

О.К. Семакина



ТЕХНОЛОГИЯ ХИМИЧЕСКОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

О.К. Семакина

ТЕХНОЛОГИЯ ХИМИЧЕСКОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

*Рекомендовано в качестве учебного пособия
Редакционно-издательским советом
Томского политехнического университета*

Издательство
Томского политехнического университета
2017



УДК 66.02.002(075.8)
ББК 35.11-5я73
С30

Семакина О.К.

С30 Технология химического машиностроения : учебное пособие / О.К. Семакина ; Томский политехнический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2017. – 144 с.

ISBN 978-5-4387-0766-0

В пособии описаны основные разделы, включенные в программу дисциплины «Технология химического машиностроения». Дано описание технологических процессов обработки, применяемых при изготовлении деталей химических аппаратов, а также приведены основные технологические требования и приемы сборки теплообменных и массообменных аппаратов, изготавливаемых из различных материалов.

Предназначено для студентов, обучающихся по профилю «Машины и аппараты химических производств» в рамках направления 18.03.01 «Химическая технология». Может быть полезно широкому кругу инженерно-технических работников химического и нефтегазоперерабатывающего машиностроения.

**УДК 66.02.002(075.8)
ББК 35.11-5я73**

Рецензенты

Доктор технических наук,
профессор Северского технологического института
Национального исследовательского ядерного университета МИФИ
А.Я. Сваровский

Главный механик «ЗАО НПО "Полимер-компаунд"»
И.А. Шихалев

ISBN 978-5-4387-0766-0

© ФГАОУ ВО НИ ТПУ, 2017
© Семакина О.К., 2017
© Обложка. Издательство Томского
политехнического университета, 2017



ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ	8
1. ТЕХНОЛОГИЯ ХИМИЧЕСКОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ	9
1.1. Классификация химического оборудования	9
1.1.1. Требования к аппаратам, работающим под давлением	10
1.1.2. Требования к аппаратам, работающим при высоких или низких температурах	11
1.1.3. Требования к аппаратам, предназначенным для агрессивных сред	12
1.2. Материалы, применяемые при изготовлении аппаратов	13
1.3. Типы машиностроительных производств	15
2. ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕССЫ	17
2.1. Производственный процесс	17
2.2. Технологический процесс	17
2.3. Схема производства химической аппаратуры	18
2.4. Технологическая документация	19
3. ВИДЫ ЗАГОТОВОК	20
4. ЗАГОТОВИТЕЛЬНЫЕ ОПЕРАЦИИ	21
4.1. Правка материала	21
4.1.1. Правка листового материала	21
4.1.2. Правка сортового материала	22
4.1.3. Правка круглого проката и труб	23
4.2. Очистка материала	24
4.2.1. Окислы на поверхности проката	24
4.2.2. Способы очистки	24
4.3. Разметка. Раскрой	26
4.4. Резка листового, сортового и трубного проката	28
4.4.1. Механическая резка без снятия стружки	29
4.4.2. Фрикционная резка	31
4.4.3. Лазерная резка	32
4.4.4. Плазменная резка	33
4.4.5. Гидроабразивная резка	34
4.5. Вырубка. Образование отверстий	34



4.5.1. Пробивка отверстий	36
4.5.2. Электроискровая обработка отверстий	36
4.5.3. Химическое фрезерование	37
4.6. Обработка кромок	37
4.7. Гибка	39
4.7.1. Минимальный радиус гибки	40
4.7.2. Угол пружинения	40
4.7.3. Профилирование	41
4.7.4. Гибка труб	42
4.7.5. Гибка на прессах	43
4.7.6. Роликовые гибочные станки	44
4.7.7. Определение размеров заготовок при гибке	45
4.8. Вальцовка	46
4.8.1. Изготовление обечаек	50
4.8.2. Гибка листов в нагретом состоянии	54
4.8.3. Определение размеров заготовок обечаек	55
4.8.4. Правка цилиндрических обечаек	55
4.8.5. Гибка листов различной кривизны	56
4.9. Обкатка	57
4.10. Вытяжка. Штамповка днищ	58
4.10.1. Вытяжка через протяжное кольцо	60
4.10.2. Штамповка с применением прижима	60
4.10.3. Глубокая вытяжка	61
4.10.4. Гидравлическая вытяжка	62
4.10.5. Вытяжка взрывом	63
4.10.6. Усилие вытяжки	64
4.11. Формование	65
4.11.1. Формование листовых термопластов	65
4.11.2. Формование стеклопластиков	67
4.12. Тепловая обработка	71

5. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОСНОВНЫХ ДЕТАЛЕЙ АППАРАТУРЫ	73
5.1. Изготовление фланцев	73
5.2. Изготовление бортшайб	74
5.3. Изготовление трубных решеток	76
5.4. Технология изготовления штуцеров	77
5.5. Изготовление корпусов аппаратов	78
5.6. Изготовление компенсаторов	80
5.6.1. Линзовые компенсаторы	80
5.6.2. Волнистые компенсаторы	83



5.6.3. Неметаллические компенсаторы	88
5.7. Прокладки	90
5.8. Футерование и плакирование деталей и аппаратов	93
6. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И СБОРКИ	
ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ	97
6.1. Сборка трубчаток	98
6.2. Крепление труб в трубных решетках	100
6.2.1. Развальцовка	100
6.2.2. Приварка труб к трубным решеткам	104
6.2.3. Пайка труб в трубных решетках	104
6.3. Изготовление и сборка змеевиковых теплообменников	105
6.4. Изготовление и сборка витых теплообменников	106
6.5. Изготовление и сборка ребристых блочных теплообменников ..	107
7. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ	
И СБОРКИ КОЛОННЫХ АППАРАТОВ	111
8. ИЗГОТОВЛЕНИЕ КРУПНОГАБАРИТНЫХ АППАРАТОВ	117
9. ИЗГОТОВЛЕНИЕ АППАРАТОВ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ	120
9.1. Изготовление кованных сосудов	121
9.2. Изготовление штампованных аппаратов	123
9.3. Изготовление витых аппаратов	124
9.4. Изготовление многослойных аппаратов	126
9.4.1. Аппараты со стенкой из концентрических слоев	126
9.4.2. Рулонированные аппараты	128
9.4.3. Гильзованные аппараты	130
10. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ШАРОВЫХ РЕЗЕРВУАРОВ	132
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	135
КОНТРОЛИРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ	136
Вопросы для самопроверки	136
Тесты	137
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	143



ВВЕДЕНИЕ

Современное химическое машиностроение является многопрофильной отраслью промышленности, поставляющей оборудование всем отраслям развитого хозяйства страны. Основными задачами химического машиностроения являются повышение качества выпускаемых машин и увеличение выпуска продукции, экономия материалов и снижение трудоемкости изделий основного химического производства.

Химическая аппаратура используется в самых различных отраслях народного хозяйства. Кроме химической промышленности, она находит применение в нефтехимической и нефтеперерабатывающей, нефтяной и газовой, пищевой, целлюлозно-бумажной, фармацевтической, микробиологической, теплоэнергетике, на производствах по использованию атомной энергии в мирных целях и в ряде других производств. Химические аппараты предназначены для очистки газов, разделения суспензий и эмульсий, создания растворов, проведения теплообменных и массообменных процессов: выпарки, сушки, абсорбции, адсорбции, ректификации и экстракции.

В аппаратах осуществляются разнообразные физико-химические процессы, которые ведут при температуре от -196 до $+3000$ °С и при давлении до 320 МПа, а для получения многих химически чистых реактивов приходится применять глубокий вакуум.

Неодинаковые химические свойства перерабатываемых веществ заставляют применять для изготовления аппаратов различные конструкционные материалы. Многие химические вещества обладают сильными агрессивными свойствами. Они способны в короткий срок полностью разрушить материал, с которым соприкасаются.

Диапазон условий эксплуатации химического оборудования чрезвычайно расширен. Работы ведут в различных климатических условиях, при воздействии абразивных и агрессивных сред, поэтому перед машиностроителями стоит задача совершенствования химического оборудования: повышение его надежности, морозоустойчивости, жаропрочности, коррозионной стойкости, технологичности и эффективности.

Указанные особенности заставляют применять для химического оборудования как металлические, так и неметаллические материалы, отличающиеся высокой механической прочностью, устойчивые против коррозии или способные не разрушаться в условиях резких колебаний температур.

Значительно отличаются аппараты друг от друга и по своим габаритам. Так, для получения химических реактивов вполне пригодны аппараты с объемом в несколько десятков литров, а для обработки таких



веществ, как серная и соляная кислота, удобрения, строятся такие установки, каждая из которых располагается на площади в несколько тысяч квадратных метров.

