.

В зависимости от количества изделий, охватываемых процессом, установлено два вида ТП: *типовой* и *единичный*.

Правила разработки рабочих технологических процессов предусматривают обязательное использование типовых ТП и стандартов на технологические операции.

В зависимости от степени детализации каждый ТП может быть *маршрутным*, *операционным* или *операционно-маршрутным*.

Типовые ТП разрабатывают на основе анализа многих действующих и возможных ТП для типовых представителей групп изделий.

Технологическая операция является частью ТП, выполняемой на одном рабочем месте.

Разработка типового технологического процесса сварки

Существуют следующие основные этапы разработки типового ТП:

- классификация объектов производства – выбирают группы объектов, имеющих общие конструктивно-технологические характеристики, и типовых представителей групп;
- количественная оценка групп объектов – оценка типа производства (единичное, серийное или массовое);
- анализ конструкций типовых объектов по чертежам, ТУ, программам выпуска и типу производства – разрабатывают основные маршруты изготовления конструкций, включая заготовительные процессы;
- выбор деталей и способов их изготовления с технико-экономической оценкой – оценивают точностные характеристики способов изготовления и качества поверхности, выбирают способ обработки;
- выбор технологических баз;
- выбор вида производства (сварка, литье, обработка давлением, механическая обработка);
- составление технологического маршрута обработки – определяют последовательность операций и выбирают группы оборудования по операциям;
- разработка технологических операций;
- расчет точности, производительности и экономической эффективности вариантов типовых ТП с выбором оптимального варианта;
- оформление документации на типовой ТП, согласование ее с заинтересованными службами и утверждение.

Разработка технологических операций включает в себя:

- выбор структуры и рациональное построение операций;
- определение рациональной последовательности переходов в операции;

- выбор оборудования, обеспечивающего оптимальную производительность и требуемое качество;
- выполнение расчета загрузки технологического оборудования;
- выбор конструкции технологической оснастки;
- расчет припусков на обработку и межоперационных припусков, установление исходных данных для расчета оптимальных режимов обработки и норм времени;
- определение разряда работ и профессии исполнителей.

На предприятии должны быть компьютерные информационно-поисковые системы для поиска ранее разработанных аналогичных ТП и отдельных технологических операций. Всю информацию вводят в компьютер в кодированном виде.

9.3. Нормативная документация сварочных технологических процессов

9.3.1. Классификация видов нормативных документов

Различают основные и вспомогательные документы.

Основные документы полностью и однозначно определяют ТП (операцию) изготовления изделий и содержат информацию, необходимую и достаточную для решения инженерно-технических, планово-экономических и организационных задач. Основные документы бывают общего и специального назначения.

Вспомогательные документы применяют при разработке, внедрении и функционировании ТП (операции).

Общие правила заполнения НД установлены ГОСТ 3.1705-81.

Документы общего назначения применяют в отдельности или в комплекте на ТП вне зависимости от методов изготовления изделий. К ним относятся титульный лист (ТЛ), карта эскизов (КЭ), технологическая инструкция (ТИ).

Документы специального назначения применяют при описании ТП (операции) в зависимости от видов процессов изготовления изделий, типа и вида производства. К ним относятся:

- маршрутная карта (МК);
- карта технологического процесса (КТП);
- карта типового технологического процесса (КТТП);
- универсальная карта типового технологического процесса (КТТП/У);
- операционная карта (ОК);

- карта типовой операции (КТО);
- комплектовочная карта (КК);
- технико-нормировочная карта (ТНК);
- карта кодирования информации (ККИ);
- ведомость технологических маршрутов (ВТМ);
- ведомость оснастки (ВО);
- ведомость оборудования (ВОб);
- ведомость материалов (ВМ) и др.

Комплектность технических документов (ТД) определяют в зависимости от типа производства (единичное, серийное, массовое) и видов разрабатываемых процессов по их организации (единичный, типовой, групповой).

Каждый разработанный документ должен иметь самостоятельное обозначение.

Пример: ТД-0229014, где цифры означают: 02 – комплект документов ТП; 2 – типовой процесс; 90 – сварка; 14 – рельефная сварка.

9.3.2. Общие правила заполнения технологических документов на сварку

Терминология и классификация видов сварки, сварных соединений, швов, оборудования и материалов должны соответствовать ГОСТ 2601-84 и ГОСТ 19521-74.

Унифицированная запись наименований операций (переходов) должна выполняться в МК, КТП, КТТП, ОК, ВО и ВОб. Применяют *три формы записи: полную, краткую и по кодовым обозначениям.*

Полную запись применяют в МК при маршрутном описании ТП для единичного и мелкосерийного производства, а также в МК, КТП (КТТП), ОК при операционном и маршрутно-операционном описании ТП, если входящие в операцию переходы не различаются по способу сварки.

Краткую запись применяют в НД любого вида, если входящие в операцию переходы различаются по способу сварки, а также при операционном и маршрутно-операционном описании ТП.

Нумерацию операций ТП проставляют числами ряда арифметической прогрессии: 5, 10, 15 и т. д. При корректировании ТП вновь вводимым операциям присваивают промежуточные номера, не кратные 5.

Унифицированная запись операции (перехода) должна содержать ключевые слова:

- наименование, номер позиции, указания на выполняемые по эскизу швы детали;

- наименование способа сварки;
- информацию о прихватках;
- наименование способа выполнения операции, перехода (по разметке, по упору и т. п.);
- особые условия сварки (положение, последовательность выполнения швов, температура подогрева и т. п.);
- дополнительные требования к выполнению операции (это указывают в графе «Особые указания»);
- информацию по безопасности труда;
- ссылки на документы, содержащие информацию, которая дополняет или разъясняет текстовую запись (чертеж, эскиз).

При описании операций указывают в технологической последовательности переходы, установки, сборки, сварки, зачистки и др., если их выполняют на том же рабочем месте, где идет сварка, и исполнителей.

Нумерацию переходов в ТП проставляют числами натурального ряда (1; 2; 3; ...).

9.3.3. Технологические карты сборочно-сварочных работ

Технологическая карта – основной производственный документ, в котором приведены все данные по деталям, сборке и сварке конструкции. Технологическая карта находится в строгом соответствии с принципиальным технологическим процессом.

Типовая технологическая карта на сборочно-сварочные работы (МК/КТП) представлена в табл. 9.1 (обозначения элементов в табл. 9.1 приведены ниже).

Кодовое обозначение операции указывают в МК, КТП (КТТП) в графе «Код, наименование операции» на строке с символом «А».

В графе «Обозначение документа» указывают обозначения нормативных документов, применяемых при выполнении данной операции.

Кодовое обозначение операции имеет цифровую шестизначную структуру. Рекомендуемые кодовые обозначения сборочно-сварочных операций (поз. 1 – 4) приведены в табл. 9.2. Например, сборочно-монтажные работы имеют код 8863, дуговая сварка в углекислом газе порошковой проволокой – 9044, газовая сварка – 9068, комплексный контроль геометрических параметров – 0260 и т. д. Позиции 5 и 6 устанавливают конкретизацию признаков классификации и их кодов в соответствии со спецификой отрасли.

Таблица 9.1

Технологическая карта МК/КТП сборочно-сварочных работ

| Разработал | | | | Предприятие | Номер изделия | | | | | | | | | | Номер комплекта документов | | | |
|------------|--|---------|-------------|-------------|----------------------------|-----------------------|-----------|----------------------------|-------|----------|-----------|----|----------|-----------|----------------------------|----|------------|----------|
| | Нач. бюро | Нормир. | Нор. контр. | | Уч. | РМ | Опер. | Код, наименование операции | СМ | Проф. | Р | УТ | КР | КОИД | | ЕН | ОП | $K_{шт}$ |
| А | Цех | Уч. | РМ | Опер. | Код, наименование операции | Обозначение документа | | | | | | | | | | | | |
| Б | Код, наименование оборудования | | | | СМ | Проф. | Р | УТ | КР | КОИД | ЕН | ОП | $K_{шт}$ | $T_{н.з}$ | $T_{шт}$ | | | |
| К (или М) | Наименование детали, сборочной единицы или материала | | | | Обозначение, код | | | | | | | | | | ЕН | КИ | $H_{расх}$ | |
| Р | Тип | | | | Катег | Длина | Положение | Поляр. | U_0 | $I_{св}$ | $V_{н.л}$ | | | | | | | |
| 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Таблица 9.2

Коды сборочно-сварочных операций

| Форма записи операции | Код |
|---|------|
| Сварка | 9000 |
| Контактная сварка | 9010 |
| Диффузионная сварка | 9020 |
| Дуговая сварка | 9030 |
| Дуговая сварка покрытым электродом | 9031 |
| Дуговая сварка порошковой проволокой | 9034 |
| Дуговая сварка под флюсом | 9035 |
| Дуговая сварка в инертных газах плавящимся электродом | 9039 |
| Дуговая сварка в инертных газах неплавящимся электродом с присадочным металлом | 9041 |
| Дуговая сварка в инертных газах неплавящимся электродом без присадочного металла | 9042 |
| Дуговая сварка в углекислом газе сплошной проволокой | 9043 |
| Дуговая сварка в углекислом газе порошковой проволокой | 9044 |
| Дуговая сварка в углекислом газе неплавящимся электродом с присадочным металлом | 9045 |
| Дуговая сварка в углекислом газе неплавящимся электродом без присадочного металла | 9046 |
| Дуговая сварка в смеси инертных и активных газов плавящимся электродом | 9051 |
| Дуговая сварка в вакууме плавящимся электродом | 9056 |
| Дуговая сварка в вакууме неплавящимся электродом с присадочным металлом | 9057 |
| Дуговая сварка в вакууме неплавящимся электродом без присадочного металла | 9058 |
| Электрошлаковая сварка | 9061 |
| Электронно-лучевая сварка | 9062 |
| Плазменная сварка | 9063 |
| Газовая сварка | 9068 |
| Резка кислородная | 9172 |
| Резка кислородно-флюсовая | 9176 |
| Резка плазменно-дуговая | 9176 |
| Сборочно-подготовительная | 8862 |
| Сборочно-монтажная | 8863 |
| Слесарно-сборочная | 8864 |
| Термическая обработка | 5000 |
| Комплексный контроль геометрических параметров | 0260 |
| Контроль неразрушающий акустический | 0376 |
| Контроль неразрушающий вихретоковый | 0377 |
| Контроль неразрушающий магнитный | 0378 |

| Форма записи операции | Код |
|--|------|
| Контроль неразрушающий радиационный | 0382 |
| Контроль неразрушающий проникающими веществами | 0386 |
| Испытания механические | 0620 |
| Испытания на герметичность | 0675 |
| Перемещение | 0400 |
| Транспортирование | 0401 |
| Складирование | 0440 |
| Правка | 2156 |
| Комплектование | 0418 |
| Крепление | 0112 |
| Базирование | 8801 |
| Разметка | 0101 |
| Гибка | 2129 |

Примеры кодового обозначения операций: 904138, 038214 и т. п.

Карта МК/КТП содержит строки А, Б, К (или М), Р. Здесь А – название операции и ее номер; Б – описание оборудования; К (или М) – комплектация/материалы; Р – режимы (табл. 9.3).

Информация, вносимая в строку с символом «А». В графах «Цех», «Уч.», «РМ» строки указывают, соответственно, номер (код) цеха, участка, рабочего места, где выполняется операция (или их буквенные наименования).

В графе «Опер.» указывают номер операции.

В графе «Код, наименование операции» указывают унифицированное кодированное обозначение операции ТП.

Информация, вносимая в строку с символом «Б». В графе «Код, наименование оборудования» указывают его код, краткое наименование или модель и инвентарный номер.

Остальные графы характеризуют трудозатраты.

В графе «СМ» («Степень механизации») указывают степень механизации кодом или индексами: РС – ручная сборка, МС – механизированная сборка, в приспособлении, сборка по разметке.

В графе «Проф.» указывают код профессии рабочего (сборщик или сварщик).

В графе «Р» указывают разряд рабочего.

В графе «УТ» («Условия труда») указывают индекс: легкие (Л) или вредные (В) условия.

Таблица 9.3

Пример заполнения строк «К», «М», «Р»

| А | Цех | Уч. | РМ | Опер. | Код, наименование операции | Обозначение документа | | | | | | | | | | | |
|-----------|--|-----|-----|-------|----------------------------|-----------------------|-------|-------|-----------|----|------|--------|--------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|
| | | | | | | СМ | Проф. | Р | УТ | КР | КОИД | ЕН | ОП | $K_{\text{итт}}$ | $T_{\text{н.з}}$ | $T_{\text{итт}}$ | |
| Б | Код, наименование оборудования | | | | | К | Проф. | Р | УТ | КР | КОИД | ЕН | ОП | ЕМ | ЕН | КИ | $H_{\text{расх}}$ |
| К (или М) | Наименование детали, сборочной единицы или материала | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Р | | | | | | Тип | Катет | Длина | Положение | | | Поляр. | U_{δ} | $I_{\text{св}}$ | $V_{\text{н.н}}$ | | |
| К02 | 15 | 02 | 125 | 015 | 14 | 1 (1 л) | 7 | 48 | 185 | 00 | 1 | 112 | - | 1 | 1 | 0,750 | |
| К04 | Электрод УОНИ-13/45-3,0-2 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| К05 | Проволока сварочная Св-08Г2С; $D = 1,2$; $H = 12$ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| К07 | | | | | | - | 3 | 200 | | Н | | П | 20 | | 120 | 16 | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |

В графе «КР» («Количество работающих») указывают число занятых на операции рабочих.

В графе «КОИД» («Количество одновременно изготавливаемых деталей») указывают число деталей при выполнении одной операции.

В графе «ЕН» («Единица нормирования») указывают норму расхода материала или норму времени.

В графе «ОП» («Объем партии») указывают ее объем в условиях серийного производства в штуках.

Графа « $K_{ум}$ » («Коэффициент штучного времени») соответствует многостаночному обслуживанию, и для сварочных работ ее не заполняют.

В графах « $T_{н.з}$ » и « $T_{ум}$ » указывают нормы подготовительно-заключительного и штучного времени на выполнение операций, выбираемые на основе общемашиностроительных и отраслевых нормативов.

Информация, вносимая в строку с символом «К». В графе «Наименование детали» указывают ее название по ЕСТД; в этой графе допускается указывать марку материала.

Графы «Обозначение, код» и «ОПП» (откуда поступает партия) заполняют в соответствии со стандартами ЕСТД; обычно в графе «ОПП» указывают номер цеха.

В графе «ЕМ» – «Единица измерения массы» – указывают массу изделия в килограммах.

В графе «ЕН» – «Единица нормирования» – указывают норму расхода материала в килограммах.

В графе «КИ» указывают количество изготавливаемых изделий.

В графе « $N_{расх}$ » указывают норму расхода материалов.

Информация, вносимая в строку с символом «М». В графе «Материал» указывают сортament, марку материала, размер, обозначение стандарта или ТУ. При сварке в этой графе указывают также марку, диаметр присадочного материала, размер электродов, а при пайке – марку, вид припоя (проволока, фольга, порошок), диаметр и толщину припоя, данные о флюсах, средах.

При раскрое материалов в этой графе указывают профиль и размер исходной заготовки, общее количество получаемых из нее деталей, коэффициент раскроя материала заготовки, норму расхода материала и т. п.

Информация, вносимая в строку с символом «Р». В соответствующих графах указывают информацию по технологическим параметрам режима сварки: тип шва, катет и длину шва в миллиметрах, положение шва, полярность тока, напряжение, силу тока и скорость подачи проволоки.

При записи применяют следующие условные обозначения:

- длина L, l ;
- ширина шва B, b ;
- высота, глубина H, h ;
- толщина S ;
- диаметр D, d ;
- радиус R, r ;
- межосевое и межцентровое расстояние A, a ;
- углы α, β, γ и др.;
- выпуклость шва q ;
- шаг прерывистого шва T ;
- катет углового шва K ;
- расчетная высота углового шва P ;
- толщина углового шва A ;
- напряжение дуги U_d ;
- сила сварочного тока $I_{св}$;
- напряжение холостого хода источника питания $U_{х.х}$;
- скорость сварки $v_{св}$;
- скорость подачи проволоки $v_{п.п}$;
- количество наплавленного металла Q_n ;
- коэффициент наплавки α_n ;
- полярность: прямая – П, обратная – О;
- положение шва: в лодочку – Л, нижнее – Н, горизонтальное – Г, полугоризонтальное – П_Г, потолочное – П, полупотолочное – П_п, вертикальное – В, полувертикальное – П_В;
- притупление кромок – c ;
- коэффициент загрузки оборудования – $K_з$.

В строках, обозначенных в карте МК/КТП номерами, указывают содержание технологических операций и переходов с индексом «О». При этом установки обозначают буквами А, Б, В и т. д.

Примеры заполнения строк карты МК/КТП приведены в табл. 9.3 и 9.4.

Разработанные ТП утверждают в установленном порядке. Подписи лиц, разработавших и проверивших документ, а также лица, ответственного за нормоконтроль документов, являются обязательными.

Если все разрабатывал один человек, то он ставит свою подпись один раз – в графе «Разработал».

Таблица 9.4

Пример заполнения строк «А» и «Б»

| А | Цех | Уч. | РМ | Опер. | Код, наименование операции | Обозначение документа | | | | | | | | | | | | |
|-----------|--|-----|-----|-------|----------------------------|---|--------|-------|-----------|-----------|----------------|----------------|----|------------------|-------------------|-----------------|--|--------|
| | | | | | | СМ | Проф. | Р | УТ | КР | КОИД | ЕН | ОП | К _{шт} | T _{н.з} | T _{шт} | | |
| Б | Код, наименование оборудования | | | | | Обозначение, код | Тип | Катег | Длина | Положение | Поляр. | U _д | ЕН | КИ | H _{расх} | | | |
| К (или М) | Наименование детали, сборочной единицы или материала | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Р | | | | | | Тип | Катег | Длина | Положение | Поляр. | U _д | ЕН | КИ | V _{н.п} | | | | |
| А01 | 12 | 01 | 112 | 20 | 904301, механизированная | | Сварщ. | 3 | – | 1 | 1 | 10 | – | – | 34,80 | | | |
| 2 | Дуговая сварка в углекислом газе сплошной проволокой с короткими замыканиями | | | | | | Слес. | 3 | – | 2 | 1 | | | | 77,00 | | | |
| 3 | | | | | | | Сварщ. | 3 | – | 1 | | | | | | | | 34,80 |
| 4 | | | | | | | Слес. | 3 | – | 2 | | | | | | | | 154,00 |
| Б05 | | | | | | Кран Q = 10 т, инв. № 10, полуавтомат ПДГ-516 | | | | | | Всего | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

10. СБОРОЧНО-СВАРОЧНЫЕ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ: ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ И ОСОБЕННОСТИ

10.1. Классификация сборочно-сварочных приспособлений

Важным элементом технологического процесса производства сварных конструкций, определяющим качество их изготовления, является выбор или разработка технологической оснастки.

Технологическая оснастка – средство технологического оснащения, дополняющее технологическое оборудование для выполнения определенной части технологического процесса.

Приспособлением называют технологическую оснастку, предназначенную для установки или направления предмета труда или инструмента при выполнении технологической операции. Приспособления позволяют облегчить сборку узла машины, обеспечить необходимую точность в процессе сборки и последующей сварки изделия. Приспособления обеспечивают снижение трудоемкости работ, повышение производительности и улучшение условий труда, расширение технологических возможностей оборудования. Основой сборочного приспособления является жесткий каркас с упорами, фиксаторами и прижимами (рис. 10.1).

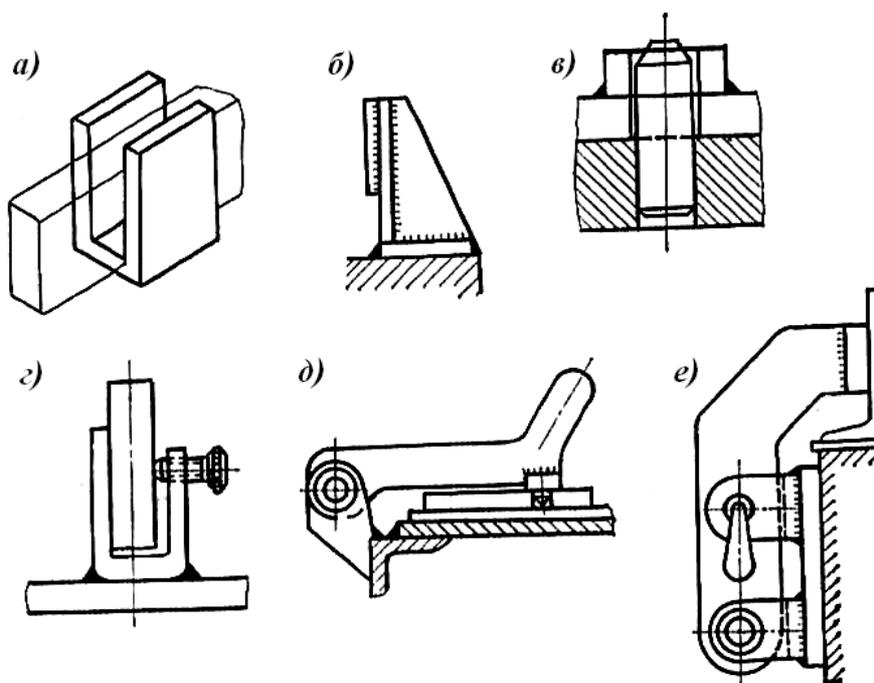


Рис. 10.1. Элементы сборочных приспособлений: а – карман, б – упор; в – палец; г – зажим; д – палец откидной; е – упор откидной

Сборочно-сварочными приспособлениями называют дополнительные технологические устройства к стандартному оборудованию, используемые для выполнения различных технологических операций сварочных процессов. Они могут входить в состав комплексно-механизированных рабочих мест, встраиваться в технологические линии или использоваться самостоятельно.

Сборочно-сварочные приспособления классифицируют:

1. По выполняемым технологическим операциям.

Различают приспособления:

- для разметки заготовок;
- для термической или механической обработки свариваемых элементов;
- для сборки под сварку;
- для сварки;
- для контроля качества;
- для правки изделий;
- для покраски и маркировки изделий.

2. По виду обработки и методам сварки.

Применяют приспособления для дуговой, электрошлаковой и контактной сварки, для наплавки, напыления, пайки и т. д.

3. По степени специализации и в зависимости от характера производства (единичное, серийное, массовое) приспособления могут быть универсальными или специальными.

Универсальные приспособления общего назначения используются для сборки и сварки изделий широкой номенклатуры в условиях единичного и мелкосерийного производства. Они могут быть переналаживаемыми.

Специальные приспособления предназначены для выполнения какой-либо определенной операции при изготовлении элементов и узлов изделия в условиях серийного и массового производства.

Помимо универсальных и специальных приспособлений в мелкосерийном и единичном производстве используют также **универсально-сборные приспособления (УСП)**. Оснастка такого типа представляет собой набор различных элементов: универсальных плит с профильными и поперечными пазами, типовых сменных упоров, фиксаторов, штырей, прихватов, планок, крепежных деталей и т. п. (рис. 10.2). Для каждой собираемой конструкции разрабатывается своя схема настройки сборного приспособления.

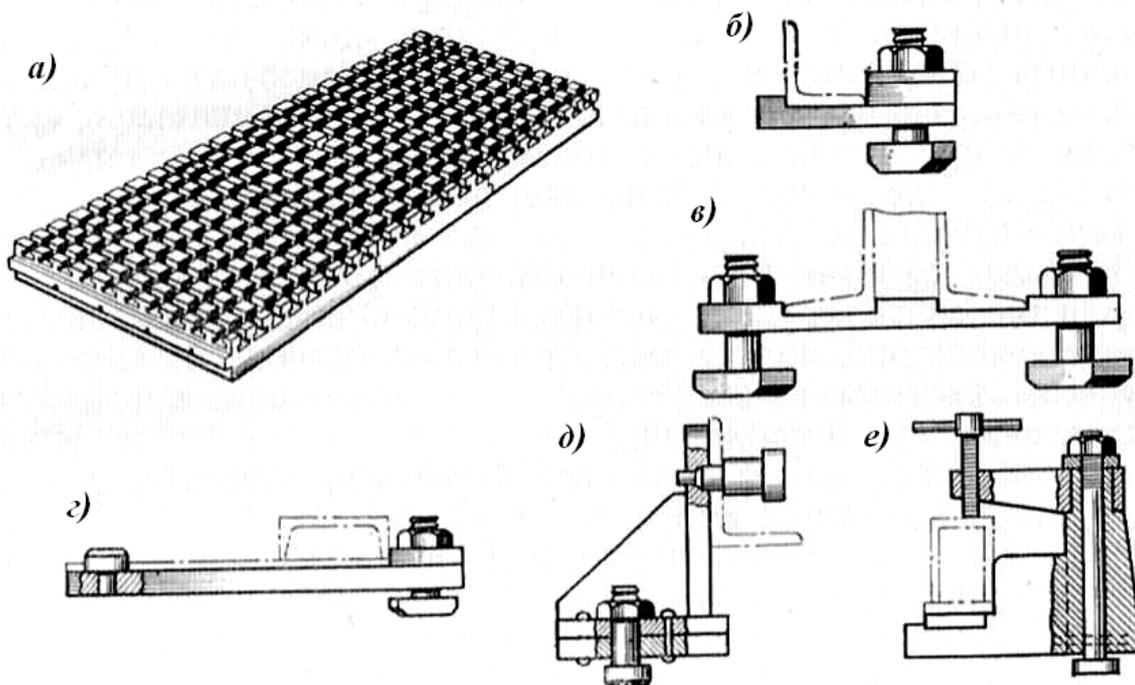


Рис. 10.2. Элементы УСП: *a* – универсальная плита; *б* – упор; *в* – карман; *г, д* – упор с фиксатором; *е* – поворотный прижим

4. По уровню механизации и автоматизации приспособления могут быть ручными, механизированными, полуавтоматическими и автоматическими.

5. По виду установки различают стационарные, передвижные и переносные приспособления, которые могут быть поворотными и неповоротными.

При выполнении тех или иных установок положение изделия в процессе сварки приходится изменять. Это осуществляется с помощью приспособлений – **позиционером, вращателей, кантователей, роликовых стенов, манипуляторов** (рис. 10.3). Они могут быть как *установочные*, переводящие изделие в положение, удобное для сварки, так и *сварочные*, обеспечивающие кроме установки изделия его перемещение со скоростью сварки, или включают элементы, направляющие движение сварочной головки.

6. По необходимости и возможности поворота.

7. По источнику энергии силового привода различают ручные, пневматические, гидравлические, электромеханические, магнитные, вакуумные и центробежно-инерционные приспособления.

В единичном и мелкосерийном производстве и при монтажных работах следует применять ручные, универсальные, переносные приспособления с винтовыми, клиновыми, эксцентриковыми, рычажными, пружинными и магнитными прижимами (рис. 10.4).