Не менее разнообразны и технологические процессы изготовления химического оборудования. Они охватывают почти все виды обработки материалов: литье, ковку, штамповку, холодную и горячую обработку давлением, холодную обработку резанием, резку, сварку, пайку, склеивание, химическую и термическую обработку.

Химическое оборудование отличается огромным разнообразием. Трудно назвать какую-либо другую отрасль промышленности, в которой использовалось бы такое множество разных по принципу действия, конструкциям, материалам и размерам аппаратов и машин.

Химические аппараты чрезвычайно разнообразны как по конструктивному исполнению, так и по габаритам. Потребность же в аппаратах одного типа невелика. На одном и том же заводе в течение года изготавливают обычно не более двух-трех десятков однотипных конструкций, хотя номенклатура предприятия исчисляется сотнями.

Химическое аппаратостроение является типичным единичным производством, однако анализ конструкций аппаратов показывает, что все они состоят из небольшого ряда сочетаний: оболочек вращения (цилиндр, сфера, конус), опорных, соединительных и крепежных деталей. Это позволяет в единичном производстве создать условия, характерные для серийного производства, всемерно проводя унификацию и нормализацию деталей и отдельных узлов.

Важнейшим направлением развития современного химического и нефтяного машиностроения является: рост единичной мощности оборудования; увеличение выпуска оборудования и технологических линий в комплектно-блочном исполнении; расширение номенклатуры оборудования; создание химического оборудования пониженной металло- и энергоемкости; создание аппаратов для новых прогрессивных химических процессов.



СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

ЕСКД – единая система конструкторской документации;
ГОСТ – государственный стандарт;
ОСТ – отраслевой стандарт;
ТУ – технические условия;
РОСТЕХНАДЗОР – Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору;
ТН – теплообменник с неподвижной трубной решеткой;
ТУ – теплообменник с U-образными трубами;
ТК – теплообменник с компенсатором на корпусе;
ТП – теплообменник с плавающей головкой;
АРМКО – технически чистое железо (сокращённое название американской фирмы American Rolling Mill Corporation);
М – изгибающий момент;
Р – сила нагрузки;
 σ_B – предел прочности при растяжении;
 σ_T – предел текучести материала;
 τ – допускаемое касательное напряжение;
 α_H – угол пружинения заготовки;
E – модуль упругости;
 δ – толщина листовой заготовки;
 R_r – радиус гибки обечайки;
 r_1 – радиус верхнего вала листогибочной машины;
 r_2 – радиус нижнего вала листогибочной машины;
 D_y – диаметр условный;
 D_H – наружный диаметр обечайки;
 D_{cp} – средний размер обечайки;
NaOH – гидроксид натрия;
 Al_2O_3 – оксид алюминия;
 SiO_2 – диоксид кремния.



1. ТЕХНОЛОГИЯ ХИМИЧЕСКОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

Химическая аппаратура используется в самых различных отраслях народного хозяйства. Кроме химической промышленности, она находит применение в целлюлозно-бумажной, нефтехимической, пищевой, фармацевтической, атомной и других отраслях промышленности.

Особенностью химического аппаратостроения являются:

- 1) крупногабаритность (стремление к увеличению мощности оборудования приводит к трудностям при изготовлении, транспортировке, монтаже и эксплуатации);
- 2) значительная масса (требует мощных грузоподъемных средств);
- 3) большое число сложных металлоконструкций (требует увеличения объема сварочных работ, в том числе на месте эксплуатации: трубопроводная обвязка, монтажные и смотровые площадки);
- 4) высокие требования к качеству изготовления (это объекты повышенной опасности, необходимо соблюдать санитарные требования и нормы).

1.1. Классификация химического оборудования

Номенклатура химического и нефтяного аппаратостроения определяется в основном потребностями химической, нефтяной, нефтехимической, микробиологической и газовой отраслей народного хозяйства.

Классификация химической и нефтехимической аппаратуры по назначению крайне условна, т. к. в различных установках аппараты одной конструкции могут предназначаться для различных технологических целей. Поэтому в основу классификации положены важнейшие физико-химические процессы, происходящие в аппарате. С этой точки зрения приняты следующие номенклатурные группы аппаратуры:

- **теплообменные аппараты**: пластинчатые, кожухотрубчатые теплообменники, конденсаторы и испарители, аппараты воздушного охлаждения, погружные и оросительные холодильники и конденсаторы и т. д.;
- **массообменные аппараты**: ректификационные и экстракционные колонны, абсорберы и десорберы, колонны синтеза, оросительные башни и др.;
- **аппараты-реакторы**: реакторы, регенераторы, реакционные камеры;
- **нагревательные аппараты огневого действия**: огневые подогреватели, трубчатые печи, котлы-утилизаторы и т. д.;
- **аппараты для разделения сред и очистки продуктов от примесей**: сепараторы, фильтры, центрифуги, отстойники, циклоны и т. д.;
- **мешалки-аппараты**, предназначенные для смешения сред;



– *сосуды для хранения продуктов*: сферические и цилиндрические резервуары, мерники, емкости и т. д.

Химическая аппаратура классифицируется по следующим признакам: конструктивные характеристики, толщина стенки, эксплуатационные параметры, виды материалов, габаритность.

1. По конструктивным признакам, несмотря на многообразие химических процессов и условий их проведения, все аппараты можно объединить в три основные группы:

- емкостные (сборники, мерники, резервуары, баки, цистерны, автоклавы, реакторы, баллоны);
- составные и разборные (скрубберы, абсорберы, ректификационные колонны, сепараторы, циклоны, фильтры);
- трубчатые (кожухотрубчатые, змеевиковые и блочные теплообменники).

2. По толщине стенки сосуда аппаратов делятся на тонкостенные и толстостенные. Такое деление предопределяет выбор технологии изготовления. Сосуды с толщиной до 36 мм включительно относятся к тонкостенным, выше 36 мм – к толстостенным. Величина 36 мм определена несколькими конструктивными и технологическими признаками. Толстостенные сосуды, изготовленные из углеродистых сталей, подвергаются термообработке.

3. К эксплуатационным параметрам относятся температура, рабочее давление и состав рабочей среды. Данные параметры определяют основные характеристики элементов аппарата: диаметр, толщину стенки, материал.

4. В зависимости от эксплуатационных и конструкторских требований корпуса аппаратов изготавливаются из однослойного и двухслойного листового проката. Однослойные корпуса аппаратов изготавливаются из углеродистых, легированных и высоколегированных сталей. Выбор металла определяет особенность выполнения заготовительных операций, способ и вид подготовки кромок под сварку, технологию сборки и сварки, вид испытаний и транспортировку.

5. В зависимости от габаритов аппаратов технология их сборки может различаться. Габаритные аппараты отправляются на монтажные площадки в полностью собранном виде по железной дороге. Негабаритные аппараты поставляются на площадки в блочном исполнении и монтируются на месте.

1.1.1. Требования к аппаратам, работающим под давлением

С целью обеспечения строгого контроля за конструированием, технологией изготовления и безопасной эксплуатацией аппаратов, работающих под давлением, организован Комитет по надзору за безопасным ведением работ в промышленности (Госгортехнадзор), позже переиме-



нованный в Ростехнадзор. Инспекцией Госгортехнадзора разработаны «Правила безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением» ПБ 10-115-96, которые обязательны для всех министерств, предприятий и организаций. По этим «Правилам ...»:

1) должны быть сконструированы и рассчитаны на прочность и герметичность любые емкости, работающие под давлением свыше 0,07 МПа;

2) конструкция сосудов и аппаратов должна обеспечивать возможность осмотра и ремонта их внутренних частей (съёмные крышки, днища; устройство лазов и люков диаметром не менее 400 мм);

3) каждый сосуд должен быть снабжен: запорными устройствами для отключения пара, газа или жидкости; трубопроводами для продувки и удаления рабочей среды; манометрами; предохранительными клапанами с кожухом или колпаком;

4) емкости должны изготавливаться на предприятиях, располагающих техническими средствами, обеспечивающими качественное изготовление и контроль. На каждое изделие составляется техническое условие – ТУ;

5) материалы, используемые для изготовления емкостей, могут быть допущены в производство только при наличии сертификатов;

6) каждый аппарат или сосуд должен иметь на внешней поверхности на видном месте металлическую табличку с обозначениями завода-изготовителя, года изготовления, рабочего давления;

7) на каждое изделие составляют паспорт.