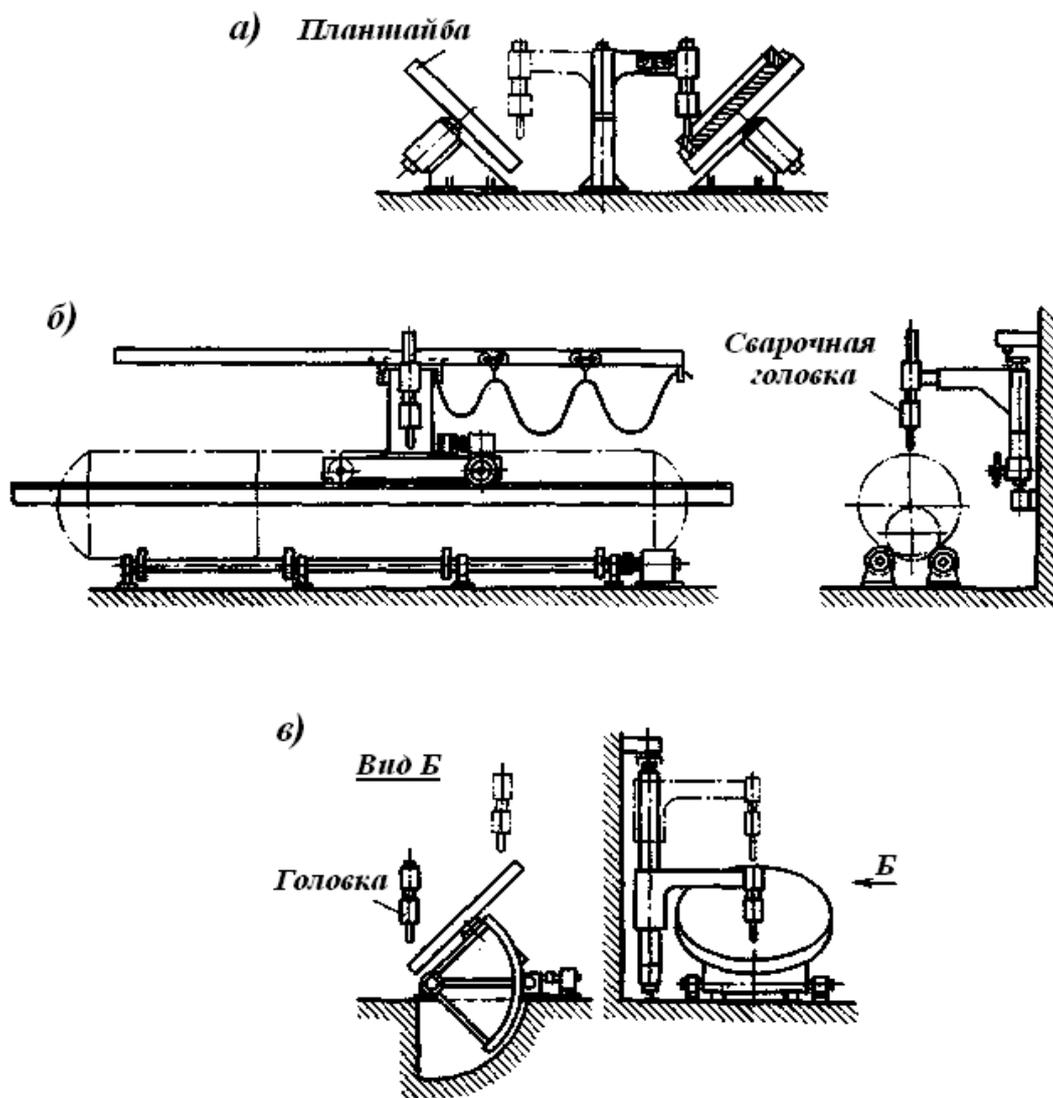


Рис. 10.3. Основные типы сварочных приспособлений:
a – вращатель; *б* – роликовый стенд; *в* – манипулятор

В условиях серийного и массового производства используют специальные приспособления с быстродействующими механизмами загрузки, установки, зажатия, разгрузки, поворота и др. свариваемых элементов (рис. 10.4, *д*, *е*, *ж*; рис. 10.5; рис. 10.6; рис. 10.7; рис. 10.8; рис. 10.9).

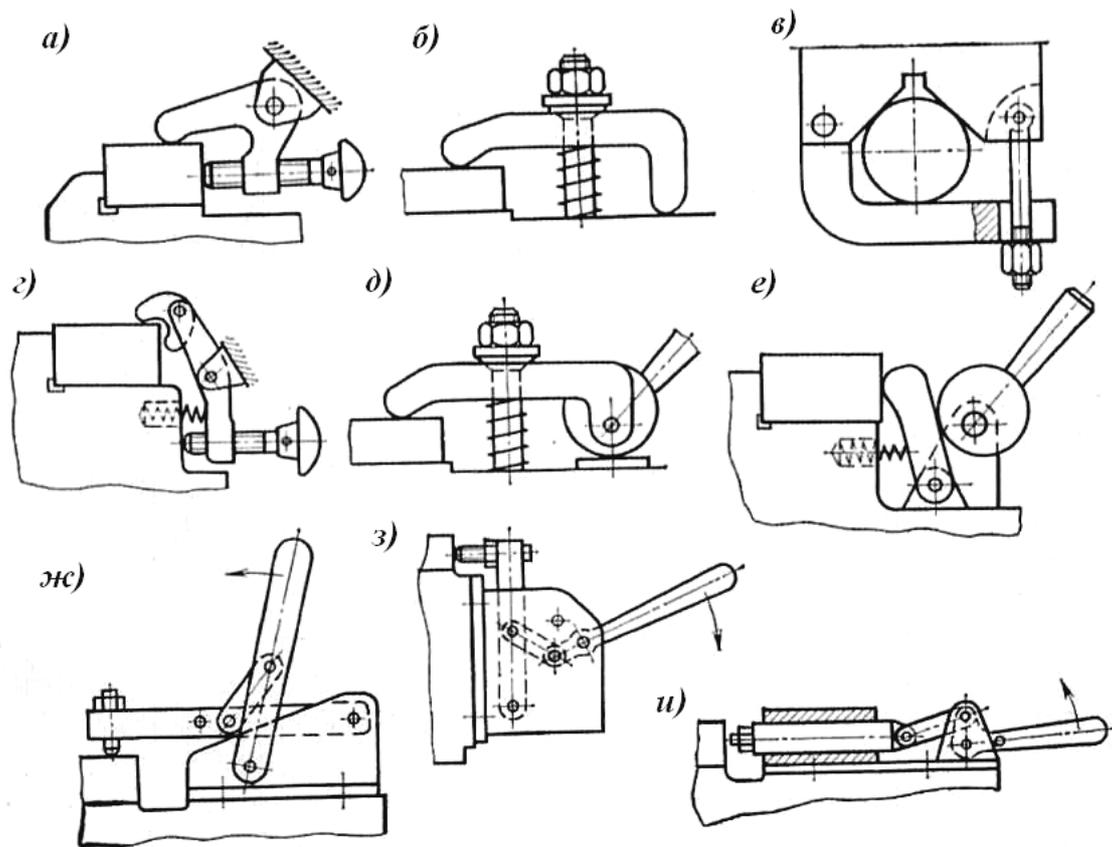


Рис. 10.4. Схемы механических устройств: *a – г* – винтовые; *д, е* – эксцентрикые; *ж – и* – рычажные

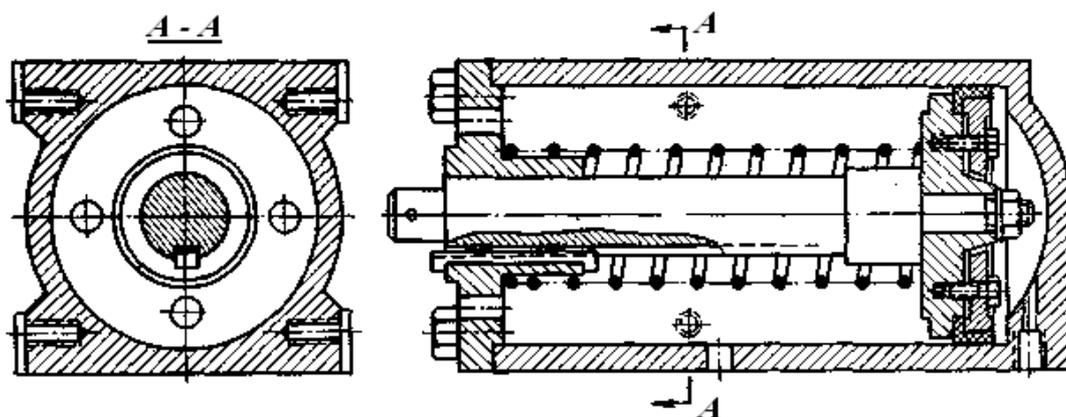


Рис. 10.5. Пневмоприжимы с возвратом поршня пружиной

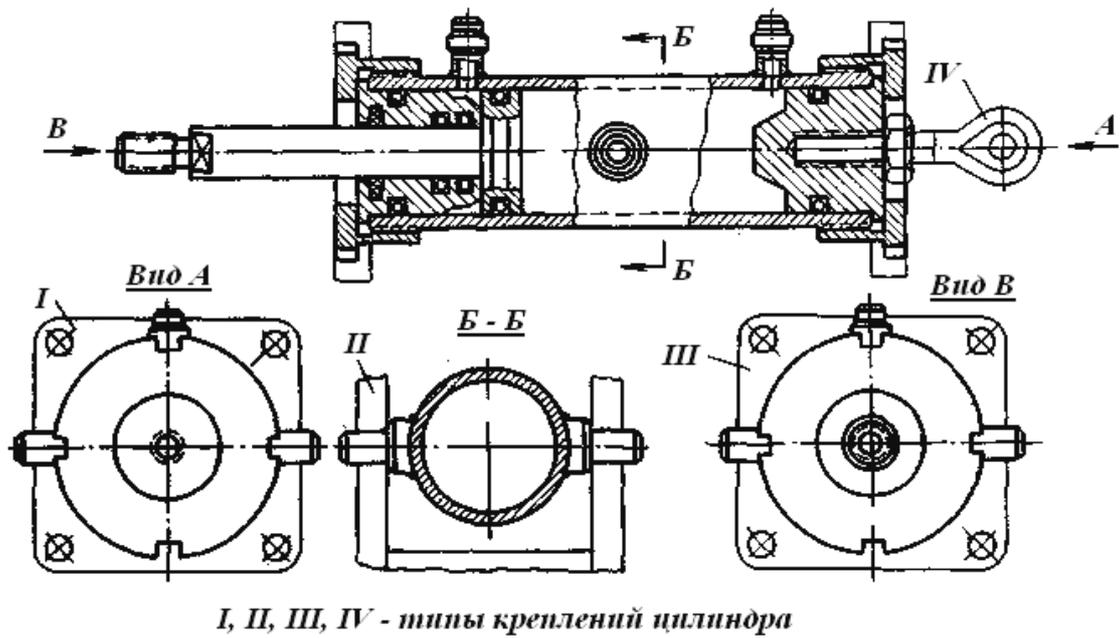


Рис. 10.6. Гидравлический прижим двустороннего действия

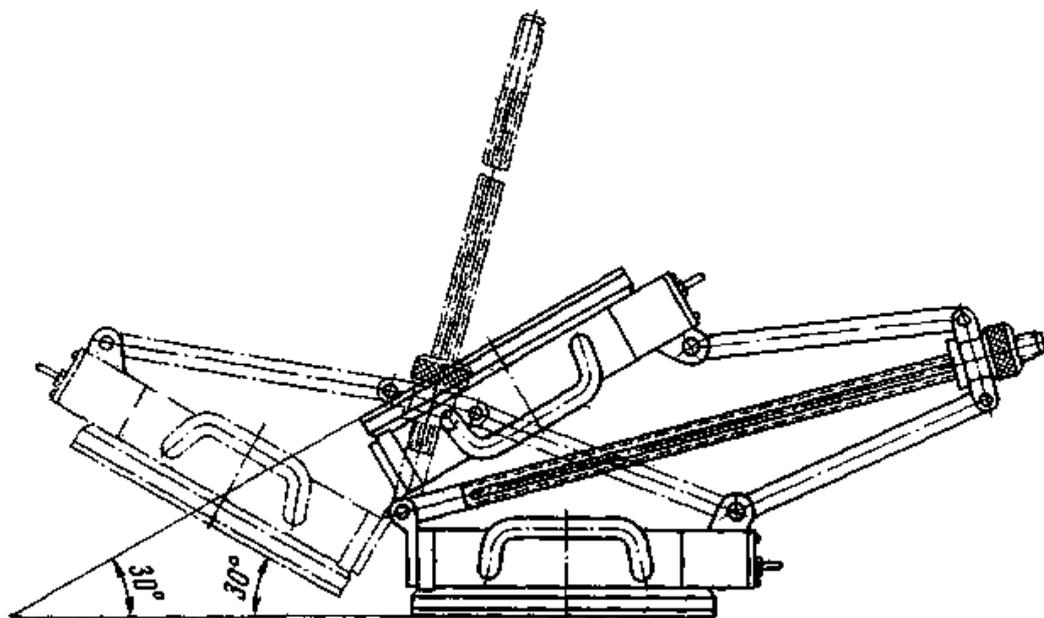


Рис. 10.7. Универсальный электромагнитный фиксатор

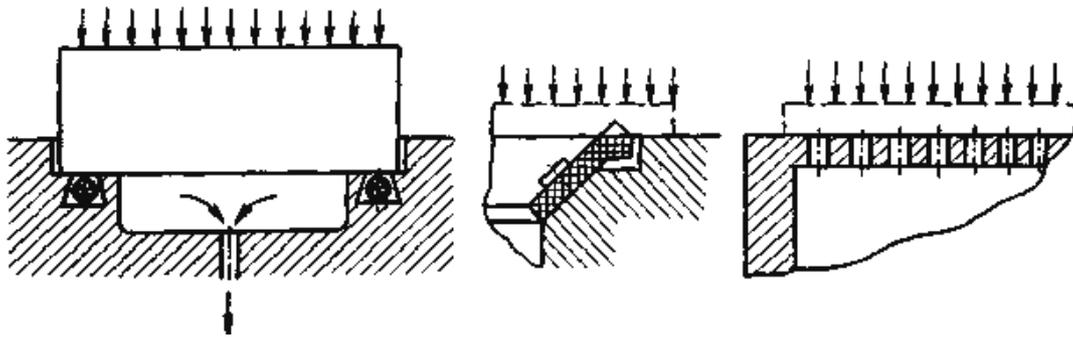


Рис. 10.8. Схемы вакуумных зажимов

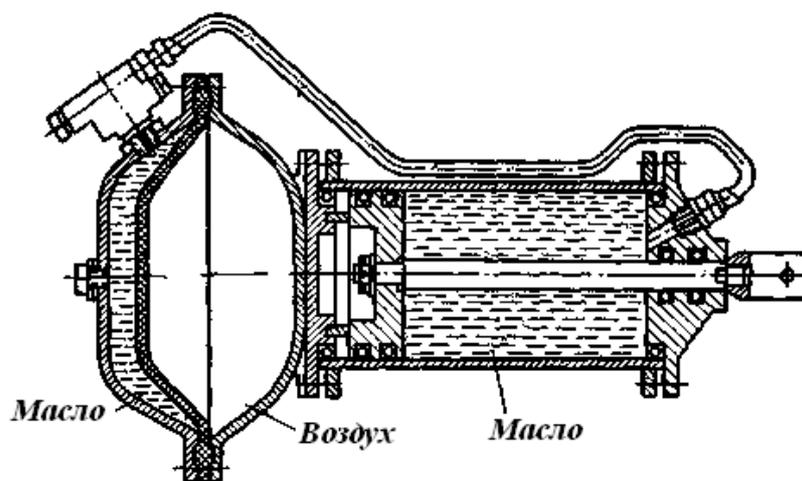


Рис. 10.9. Пневмогидравлический прижим

10.2. Общие требования, предъявляемые к сборочно-сварочным приспособлениям

На выбор технологической оснастки и сборочно-сварочных приспособлений оказывают влияние:

- *характер производства;*
- *особенности конструкций сварного узла;*
- *требования к точности сборки и качеству сварного соединения;*
- *технология изготовления заготовок;*
- *способ сварки и другие факторы.*

Конструктивное исполнение оснастки влияет на выбор средств межоперационного транспорта и регламентирует степень механизации всего процесса изготовления изделий.

Сборочно-сварочная оснастка должна обеспечивать:

- пространственное размещение деталей в свариваемом узле, включая операцию подгонки, а также быстроту и надежность базирования и закрепления изделия в приспособлении;
- точность сборки в пределах допусков, установленных чертежом;
- удобство доступа к местам прихватов и сварки;
- наиболее выгодный порядок сборки и последовательность наложения сварных швов;
- соблюдение заданного размера (зазора) между кромками свариваемых деталей;
- надежное закрепление свариваемого изделия силовыми прижимами – винтовыми, пневматическими и гидравлическими;
- возможность сварки в нижнем положении;
- быстрый отвод теплоты от мест интенсивного нагрева;
- снижение сварочных деформаций в свариваемом узле;
- надежную защиту базовых и установочных поверхностей, силовых элементов (штоков цилиндров, резьбовых поверхностей силовых зажимов и др.), а также корпуса самой оснастки от прилипания сварочных брызг;
- надежный токоподвод для создания условий стабильного режима сварки с целью устранения прихватки поворотных цапф кантователей к корпусу технологической оснастки и для нормальной работы подшипников качения в механизме поворота планшайб;
- возможность механизации транспортных операций.

Элементы сборочно-сварочных приспособлений должны быть достаточно прочными и жесткими для точного закрепления изделия в требуемом положении и для исключения его деформаций при сварке.

Зажимные и установочные элементы (шаблоны, упоры, фиксаторы) сварочной оснастки не должны создавать заклинивания под действием сварочных деформаций элементов свариваемого или собираемого на прихватках узла, при необходимости они должны обеспечивать сдвиг детали в сторону от установочных элементов, а уже затем свободный съем узла.

Вся технологическая оснастка должна удовлетворять требованиям техники безопасности и обладать следующими характеристиками:

- хорошей ремонтпригодностью для быстрой замены изнашивающихся деталей;

- быть удобной в эксплуатации;
- обеспечивать свободный доступ при установке и снятии деталей и узлов;
- облегчать труд рабочего;
- обеспечивать безопасность проведения работ за счет применения зажимных механизмов с самотормозящимися звеньями, блокировочных и защитных устройств.

10.3. Порядок проектирования сборочно-сварочных приспособлений

Исходными данными для выбора или разработки сборочно-сварочных приспособлений являются:

- чертеж детали и сварной конструкции в целом;
- технологический процесс изготовления конструкций;
- технические условия на изготовление и приемку конструкции;
- производственная программа, назначение и условия эксплуатации приспособления.

Сначала разрабатывают принципиальную схему приспособления на основе общих принципов базирования и зажима деталей в приспособлении с расчетом прочности или жесткости его элементов, а затем разрабатывают общий вид приспособления с учетом силового привода и точности исполнительных размеров.

Для ускорения проектирования приспособления используют альбомы стандартных и нормализованных деталей и узлов приспособлений и альбомы типовых приспособлений и их узлов.

Техническое задание разрабатывается в соответствии с технологическим процессом изготовления конструкции и утверждается главным технологом и главным сварщиком предприятия.

Проектирование приспособлений выполняют в определенной последовательности:

- 1) по сборочному чертежу изделия определяют базовую деталь и устанавливают базовые поверхности для фиксирования или крепления в приспособлении;
- 2) определяют усилия, действующие на приспособление в процессе его эксплуатации;
- 3) разрабатывают принципиальную схему приспособления;

4) разрабатывают конструктивную схему или эскизную компоновку приспособления с последующим расчетом или конструктивно определяют размеры его основных деталей;

5) окончательно оформляют конструкцию приспособления в виде сборочных чертежей;

6) определяют экономическую эффективность применения предлагаемого приспособления;

7) разрабатывают рабочие чертежи приспособления.

При конструировании приспособления необходимо учитывать простоту загрузки деталей и заготовок, жесткость их закрепления, безопасность работы. Основные элементы следует выбирать из числа типовых, применяемых на предприятиях. После разработки приспособления определяют его эффективность и окупаемость в производстве. В заключение выполняется детализация приспособления и оформляется вся документация.

В процессе конструирования оснастки необходимо выполнить расчеты по определению усилий зажима деталей в зависимости от величин сварочных деформаций и точности базирования, которые определяют требуемую точность изготовления сварного изделия, а также основных параметров силового привода.

При разработке приспособлений следует руководствоваться эргономическими принципами художественного конструирования машин и механизмов. В сложных случаях следует изготавливать модели или макеты приспособлений с целью проверки вариантов композиционных решений.

РАЗДЕЛ 4. ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА И КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

11. ВИДЫ И ОСОБЕННОСТИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

11.1. Классификация видов термической обработки

Термическая обработка – совокупность операций нагрева металлов и сплавов до определенной температуры, выдержки при этой температуре и последующего охлаждения с целью изменения их структуры и свойств. Для сварных соединений термическую обработку выполняют до сварки или после нее. Термическая обработка является окончательной операцией для придания металлу комплекса физико-механических свойств, обеспечивающих требуемые эксплуатационные характеристики.

Различают следующие виды термической обработки: *отжиг, нормализацию, закалку и отпуск.*

Отжиг – термическая обработка, заключающаяся в нагреве металла (структура которого находится в неравновесном состоянии) до определенной температуры, в выдержке и последующем медленном охлаждении, с целью получения более устойчивой структуры. Отжиг изделий применяют для устранения внутренних напряжений, возникающих при сварке, снижения твердости, повышения пластичности и вязкости и т. д. Температура нагрева изделий при отжиге различна.

Различают четыре вида отжига: диффузионный, полный, неполный и рекристаллизационный.

Диффузионный отжиг проводят с целью устранения химической неоднородности зерен металла. При диффузионном отжиге изделие нагревают до температуры на 200 ... 300 °С выше значений температуры фазового превращения, выдерживают в печи в течении 10 ... 12 ч и медленно охлаждают до температуры 200 °С. При этом общее время отжига составляет 80 ... 100 ч. Такой отжиг проводится для сварных заготовок из легированных сталей.

Полный отжиг основан на фазовой перекристаллизации зерен металлов, приводящей к их измельчению. При полном отжиге устраняется волокнистая структура основного металла, полученная в процессековки или прокатки, происходит снятие внутренних напряжений и повышение пластичности изделий, что облегчает их дальнейшую обработку.

При полном отжиге температура нагрева на 30 ... 50 °С выше A_{c3} (рис. 11.1). Полный отжиг применяют для сварных изделий из феррито-перлитных сталей.

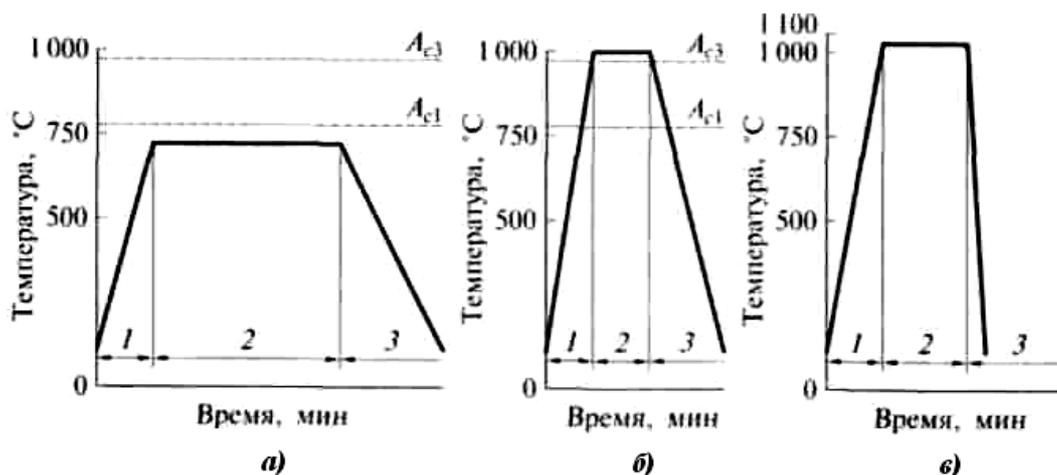


Рис. 11.1. Диаграммы высокого отпуска (а), нормализации (б) и закалки (в) стали: 1 – нагрев; 2 – выдержка; 3 – охлаждение

Неполный отжиг осуществляют при температуре нагрева на 20 ... 30 °С выше значений A_{c3} для сварных изделий из перлитных сталей. После охлаждения структура стали из пластинчатого перлита с сеткой цементита превращается в структуру зернистого перлита, обладающую большой пластичностью.

Рекристаллизационный отжиг применяют для снятия внутренних напряжений, снижения твердости и получения равновесной структуры металла. Отжиг проводят для сварных заготовок, полученных холодной обработкой (волочением, прокаткой). Процесс ведут в печи при температуре нагрева, близкой к A_{c1} (650 ... 700 °С), с последующим медленным охлаждением вместе с печью.

Нормализация – вид термической обработки, заключающийся в нагреве изделия из стали до температуры выше A_{c3} на 50 ... 60 °С, непродолжительной выдержке (несколько минут), получении мелкозернистой структуры при этой температуре с последующим охлаждением на воздухе. Наряду с получением мелкозернистой структуры металла процесс позволяет равномерно распределять структурные составляющие, улучшает механические свойства металла и снижает остаточные напряжения конструкции. Нормализацию изделий из низкоуглеродистых сталей применяют чаще, чем отжиг. Например, в электроэнергетике производят нормализацию тонкостенных труб диаметром до 100 мм.

Закалка – вид термической обработки, заключающийся в нагреве изделий из стали до температуры выше критической точки превращения, выдержке их при этой температуре с последующим быстрым охлаждением в воде, масле, расплавах солей, растворах кислот и щелочей. В результате закалки повышаются твердость, прочность, пластичность и вязкость материала изделий.

В зависимости от скорости охлаждения при закалке образуются различные структуры: мартенсит (твердость 500 ... 600 НВ), тростит (твердость 400 НВ) или сорбит (твердость 300 НВ).

Стали с содержанием углерода менее 0,25% не закаливаются.

Для повышения твердости и износостойкости поверхности изделий и сохранения менее твердой сердцевины применяют поверхностную закалку. Нагрев в этом случае осуществляют токами высокой частоты или пламенем газовой горелки.

Отпуск заключается в медленном нагреве деталей до температуры фазового превращения, выдержке и последующем охлаждении с целью превращения неравновесной структуры в более устойчивую. При отпуске обеспечивается снятие внутренних напряжений, возникающих при закалке, и улучшение металлургических свойств, а также повышение коррозионной стойкости при сварке коррозионно-стойких материалов.

Различают низкий, средний и высокий отпуск.

1. **Низкий отпуск** проводят при температуре до 250 °С с целью получения мартенсита отпуска и снятия части внутренних напряжений при сохранении твердости.

2. **Средний отпуск** проводят при температуре 350 ... 500 °С с целью получения тростита отпуска. При этом обеспечивается высокое значение предела упругости и повышение ударной вязкости стали.

3. **Высокий отпуск** проводят при температуре ниже A_{c1} (650 ... 700 °С) с целью получения сорбита отпуска; в результате обеспечивается наилучшее соотношение между прочностными и пластическими свойствами материала: снижается твердость металла и повышается его пластичность и ударная вязкость. Продолжительность высокого отпуска составляет от одного до нескольких часов. Уровень остаточных напряжений может быть снижен на 70 ... 90%.

11.2. Применяемые средства нагрева

При термообработке сварных соединений нагрев изделий производят *индукционным* и *радиационным* (электropечным и газопламенным) способами.

Индукционный способ заключается в нагреве изделия электрическим током, индуктируемым в нагреваемом изделии переменным электрическим полем. Используют в основном токи промышленной частоты (50 Гц), но могут применяться и токи повышенные (8000 Гц). Способ обычно применяют при закалке. При термообработке сварных соединений труб широко применяют одно- или двухсекционные гибкие индукторы, питающиеся от сварочных трансформаторов.

Газопламенный способ не обеспечивает равномерного нагрева сварных соединений при толщине стенки выше 25 ... 30 мм и не дает возможности точно регистрировать величину температуры. Нагрев сварных стыков труб обычно ведут двумя горелками. Для обеспечения замедленного охлаждения стык можно закрывать асбестовой манжетой. Нагрев также может осуществляться в газовых печах.

Радиационный нагрев электронагревателями сопротивления получил наибольшее распространение. Способ обеспечивает термообработку по заданному режиму при равномерном прогреве изделия.

В зависимости от температуры в рабочей камере различают *низкотемпературные* (с номинальной температурой 300 ... 700 °С), *среднетемпературные* (с номинальной температурой 700 ... 1250 °С) и *высокотемпературные* (с номинальной температурой свыше 1250 °С) *электропечи сопротивления*.

По конструктивному исполнению различают *электропечи сопротивления периодического* и *непрерывного действия*.

В электропечах периодического действия нагреваемые изделия загружают в рабочую камеру и постепенно нагревают их до заданной температуры, а затем вынимают. В электропечах непрерывного действия изделия движутся по длине печи и выходят из печи с заданным нагревом.

Электропечи периодического действия бывают камерные и шахтные, их применяют при закалке и отпуске сварных изделий. Для обогрева применяют проволоку или ленту (для внешнего обогрева тигеля) и электроды (для внутреннего обогрева тигеля).

Электропечи непрерывного действия по конструктивному исполнению подразделяют на *конвейерные, рольганговые, толкательные, карусельные, барабанные* и *протяжные*.

Для измерения температуры до 500 °С применяют ртутные термометры, манометрические и электрические сопротивления. Температуры свыше 500 °С измеряют хромель-алюмелевыми термометрами с примене-

нием милливольтметров, шкала которых отградуирована в градусах Цельсия. Температура также может регистрироваться самописцами с использованием термопар.

Для точного измерения температуры применяют электромеханические или электронные потенциометры.

11.3. Выбор видов и параметров режима термической обработки конструкций

Низкоуглеродистые стали хорошо свариваются всеми способами сварки плавлением. В тех случаях, когда сварная конструкция имеет большую жесткость или она изготовлена из толстолистового металла, назначают термическую обработку для снятия сварочных напряжений. Как правило, это нормализация при температуре 900 ... 940 °С или высокий отпуск при температуре 650 ... 700 °С.

Среднеуглеродистые стали при сварке имеют низкую стойкость металла шва против трещин и склонны к образованию закалочных структур в шве и околошовной зоне. Для сварки такого рода сталей применяют предварительный общий подогрев изделия до температуры 250 ... 300 °С. После сварки обычно производят закалку и высокий отпуск стали для выравнивания свойств и снятия сварочных напряжений. В зависимости от размеров сварной конструкции и наличия оборудования для термической обработки сварные соединения из среднелегированных сталей могут как подвергаться, так и не подвергаться термической обработке.

После термической обработки (закалка + высокий отпуск) сварные соединения становятся равноценными основному металлу по всем физико-химическим свойствам при условии одинаковости химического состава металла шва и основного металла. В ряде случаев механические свойства шва выше, чем у основного металла, из-за благоприятной первичной кристаллизации и большей химической однородности металла шва.

Грубозернистая структура участка перегрева околошовной зоны полностью ликвидируется после термической обработки.

Иногда для повышения механических свойств и снятия сварочных напряжений применяют высокий отпуск (нагрев до 600 ... 650 °С) или низкий отпуск (200 ... 300 °С). Высокий отпуск для таких сталей более эффективен, так как обеспечивает полное снятие сварочных напряжений и частично устраняет закалку металла шва и околошовной зоны. При этом прочность немного понижается, пластичность и ударная вязкость существенно возрастают. Однако высокий отпуск не обеспечивает перекристаллизации металла и не может полностью устранить структуру закалки.

Низкоуглеродистые хромистые ферритные и мартенситные стали толщиной до 10 мм можно сваривать без предварительного подогрева, не опасаясь появления холодных трещин. Если сварку проводят электродами из хромистой мартенситной или ферритно-мартенситной стали, то сразу же после сварки, во избежание появления холодных трещин и для повышения пластичности сварного соединения, необходимо провести отпуск при температуре 700 ... 750 °С. При сварке аустенитными электродами отпуск может проводиться не сразу после сварки.

Низкоуглеродистые хромистые стали толщиной свыше 10 мм желательно сваривать с предварительным подогревом до 150 ... 180 °С.

Высокоуглеродистые хромистые стали необходимо сваривать с подогревом независимо от толщины изделия.

В зависимости от размеров сварной конструкции и наличия оборудования для термической обработки сварные соединения из среднелегированных сталей могут как подвергаться, так и не подвергаться термической обработке.

Иногда для повышения механических свойств и снятия сварочных напряжений в сварных соединениях из среднелегированных сталей применяют высокий (600 ... 650 °С) или низкий (200 ... 300 °С) отпуск.

Высокий отпуск более эффективен, так как обеспечивает полное снятие сварочных напряжений и частично устраняет закалку металла шва и околошовной зоны. При этом прочность немного снижается, пластичность и ударная вязкость существенно возрастают. Однако высокий отпуск не обеспечивает перекристаллизации металла и не может полностью устранить структуру заковки. Поэтому при сварке нужно применять меры по измельчению структуры металла шва.

При сварке хромистых жаропрочных сталей, склонных к резкой закалке, возможно образование холодных трещин в шве и в околошовной зоне. Поэтому при сварке сталей такой группы обязательным условием является предварительный и сопутствующий подогрев металла до температуры не менее 250 ... 300 °С с последующим отпуском после сварки.

Если сварное соединение из жаропрочной стали выполняют с помощью электрошлаковой сварки, то предварительный подогрев металла не обязателен, но необходима незамедлительная термообработка сварного соединения. Режимы предварительного подогрева сталей перед сваркой приведены в табл. 11.1.

Таблица 11.1

Режимы предварительного подогрева сталей перед сваркой

| Сталь | Температура подогрева, °С |
|------------------------------|---------------------------------------|
| Низкоуглеродистая | 120 ... 150 (при многослойной сварке) |
| Среднеуглеродистая | 150 ... 300 |
| Высокоуглеродистая | 300 ... 450 |
| Низколегированная | 200 ... 250 |
| Легированная конструкционная | До 400 |
| Теплоустойчивая | 250 ... 400 |
| Жаропрочная аустенитная | Без подогрева |

Рекомендуемые виды и режимы термообработки сварных соединений из сталей после сварки приведены в табл. 11.2.

Таблица 11.2

Виды и режимы термообработки сталей после сварки

| Сталь | Виды и режимы термообработки |
|--|---|
| Углеродистая | Отпуск при температуре 650 ... 670 °С, иногда нормализация при температуре 920 ... 940 °С с последующим отпуском |
| Низколегированная | Отпуск при температуре 670 ... 700 °С |
| Легированная конструкционная | Отпуск или закалка в зависимости от требований к сварной конструкции |
| Теплоустойчивая | Отпуск при температуре 720 ... 740 °С при толщине до 10 мм и при температуре 700 ... 730 °С при толщине свыше 10 мм |
| Жаропрочная мартенситного или ферритного классов | Отпуск при температуре 700 ... 800 °С |

12. ОСНОВЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ**12.1. Классификация сварочных дефектов и методов их контроля**

Повышение требований к качеству выпускаемой продукции обуславливает постоянное совершенствование средств и методов контроля этой продукции.

Контроль качества заключается в проверке соответствия показателей качества продукции установленным требованиям. Каждое такое несоответствие называют *дефектом*.

Критериями качества могут являться физические, геометрические, функциональные и технологические показатели.

Дефекты возникают:

- при неправильном выборе основных и присадочных материалов;
- при нарушении технологии сварки (неправильная подготовка, сборка, режим сварки или термообработки и т. п.);
- при низкой квалификации сварщиков.

Дефекты в изделиях выявляют при испытаниях двух видов: *разрушающих* и *неразрушающих*.

Разрушающие испытания проводят на образцах-свидетелях, моделях или контурных образцах изделий. Они предназначены для определения характера, места расположения и размеров дефектов, их влияния на работоспособность сварных соединений. Такой контроль осуществляют:

1. Механическими испытаниями.
2. Металлографическим и химическим анализом.
3. Коррозионными испытаниями.
4. Испытаниями на свариваемость.

Получаемые при испытаниях показатели позволяют количественно определить характеристики качества (прочность изделий, их долговечность, коррозионную стойкость и т. п.)

Неразрушающие испытания позволяют определить наличие дефектов в изделиях без их разрушения и косвенно характеризуют их эксплуатационные характеристики.

К группе неразрушающего контроля относятся:

1. Визуально-оптический метод.
2. Радиационная дефектоскопия.
3. Ультразвуковая дефектоскопия.
4. Магнитная и электромагнитная дефектоскопия.
5. Капиллярная дефектоскопия.
6. Дефектоскопия течеисканием.
7. Прочие методы (акустическая галография, тепловой метод, метод акустической эмиссии и др.)

Средства контроля, исполнители и контролируемые сварные изделия представляют собой систему контроля, элементы которой взаимодействуют между собой по правилам, установленным нормативно-технической документацией на контролируемые изделия.

Такая система включает в себя три этапа – предварительный, пооперационный (технологический) и приемочный (окончательный) контроль.

Предварительный контроль включает в себя проверку квалификации исполнителей, состояния контрольного оборудования, аппаратуры и приспособлений, применяемых материалов, а также контроль качества сборки и подготовки стыков под сварку.

Пооперационный контроль предусматривает проверку качества подготовки изделия и его элементов к сварке, а также правильности порядка его выполнения. Он позволяет своевременно корректировать процесс сварки в случае его нарушения и оперативно исправлять дефектные места в изделиях.

Приемочный контроль завершает технологический процесс изготовления изделий, разделяя их на две группы: годные и бракованные. Он бывает сплошным или выборочным.

В сварочном производстве различают *три типа дефектов сварных соединений*:

- А – дефекты подготовки и сборки деталей под сварку;
- Б – дефекты форм швов;
- В – дефекты сварных соединений.

А. Дефекты подготовки и сборки деталей под сварку

Перед сваркой деталей проверяют качество заготовок на соответствие их проектным размерам и геометрической форме. Проверку точности сборки производят шаблонами и щупами. Универсальными шаблонами (рис. 12.1) проверяют зазоры, притупление кромок, ширину нахлестки, зазоры между листами или кромками и угол между свариваемыми элементами.

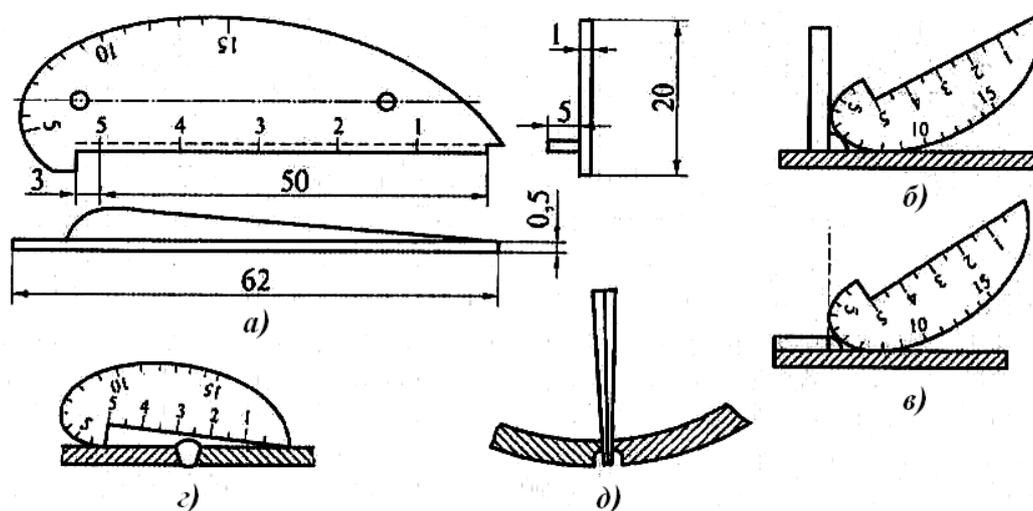


Рис. 12.1. Универсальный шаблон: а – общий вид; б, в – измерение высоты углового шва; г – измерение высоты стыкового шва; д – измерение зазора

Дефектами подготовки и сборки изделий под сварку являются:

- неправильный угол скоса кромок в швах с V-, X- или U-образной разделкой;
- слишком большое или малое притупление по длине стыкуемых элементов;
- непостоянство зазора между кромками по длине стыкуемых элементов;
- несовпадение стыкуемых плоскостей;
- слишком большой зазор между кромками свариваемых деталей;
- расслоение и загрязнение кромок.

Б. Дефекты формы швов

Форму и размеры сварных швов обычно задают техническими условиями или стандартами и указывают на чертежах. Конструктивными элементами для стыковых соединений без разделки кромок являются зазор c (рис. 12.2, а), ширина шва b , высота усиления (выпуклость) q и высота подварки q_1 . Для стыковых соединений с разделкой кромок кроме указанных элементов указывают и угол скоса кромки α (см. рис. 12.2, б).

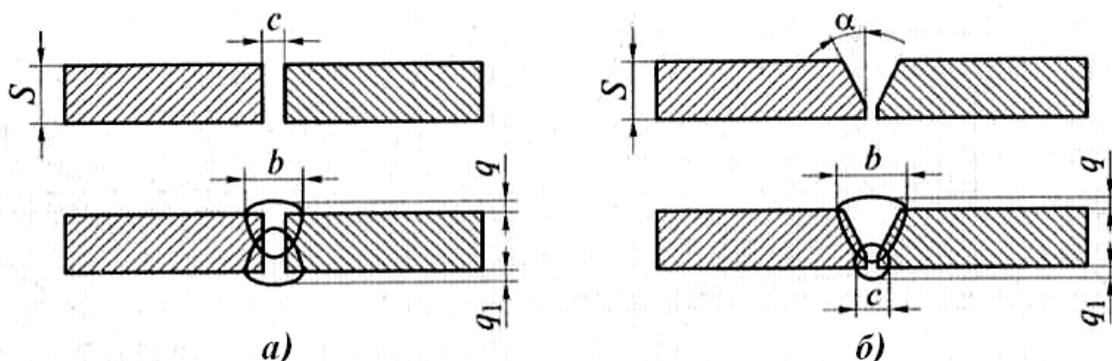


Рис. 12.2. Основные конструктивные элементы стыковых швов, выполняемых без разделки (а) и с разделкой (б) кромок

Для угловых швов тавровых и нахлесточных соединений без скоса кромок указывают катет K и толщину шва a (рис. 12.3).

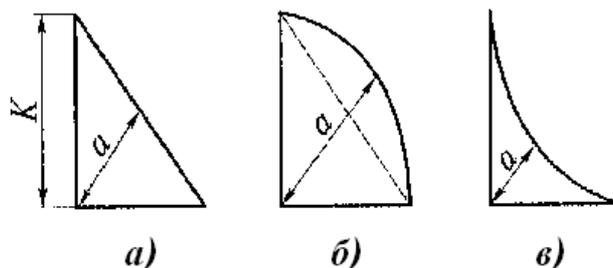


Рис. 12.3. Основные конструктивные элементы угловых швов: а – нормального; б – выпуклого; в – вогнутого

Для нормальных угловых швов $a = 0,7K$, для выпуклых $a = K$, для вогнутых $a = 0,5K$.

В. Дефекты сварных соединений

Дефекты сварных соединений (рис. 12.4) можно разделить на три группы: наружные, внутренние и сквозные.

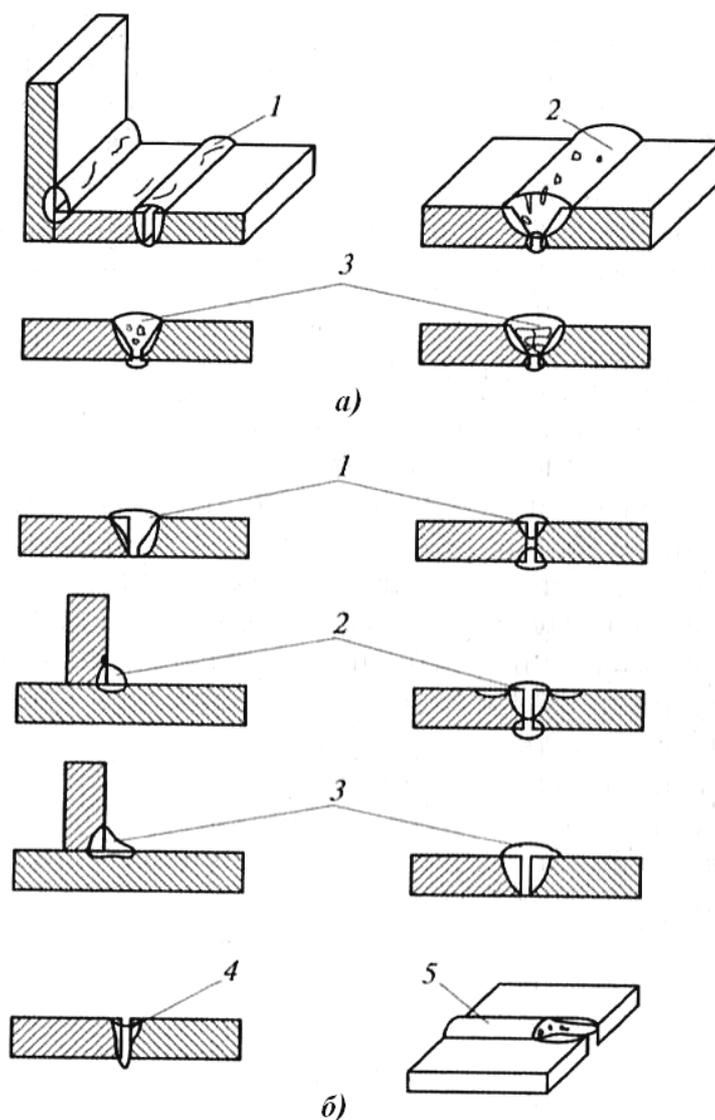


Рис. 12.4. Виды дефектов сварных швов: а – связанные с металлургическими процессами: 1 – трещины; 2 – поры и свищи; 3 – шлаковые включения; б – связанные с нарушениями режима сварки: 1 – непровары; 2 – подрезы; 3 – наплывы; 4 – вогнутость шва; 5 – прожоги

К *наружным дефектам* относятся подрезы, наплывы, смещения швов от оси, усадочные раковины, незаплавленные кратеры и трещины.

Внутренними дефектами являются непровары, трещины, шлаковые, оксидные и металлические включения, пористость.

К *сквозным дефектам* относятся сквозные трещины, прожоги и свищи.

Подрезами называют углубления в местах перехода от основного металла к металлу шва. Наличие подрезов ослабляет рабочее сечение сварных конструкций, увеличивает концентрации напряжений, ослабляет несущую способность конструкции. Причинами подрезов являются увеличенный сварочный ток и напряжение дуги.

Наплывы – когда жидкий металл шва натекает на основной, но с ним не соединяется. Причинами наплывов могут быть заниженное напряжение дуги, излишнее количество наплавленного металла, недостаточный прогрев основного металла, окалина на свариваемых кромках, плохое качество электродов и низкая квалификация сварщиков.

Непровары – несплавление основного металла с наплавленным; непроваром также считают неполное заполнение металлом расчетного сечения шва. При односторонней сварке стыковых соединений непровары возникают в корне шва (дефект вогнутости корня шва), а при сварке с X-образным скосом кромок – в середине шва. Непровары снижают прочность конструкции, особенно при динамических нагрузках, и могут быть причиной ее разрушения. Непровары возникают при неправильной подготовке кромок и сборке стыков под сварку, загрязнении кромок, занижении силы сварочного тока и увеличенной скорости сварки.

Прожоги – явление вытекания жидкого металла сквозь отверстие в сварочном шве – при этом с обратной стороны шва возникают наплывы металла. Причинами возникновения прожогов являются завышенный сварочный ток, недостаточная скорость сварки, внезапная остановка сварочного автомата или полуавтомата, большой зазор между кромками, недостаточное притупление кромок, неплотное прилегание подкладки к основному металлу.

Свищами называют дефекты в виде несплошностей, выходящих на поверхность шва. Такие дефекты могут инициировать появление трещин в соединении.

Кратерами называют углубления в металле шва, возникающие при обрыве дуги. Кратеры снижают прочность сварной конструкции, приводят к местной концентрации напряжений и могут привести к появлению трещин.

Шлаковые включения – наличие шлаков в металле шва. Их появление связано с низким качеством зачистки основного металла и присадочной проволоки, завышенной скоростью сварки. При многослойной сварке шлаковые включения могут возникать при плохой зачистке предыдущего слоя. Они могут быть одиночными или образовывать цепочки (скопления).

Оксидные включения возникают в металле шва из-за их слабой растворимости или вследствие быстрого охлаждения шва. Такие дефекты характерны для алюминиево-магниевого и титановых сплавов. Они ослабляют сечение шва и являются зонами повышенной концентрации напряжений, что приводит к снижению несущей способности конструкции.

Металлические (вольфрамовые) включения возникают при аргонно-дуговой сварке. Причинами являются большой сварочный ток и низкая скорость сварки.

Пористость – заполнение газами металла шва. Возникает в жидком металле вследствие интенсивного газообразования. Поры могут быть одиночными или образовывать цепочки и скопления. Причинами образования пор являются низкое качество зачистки кромок и присадочной проволоки от загрязнений, высокая скорость сварки, повышенная влажность присадочных материалов (электродов, флюсов).

При слишком большой погонной энергии при сварке могут возникать перегревы и прожоги металла, что ухудшает механические свойства сварных конструкций.

Трещины – наиболее опасные дефекты сварных швов (в металле шва или околошовной зоне). Появление трещин связано с несоблюдением технологии и режимов сварки и может привести к быстрому разрушению конструкции, особенно при динамических нагрузках.

Влияние дефектов на работоспособность конструкции во многом зависит от их форм и расположения по отношению к направлению действия нагрузок. Более опасны дефекты вытянутой формы, менее опасны дефекты округленной формы. Поры и шлаковые включения при суммарной площади шва 5 ... 10% мало влияют на статическую прочность соединений.

Изделия с трещинами, непроварами, подрезами, прожогами, свищами подлежат исправлению.

12.2. Внешний осмотр и измерение сварных швов

Внешним осмотром и измерениями контролируют сварные соединения всех типов, выполненные любыми способами сварки.

При внешнем осмотре выявляют следующие дефекты:

- изломы и неперпендикулярности осей соединяемых элементов;
- отступления от чертежей и технических требований на сварку по размерам и форме швов;
- смещения кромок соединяемых элементов;
- поверхностные трещины, наплывы, подрезы, прожоги, незаваренные кратеры, непровары, пористость и др.

Перед контролем сварной шов или околошовная зона (≈ 20 мм) очищают от шлака и других загрязнений. Контроль размеров сварных швов выполняют измерительными инструментами или специальными шаблонами для проверки геометрических размеров швов. Геометрическая форма и размеры швов должны удовлетворять требованиям ГОСТ 5264-80 при ручной дуговой сварке и ГОСТ 14771-76 при автоматической и механизированной сварке.

По внешнему виду сварные швы должны удовлетворять следующим требованиям:

- иметь гладкую поверхность без наплывов, сужений, прожогов и плавный переход к основному материалу;
- наплавленный металл должен быть плотным по всей длине шва, не иметь трещин, цепочек и скоплений пор;
- подрезы основного металла допускаются глубиной не более 0,5 ... 1 мм при толщине элементов, соответственно, 5 ... 10 мм;
- все кратеры должны быть заварены.

12.3. Физические методы неразрушающего контроля сварных соединений и конструкций

При контроле изделий в различных отраслях промышленности и строительстве наибольшее распространение получили *радиационные, ультразвуковые, магнитные и капиллярные методы*, а также *методы контроля герметичности и течеискания*.

Классификация методов неразрушающего контроля установлена ГОСТ 18353-79; методы контроля качества швов определены ГОСТ 3242-79.

Наиболее распространены радиационные методы, в частности *радиография*. Позволяет контролировать как металлы, так и неметаллические материалы; выявляет объемные дефекты (поры, шлаковые включения, непровары и трещины с раскрытием до 0,1 мм в изделиях толщиной до 500 мм). Оценка глубины залегания дефектов затруднена и осуществля-

ется весьма приближенно. В связи с дефицитом рентгеновской пленки и высокими стоимостью и трудоемкостью радиографии в последнее время получили широкое распространение методы радиоскопии (интроскопии) и радиометрии.

Радиоскопия позволяет получить видимое динамическое изображение внутренней структуры путем просвечивания детали ионизирующим излучением на экран телевизионного приемника или другого оптического устройства. Преимущество перед радиографическим методом – возможность стереоскопического видения под разными углами и непрерывность контроля. Недостаток – меньшая чувствительность.

Радиометрия дает информацию о внутреннем состоянии контролируемого изделия путем просвечивания при помощи ионизирующего излучения с регистрацией в виде электрических сигналов.

Ультразвуковой контроль позволяет надежно выявить наиболее опасные дефекты в изделиях – трещины площадью до $0,7 \text{ мм}^2$ с раскрытием до 10^{-5} мм. Обеспечивает контроль любых материалов толщиной от 4 мм до нескольких метров; определяет амплитуду сигнала от дефекта, координаты его залегания и условные размеры. Индикация дефектов выполняется на электронно-лучевых трубках и дефектоскопах со стрелочной или цифровой индикацией. Применяются также высокочувствительные автоматизированные установки с автоматической расшифровкой параметров дефектов.

Для выявления дефектов в изделиях из ферромагнитных материалов применяют *магнитные (магнитопорошковый и магнитографический) методы*. Они позволяют выявлять поверхностные и подповерхностные трещины, а также крупные внутренние объемные дефекты, расположенные на глубине до 6 м.

Магнитопорошковый метод применяют для контроля стыковых и угловых соединений толщиной до 20 мм. Под действием магнитного поля частицы ферромагнитного порошка перемещаются по поверхности детали и скапливаются в виде валиков над дефектами.

Магнитографический метод состоит в намагничивании контролируемого участка объекта с одновременной записью полей рассеивания на магнитную ленту и считыванием результатов на специальных магнитографических дефектоскопах. Применяют при контроле кольцевых стыков труб.

Существует *вихретоковый метод* (электромагнитный индукционный), позволяющий обнаруживать на небольшой глубине (1 ... 2 мм) непровары, слипания, трещины в изделиях из низколегированных сталей, алюминиевых сплавов, сплавов титана. Он редко применяется вследствие больших помех из-за неоднородности магнитных свойств различных зон сварного соединения.

Капиллярные методы контроля (люминесцентный, цветной и люминесцентно-цветной) применяют в основном для контроля изделий из немагнитных металлических и неметаллических материалов для выявления поверхностных дефектов, не опознаваемых визуально. Дефекты выявляются за счет образования контрастных индикаторных рисунков с шириной линий, превышающей ширину раскрытия дефекта.

Особую группу методов испытаний составляют *методы контроля геометрии изделий и течеискания*, предназначенные для выявления сквозных дефектов, нарушающих герметичность объектов контроля.

Контролю на герметичность подвергают изделия, у которых на протяжении заданного времени должно сохраняться заданное давление рабочего вещества или утечка этого вещества не должна превышать допустимого по техническим условиям на изготовление этого изделия. К таким изделиям относятся корпуса судов, летательных аппаратов, ядерных реакторов, изделия холодильной и вакуумной техники, агрегаты и соединяющие их элементы гидравлических и газовых систем, трубопроводы и многие другие.