1.1.2. Требования к аппаратам, работающим при высоких или низких температурах

При повышении температуры ухудшаются механические свойства металлов, и максимальная температура определяется **пределом ползучести** (величина представляет максимальное длительно действующее напряжение, при котором суммарная деформация не превосходит некоторую допускаемую величину – обычно 1 %):

1) в качестве конструкционных материалов для аппаратов, работающих под давлением, с температурой стенки выше 450 °С применяются только специальные высоколегированные стали. Углеродистые и качественные углеродистые стали применяются при температуре 400...450 °С. Для цветных металлов (меди, латуни, бронзы и др.) установлена более низкая температура, т. к. наблюдаемое явление хрупкости обусловлено присутствием вредных примесей свинца, сурьмы, висмута и др.;

2) в аппаратах с высокотемпературными процессами не применяют пластмасс, т. к. они уже при температуре 100...150 °С становятся пластичными;



3) сосуды, обогреваемые непосредственно пламенем или газами с температурой выше 450 °С, снабжаются указателем уровня жидкости;

4) в конструкциях аппаратов обязательно учитываются температурные деформации различных частей изделия, когда наблюдаются местные перегревы или части аппарата изготовлены из разных материалов.

Указанные выше требования относятся и к аппаратам, работающим при пониженных температурах. Необходимо иметь в виду, что многие стали при температуре ниже –40 °С становятся хрупкими, а цветные металлы, наоборот, улучшают свои пластические свойства.

Для предотвращения тепловых потерь внешняя поверхность аппаратов, при низких и высоких температурах, должна быть покрыта слоем тепловой изоляции.

1.1.3. Требования к аппаратам, предназначенным для агрессивных сред

При конструировании и изготовлении химических аппаратов приходится особо учитывать способность материалов сопротивляться коррозии. **Коррозия** – разрушение поверхности материала, вызываемое химическими или электрохимическими процессами.

Наиболее распространенными являются местная и сплошная коррозия. Оценка коррозионной стойкости металлов и сплавов дается в соответствии с ГОСТ 5272 по глубинному показателю коррозии, который характеризует уменьшение толщины металла, измеряемой в миллиметрах в год.

Скорость коррозии резко возрастает с повышением температуры и давления и зависит от природы материала, характера агрессивной среды, концентрации раствора, характера обработки материала и ряда других факторов.

Некоторые металлы при взаимодействии с агрессивной средой образуют на поверхности окисную пленку, которая предохраняет от коррозии.

Основные методы защиты аппаратов от коррозии:

- подбор конструкционных материалов, стойких против действия рабочей среды;
- подвод к аппарату электрического тока, противоположного по знаку коррозионному току (катодная электрохимическая защита);
- покрытие менее стойких материалов более стойкими методом распыления;
- создание на материале защитной пленки путем химической или электрохимической реакции на его поверхности;
- защита основного материала слоем другого, коррозионно-стойкого (футеровка).



1.2. Материалы, применяемые при изготовлении аппаратов

Выбор материала. Материал, предназначенный для изготовления деталей аппарата, должен удовлетворять требованиям, обусловленным конструкцией, технологии обработки и эксплуатации аппарата. При выборе материала следует учитывать следующие показатели: прочность, удельный вес, теплопроводность, коэффициент линейного расширения, сопротивление колебания температур, стойкость против химической и электрохимической коррозии, стойкость против эрозии, влияние материала на рабочую среду, пористость материала, изменение свойств при термической обработке, пластичность, возможность обработки резанием, вязкость и ковкость, литейные свойства, свариваемость, возможность пайки и склеивания, стоимость материала, дефицитность материала.

Стали. В аппаратостроении наибольшее распространение получили углеродистые и низколегированные стали с содержанием легирующих добавок до 2,5 %. Эти стали обладают высокой пластичностью, способны свариваться, отливаться, коваться и штамповаться, хорошо обрабатываются резанием.

С повышением содержания углерода снижается пластичность и ухудшается свариваемость стали, поэтому для сварных аппаратов рекомендуется применять углеродистые стали с содержанием углерода не более 0,3 % и легированные стали с содержанием углерода не более 0,2 %.

Для аппаратов, работающих при высоких температурах и в условиях взаимодействия агрессивных сред, применяются высоколегированные хромоникелевые и хромомолибденовые стали марок 1X18H9T, X18H11Б, X18H12M2T и X18H12M3T. Эти стали могут быть сварены и обработаны давлением как в горячем, так и в холодном состоянии, но они очень чувствительны к наклепу.