Широкое распространение при контроле сварных соединений и изделий получили *гидравлические испытания*, «керосиновая проба», *манометрические, пузырьковые (пневматические и пневмогидравлические) и газоэлектрические (галогенные и масс-спектрометрические) методы*.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. ВВЕДЕНИЕ В ДИСЦИПЛИНУ

1. Когда и кем впервые была изобретена сварка?
2. Развитие сварки в 30-х годах прошлого столетия.
3. В чем заключаются заслуги Института электросварки им. Е.О. Патона при создании новых вооружений в период Великой Отечественной войны?
4. Какие новые направления в развитии сварки получены в 50-ые годы прошлого столетия?
5. Каковы преимущества сварных соединений по сравнению с клепаными?
6. Преимущества сварных соединений изделий перед литыми и кованными.
7. Решение каких задач необходимо при разработке технологии производства сварных конструкций?

2. КЛАССИФИКАЦИЯ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ОСОБЕННОСТИ ОТДЕЛЬНЫХ ТИПОВ

1. Каковы принципы классификации сварных конструкций?
2. На какие типы классифицируют сварные конструкции?
3. Каковы особенности работы сварных конструкций?
4. Характеристика балок и колонн и их назначение.
5. Назовите основные элементы двутавровых и коробчатых сварных балок.
6. Какие бывают балочные и решетчатые конструкции?
7. Назовите характерные схемы решеток ферм.
8. Какие существуют типы оболочковых конструкций?
9. На какие группы разделяют сосуды, работающие под давлением?
10. Какие существуют типы корпусных транспортных конструкций, для изготовления которых используется сварка?
11. Назовите основные сварные типы деталей машин и приборов.
12. Какие виды сварки применяются для изготовления деталей машин и приборов?

3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗАГОТОВОК КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПРОЦЕССОВ СВАРКИ

1. Какие виды сварки применяются при изготовлении сварных металлических конструкций?
2. Какие существуют способы электродуговой сварки?
3. Назовите разновидности контактной сварки для изготовления сварных конструкций.
4. Для каких изделий рекомендуется применять сварку трением?
5. Назовите три способа электрошлаковой сварки и охарактеризуйте их.
6. В чем сущность электронно-лучевой сварки, и для каких изделий она применяется?
7. Каковы преимущества диффузионной сварки, и для каких изделий она применяется?
8. Какие типы сварных соединений применяются при основных способах сварки плавлением и давлением?

4. ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

1. Что включает в себе понятие технологичности сварной конструкции?
2. Как влияет процесс сварки на металл?
3. Какое влияние оказывают конструктивные формы изделий при сварке конструкций?
4. Значение сварочных деформаций, напряжений и перемещений при производстве сварных работ.
5. На что и как влияют собственные напряжения и пластические деформации при изготовлении сварных конструкций?
6. Как влияют перемещения на конструкцию при производстве сварных работ?
7. Какие существуют методы уменьшения сварочных напряжений при сварке?
8. Какие существуют методы уменьшения деформаций и перемещений от сварки?
9. Как оценивается технологичность сварной конструкции?

10. Как зависит технологичность сварной конструкции от выбора материала?

11. Как зависит технологичность сварной конструкции от снижения трудоемкости изготовления и сокращения объема монтажных работ?

12. Как достигается экономия времени при производстве сварных конструкций?

5. СВАРНЫЕ И КОМБИНИРОВАННЫЕ ЗАГОТОВКИ И ЭЛЕМЕНТЫ КОНСТРУКЦИЙ

1. Какими методами получают заготовки деталей для сварных конструкций?

2. Что дает замена цельных деталей сварными?

3. Какие бывают комбинированные заготовки и элементы конструкций?

4. Каковы преимущества сочетанийковки и литья со сваркой?

5. Особенности сварно-литых заготовок конструкций.

6. Особенности штампо-сварных заготовок конструкций.

7. Особенности сварно-ковано-литых заготовок конструкций.

8. Когда и как производится технико-экономическое обоснование выбора варианта изготовления цельных и комбинированных заготовок и элементов конструкций?

6. ТРАНСПОРТНЫЕ ОПЕРАЦИИ И ТРАНСПОРТИРУЮЩИЕ МЕХАНИЗМЫ

1. Какие транспортирующие устройства используют в условиях мелкосерийного производства?

2. Какие транспортирующие устройства используют в условиях серийного производства?

3. Приемы транспортирования плоских и цилиндрических заготовок роликовыми конвейерами.

4. Особенности подвесных конвейеров грузонесущего и толкающего типов.

5. Как осуществляют автоматическое адресование грузов?

6. Каковы приемы шаговой непрерывной подачи заготовок?

7. Особенности шаговых контейнеров, использующих сцеп тележек.
8. Шаговые конвейеры без тележек, их достоинства и недостатки.
9. В чем характерная особенность конвейера роторного типа?
10. Как организовано автоматическое адресование грузов с использованием самоходных тележек?
11. Приемы ориентирования заготовок в вибробункерных накопителях.
12. Области применения магазинных и бункерных устройств.

7. ЗАГОТОВИТЕЛЬНЫЕ ОПЕРАЦИИ

1. Какие операции относятся к заготовительным?
2. Какие существуют виды деформаций листовой стали?
3. Какое уменьшение пластичности металла считают допустимым при выполнении операций холодной правки и гибки листовой и профильной стали?
4. Какие приемы используют при правке листового и профильного проката?
5. Что понимают под ручной, механизированной и автоматической системами проектирования раскроя листового и профильного проката?
6. Какие приемы и схемы оборудования применяют при механической резке листового и профильного проката?
7. Когда применяют механическую обработку кромок на станках?
8. Какие приемы и схемы оборудования применяют при гибке листового и профильного проката?
9. Назовите преимущества и недостатки различных методов очистки поверхности металла.

8. РАЦИОНАЛЬНОЕ ПОСТРОЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

1. Исходные данные для проектирования технологического процесса изготовления сварных конструкций.
2. Основные характеристики трех групп сварных конструкций.
3. Какие существуют этапы проектирования сварных конструкций?

4. Какие исходные данные необходимы для проектирования технологического процесса сварки?
5. Какие и кем решаются вопросы проработки чертежа сварного изделия?
6. Какие требования содержатся в технических условиях на изготовление сварной конструкции?
8. Какие сведения содержит программа выпуска изделий?
9. Дать характеристику механизированного и автоматизированного процессов сварки.
10. Какое оборудование применяется в технологических процессах изготовления сварных конструкций с учетом серийности производства?

9. ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ПРОЦЕСС ИЗГОТОВЛЕНИЯ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ЕГО СТРУКТУРА

1. Каким образом осуществляются прихватки при выполнении сварочных операций?
2. Какова последовательность выполнения сборочно-сварочных операций?
3. Классификация технологических процессов.
4. Что понимают под технологическим процессом изготовления сварной конструкции?
5. Какие общие принципы проектирования технологических процессов сварки?
6. Каков общий порядок разработки технологического процесса изготовления сварной конструкции?
7. Как и с какой целью выполняют разработку типовых технологических процессов сварки?
8. Что входит в разработку технологической операции сварки?
9. Что такое сборочная единица?
10. По каким признакам классифицируют нормативные документы на сварку?
11. Каковы общие правила заполнения технологических документов на сварку?
12. Что представляют собой технологические карты сборочно-сварочных работ?

10. СБОРОЧНО-СВАРОЧНЫЕ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ: ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ И ОСОБЕННОСТИ

1. По каким признакам классифицируют сборочно-сварочные приспособления?
2. Какие существуют основные требования к сборочно-сварочным приспособлениям?
3. Перечислите основные элементы сборочно-сварочных приспособлений.
4. Какие приспособления используются в единичном и мелкосерийном производстве?
5. Какие приспособления используются в условиях серийного и массового производства?
6. Что должна обеспечивать сборочно-сварочная оснастка?
7. Какой порядок проектирования сборочно-сварочных приспособлений?
8. Каковы исходные данные для выбора и разработки сборочно-сварочного приспособления?

11. ВИДЫ И ОСОБЕННОСТИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

1. Какие существуют виды термической обработки?
2. Какие существуют виды отжига?
3. Как осуществляется нормализация стальных изделий?
4. Что представляет собой закалка сварных изделий?
5. Какой бывает отпуск сварных изделий?
6. Какими методами производят нагрев изделий при термообработке сварных конструкций?
7. Какими приборами осуществляется измерение температуры в электропечах сопротивления?
8. Электропечи, использующие радиационный нагрев.
9. Какие возникают основные затруднения при сварке малоуглеродистых и низколегированных конструкционных сталей?
10. Какие мероприятия предпринимают по предупреждению образования трещин при сварке?
11. Какие основные затруднения возникают при сварке высоколегированных сталей?
12. Какие мероприятия проводятся при сварке жаропрочных сталей?

12. ОСНОВЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

1. В чем заключается контроль качества сварной конструкции?
2. Какие бывают критерии качества сварной конструкции?
3. Когда возникают дефекты в сварных швах?
4. Как выявляют дефекты сварных швов?
5. Какие существуют этапы контроля сварных соединений?
6. Что проверяют при предварительном контроле сварного изделия?
7. Что проверяют при пооперационном контроле сварки?
8. Какие существуют типы дефектов сварных соединений?
9. Какие бывают дефекты сварных соединений?
10. Какие дефекты сварных швов выявляют при внешнем осмотре и измерении?
11. Какие дефекты сварных соединений считают наиболее опасными и почему?
12. Какие существуют физические методы неразрушающего контроля сварных соединений?

ЛАБОРАТОРНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РАБОТЫ

1. Практическая работа

Базирование заготовок на станках и в приспособлениях

Цель работы

Закрепление вопросов теории базирования заготовок и изделий в машиностроении; приобретение практических навыков разработки теоретических схем базирования.

Содержание работы

Содержание работы включает в себя решение по заданию преподавателя двух типов задач:

– разработать теоретическую схему базирования, обеспечивающую получение указанных на операционном эскизе заготовки линейных и угловых размеров наикратчайшим путем. Нарисовать систему координат, которая при этом связывается с заготовкой. На координатных осях отметить стрелками, какие технологические базы каких степеней свободы лишают заготовку. Охарактеризовать комплект технологических баз по лишаемым степеням свободы и по характеру проявления;

– по данной схеме установки заготовки в приспособлении изобразить теоретическую схему базирования, которая при этом реализуется. Нарисовать систему координат, которая при этом связывается с заготовкой. На координатных осях отметить стрелками, какие технологические базы каких степеней свободы лишают заготовку. Охарактеризовать комплект технологических баз по лишаемым степеням свободы и по характеру проявления.

Основные положения

Основные положения теории базирования заготовок и изделий в машиностроении, классификация баз, термины и определения приведены в ГОСТ 21495-84.

При установке заготовки непосредственно на станках или в приспособлении для обработки методом автоматического получения размеров достигаемая точность зависит от положения измерительной базы заготовки относительно режущего инструмента.

Колебания положения измерительной базы при обработке партии заготовок будут наименьшими в случае, если соблюдается принцип совмещения баз, т. е. в качестве технологической базы будет использоваться

конструктивный элемент заготовки (измерительная база), от которого координируется обработанная поверхность.

Размер детали на выполняемом переходе механической обработки может быть получен непосредственно (прямым путем) как размер между обработанной поверхностью и технологической базой и как результат выполнения ряда технологических размеров, т. е. как замыкающий размер технологической размерной цепи. Если при базировании заготовки на выполняемой операции соблюдается принцип совмещения баз, то требования чертежа обеспечиваются непосредственно. Если принцип совмещения баз не соблюдается, то возникает погрешность выполняемого размера от несовмещения баз, которая численно определяется как предельное поле рассеивания размера между измерительной и технологической базами заготовки в направлении выполняемого размера.

Следовательно, для повышения точности и снижения трудоемкости обработки необходимо стремиться к соблюдению принципа совмещения баз.

Методические указания

При решении задач первого типа для того, чтобы разработать теоретическую схему базирования, обеспечивающую получение размеров прямым путем, необходимо по каждому из указанных на эскизе требований выявить измерительные базы и принять их в качестве технологических. Далее необходимо установить по каждому из точностных требований, скольких степеней свободы и каких именно нужно лишить заготовку, чтобы эти требования были обеспечены прямым путем. Начиная с точностного требования, при обеспечении которого необходимо лишить заготовку наибольшего числа степеней свободы, и далее по степени убывания их числа расставить на эскизе заготовки b опорных точек.

При решении задач второго типа необходимо на эскизе установки заготовки выявить в трех взаимно перпендикулярных плоскостях установочные элементы приспособления. Уяснить, какие установочные элементы и их сочетания каких степеней свободы лишают заготовку, и в соответствии с этим на эскизе заготовки расставить b опорных точек.

Пример. Необходимо решить задачи первого и второго типов, условия которых приведены соответственно на рис. 1.1, 1.2.

В данном случае обе задачи имеют одно и то же решение, приведенное на рис. 1.3. Комплект технологических баз состоит из установочной явной базы (опорные точки 1, 2 и 3), направляющей скрытой базы (опорные точки 4 и 5) и опорной базы (опорная точка b).

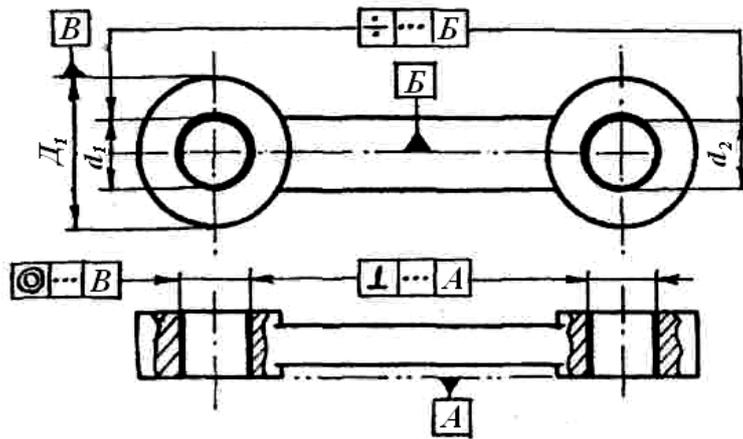


Рис. 1.1. Исходные данные к задаче первого типа

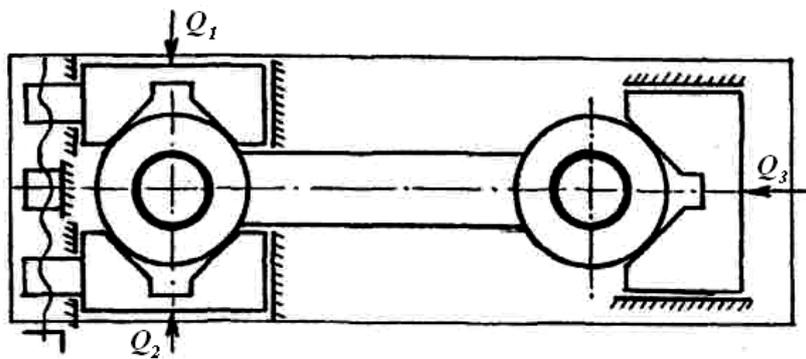


Рис 1.2. Исходные данные к задаче второго типа

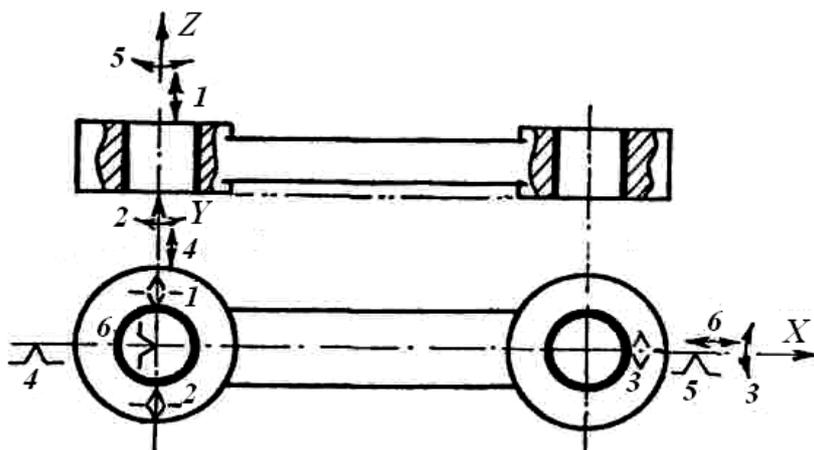


Рис. 1.3. Решение задач первого и второго типов

Индивидуальное задание и порядок его выполнения

Номера задач, подлежащих решению по вариантам индивидуального задания, приведены в табл. 1.1. Условия задач в соответствии с табл. 1.1 приведены в табл. 1.2 и на рис. 1.4 – 1.7.

Варианты заданий

| № варианта | № эскиза | | № варианта | № эскиза | |
|------------|--------------|--------------|------------|--------------|--------------|
| | приложение 1 | приложение 2 | | приложение 1 | приложение 2 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 01 | 1, 12, 21 | 1д, 2а, 4а | 26 | 7, 12, 24 | 1б, 2г, 4е |
| 02 | 2, 11, 29 | 2а, 3б, 4е | 27 | 9, 14, 24 | 1б, 2а, 3б |
| 03 | 3, 14, 21 | 1г, 3д, 4в | 28 | 8, 15, 25 | 2а, 3е, 4д |
| 04 | 3, 15, 24 | 2а, 3б, 4г | 29 | 10, 18, 26 | 1в, 3ж, 4в |
| 05 | 3, 12, 23 | 1д, 3в, 4а | 30 | 5, 13, 24 | 1а, 2в, 3б |
| 06 | 4, 11, 26 | 2г, 3е, 4д | 31 | 1, 20, 28 | 1а, 2г, 4д |
| 07 | 5, 19, 23 | 2б, 3ж, 4а | 32 | 7, 11, 23 | 1в, 3в, 4б |
| 08 | 5, 16, 21 | 2а, 3е, 4б | 33 | 10, 19, 27 | 1г, 3е, 4г |
| 09 | 6, 13, 26 | 2д, 3г, 4б | 34 | 2, 15, 26 | 1а, 2в, 3г |
| 10 | 7, 14, 28 | 1в, 2г, 4ж | 35 | 4, 20, 27 | 1в, 3в, 4д |
| 11 | 7, 18, 21 | 1а, 1г, 3а | 36 | 9, 18, 23 | 1г, 3б, 3в |
| 12 | 4, 17, 22 | 1б, 3б, 4е | 37 | 1, 16, 24 | 1в, 2д, 4в |
| 13 | 8, 11, 27 | 1г, 3г, 4в | 38 | 2, 17, 30 | 1б, 2г, 3в |
| 14 | 9, 16, 28 | 1в, 3а, 3г | 39 | 10, 20, 25 | 1д, 2в, 4б |
| 15 | 8, 13, 22 | 1д, 3д, 4г | 40 | 6, 17, 27 | 2б, 3е, 4г |
| 16 | 9, 12, 29 | 1а, 2г, 3а | 41 | 7, 20, 30 | 1б, 3б, 4а |
| 17 | 10, 16, 22 | 1а, 3г, 4а | 42 | 1, 18, 25 | 1б, 2в, 4г |
| 18 | 1, 14, 23 | 1 г, 2б,4б | 43 | 3, 18, 30 | 2в, 3д, 4е |
| 19 | 10, 17,21 | 1б, 3д, 4б | 44 | 4, 13, 28 | 2д, 3ж, 4ж |
| 20 | 2, 13, 27 | 2б, 3а, 4ж | 45 | 6, 11,25 | 2г, 3в, 4а |
| 21 | 4, 15, 29 | 1а, 3а, 4ж | 46 | 8, 19, 28 | 2в, 3з, 4ж |
| 22 | 5, 12, 30 | 1г, 3г, 4г | 47 | 9, 20, 29 | 1д, 3в, 3д |
| 23 | 3, 16, 25 | 2б, 3г, 4б | 48 | 2, 19, 22 | 1в, 2д, 3е |
| 24 | 6, 15, 22 | 2а, 3д, 4в | 49 | 5, 14, 29 | 1д, 3д, 4б |
| 25 | 8, 17, 26 | 2б, 3ж, 4е | 50 | 6, 19, 30 | 1д, 2в, 4д |

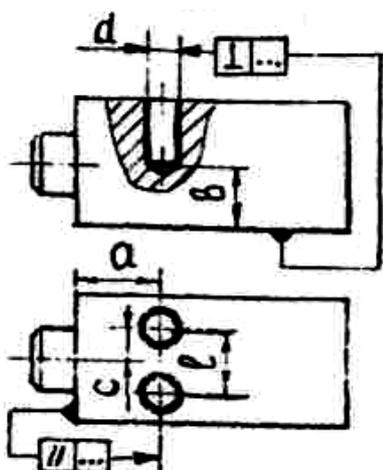
При решении задач первого типа необходимо:

- 1) ознакомиться по эскизу с точностными требованиями, которые необходимо обеспечить прямым путем, и выявить измерительные базы;
- 2) совмещая технологические базы с измерительными, разработать теоретическую схему базирования заготовки;
- 3) обозначить на схеме базирования систему координат, которая при этом связывается с заготовкой;
- 4) охарактеризовать комплект технологических баз по лишаемым степеням свободы и по характеру проявления;
- 5) обозначить стрелками на координатных осях, какие из баз каких степеней свободы лишают заготовку.

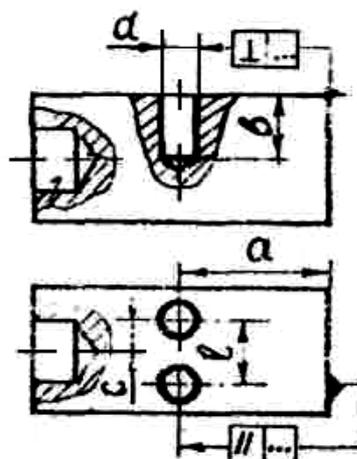
Технические требования к выполнению операций

| | |
|--------------------------------------|--------------------------------------|
| <p style="text-align: center;">1</p> | <p style="text-align: center;">2</p> |
| <p style="text-align: center;">3</p> | <p style="text-align: center;">4</p> |
| <p style="text-align: center;">5</p> | <p style="text-align: center;">6</p> |

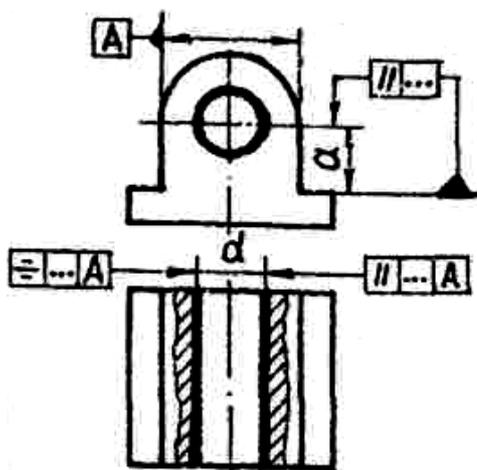
7



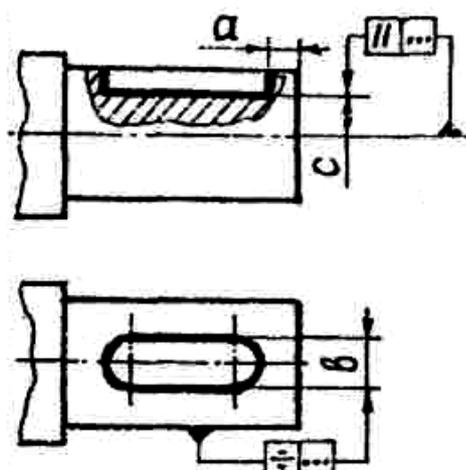
8



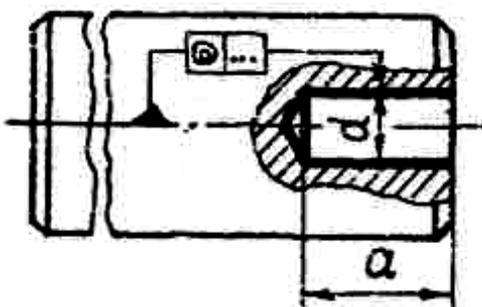
9



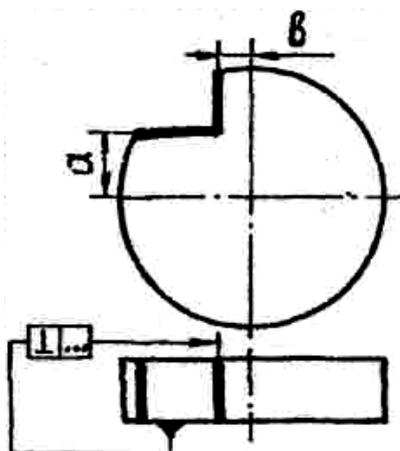
10



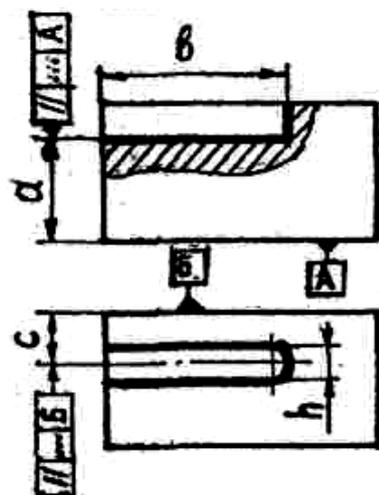
11



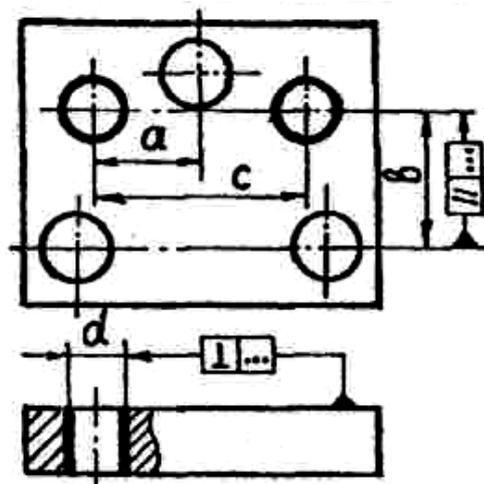
12



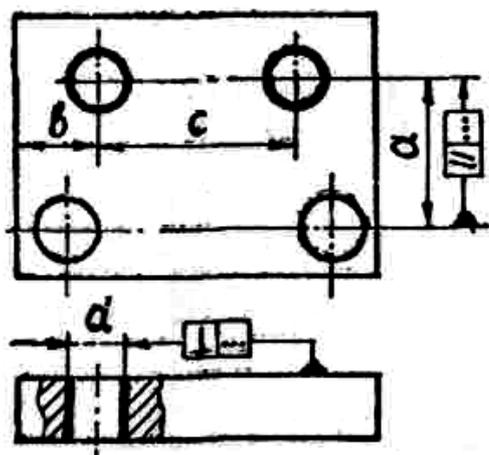
13



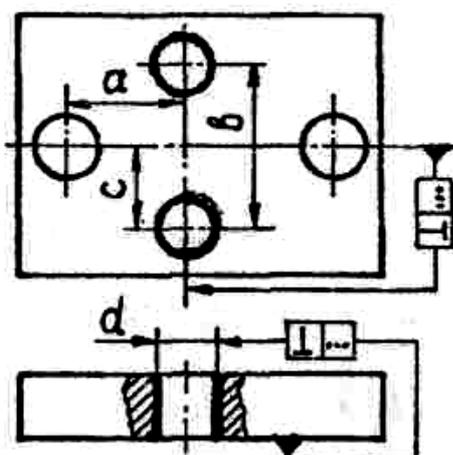
14



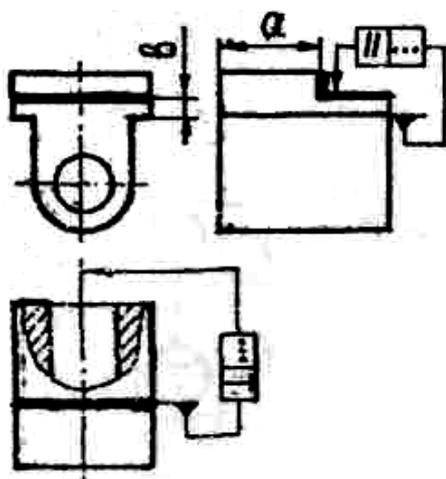
15



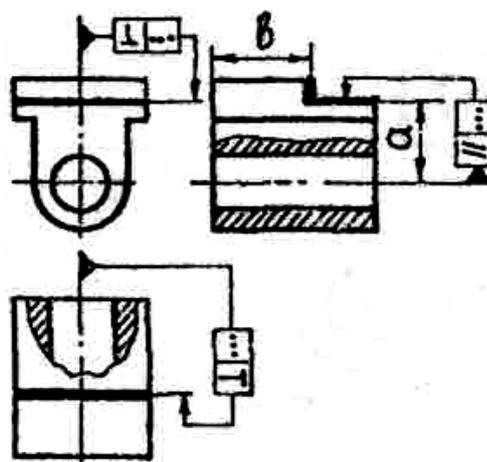
16



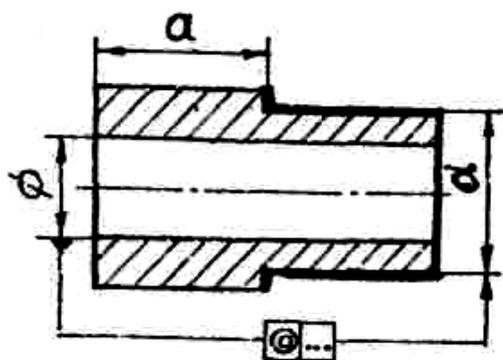
17



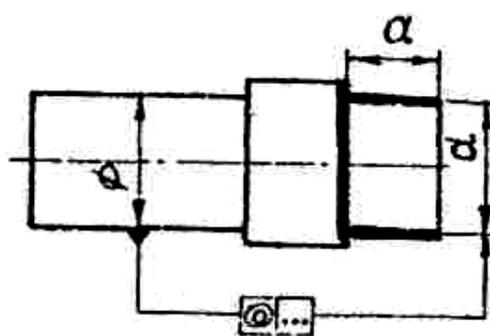
18



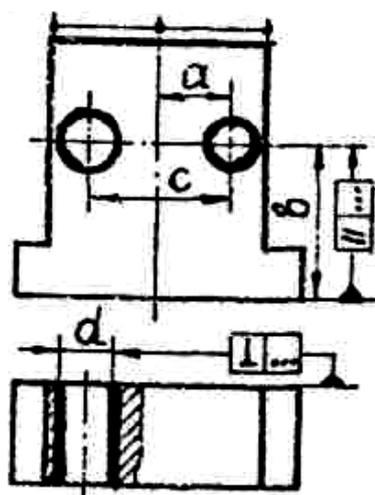
19



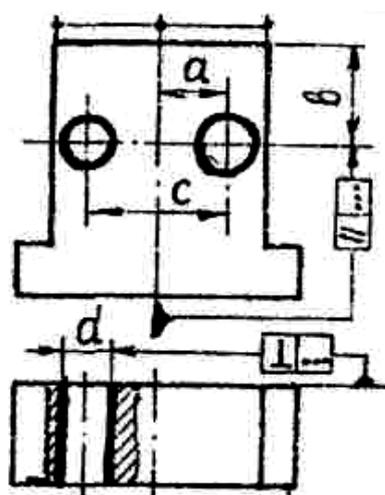
20



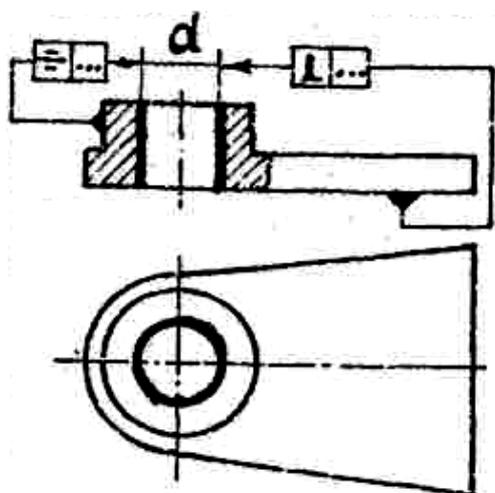
21



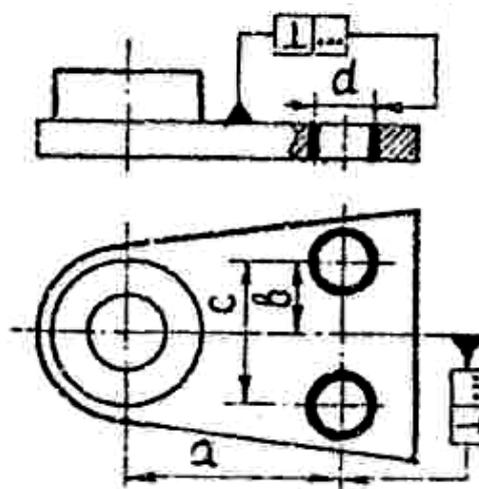
22



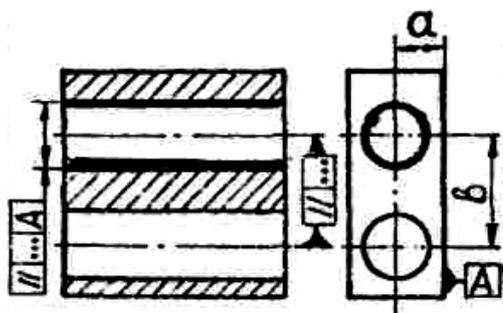
23



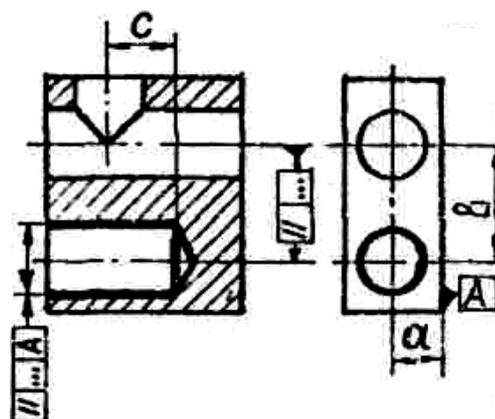
24



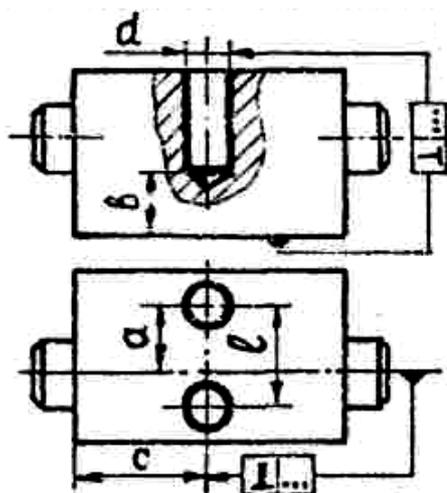
25



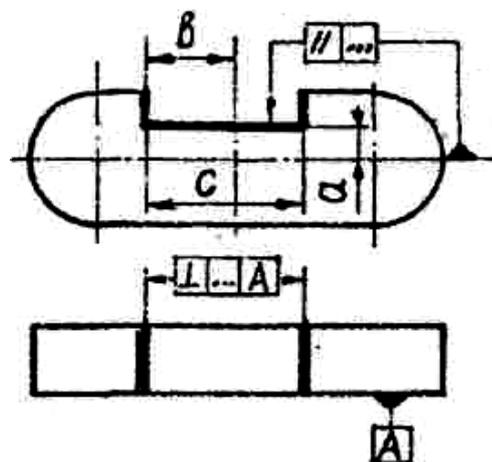
26



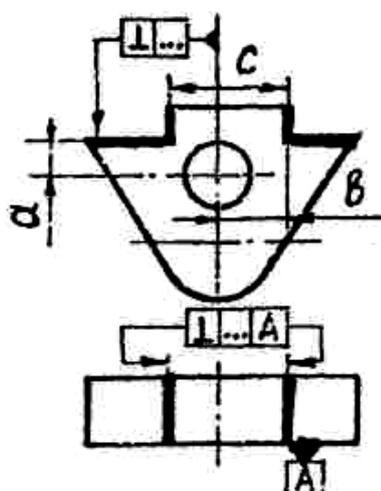
27



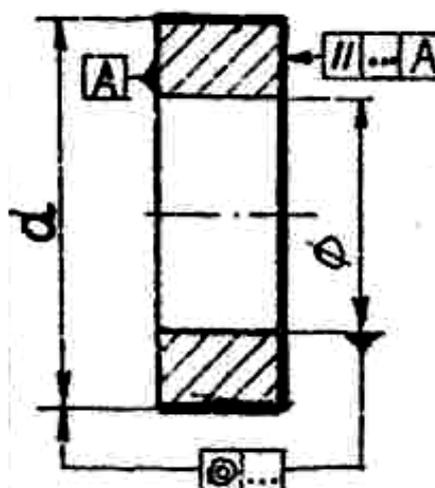
28



29



30



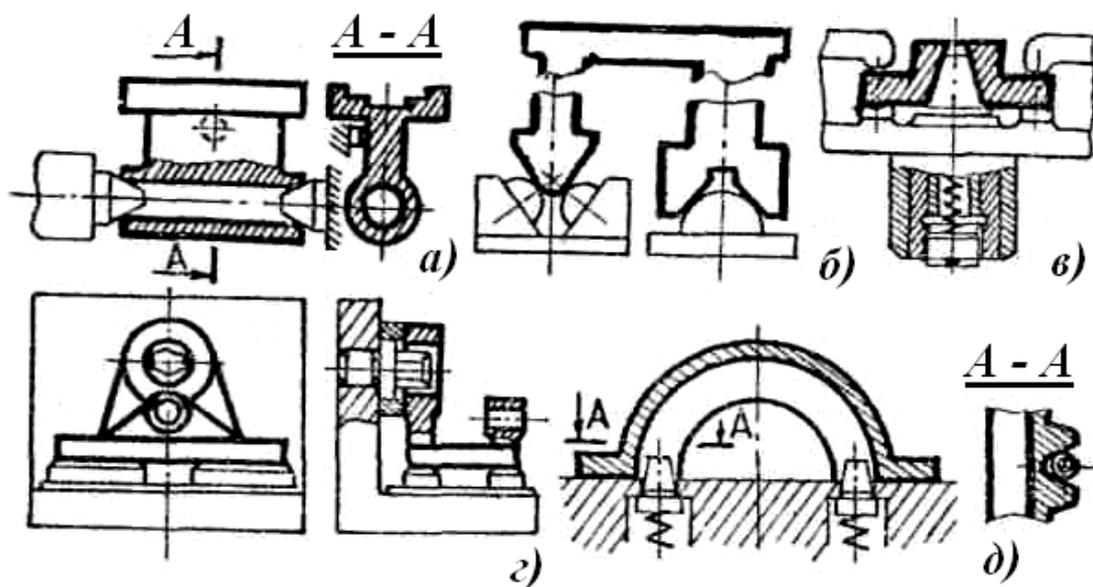


Рис. 1.4. Комбинированные схемы установки корпусных деталей:
а – на жесткий и подводимый центры с упором в жесткий штырь;
б – на цилиндрическую и сферические опоры; *в* – на опорные штыри
и подпружиненный конический палец; *г* – на опорные штыри и срезанный палец;
д – на плоскую поверхность и ребрами на подпружиненные конические пальцы

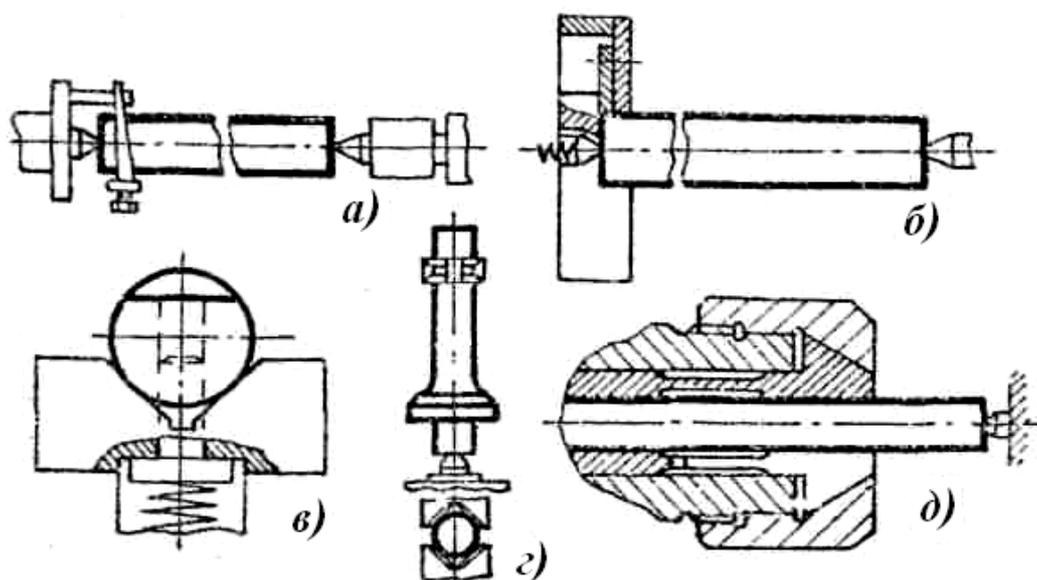


Рис. 1.5. Схемы установки валов:
а – в жесткие центры; *б* – в передний плавающий и задний подводимый центры;
в – в призму и на подпружиненный цилиндрический палец; *г* – в узкие призмы
и центровым отверстием на жесткий центр, *д* – в цанговом патроне с упором в торец

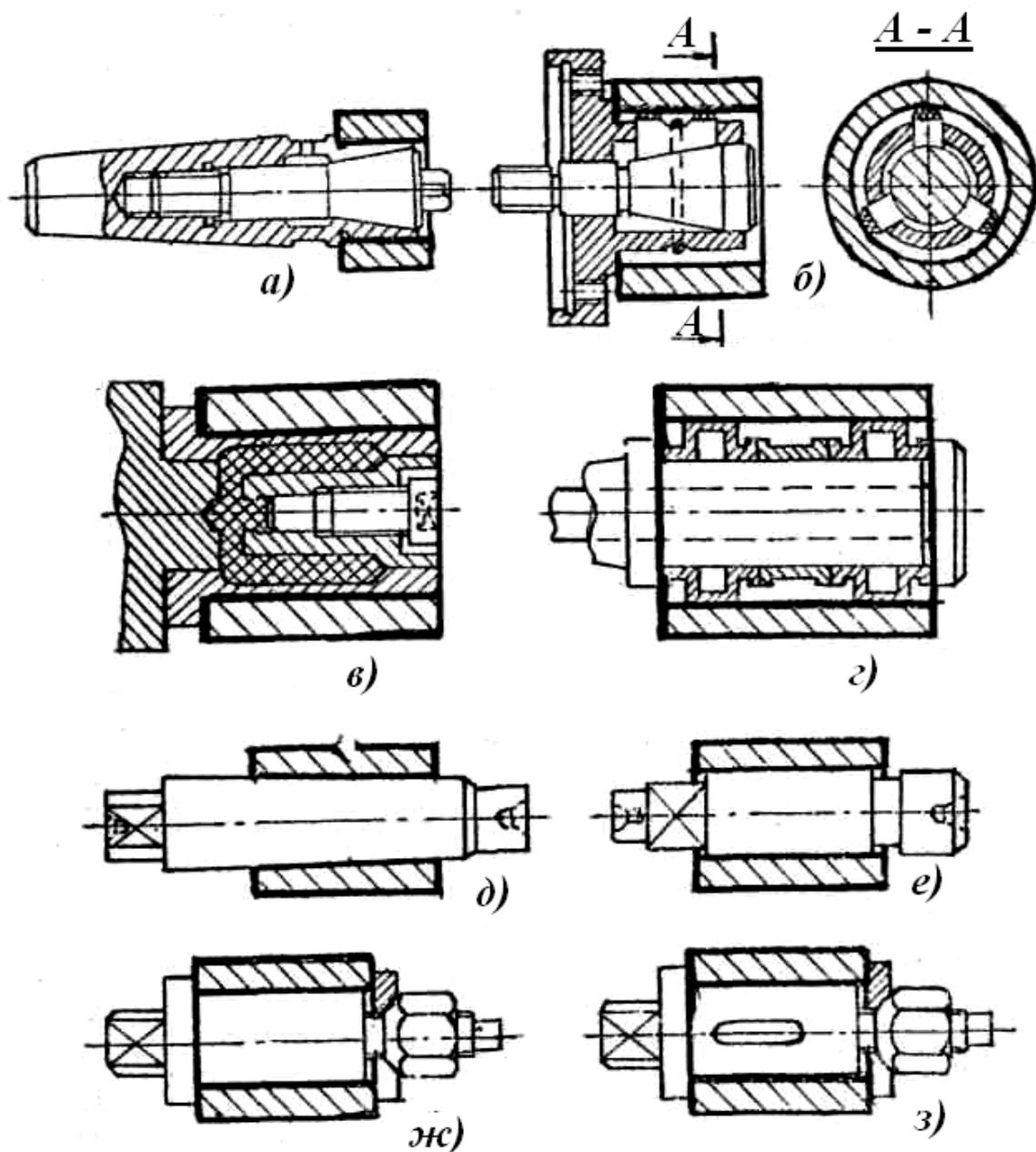


Рис. 1.6. Схемы установки втулок на оправки:

- a* – на консольную разжимную оправку;
- б* – на консольную оправку с тремя разжимаемыми сухарями;
- в* – на оправку с упругой гильзой, разжимаемой гидропластмассой;
- г* – на разжимную оправку с гофрированной втулкой;
- д* – на жесткую оправку с малой конусностью,
- е* – на жесткую оправку с натягом; *ж* – на оправку с зазором;
- з* – на оправку с зазором и фиксацией по углу поворота шпонкой

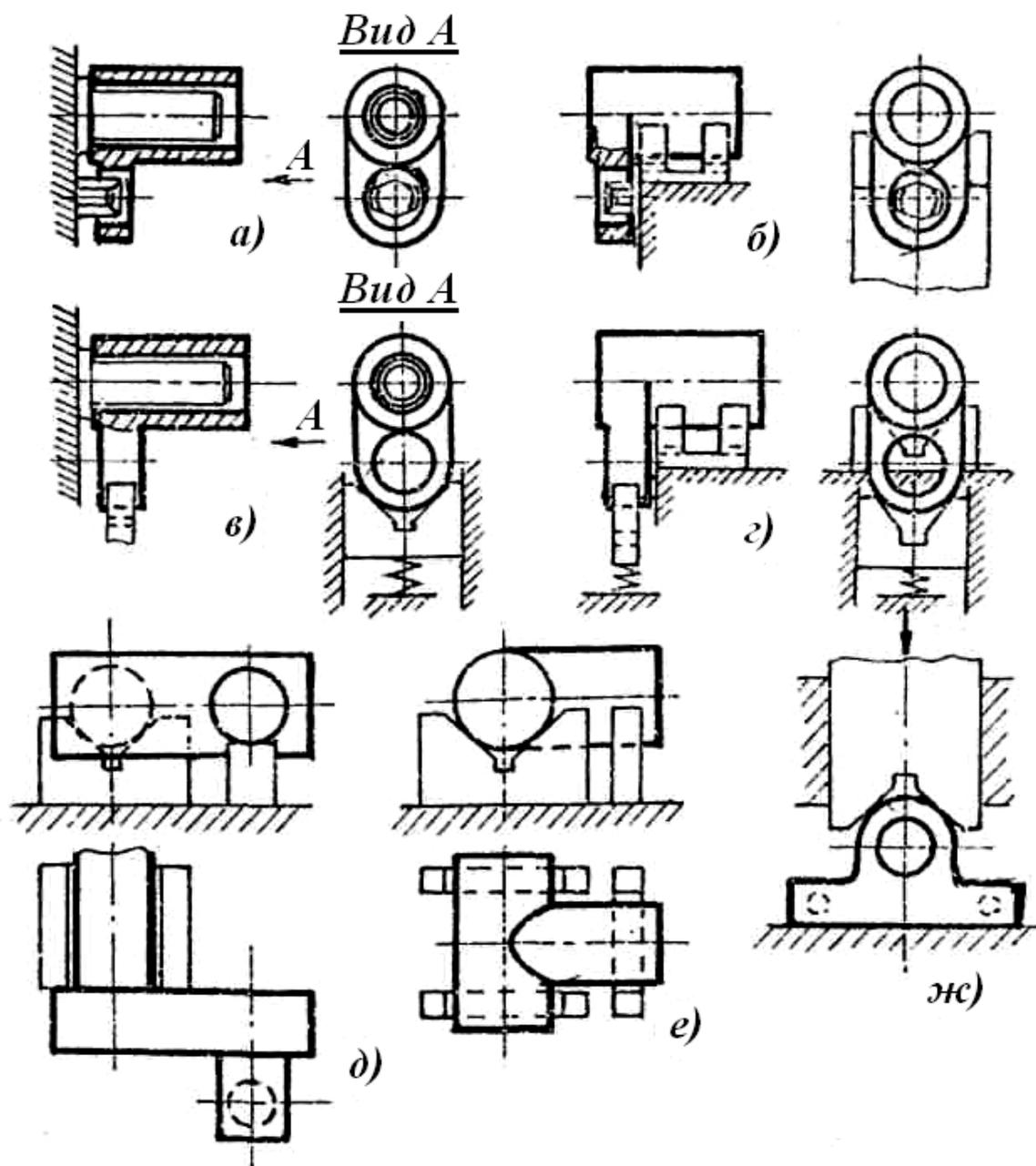


Рис. 1.7. Схемы установки заготовок на цилиндрические и плоские поверхности:
a – на длинный цилиндрический и короткий срезанный пальцы;
б – на призму и срезанный палец;
в – на длинный цилиндрический палец и короткую подпружиненную призму;
г – на длинную и короткую подпружиненную призмы;
д – на длинную призму с упором короткой цилиндрической поверхности на штырь;
е – на три коротких призмы; *ж* – по двум плоскостям с центрированием наружной цилиндрической поверхности коротким призматическим зажимным устройством

При решении задач второго типа необходимо:

- 1) по схеме установки заготовки в приспособлении определить, какие из установочных элементов приспособления и их сочетания каких степеней свободы лишают заготовку;
- 2) изобразить теоретическую схему базирования заготовки, реализуемую в данном приспособлении;
- 3) решить задачи, используя методические указания, применяемые при решении задач первого типа.

Литература

1. Маталин, А.А. Технология машиностроения: учебник для машиностроительных вузов по специальности «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты» / А.А. Маталин. – Л.: Машиностроение, 1985. – 495 с.
2. Махаринский, Е.Н. Основы технологии машиностроения: учебник / Е.Н. Махаринский, В.А. Горохов. – Минск: Выш. шк., 1997.
3. Справочник технолога-машиностроителя / под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1986. – Т. 1. – 656 с.
4. ГОСТ 21495-84. Базирование и базы в машиностроении. Термины и определения.

2. Лабораторная работа

Контроль качества сварных соединений

Цель работы: ознакомиться с дефектами сварных соединений, причинами их возникновения и методами устранения, контролем качества.

Оборудование, материалы и приборы: металлографический микроскоп, люминесцентный дефектоскоп, прибор ультразвукового контроля УДМ-1М, шлифы для макро- и микроисследований, образцы для испытаний на плотность.

Общие сведения

1. Дефекты сварных соединений

Дефектами называют отклонения выполненных сварных соединений от соответствия их техническим нормам и требованиям (рис. 2.1). Их появление снижает прочность и работоспособность сварных соединений. К ним относятся: дефекты формы и размеров сварных швов, наружные и внутренние макроскопические дефекты, дефекты микроструктуры.

К дефектам формы и размеров шва (рис. 2.2) относятся неравномерность ширины и высоты усиления шва, неполномерность шва, бугристость, седловины и т. д. Их выявляют внешним осмотром и обмером швов. Недостаточное сечение шва снижает его прочность, а при чрезмерно большом сечении увеличиваются внутренние напряжения и деформации.

К макроскопическим наружным и внутренним дефектам (рис. 2.3) относятся: наплывы, чешуйчатость, подрезы, прожоги, трещины, непровары, шлаковые включения, поры.

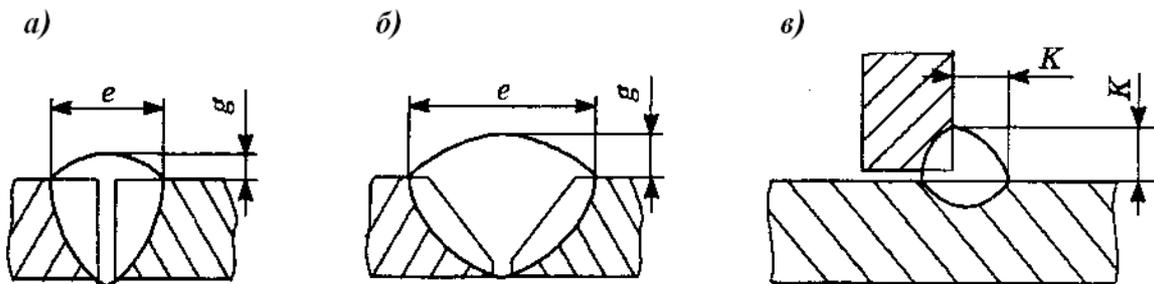


Рис. 2.1. Сварные соединения без дефектов:

a – стыковые без разделки кромок; *б* – стыковые с разделкой кромок; *в* – тавровые

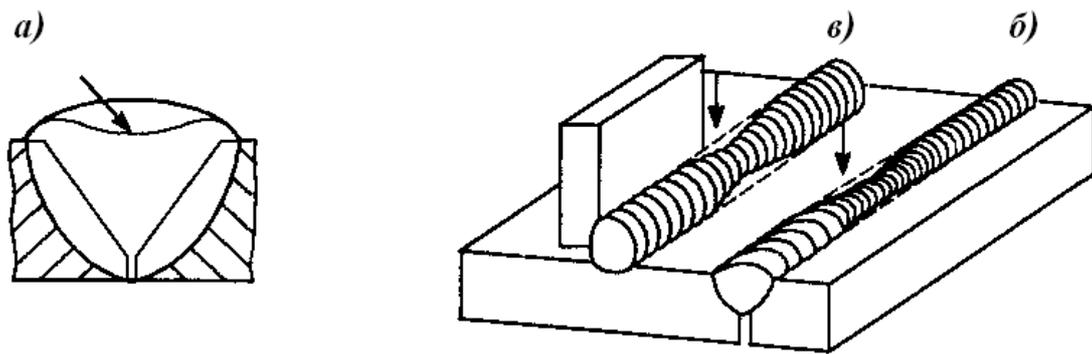


Рис. 2.2. Дефекты формы и размеров шва:
a – неполномерность шва; *б* – неравномерность ширины стыкового шва;
в – неравномерность катета углового шва по длине

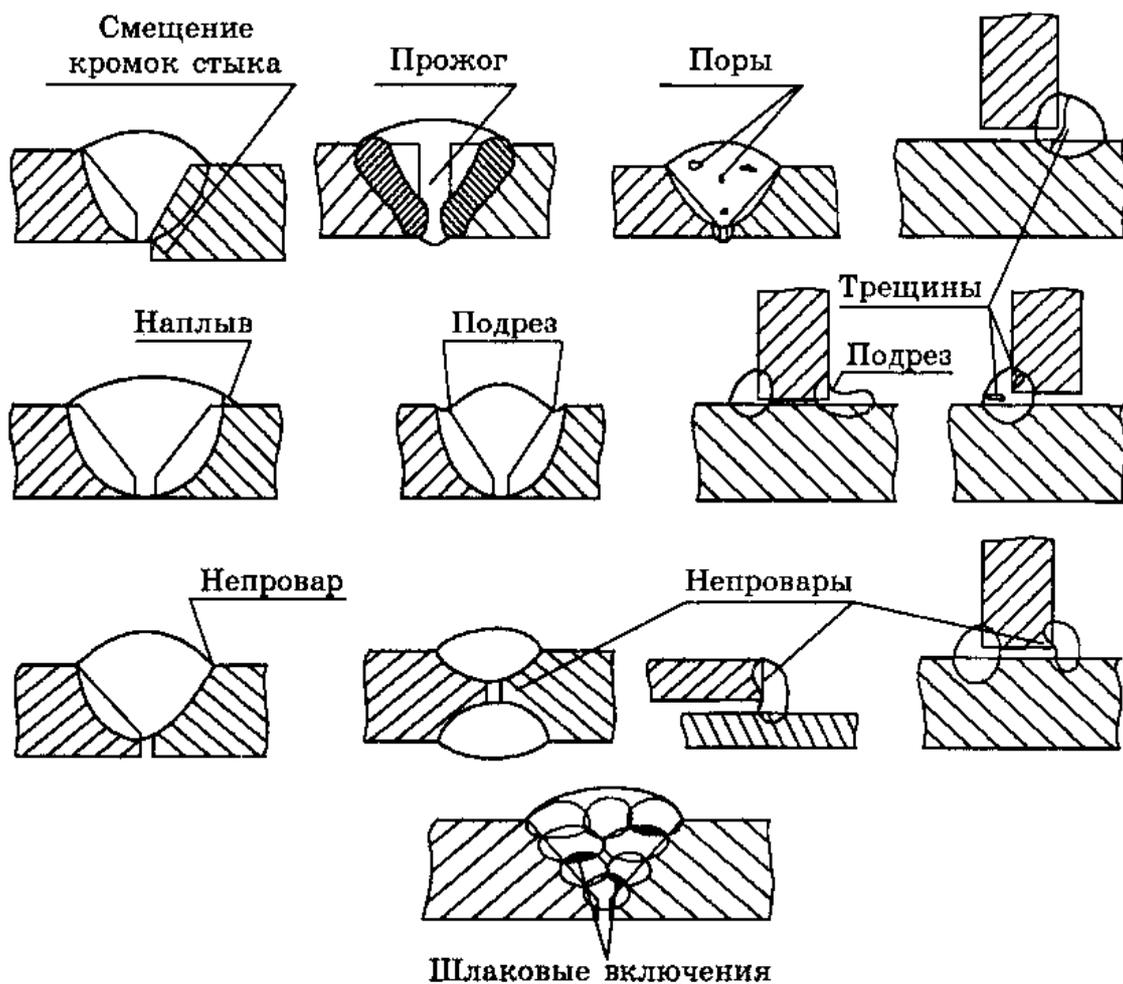


Рис. 2.3. Макроскопические дефекты сварных соединений

Наплывы появляются при стекании наплавленного металла на кромки непрогретого основного металла вследствие большой силы сварочного тока, длинной дуги, неправильного наклона электрода. Удаляют их абразивным кругом или пневматическим зубилом.

Чешуйчатость поверхности шва образуется при сварке некачественными электродами, неравномерном перемещении электрода, горелки или присадочной проволоки. Устраняется удалением поверхностного слоя шва с последующей наплавкой до установленного размера.

Подрезы – углубления вдоль шва на основном металле из-за избытка подводимой теплоты, неправильного положения электрода или горелки, неравномерной подачи присадочного металла. Подрезы заваривают тонкими валиковыми швами.

Прожоги – сквозное проплавление основного или наплавленного металла вследствие большого зазора между свариваемыми кромками, недостаточного притупления кромок, чрезмерно большой силы сварочного тока при небольшой толщине заготовок. Выявляют их внешним осмотром.

Трещины возникают в шве и околошовной зоне вследствие больших усадочных и структурных напряжений в металле из-за неравномерного его нагрева, охлаждения и усадки, повышенного содержания серы, фосфора, углерода, чрезмерно жесткого крепления свариваемых заготовок. Наружные трещины выявляются внешним осмотром, после чего их засверливают по концам, проводят разделку и заваривают. Швы с внутренними трещинами вырубает и заваривают вновь.

Непровар – местное несплавление основного металла с наплавленным и недостаточная глубина проникновения наплавленного металла в основной. Возможен из-за низких значений сварочного тока или мощности горелки, большой скорости сварки, смещения электрода или горелки к одной из кромок, малых зазора и угла скоса кромок, плохой зачистки кромок от ржавчины, окалины, загрязнений. Непровар устраняют зачисткой с последующей заваркой.

Шлаковые включения образуются из-за загрязнения основного и присадочного металлов оксидами, ржавчиной, неравномерного плавления покрытия электрода длинной дугой, при недостаточном сварочном токе и чрезмерно большой скорости сварки. Они ослабляют сечение шва и снижают его прочность.

Пористость шва появляется вследствие значительного содержания газов в жидком металле, которые при быстром охлаждении не успевают выйти наружу и образуют пустоты сферической формы. При выходе пор

на поверхность шва образуются свищи. Сквозные поры приводят к неплотности швов. На образование пор влияют ржавчина, масло, загрязнения на свариваемых кромках, вредные примеси в защитном газе, влажный или отсыревший флюс, большая скорость сварки, повышенное содержание углерода в основном металле.

Макроскопические дефекты выявляют внешним осмотром невооруженным глазом или при увеличении до 15 раз с помощью лупы. По результатам осмотра можно судить о местах расположения и характере внутренних дефектов. Так, подрез на одной из сторон и наплыв на другой указывают на непровар кромок. В месте малого зазора между свариваемыми кромками может образоваться непровар, а при большом зазоре – прожог. Перекосы и смещения кромок и большая высота шва могут также привести к непровару. Узкие швы с глубоким проваром более склонны к образованию трещин, чем широкие швы с небольшим проваром.

2. Микроанализ сварного соединения. Строение зоны термического влияния

Микроанализ сварного соединения выполняют с помощью оптического микроскопа с увеличением 50 ... 2000 раз на образцах-микрошлифах, вырезанных из сварного изделия или конструкции. Образцы должны включать сварной шов, зону термического влияния и основной металл, не подвергшийся нагреву. Исследуемая поверхность тщательно зачищается абразивной шкуркой, полируется и протравливается 4%-ным раствором HNO_3 (для углеродистых сталей).

При микроисследовании выявляются строение и структура металла шва и зоны термического влияния, размеры и форма зерен, а также дефекты микроструктуры: перегрев и пережог металла, нитридные и кислородные включения, микропоры и микротрещины.

Сварное соединение состоит из металла шва и основного металла, подвергшегося термическому воздействию. Металл шва образуется при сплавлении основного и присадочного металлов. После затвердевания его структура обычно состоит из столбчатых кристаллов (дендритов), которые являются продолжением зерен основного металла на линии сплавления, и размер их определяет сечение дендритов.

Зона неполного расплавления примыкает непосредственно к металлу шва. Металл в этой зоне в процессе нагрева находится в твердожидком состоянии, и его структура может содержать нерасплавленные и частично оплавленные зерна основного металла. К зоне сплавления примыкает зона перегрева, где основной металл нагревается до температуры 1100 ... 1300 °С.

В зоне перегрева 1 (рис. 2.4) структура металла состоит из крупных зерен аустенита, подвергшихся перегреву. В случае наличия окислительной среды возможно и окисление границ зерен, т. е. пережог металла. Это наиболее опасный и неисправимый дефект микроструктуры. Швы с таким дефектом должны вырезаться и завариваться вновь, а при невозможности этого конструкция должна выбраковываться.

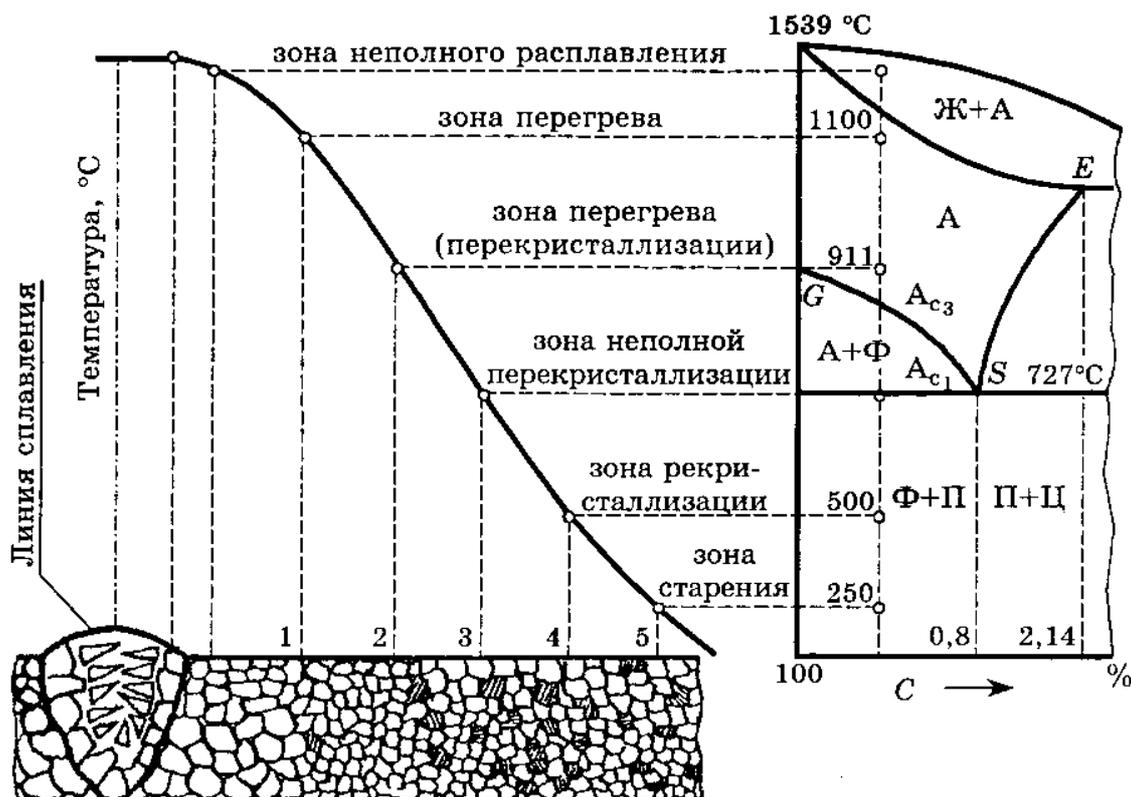


Рис. 2.4. Микроструктура сварного соединения

В зоне 2 перекристаллизации (нормализации) основной металл нагревается до 911 ... 1100 °С с охлаждением на воздухе. Образуется мелкозернистая вторичная структура аустенита. Механические свойства металла этой зоны выше, чем у основного металла, не подвергающегося нормализации.

В зоне 3 неполной перекристаллизации основной металл нагревается до 720 ... 900 °С и подвергается частичной перекристаллизации. Структура металла состоит из крупных зерен аустенита, цементита и мелких зерен феррита, образовавшихся при перекристаллизации.

Если до сварки основной металл подвергался пластической деформации, то в зоне 4, где он нагревается до температуры 500 ... 727 °С, про-

исходит рекристаллизация. Она состоит в образовании новых, более укрупненных зерен феррита и перлита. При сварке металла, не подвергавшегося пластической деформации, рекристаллизации не наблюдается. При сварке углеродистых сталей, содержащих до 0,3% С, возможно снижение пластичности и ударной вязкости в результате старения после закалки или дисперсионного твердения.

В зоне 5, где основной металл нагревается до 200 ... 500 °С, на его поверхности возможно появление побежалости синего цвета. Здесь может происходить выпадение из твердого раствора очень мелких частиц различных примесей, что приводит к снижению пластичности и ударной вязкости. На работоспособность сварной конструкции это оказывает малое влияние в связи с отсутствием концентрации напряжений. Структура не отличается от основного металла и состоит из зерен феррита и перлита.

Общая ширина зоны термического влияния при ручной дуговой сварке составляет 3 ... 6 мм, при сварке в защитных газах – 1 ... 3 мм, под флюсом – 2 ... 4 мм, при электрошлаковой сварке – 11 ... 14 мм, при газовой сварке – 20 ... 30 мм.

Плотность (непроницаемость) сварных швов контролируют керосином, воздушным или гидравлическим давлением, вакуумированием, амиаком, газоэлектрическими течеискателями.

При контроле керосином сварной шов с доступной стороны покрывают водным раствором мела или каолина. После его высыхания обратную сторону шва обильно смачивают керосином. Появление желтых участков на окраске указывает на неплотности шва. Отдельные точки указывают на наличие пор и свищей, а полосы – на сквозные трещины или непровары в шве.

При контроле давлением газа в герметичный сосуд или трубопровод от сети или из баллона подается сжатый воздух или инертный газ под давлением на 10 ... 20% больше рабочего. Сварной шов промазывают водным раствором мыла. Появление пузырьков свидетельствует о неплотности шва.

При контроле гидравлическим давлением в герметичном сосуде, заполненном водой, с помощью насоса или гидравлического пресса создается давление в 1,5 ... 2 раза больше рабочего. Дефекты определяют по появлению течи, просачиванию воды, запотеванию поверхности шва или вблизи него.

При контроле вакуумированием на сварной шов, смоченный пенообразующим раствором, устанавливается переносная вакуум-камера. При от-

качивании воздуха из камеры она плотно прижимается к поверхности изделия. При наличии пор, трещин, свищей образуются воздушные пузырьки.

При контроле аммиаком (способ С.Т. Назарова) в сосуд подается смесь воздуха с аммиаком под давлением 0,05 ... 0,1 МПа. Снаружи на шов накладывают бумажную ленту, смоченную 5%-м водным раствором азотной кислоты или фенолфталеина. При негерметичности шва аммиак проходит через его, окрашивая ленту в ярко-красный цвет с фиолетовым оттенком.

Магнитографический контроль основан на фиксации на магнитную ленту полей рассеяния, возникающих над дефектными участками шва при его намагничивании (рис. 2.5), и последующего считывания записи с ленты с регистрацией электрического сигнала или видимого изображения магнитных полей на экране электронно-лучевой трубки дефектоскопа.

Ультразвуковой метод основан на способности ультразвуковых волн с частотой более 20 кГц проникать в металл на большую глубину и отражаться с различной интенсивностью от сред с разными акустическими свойствами. Отраженные колебания улавливаются, преобразуются в электрические и после усиления подаются на экран электронно-лучевой трубки дефектоскопа. По характеру импульса судят о протяженности дефектов и глубине их залегания.

Люминесцентный метод контроля применяется для выявления поверхностных дефектов в швах из немагнитных материалов (нержавеющей стали, титана, алюминия). Он основан на способности некоторых веществ светиться под воздействием ультрафиолетового облучения. На проверяемую поверхность наносят горячую смесь автола (25%) и керосина (75%) и выдерживают в течение 15 ... 20 мин. После сушки на поверхность шва наносят слой порошка люминофора и рассматривают его в ультрафиолетовом свете дефектоскопа ЛД-2 или кварцевой лампы. Дефекты выявляют по яркому желто-зеленому свечению.

Порядок проведения работы:

1. Ознакомиться с дефектами сварных швов, методами их выявления и устранения; описать дефекты.
2. Выполнить макро- и микроанализ соединения. Привести эскизы структуры шва и зоны термического влияния и описать их.
3. Ознакомиться с проверкой сварных швов на плотность и физическими методами их контроля; описать эти методы.
4. Заполнить табл. 2.1.

Таблица результатов

| Выявленные дефекты макроструктуры | Эскиз выявленного дефекта | Возможные причины появления дефектов | Способы устранения выявленных дефектов | Рекомендуемые физические методы контроля для выявления внутренних дефектов макроструктуры |
|-----------------------------------|---------------------------|--------------------------------------|--|---|
| | | | | |

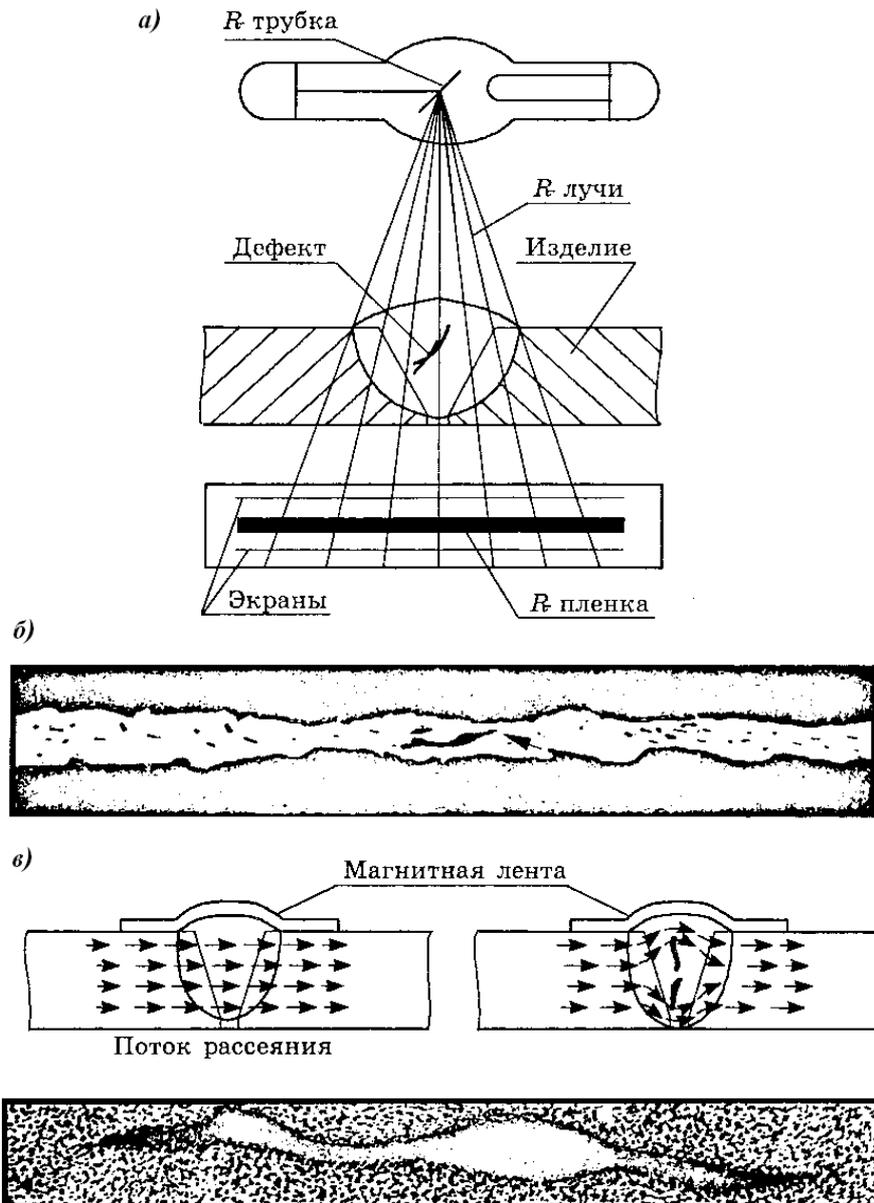


Рис. 2.5. Схема контроля сварного соединения:
a – просвечиванием рентгеновскими лучами; *б* – рентгенограмма шва;
в – намагничиванием

3. Практическая работа

Технологичность изготовления сварных конструкций

Цель работы: изучить методику конструктивно-технологического анализа изготовления сварных конструкций.

Краткие теоретические сведения

1. Понятие «технологичность»

При проектировании сварных заготовок следует учитывать требования к технологичности их изготовления.

Оптимальными являются конструктивные формы, которые отвечают служебному назначению изделия, обеспечивают надежную работу в пределах заданного ресурса, позволяют изготовить изделие при минимальных затратах материалов, труда и времени – эти признаки определяют понятие технологичности конструкции. Кроме того, необходимо, чтобы конструкция отвечала требованиям технической эстетики, которые должны соблюдаться на всех стадиях проектирования и изготовления конструкций.

Технологичность конструкции – выбор такого ее конструктивного оформления, которое обеспечивает удобство и простоту изготовления сварного изделия любыми видами сварки и при различных режимах; автоматизацию и механизацию максимального числа операций технологического процесса; низкую себестоимость процесса сварки, достигаемую путем экономии сварочных материалов, повышения производительности и высокого уровня механизации, сведения к минимуму искажений формы, вызываемых тепловым и механическим воздействием при сварке.

Технологичность конкретной конструкции оценивают качественно и количественно. Качественная оценка характеризует технологичность обобщенно на основании опыта исполнителя. Она предшествует количественной оценке и выражается численным показателем, характеризующим степень удовлетворения требованиям технологичности конструкции. Необходимость количественной оценки, номенклатура показателей и методика их определения устанавливаются отраслевыми стандартами и стандартами предприятий.

Технологичность конструкции обеспечивается выбором металла, формы свариваемых элементов и типов соединений, видов (способов) сварки и мероприятий по уменьшению сварочных деформаций и напряжений.

2. Выбор металла

При выборе металла для сварных заготовок необходимо учитывать не только его эксплуатационные свойства, но и его свариваемость или возможность применения технологических мер, обеспечивающих хорошую свариваемость.

Для получения сварных соединений, равноценных по работоспособности основному металлу, при конструировании сварных заготовок следует по возможности выбирать хорошо свариваемые металлы. К таким металлам относятся спокойные низкоуглеродистые и многие низколегированные стали, ряд сплавов цветных металлов, применение которых не ограничивается какими-либо требованиями к виду и режимам сварки.

При применении в связи с эксплуатационной необходимостью металлов с пониженной свариваемостью проектировать конструкции следует с учетом этого свойства. Для сведения к минимуму неблагоприятных изменений свойств металла сварного соединения и исключения в нем дефектов необходимо применять виды и режимы сварки, оказывающие минимальное термическое и другие воздействия на металл, и проводить технологические мероприятия (подогрев, искусственное охлаждение и др.), снижающие влияние на него сварочных воздействий.

Термическая обработка после сварки (нормализация, закалка с отпуском и др.) может в значительной степени устранять неоднородность свойств в сварных заготовках. Прочность зоны сварного соединения может быть повышена механической обработкой после сварки – прокаткой, проковкой и др.

Проведение этих мероприятий во многом зависит от габаритных размеров и конструктивного оформления сварных заготовок. Для сложных заготовок с элементами больших толщин и размеров при наличии криволинейных швов в различных пространственных положениях можно применять только хорошо свариваемые металлы.

Для простых малогабаритных узлов возможно применение металлов с пониженной свариваемостью, поскольку при их изготовлении используют самые оптимальные по свариваемости виды сварки, например электронно-лучевую или диффузионную в вакууме. При этом легко осуществить все необходимые технологические мероприятия и требуемую термическую или механическую обработку после сварки.

3. Выбор типа сварного соединения

Тип сварного соединения определяют взаимным расположением свариваемых элементов и формой подготовки (разделки) их кромок под сварку (рис. 3.1). По первому признаку различают четыре основных типа

сварных соединений: стыковые, тавровые, нахлесточные и угловые. Кромки разделяют в целях полного провара заготовок по сечению, что является одним из условий равнопрочности сварного соединения с основным металлом. Форму и размеры элементов разделки (угол, притупление и зазоры) назначают, исходя из условий проплавления, обеспечения формирования корня шва (без непроваров и прожогов) и минимального объема наплавленного металла (см. рис. 3.1).

| | | Сварка | | | | | |
|----------------|--|----------------|---------------------------|--------------------|------------|----------|--------|
| Тип соединения | | ручная дуговая | автоматическая под флюсом | электронно-лучевая | контактная | | |
| | | | | | стыковая | точечная | шовная |
| Стыковые | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

Рис. 3.1. Типы сварных соединений, применяемых при основных способах сварки плавлением и давлением

Тип сварного соединения наряду с общими конструктивными соображениями выбирают с учетом обеспечения равнопрочности соединения с основным металлом и технологичности. Выбор разделки кромок зависит от толщины металла, его теплофизических свойств и вида сварки.

Стыковые соединения элементов плоских и пространственных заготовок наиболее распространены. Соединения отличаются высокой прочностью при статических и динамических нагрузках. Их выполняют практически всеми видами сварки плавлением и многими видами сварки давлением.

Некоторая сложность применения сварки с повышенной тепловой мощностью (автоматической под флюсом, плазменной) связана с формированием корня шва. В этом случае для устранения сквозного прожога при конструировании соединений необходимо предусматривать съемные или остающиеся подкладки.

Другой путь – применение двусторонней сварки, однако при этом необходимы кантовка заготовки и свободный подход к корню шва.

При сварке элементов различных толщин кромку более толстого элемента выполняют со скосом для уравнивания толщин, что обеспечивает одинаковый нагрев кромок и исключает прожоги в более тонком элементе. Кроме того, такая форма соединения работоспособнее вследствие равномерного распределения деформаций и напряжений.

Тавровые соединения широко применяют при изготовлении пространственных заготовок. Соединения с одно- и двусторонней разделками кромок, выполненные с полным проваром, отличаются высокой прочностью при любых нагрузках. Тавровые соединения выполняют всеми видами сварки плавлением. Сварку давлением для тавровых соединений применяют редко (приварка стержня к пластине стыковой контактной сваркой оплавлением и сваркой трением и т. п.).

Нахлесточные соединения часто применяют для сварки листовых заготовок при необходимости простой подготовки и сборки под сварку. Эти соединения, выполненные сваркой плавлением, менее прочны по сравнению со стыковыми соединениями. Они неэкономичны вследствие перерасхода основного металла, обусловленного наличием перекрытия свариваемых элементов, и наплавленного металла в связи с выполнением двух угловых швов. В то же время нахлесточное соединение – основное соединение тонколистовых элементов при сварке давлением, особенно при контактной точечной и шовной сварке. В данном случае оно наиболее технологично, так как удобно для двух- и одностороннего подвода электродов перпендикулярно к поверхности металла.

Точечные соединения часто играют роль связующих соединений и рабочих сил не передают (точечные соединения сварных профилей при нагружении продольной силой, соединения обшивок с каркасами и т. д.). Шовные соединения, как правило, несут рабочие нагрузки, но их прочность меньше, чем стыковых, выполненных сваркой плавлением. Это обусловлено дополнительным изгибом при осевом нагружении и концентрацией напряжений вследствие зазора между элементами.

Угловые соединения, как правило, выполняют в качестве связующих. Они не предназначены для передачи рабочих сил. Их выполняют всеми видами сварки плавлением.

4. Выбор формы свариваемых элементов

Сварные заготовки изготавливают из проката (листа, труб, профилей), а также из литых, кованных и штампованных элементов. При конструировании размеры и форму свариваемых элементов с позиции их технологичности следует выбирать, исходя из применения высокопроизводительных автоматических способов сварки; выполнения сварки в нижнем положении; свободного доступа к лицевой и корневой частям шва; проведения при необходимости подогрева (или охлаждения) и последующей термической или механической обработки; сведения к минимуму длины сварных швов и массы основного и наплавленного металлов и т. д.

Указанным рекомендациям соответствуют элементы простой геометрической формы – прямолинейные, цилиндрические, конические и полусферические с длинными прямыми и замкнутыми кольцевыми стыковыми и тавровыми соединениями. При выборе сортамента материалов для изготовления элементов предпочтительнее прокатные, гнутые или штампованные профили и оболочки, тонкий лист, тонкостенные трубы и их сочетания.

5. Выбор способа и вида сварки

Способ и вид сварки выбирают, исходя из размера и формы соединяемых заготовок; расположения швов в сварном соединении; физико-химических свойств соединяемых материалов; возможности механизации и автоматизации процесса сварки. Так, для сварки листовых конструкций из сталей всех марок и некоторых цветных сплавов широко применяют дуговую и электрошлаковую сварку, для получения стыковых соединений заготовок компактных, полых и развитых сечений из сталей и цветных металлов – контактную стыковую сварку. В производстве тонколистовых конструкций из сталей и цветных металлов для нахлесточных соединений наиболее распространены точечная и шовная контактная сварка. В том случае, когда желательно ограничить температуру нагрева материала в зоне соединения, применяют ультразвуковую сварку.

6. Выбор способа уменьшения сварочных деформаций и напряжений

При проектировании сварных заготовок необходимо предусматривать конструктивные и технологические мероприятия по устранению или уменьшению деформаций и напряжений. Суммирование наблюдаемых сварочных деформаций в отдельных точках приводит к перемещениям в сварных изделиях. Последние снижают точность размеров заготовки и требуют назначения больших припусков на механическую обработку.

Сварочные деформации и напряжения возникают вследствие локальной пластической деформации отдельных зон сварного соединения из-за неравномерного разогрева при сварке. Металл в зоне максимального нагрева (шов и зона термического влияния), претерпевший пластическую деформацию сжатия при нагреве, после полного охлаждения получает остаточное укорочение. Это укорочение приводит к изменению формы и размеров всей сварной заготовки. Абсолютное укорочение (ΔAB и ΔDC) линейных элементов (AB и DC) пропорционально их длине в зоне пластической деформации ($ABCD$) (рис. 3.2, *а*, *б*).

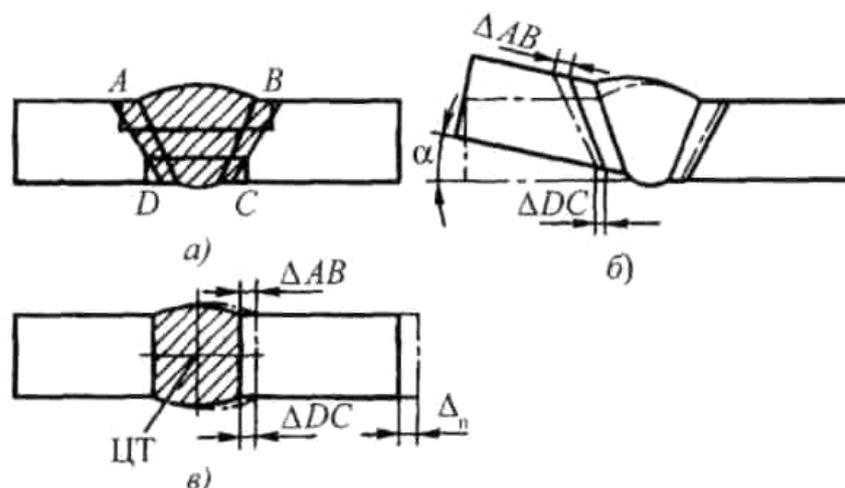


Рис. 3.2. Схема образования внешних сварочных деформаций

В соответствии с этим основные закономерности процесса развития перемещений в сварных изделиях сводятся к следующему:

1) абсолютное укорочение возрастает с увеличением зоны пластической деформации, т. е. с увеличением объема наплавленного металла и зоны разогрева заготовки;

2) при симметричном размещении наплавленного металла относительно центра тяжести (ЦТ) сечения свариваемых элементов изменяются только размеры последних, т. е. происходят поперечная (Δ_n) и продольная (Δ_{np}) усадки (см. рис. 3.2, *в*; 3.3, *а*);

3) при несимметричном расположении наплавленного металла относительно ЦТ сечения также изменяется форма свариваемых заготовок, т. е. происходит перемещение угловое α и изгиб по длине шва (см. рис. 3.2, *б*; 3.3, *в*; 3.4, *а*);

4) перемещение определяется, с одной стороны, остаточным укорочением, с другой – сопротивлением сварной заготовки деформации растяжения (сжатия), изгиба или кручения, т. е. соответствующей ее жесткостью.

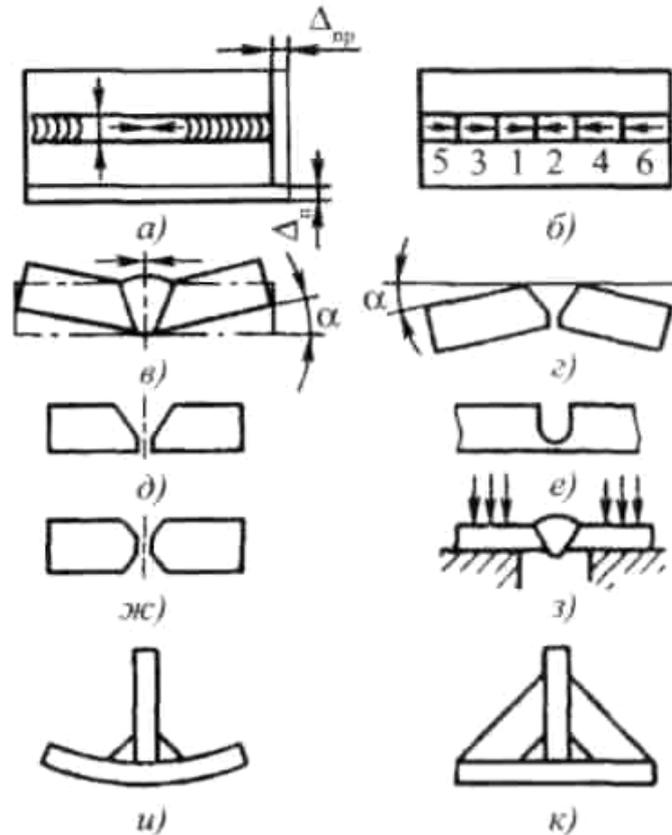


Рис. 3.3. Усадка и угловая деформация сварных заготовок и способы их устранения:
а, б – продольная и поперечная усадка; *в – к* – угловая деформация

Эффект укорочения металла в зоне пластических деформаций в ряде случаев может быть представлен как сжимающее действие некоторой фиктивной усадочной силы $P_{ус}$. Это позволяет рассчитывать сварочные перемещения методами сопротивления материалов. Усадочную силу определяют количественно как произведение площади зоны пластической деформации в поперечном сечении соединения на предел текучести металла этой зоны.

Мероприятия, уменьшающие перемещения в сварных изделиях, направлены на снижение остаточного укорочения и устранение несимметричности его распределения, а также на повышение сопротивления свариваемых элементов деформированию. Они могут быть реализованы на этапе конструирования или изготовления сварного узла. Часто полностью устранить перемещения не удастся. Поэтому при необходимости возможно применение правки уже готовых сварных заготовок.

Поперечную и продольную усадку сварных заготовок (см. рис. 3.3, *а*) можно скомпенсировать увеличением размеров заготовки под сварку на величину предполагаемой деформации; уменьшить сваркой обратносту-

пенчатым способом (см. рис. 3.3, б; 1 – б – последовательность сварки). Угловое перемещение (см. рис. 3.3, в, и) может быть устранено или снижено предварительным обратным угловым изгибом заготовок перед сваркой (см. рис. 3.3, з); уменьшением сечения шва заменой V-образной разделки на U-образную (см. рис. 3.3, д, е); симметричным размещением наплавленного металла относительно ЦТ сечения шва; заменой V-образной разделки на X-образную (см. рис. 3.3, ж); жестким закреплением свариваемых элементов при сварке (см. рис. 3.3, з) или применением ребер жесткости (см. рис. 3.3, к).

Перемещение изгиба (см. рис. 3.4, а) можно исключить предварительным обратным прогибом балки перед сваркой (см. рис. 3.4, б). Рациональной последовательностью укладки швов относительно ЦТ сечения сварной балки (см. рис. 3.4, в), в случае несимметричной двутавровой балки вначале сваривают швы 1 и 2, расположенные ближе к ЦТ, а затем швы 3 и 4 термической (горячей или холодной) правкой.

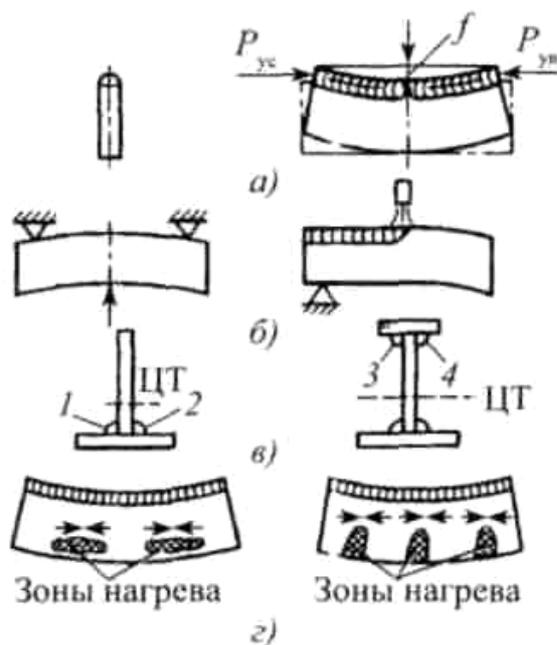


Рис. 3.4. Деформация изгиба сварных заготовок и способы ее устранения

При термической правке газовым пламенем или дугой неплавящегося электрода нагревают до термопластичного состояния те зоны сварной заготовки, сокращение которых необходимо для исправления перемещений заготовки.

Разогретые зоны претерпевают пластическую деформацию сжатия, а после охлаждения – остаточное укорочение. Последнее обуславливает дополнительное перемещение сварной заготовки, противоположное по знаку

первоначальному. Подобное перемещение можно также получить, если наложить в указанных зонах холостые сварные швы.

Холодная правка выполняется проковкой или прокаткой сварных швов, претерпевших укорочение в результате сварочной усадки. Воздействие на швы должно привести к пластическому удлинению швов, равному сварочной усадке. Холодная правка наиболее эффективна для тонколистовых сварных заготовок, поскольку пластическая деформация удлинения должна распространяться на всю толщину сварного шва.

Остаточные сварочные напряжения представляют собой систему внутренних сил, находящихся в равновесии. При нарушении этого равновесия напряжения перераспределяются, что сопровождается упругими и пластическими деформациями в дополнение к сварочным деформациям, полученным ранее в процессе сварки. Поэтому при механической обработке (точении, фрезеровании, сверлении) сварных заготовок часто невозможно добиться высокой точности их размеров.

Для предупреждения возникновения высоких сварочных напряжений не следует допускать скопления сварных швов и пересечения их друг с другом, рекомендуется использовать способы сварки, обеспечивающие минимальный разогрев заготовок. Для снятия напряжений применяют высокий отпуск сварных заготовок, а также прокатку или проковку сварных швов.

Для оценки технологичности используют специальные критерии

Трудоемкость изготовления конструкции. *Уровень технологичности по трудоемкости K_m* определяют по соотношению

$$K_m = T_n / T_б ,$$

где T_n – трудоемкость по проектному варианту, нормо-ч; $T_б$ – трудоемкость по базовому варианту, нормо-ч.

Эффективность использования материалов. *Оценку эффективности использования материалов можно выполнять по следующим показателям:*

– *удельная материалоемкость конструкции*

$$K_{у.м} = M_u / N ,$$

где M_u – масса конструкции, т; N – показатель работоспособности (программа выпуска, мощность и т. п.);

– коэффициент использования материалов

$$K_{u..m} = M_u / M_z ,$$

где M_z – масса материалов деталей и заготовок, т;

– коэффициент применяемости материалов

$$K_{n..m} = M_m / M_u ,$$

где M_m – масса материала данного вида в сварной конструкции, т;

– относительный $a_{n..m}$ или удельный $K_{y..m}$ расход наплавленного металла

$$a_{n..m} = M_{n..m} / M_u ;$$

$$K_{y..m} = M_{n..m} / N ,$$

где $M_{n..m}$ – масса наплавленного металла в проектном и базовом вариантах сварной конструкции, т.

Технический уровень сварочного производства. Технический уровень сварочного производства определяется использованием прогрессивных механизированных технологических процессов.

Технический уровень производства можно оценивать по следующим показателям:

– уровень механизации сварочных работ, %:

$$Y_c = T_m \Pi / (T_m \Pi + T_p) \cdot 100 ,$$

где T_m – трудоемкость работ, выполняемых механизированными способами сварки, нормо-ч; Π – коэффициент производительности труда при данном способе сварки; T_p – трудоемкость работ, выполняемых ручными способами сварки, нормо-ч.

Различные способы сварки характеризуются следующими значениями коэффициента Π производительности труда: ручная дуговая – 1; механизированная дуговая – 1,5; автоматическая дуговая – 2; электрошлаковая – 4; контактная – 6;

– уровень комплексной механизации работ при изготовлении сварной конструкции

$$Y_{к..м.} = \sum_{i=1}^n Y_i d_i / 100 ,$$

где Y_i – уровень механизации по i -му виду работ, %; d_i – доля i -го вида работ в общем объеме, %.

Величину $U_{к.м}$ определяют с учетом доли ручного труда.

Для основных технологических операций доля ручного труда характеризуется следующими значениями, %:

- для ручной дуговой сварки и резки – 100;
- для механизированной дуговой сварки – 62;
- для автоматической дуговой сварки и резки – 8 ... 12;
- для контактной сварки – 44.

Порядок проведения работы:

- по заданному варианту провести анализ сварной конструкции на технологичность;
- на основании проведенного анализа конструкции на технологичность наметить пути ее повышения;
- сделать выводы.

Литература

1. Маслов, Б.Г. Производство сварных конструкций: учебник для студентов учреждений сред. проф. образования / Б.Г. Маслов, А.П. Выборнов. – М.: Издат. центр «Академия», 2007. – 256 с.
2. Маталин, А.А. Технология машиностроения: учебник для машиностроительных вузов по специальности «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты» / А.А. Маталин. – Л.: Машиностроение, 1985. – 495 с.

4. Практическая работа

Разработка принципиальной схемы приспособления

Цель работы: изучить методику разработки принципиальной схемы приспособления для выполнения сборочно-сварочных операций.

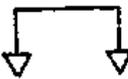
Краткие теоретические сведения

Проектирование приспособления должно начинаться с разработки его принципиальной схемы, которая оформляется в виде простейшего чертежа, выражающего основную идею приспособления.

Принципиальная схема сборочно-сварочного приспособления представляет собой чертеж сварного изделия, на котором в виде условных обозначений (табл. 4.1.) указаны места, способы фиксирования и закрепления всех деталей, а также способы и устройства (упрощенно) для установки, поворота, подъема, съема деталей и изделий, другие механизмы.

Таблица 4.1

Условные обозначения опор и зажимов

| Наименование | Вид спереди, сзади | Вид сверху | Вид снизу |
|--------------------|---|--|---|
| Опора неподвижная |  |  |  |
| Опора подвижная |  |  |  |
| Опора плавающая |  |  |  |
| Опора регулируемая |  |  |  |
| Зажим одиночный |  |  |  |
| Зажим двойной |  |  |  |

При изготовлении принципиальной схемы наносить на нее все детали будущего приспособления подробно не следует. Детали и механизмы приспособления изображаются на ней условными обозначениями, как правило, карандашом или чернилами другого цвета. При необходимости отдельные механизмы приспособления могут быть показаны довольно подробно.

На схеме указываются те размеры, которые конструктор должен соблюдать при проектировании приспособления с особой точностью. В качестве установочных баз предпочтительно использовать механически обработанные поверхности или отверстия деталей.

Для установки деталей из прокатных профилей упоры (фиксаторы) необходимо ставить к обушке, а не к полке. Размещение упоров не должно вызывать защемления в приспособлении собранного и прихваченного изделия. Упоры должны исключать сдвиг изделия в сторону установочных элементов и обеспечивать свободный его съем (рис. 4.1).

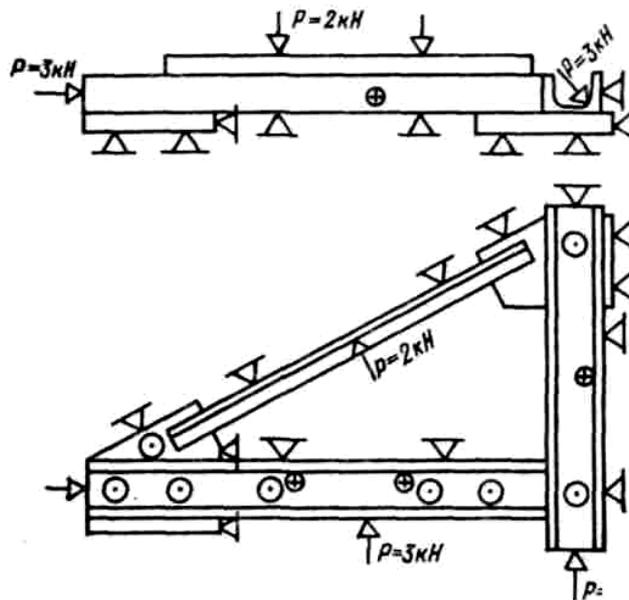


Рис. 4.1. Принципиальная схема приспособления для сборки кронштейна

Для таких изделий неподвижные упоры располагаются не по всему периметру, а лишь по двум смежным сторонам; по остальным сторонам ставят отводные откидные или съемные упоры. В последнем случае точность сборки несколько снижается.

Установленные в приспособлении детали или узлы должны сохранять свое положение в процессе сборки, прихватки, сварки или наплавки, поэтому их закрепляют с помощью тех или других зажимных устройств. Чтобы не сместить детали в приспособлении в процессе их зажатия, необходимо правильно выбрать схему расположения опор, а также места приложения сил зажима. Как правило, на выбранной схеме все приложенные к детали силы, стремящиеся нарушить положение детали в приспособлении, а также силы, стремящиеся сохранить это положение (силы трения, реакции опор), отмечают стрелками.

Прижимы располагают против упоров, вблизи них. В одном приспособлении должно быть не более двух типов прижимов (как правило, один).

На схеме приспособления следует указать величину необходимого усилия зажатия, способы определения которого приведены ниже.

Универсально-сборные приспособления сварочного производства

В настоящее время до 70% трудозатрат в технологической подготовке производства приходится на проектирование и изготовление приспособлений. Стала актуальной проблема изыскания путей их удешевления для условий как серийного, так и мелкосерийного производства. Наиболее эффективными методами, ускоряющими и удешевляющими проектирование и изготовление приспособлений, являются унификация, нормализация, стандартизация деталей и элементов приспособлений и установок.

Унификация – это рациональное сокращение количества типов, видов и размеров приспособлений, числа механизмов, деталей и заготовок для деталей с целью повышения однотипности приспособлений и улучшения их качественных и технико-экономических характеристик.

Высшей степенью унификации, дающей наибольший экономический эффект, является применение серийно изготавливаемых сборочных единиц и деталей.

Нормализация – это стандартизация в масштабе предприятия или отрасли.

Стандартизация – это высшая форма нормализации, предусматривающая широкое применение общесоюзных стандартов (ГОСТов). Нормализация и стандартизация позволяют повысить рентабельность приспособлений за счет уменьшения стоимости, удешевления эксплуатации и повторного многократного использования элементов.

На основе унификации строится **агрегатирование**, представляющее собой метод конструирования изделий из унифицированных и стандартных деталей и агрегатов, т. е. из модулей. Расчленение оборудования на отдельные модули возможно по различным принципам (размерам, массе, числу координат и др.).

Унификация, стандартизация и агрегатирование являются основой для автоматизации проектирования приспособлений.

Универсально-сборные приспособления для сварки (УСПС) эффективно применяются как при сварке изделий, так и при их сборке. При сварке они особенно эффективны, если недопустимы деформации свариваемого изделия.

Комплект УСПС состоит из следующих элементов:

- базовых (плит, угольников, планшайб и др.);
- корпусных и опорных (призм, угольников, подкладок и др.);
- установочных (шпонок, пальцев, валиков, втулок, центров и др.);
- направляющих (втулок, планок, колонок и др.);
- прижимных (прихватов и прижимов различных типов);
- крепежных (винтов, болтов, гаек);
- узлов (самоустанавливающихся опор, пневмоцилиндров, поворотных головок и др.);
- вспомогательных (рукояток, пружин и др.).

Обычно комплект элементов УСПС включает 2200 ... 3400 деталей и узлов, из которых одновременно может быть собрано несколько десятков приспособлений (табл. 4.2.). Благодаря универсальности и взаимозаменяемости элементов УСПС продолжительность сборки и разборки приспособления не превышает 1 ... 8 ч в зависимости от его сложности.

Таблица 4.2

Техническая характеристика некоторых УСПС

| Наименование показателя | УСПС-8 | УСПС-12/1 | УСПС-12/2 | УСПС-12/3 | УСПС-16/1 | УСПС-16/2 | УСПС-16/3 | УСПС-16/4 |
|--|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Количество деталей и элементов <u>наименование</u> штуки | <u>110</u> 2200 | <u>110</u> 3000 | <u>100</u> 2750 | <u>100</u> 2600 | <u>300</u> 3400 | <u>280</u> 3170 | <u>280</u> 3100 | <u>270</u> 3000 |
| Время сборки одного приспособления, ч | 1,5 | 4,0 | 3,0 | 4,0 | 8,0 | 6,0 | 7,0 | 8,0 |
| Масса собираемых изделий, кг | 50 | 500 | 300 | 500 | 2500 | 2000 | 1000 | 2000 |
| Диаметр крепежных болтов, мм | 8 | 12 | 12 | 12 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| Точность сборки изделий, мм | 0,2 ... 0,3 | 0,3 ... 0,5 | 0,3 ... 0,5 | 0,3 ... 0,5 | 0,3 ... 0,5 | 0,3 ... 0,8 | 0,3 ... 0,8 | 0,3 ... 0,8 |
| Экономический эффект от внедрения одной сборки, руб. | 10 | 25 | 20 | 22 | 45 | 35 | 30 | 40 |
| Стоимость комплекта, руб. | 15000 | 28000 | 25000 | 25000 | 45000 | 40000 | 38000 | 35000 |
| Срок службы комплекта, лет | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Срок окупаемости комплекта, лет | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 |
| Количество одновременно собираемых приспособлений, шт. | 8 | 4 ... 8 | 4 ... 8 | 4 ... 8 | 2 ... 4 | 2 ... 4 | 2 ... 4 | 2 ... 4 |

Применение УСПС значительно сокращает и удешевляет технологическую подготовку производства, повышает коэффициент его технической оснащенности. Это достигается благодаря тому, что комплекты нормализованных и стандартных деталей и механизмов обратимы, взаимозаменяемы и могут использоваться многократно для различных приспособлений. Проектирование УСПС сводится лишь к разработке принципиальной компоновочной схемы приспособления, а изготовление – к сборке приспособления из готовых элементов и наладке. После сборки (сварки) партии изделий УСПС разбирают на составляющие их элементы, которые в дальнейшем используются для компоновки новых приспособлений.

На рис. 4.2, *а* показана принципиальная схема приспособления для сборки и сварки кронштейна, а на рис. 4.2, *б* – общий вид приспособления, собранного из комплекта УСПС.

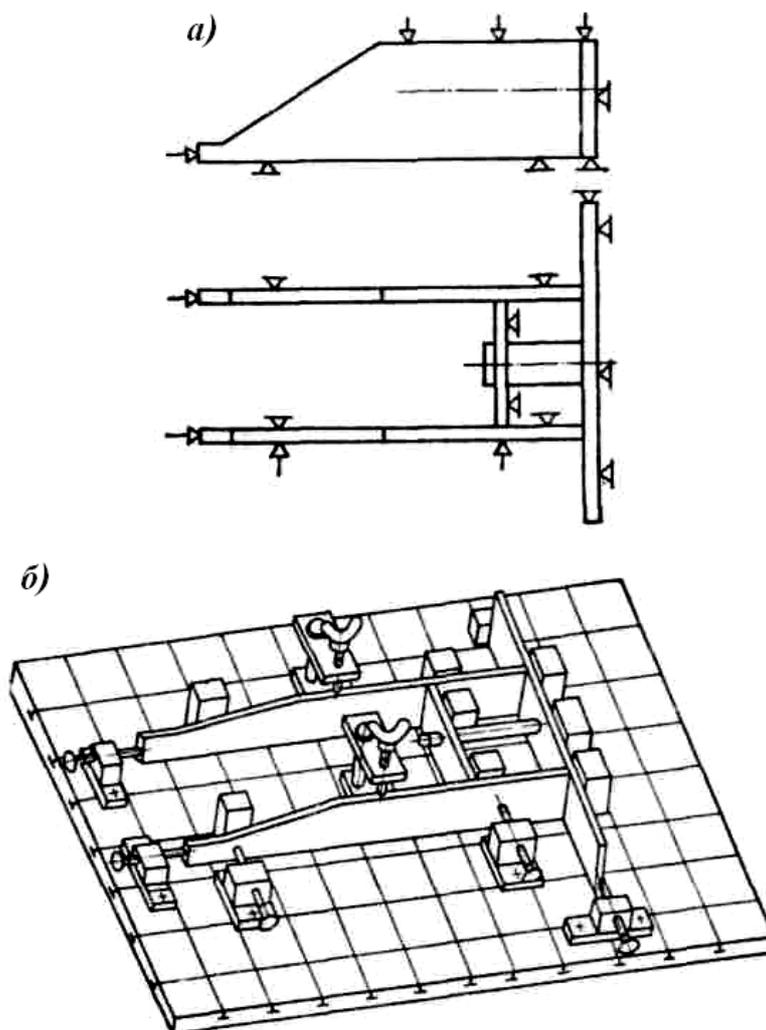


Рис. 4.2. Принципиальная схема приспособления для сборки и сварки кронштейна (*а*) и общий вид УСПС (*б*)

Универсально-сборные приспособления применяются на предприятиях с индивидуальным и мелкосерийным, а также с серийным и крупносерийным характером производства в период освоения выпуска новой продукции с последующей заменой их специальными приспособлениями. УСПС целесообразно использовать также на ремонтных предприятиях и для сборки приспособлений-дублеров при ремонте основной оснастки. В отраслях промышленности организованы прокатные базы УСПС для обслуживания заводов, нуждающихся в приспособлениях.

Универсально-наладочные приспособления сварочного производства (УНПС) отличаются от универсально-сборных лишь тем, что имеют механизмы и устройства, позволяющие быстро, без разборки приспособления перестроить (наладить) его для сборки и сварки однотипных изделий другого размера. Принципы создания и применения УНПС и УСПС аналогичны.

Порядок проведения работы:

- по заданному варианту сварной конструкции определить установочные базы (предпочтительно использовать механически обработанные поверхности) для свариваемых деталей;
- разработать принципиальную схему приспособления для выполнения сборочно-сварочной операции;
- сделать выводы.

Литература

1. Маслов, Б.Г. Производство сварных конструкций: учебник для студентов учреждений сред. проф. образования / Б.Г. Маслов, А.П. Выборнов. – М.: Изд. центр «Академия», 2007. – 256 с.
2. Рыморов, Е.В. Новые сварочные приспособления / Е.В. Рыморов. – Л.: Стройиздат; Ленингр. отд-ие, 1988. – 125 с.: ил.

5. Лабораторная работа

Устранение коробления элементов конструкции путем нагрева «пятнами»

Цель работы: проиллюстрировать механизм правки путем нагрева пятнами.

Содержание работы

При сварке тонколистовых конструкций возникают остаточные деформации коробления. Выпучивание листов из плоскости происходит оттого, что сварные швы в результате усадки металла укорачиваются, в то время как соседние участки такой усадки не испытывают и имеют после сварки увеличенные размеры по сравнению со швами. В этих участках появляются напряжения сжатия, лист теряет устойчивость и образуется «хлопун».

Устранение коробления после сварки достигается либо удлинением швов путем их проковки, прокатки или вытяжки, либо уменьшением площади листа в месте хлопуна. В первом случае в зоне шва создаются деформации, обратные сварочным, что приводит к уменьшению напряжений сжатия в зоне потери устойчивости и устранению деформаций изделия в целом. Во втором случае деформации коробления исчезают вследствие появления термопластических деформаций при нагреве.

Избыток площади может быть выражен разностью между дугой и хордой при известной стреле прогиба (рис. 5.1).

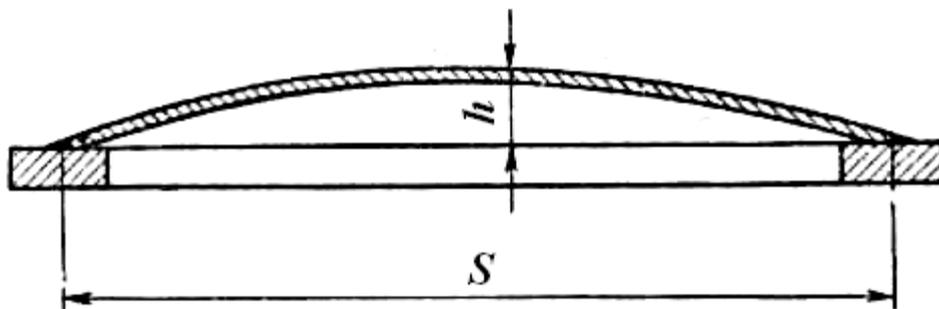


Рис. 5.1. Образец для испытаний

В нашем случае при длине хорды $S = 280$ мм и величине $h = 6$ мм разность между длиной дуги и хорды составляет 0,34 мм.

Этот избыток площади устраняется нагревами. Каждое пятно нагрева после остывания уменьшает площадь листа на некоторую величину.

При нагреве пятнами величина усадки возрастает пропорционально квадрату диаметра зоны пластических деформаций. Однако чрезмерное увеличение диаметра пятна приводит к выпучиванию листа во время нагрева, что снижает эффект правки, так как уменьшается величина пластической деформации при нагреве. Для борьбы с выпучиванием на практике применяют проковку нагретых мест. Проковка не позволяет листу выпучиваться во время нагрева, в результате чего эффективность правки возрастает.

Порядок выполнения работы:

1. Уложить лист на рамку, подложив стержень $d = 6$ мм, прихватить лист сваркой с двух сторон (см. рис. 5.1).
2. Дугой или газовым пламенем произвести нагрев листа пятнами диаметром 15 ... 20 мм с шагом 20 ... 30 мм. После постановки 5 ... 7 пятен и некоторого их остывания определять место последующего нагрева. Нагрев производить в местах наибольшего выпучивания листа.
3. Исправленную рамку представить преподавателю.

Контрольные вопросы

1. Отчего образуются деформации в тонколистовых сварных конструкциях?
2. Как происходит устранение сварочных деформаций при нагреве листа пятнами?

6. Практическая работа

Технологическая документация сборочно-сварочных работ

Цель работы: изучить методику заполнения технологических документов на технологическую сварку конструкций.

Краткие теоретические сведения

Классификация видов нормативных документов

Различают основные и вспомогательные документы.

Основные документы полностью и однозначно определяют ТП (операцию) изготовления изделий и содержат информацию, необходимую и достаточную для решения инженерно-технических, планово-экономических и организационных задач. Основные документы бывают общего и специального назначения.

Вспомогательные документы применяют при разработке, внедрении и функционировании ТП (операции).

Общие правила заполнения НД установлены ГОСТ 3.1705-81.

Документы общего назначения применяют в отдельности или в комплекте на ТП вне зависимости от методов изготовления изделий. К ним относятся титульный лист (ТЛ), карта эскизов (КЭ), технологическая инструкция (ТИ).

Документы специального назначения применяют при описании ТП (операции) в зависимости от видов процессов изготовления изделий, типа и вида производства. К ним относятся:

- маршрутная карта (МК);
- карта технологического процесса (КТП);
- карта типового технологического процесса (КТТП);
- универсальная карта типового технологического процесса (КТТП/У);
- операционная карта (ОК);
- карта типовой операции (КТО);
- комплектовочная карта (КК);
- технико-нормировочная карта (ТНК);
- карта кодирования информации (ККИ);
- ведомость технологических маршрутов (ВТМ);
- ведомость оснастки (ВО);
- ведомость оборудования (ВОБ);
- ведомость материалов (ВМ) и др.

Комплектность технических документов (ТД) определяют в зависимости от типа производства (единичное, серийное, массовое) и видов разрабатываемых процессов по их организации (единичный, типовой, групповой).

Каждый разработанный документ должен иметь самостоятельное обозначение.

Пример: ТД-0229014, где цифры означают: 02 – комплект документов ТП; 2 – типовой процесс; 90 – сварка; 14 – рельефная сварка.

Общие правила заполнения технологических документов на сварку

Технологическая карта – основной производственный документ, в котором приведены все данные по деталям, сборке и сварке конструкции. Технологическая карта находится в строгом соответствии с принципиальным технологическим процессом.

Типовая технологическая карта на сборочно-сварочные работы (МК/КТП) представлена в табл. 6.1 (обозначения элементов в табл. 6.1 приведены ниже).

Кодовое обозначение операции указывают в МК, КТП (КТТП) в графе «Код, наименование операции» на строке с символом «А».

В графе «Обозначение документа» указывают обозначения нормативных документов, применяемых при выполнении данной операции.

Кодовое обозначение операции имеет цифровую шестизначную структуру. Рекомендуемые кодовые обозначения сборочно-сварочных операций (поз. 1 – 4) приведены в табл. 6.2. Например, сборочно-монтажные работы имеют код 8863, дуговая сварка в углекислом газе порошковой проволокой – 9044, газовая сварка – 9068, комплексный контроль геометрических параметров – 0260 и т. д. Позиции 5 и 6 устанавливают конкретизацию признаков классификации и их кодов в соответствии со спецификой отрасли.

Примеры кодового обозначения операций: 904138, 038214 и т. п.

Карта МК/КТП содержит строки А, Б, К (или М), Р. Здесь А – название операции и ее номер; Б – описание оборудования; К (или М) – комплектация/материалы; Р – режим (табл. 6.3).

Информация, вносимая в строку с символом «А». В графах «Цех», «Уч.», «РМ» строки указывают соответственно номер (код) цеха, участка, рабочего места, где выполняется операция (или их буквенные наименования).

В графе «Опер.» указывают номер операции.

Таблица 6.1

Технологическая карта МК/КТП сборочно-сварочных работ

| Разработал | Нач. бюро | Нормир. | Нор. контр. | Предприятие | | | Номер изделия | Номер комплекта документов | | | | | | | |
|------------|--|---------|-------------|-------------|----------------------------|-------|---------------|----------------------------|-----------------------|------|--------|----------------|------------------|------------------|------------------|
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| А | Цех | Уч. | РМ | Опер. | Код, наименование операции | | | | Обозначение документа | | | | | | |
| Б | Код, наименование оборудования | | | | СМ | Проф. | Р | УТ | КР | КОИД | ЕН | ОП | К _{итт} | T _{н.з} | T _{итт} |
| К (или М) | Наименование детали, сборочной единицы или материала | | | | Обозначение, код | | | | | | | | | | |
| Р | | | | | Тип | Катет | Длина | Положение | | | Поляр. | U _о | I _{св} | V _{н.п} | |
| 1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | | | | | | | | |

Коды сборочно-сварочных операций

| Форма записи операции | Код |
|---|------|
| Сварка | 9000 |
| Контактная сварка | 9010 |
| Диффузионная сварка | 9020 |
| Дуговая сварка | 9030 |
| Дуговая сварка покрытым электродом | 9031 |
| Дуговая сварка порошковой проволокой | 9034 |
| Дуговая сварка под флюсом | 9035 |
| Дуговая сварка в инертных газах плавящимся электродом | 9039 |
| Дуговая сварка в инертных газах неплавящимся электродом с присадочным металлом | 9041 |
| Дуговая сварка в инертных газах неплавящимся электродом без присадочного металла | 9042 |
| Дуговая сварка в углекислом газе сплошной проволокой | 9043 |
| Дуговая сварка в углекислом газе порошковой проволокой | 9044 |
| Дуговая сварка в углекислом газе неплавящимся электродом с присадочным металлом | 9045 |
| Дуговая сварка в углекислом газе неплавящимся электродом без присадочного металла | 9046 |
| Дуговая сварка в смеси инертных и активных газов плавящимся электродом | 9051 |
| Дуговая сварка в вакууме плавящимся электродом | 9056 |
| Дуговая сварка в вакууме неплавящимся электродом с присадочным металлом | 9057 |
| Дуговая сварка в вакууме неплавящимся электродом без присадочного металла | 9058 |
| Электрошлаковая сварка | 9061 |
| Электронно-лучевая сварка | 9062 |
| Плазменная сварка | 9063 |
| Газовая сварка | 9068 |
| Резка кислородная | 9172 |
| Резка кислородно-флюсовая | 9176 |
| Резка плазменно-дуговая | 9176 |
| Сборочно-подготовительная | 8862 |
| Сборочно-монтажная | 8863 |
| Слесарно-сборочная | 8864 |
| Термическая обработка | 5000 |
| Комплексный контроль геометрических параметров | 0260 |
| Контроль неразрушающий акустический | 0376 |
| Контроль неразрушающий вихретоковый | 0377 |
| Контроль неразрушающий магнитный | 0378 |
| Контроль неразрушающий радиационный | 0382 |
| Контроль неразрушающий проникающими веществами | 0386 |

| Форма записи операции | Код |
|----------------------------|------|
| Испытания механические | 0620 |
| Испытания на герметичность | 0675 |
| Перемещение | 0400 |
| Транспортирование | 0401 |
| Складирование | 0440 |
| Правка | 2156 |
| Комплектование | 0418 |
| Крепление | 0112 |
| Базирование | 8801 |
| Разметка | 0101 |
| Гибка | 2129 |

В графе «Код, наименование операции» указывают унифицированное кодированное обозначение операции ТП.

Информация, вносимая в строку с символом «Б». В графе «Код, наименование оборудования» указывают его код, краткое наименование или модель и инвентарный номер.

Остальные графы характеризуют трудозатраты.

В графе «СМ» («Степень механизации») указывают степень механизации кодом или индексами: РС – ручная сборка, МС – механизированная сборка, в приспособлении, сборка по разметке.

В графе «Проф.» указывают код профессии рабочего (сборщик или сварщик).

В графе «Р» указывают разряд рабочего.

В графе «УТ» («Условия труда») указывают индекс: легкие (Л) или вредные (В) условия.

В графе «КР» («Количество работающих») указывают число занятых на операции рабочих.

В графе «КОИД» («Количество одновременно изготавливаемых деталей») указывают число деталей при выполнении одной операции.

В графе «ЕН» («Единица нормирования») указывают норму расхода материала или норму времени.

В графе «ОП» («Объем партии») указывают ее объем в условиях серийного производства в штуках.

Графа « $K_{ум}$ » («Коэффициент штучного времени») соответствует многостаночному обслуживанию, и для сварочных работ ее не заполняют.

В графах « $T_{н.з.}$ » и « $T_{ум}$ » указывают нормы подготовительно-заключительного и штучного времени на выполнение операций, выбираемые на основе общемашиностроительных и отраслевых нормативов.

Таблица 6.3

Пример заполнения строк «К», «М», «Р»

| А | Цех | Уч. | РМ | Опер. | Код, наименование операции | Обозначение документа | | | | | | | | | | | |
|-----------|--|-----|-----|-------|----------------------------|-----------------------|-------|-------|-------|-----------|--------|----------------|-----------------|------------------|-------------------|------------------|-------|
| | | | | | | СМ | Проф. | Р | УТ | КР | КОИД | ЕН | ОП | К _{итт} | T _{n,3} | T _{итт} | |
| Б | Код, наименование оборудования | | | | | Обозначение, код | Тип | Катег | Длина | Положение | Поляр. | U _o | I _{св} | КИ | H _{расх} | | |
| К (или М) | Наименование детали, сборочной единицы или материала | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Р | | | | | | Обозначение, код | Тип | Катег | Длина | Положение | Поляр. | U _o | I _{св} | V _{n,n} | | | |
| К02 | 15 | 02 | 125 | 015 | 14 | 1 (1 л) | | 7 | 48 | 185 | 00 | 1 | 112 | - | 1 | 1 | 0,750 |
| К04 | Электрод УОНИ-13/45-3,0-2 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| К05 | Проволока сварочная Св-08Г2С; D = 1,2; H = 12 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| К07 | | | | | | | - | 3 | 200 | | Н | | П | 20 | 120 | | 16 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Информация, вносимая в строку с символом «К». В графе «Наименование детали» указывают ее название по ЕСТД; в этой графе допускается указывать марку материала.

Графы «Обозначение, код» и «ОПП» (откуда поступает партия) заполняют в соответствии со стандартами ЕСТД; обычно в графе «ОПП» указывают номер цеха.

В графе «ЕМ» – «Единица измерения массы» – указывают массу изделия в килограммах.

В графе «ЕН» – «Единица нормирования» – указывают норму расхода материала в килограммах.

В графе «КИ» указывают количество изготавливаемых изделий.

В графе « $N_{расх}$ » указывают норму расхода материалов.

Информация, вносимая в строку с символом «М». В графе «Материал» указывают сортамент, марку материала, размер, обозначение стандарта или ТУ. При сварке в этой графе указывают также марку, диаметр присадочного материала, размер электродов, а при пайке – марку, вид припоя (проволока, фольга, порошок), диаметр и толщину припоя, данные о флюсах, средах.

При раскрое материалов в этой графе указывают профиль и размер исходной заготовки, общее количество получаемых из нее деталей, коэффициент раскроя материала заготовки, норму расхода материала и т. п.

Информация, вносимая в строку с символом «Р». В соответствующих графах указывают информацию по технологическим параметрам режима сварки: тип шва, катет и длину шва в миллиметрах, положение шва, полярность тока, напряжение, силу тока и скорость подачи проволоки.

При записи применяют следующие условные обозначения:

- длина L, l ;
- ширина шва B, b ;
- высота, глубина H, h ;
- толщина S ;
- диаметр D, d ;
- радиус R, r ;
- межосевое и межцентровое расстояние A, a ;
- углы α, β, γ и др.;
- выпуклость шва q ;
- шаг прерывистого шва T ;
- катет углового шва K ;
- расчетная высота углового шва P ;
- толщина углового шва A ;

- напряжение дуги U_d ;
- сила сварочного тока $I_{св}$;
- напряжение холостого хода источника питания $U_{х.х}$;
- скорость сварки $v_{св}$;
- скорость подачи проволоки $v_{п.п}$;
- количество наплавленного металла Q_n ;
- коэффициент наплавки α_n ;
- полярность: прямая – П, обратная – О;
- положение шва: в лодочку – Л, нижнее – Н, горизонтальное – Г, полугоризонтальное – П_г, потолочное – П, полупотолочное – П_п, вертикальное – В, полувертикальное – П_в;
- притупление кромок – с;
- коэффициент загрузки оборудования K_z .

В строках, обозначенных в карте МК/КТП номерами, указывают содержание технологических операций и переходов с индексом «О». При этом установки обозначают буквами А, Б, В и т. д.

Примеры заполнения строк карты МК/КТП приведены в табл. 6.3 и 6.4.

Разработанные ТП утверждают в установленном порядке. Подписи лиц, разработавших и проверивших документ, а также лица, ответственного за нормоконтроль документов, являются обязательными.

Если все разрабатывал один человек, то он ставит свою подпись один раз – в графе «Разработал».

Порядок проведения работы:

- изучить классификацию видов нормативной документации на сварочные технологические процессы;
- ознакомиться с формами технологических карт на сборочно-сварочные работы;
- по заданному варианту технологического процесса изготовления сварной конструкции заполнить технологическую карту сборочно-сварочных работ;
- сделать выводы.

Литература

1. Маслов, Б.Г. Производство сварных конструкций: учебник для студентов учреждений сред. проф. образования / Б.Г. Маслов, А.П. Выборнов. – М.: Изд. центр «Академия», 2007. – 256 с.

Таблица 6.4

Пример заполнения строк «А» и «Б»

| А | Цех | Уч. | РМ | Опер. | Код, наименование операции | Обозначение документа | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|--|-----|-----|-------|----------------------------|---|--------|-------|-----------|--------|----------------|-------|----|-----------------|------------------|-----------------|--|--|--|--------|
| | | | | | | СМ | Проф. | Р | УТ | КР | КОИД | ЕН | ОП | К _{шт} | T _{н.з} | T _{шт} | | | | |
| Б | Код, наименование оборудования | | | | | Обозначение, код | | | | | | | | | | | | | | |
| К (илиМ) | Наименование детали, сборочной единицы или материала | | | | | Тип | Катег | Длина | Положение | Поляр. | U ₀ | ЕН | ОП | К _{шт} | T _{н.з} | T _{шт} | | | | |
| А01 | 12 | 01 | 112 | 20 | 904301, механизированная | | Сварщ. | 3 | 1 | 1 | 1 | 10 | – | – | – | 34,80 | | | | |
| 2 | Дуговая сварка в углекислом газе сплошной проволокой с короткими замыканиями | | | | | | Слес. | 3 | 2 | | 1 | | | | | 77,00 | | | | |
| 3 | | | | | | | Сварщ. | 3 | 1 | | | | | | | | | | | 34,80 |
| 4 | | | | | | | Слес. | 3 | 2 | | | | | | | | | | | 154,00 |
| Б05 | | | | | | Кран Q = 10 т, инв. № 10, полуавтомат ПДГ-516 | | | | | | Всего | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

РЕЙТИНГОВЫЙ КОНТРОЛЬ ЗНАНИЙ

Система контроля знаний студентов включает следующие направления оценки успешности обучения:

1-е направление – оценка отношения студента к выполнению своих обязанностей на этапе изучения дисциплины;

2-е направление – текущий контроль успешности изучения дисциплины;

3-е направление – итоговый контроль успешности изучения дисциплины.

Для оценки успешности освоения курса «Производство сварных конструкций. Часть 1» по первому направлению выделяется общее количество баллов, равное 140, которое распределяется следующим образом:

| | | |
|---|------------|--|
| 1-е направление – 140 баллов | | |
| Раздел I | | |
| 10 ч лекций × 2 балла | 20 баллов | За 100%-е посещение лекций |
| 6 ч лаб. работы × 2 балла | 12 баллов | За 100%-е посещение лаб. работ |
| Баллы за успешное выполнение предаттестационных заданий | 10 баллов | Самостоятельная работа по тематике лекций и лаб. работ |
| Итого | 42 балла | |
| Раздел II | | |
| 8 ч лекций × 2 балла | 16 баллов | За 100%-е посещение лекций |
| Баллы за успешное выполнение предаттестационных заданий | 10 баллов | Самостоятельная работа по тематике лекций и лаб. работ |
| Итого | 26 баллов | |
| Раздел III | | |
| 8 ч лекций × 2 балла | 16 баллов | За 100%-е посещение лекций |
| 8 ч. лаб. работы × 2 балла | 16 баллов | За 100%-е посещение лаб. работ |
| Баллы за успешное выполнение предаттестационных заданий | 10 баллов | Самостоятельная работа по тематике лекций и лаб. работ |
| Итого | 42 балла | |
| Раздел IV | | |
| 6 ч лекций × 2 балла | 12 баллов | За 100%-е посещение лекций |
| 4 ч лаб. работы × 2 балла | 8 баллов | За 100%-е посещение лаб. работ |
| Баллы за успешное выполнение предаттестационных заданий | 10 баллов | Самостоятельная работа по тематике лекций и лаб. работ |
| Итого | 30 баллов | |
| Итого | 140 баллов | |

Для оценки успешности изучения дисциплины по второму направлению выделяется общее количество баллов, равное 60, которое распределяется следующим образом:

| | | |
|--|-----------|---|
| 2-е направление – 60 баллов | | |
| Успешная защита выполненных лабораторных работ | 60 баллов | За своевременную защиту 100% лаб. работ |
| Итого | 60 баллов | |

Для оценки успешности изучения дисциплины по третьему направлению выделяется общее количество баллов, равное 100, которое распределяется следующим образом:

| | |
|------------------------------|-------------------|
| 3-е направление – 100 баллов | |
| Устный зачет по дисциплине | 100 баллов |
| Итого | 100 баллов |

Для оценки успешности изучения студентом дисциплины «Производство сварных конструкций. Часть 1» предлагается руководствоваться следующими критериями:

| Уровень (рейтинг) | Количество баллов |
|-------------------|-------------------|
| Минимальный | 180 |
| Средний | 210 |
| Хороший | 240 |
| Высокий | 270 |
| Превосходной | 300 |

Если после изучения дисциплины в семестре рейтинг студента $R < 60\%$ ($R < 180$ баллов), то студент считается не выполнившим учебный план по данной дисциплине и не допускается к сдаче зачета. Для допуска к зачету студенту необходимо набрать недостающие баллы (например, по причине пропуска занятий, невыполненных или незащищенных лабораторных работ и т. д.). Это может быть тестирование, опрос (письменный, устный) по темам пропущенных занятий. Он обязан выполнить на «удовлетворительно» необходимый минимум учебных работ, который не был выполнен в семестре.

Если после изучения дисциплины в семестре и сдачи зачета рейтинг студента удовлетворяет условию $60\% \leq R < 70\%$ ($180 \leq R < 210$), то это соответствует минимальному уровню и студент считается выполнившим учебный план по дисциплине «Производство сварных конструкций. Часть 1». Однако данный уровень показывает, что у студента низкий рейтинг по дисциплине.

Если после изучения дисциплины в семестре и сдачи зачета рейтинг студента удовлетворяет условию $70\% \leq R < 80\%$ ($210 \leq R < 240$), то это соответствует среднему уровню.

Если после изучения дисциплины в семестре и сдачи зачета рейтинг студента удовлетворяет условию $80\% \leq R < 90\%$ ($240 \leq R < 270$), то это хороший результат.

Если в результате изучения дисциплины в семестре и сдачи зачета рейтинг студента удовлетворяет условию $90\% \leq R < 100\%$ ($270 \leq R < 300$), то такой рейтинг называется высоким.

Достижение студентом 300 баллов свидетельствует о превосходном результате.

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Куркин, С.А. Сварные конструкции. Технология изготовления, механизация, автоматизация и контроль качества в сварочном производстве: учебник для вузов / С.А. Куркин, Г.А. Николаев. – М.: Высш. шк., 1991. – 398 с.: ил.
2. Николаев, Г.А. Сварные конструкции. Технология изготовления. Автоматизация производства и проектирование сварных конструкций: учеб. пособие / Г.А. Николаев, С.А. Куркин, В.А. Винокуров. – М.: Высш. шк., 1983. – 344 с.: ил.
3. Николаев, Г.А. Расчет, проектирование и изготовление сварных конструкций: учеб. пособие для машиностроит. вузов / Г.А. Николаев, С.А. Куркин, В.А. Винокуров. – М.: Высш. шк., 1971. – 760 с.: ил.
4. Маслов, Б.Г. Производство сварных конструкций: учебник для студентов учреждений сред. проф. образования / Б.Г. Маслов, А.П. Выборнов. – М.: Изд. центр «Академия», 2007. – 256 с.
5. Майзель, В.С. Сварные конструкции: учебник для техникумов / В.С. Майзель, Д.И. Навроцкий. – Л.: Машиностроение, 1973. – 304 с.

Вспомогательная

1. Николаев, Г.А. Сварные конструкции. Прочность сварных соединений и деформации конструкций: учеб. пособие / Г.А. Николаев, С.А. Куркин, В.А. Винокуров. – М.: Высш. шк., 1982. – 272 с.: ил.
2. Сварка в машиностроении: справочник. В 4-х т. Т. 3 / редкол.: Г.А. Николаев (пред.) и др.; под ред. В.А. Винокурова. – М.: Машиностроение, 1979. – 567 с.: ил.
3. Виноградов, В.С. Технологическая подготовка производства сварных конструкций в машиностроении / В.С. Виноградов. – М.: Машиностроение, 1981. – 224 с.
4. Севбо, П.И. Комплексная механизация и автоматизация сварочного производства / П.И. Севбо. – Киев: Техника, 1974. – 247 с.
5. Севбо, П.И. Конструирование и расчет механического сварочного оборудования / П.И. Севбо. – Киев: Наукова думка, 1978. – 238 с.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|-----|
| Введение | 3 |
| Учебная программа..... | 5 |
| Раздел 1. Конструктивно-технологические особенности изготовления сварных конструкций..... | 10 |
| 1. Введение в дисциплину..... | 10 |
| 2. Классификация сварных конструкций и особенности отдельных типов..... | 13 |
| 3. Технологические особенности изготовления заготовок конструкций при использовании процессов сварки | 22 |
| 4. Технологичность сварных конструкций..... | 28 |
| Раздел 2. Заготовительные и транспортные операции | 45 |
| 5. Сварные и комбинированные заготовки и элементы конструкций..... | 45 |
| 6. Транспортные операции и транспортирующие механизмы..... | 53 |
| 7. Заготовительные операции | 68 |
| Раздел 3. Технологический процесс изготовления сварных конструкций и применяемая оснастка | 81 |
| 8. Рациональное построение технологических процессов изготовления сварных конструкций | 81 |
| 9. Производственный процесс изготовления сварных конструкций и его структура..... | 87 |
| 10. Сборочно-сварочные приспособления: их классификация и особенности | 102 |
| Раздел 4. Термическая обработка и контроль качества сварных соединений.... | 112 |
| 11. Виды и особенности термической обработки сварных соединений.... | 112 |
| 12. Основы контроля качества сварных соединений..... | 118 |
| Контрольные вопросы | 128 |
| Лабораторные и практические работы | 135 |
| 1. Практическая работа. Базирование заготовок на станках и в приспособлениях | 135 |
| 2. Лабораторная работа. Контроль качества сварных соединений..... | 148 |
| 3. Практическая работа. Технологичность изготовления сварных конструкций..... | 156 |
| 4. Практическая работа. Разработка принципиальной схемы приспособления..... | 167 |
| 5. Лабораторная работа. Устранение коробления элементов конструкции путем нагрева «пятнами»..... | 173 |
| 6. Практическая работа. Технологическая документация сборочно-сварочных работ | 175 |
| Рейтинговый контроль знаний | 184 |
| Литература..... | 186 |

Учебное издание

ДУДАН Александр Витальевич

ПРОИЗВОДСТВО СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Учебно-методический комплекс для студентов специальности
1-36 01 06 «Оборудование и технология сварочного производства»

В 2 частях

Часть 1

Редактор *Т. В. Булах*

Дизайн обложки *В. А. Виноградовой*

Подписано в печать 28.10.2013. Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная.
Ризография. Усл. печ. л. 10,91. Уч.-изд. л. 9,7. Тираж 30 экз. Заказ 1468.

Издатель и полиграфическое исполнение –
учреждение образования «Полоцкий государственный университет».
ЛИ № 02330/0548568 от 26.06.2009. ЛП № 02330/0494256 от 27.05.2009.
Ул. Блохина, 29, 211440, г. Новополоцк.