С целью экономии дорогостоящих легированных сталей в аппаратах, предназначенных для агрессивных сред, используют двухслойные стали, состоящие из основного углеродистого и кислотостойкого слоев.

Двухслойные стали изготавливают толщиной от 3 мм и выше с кислотостойким слоем от 5 до 50 % общей толщины листа. Наиболее важным условием подбора марок свариваемых материалов является равенство коэффициентов линейного расширения. Двухслойные стали хорошо поддаются механической и термической обработке.

Чугуны. Второй обширной группой материалов, применяемых в аппаратостроении, являются чугуны. Для изготовления аппаратов, подвергающихся воздействию кислот, применяют серый чугун и высококремнистые чугуны. Для аппаратов со щелочной средой – легированные чугуны, химическая стойкость которых повышена добавками никеля,



хрома, молибдена или кремния. Чугуны не обладают пластичностью, их штамповка невозможна даже в нагретом состоянии. Высокая хрупкость чугунов не позволяет применять ударные нагрузки. Основным способом переработки чугунных заготовок в изделия является литье. Детали, изготовленные из чугуна, могут быть сварены, а в отдельных случаях спаяны или склеены.

Медь и ее сплавы. Техническая медь имеет высокую электропроводность и теплопроводность, хорошо обрабатывается давлением, как в горячем, так и в холодном состоянии. Существенный недостаток меди – плохо сваривается газовой сваркой и быстро корродирует в среде некоторых кислот.

Медно-цинковые сплавы – **латуни** – обладают хорошими механическими и технологическими свойствами. Добавки олова, марганца, никеля, алюминия, железа и др. сообщают сплавам повышенные механические и физические свойства. Латуни достаточно устойчивы в отношении общей коррозии, но в напряженном состоянии они весьма чувствительны к коррозионному растрескиванию. Эти сплавы при хранении на воздухе легко разрушаются, поэтому их необходимо подвергать отпуску при температуре 280...300 °С.

Бронзы представляют собой сплав меди, однако оловянные бронзы используются ограниченно из-за дефицитности олова. Их успешно заменяют безоловянными бронзами, получаемыми путем сплава меди с алюминием (1...10 %), бериллием (1,6...2,0 %) или кремнием (до 3,5 %). Высокими механическими и антикоррозионными свойствами обладают кремнистые бронзы. Они отлично обрабатываются давлением, хорошо свариваются и паяются, немагнитны, не дают искры при ударах и не теряют своей пластичности при низких температурах.

Медь и ее сплавы нашли широкое применение в промышленности глубокого холода, органического синтеза и органических кислот.

Алюминий. Алюминий обладает высокой электропроводностью, теплопроводностью и сопротивлением коррозии при малом удельном весе; отлично обрабатывается давлением в холодном и горячем состоянии. Образование на поверхности алюминия окисной пленки увеличивает его коррозионную стойкость, однако ее наличие мешает проведению сварки и пайки.

Алюминий и его сплавы (с марганцем АМц, с магнием АМг, с магнием и кремнием АВ) применяются в промышленности глубокого холода, в производстве аммиачной селитры, азотной кислоты.

Титан. Титан в 2 раза легче и в 6 раз менее теплопроводен, чем сталь. Его сплавы в 2–3 раза прочнее алюминиевых и превосходят по прочности некоторые легированные стали. Титан и его сплавы облада-



ют очень высокой стойкостью против действия агрессивных сред и высоких температур, приближаясь по стойкости к платине. Из титана можно изготавливать теплообменники для различных кислотных оснований, автоклавы для переработки горячих газов и другие аппараты, работающие в условиях агрессивной среды и высокого давления.

Неметаллические материалы. В химической промышленности применяют машины, аппараты, узлы и другое оборудование, выполненное из неметаллических материалов. Такие процессы, как хлорирование, бромирование, получение хлор- и фторорганических продуктов, проводят в реакторах из неметаллических материалов.

Все неметаллические материалы можно разделить на две группы:

1. Материалы неорганического происхождения:

- а) горные породы;
- б) силикатные изделия, получаемые плавлением горных пород (каменное литье, плавленый кварц, стекло);
- в) силикатные изделия, получаемые путем обжига раздробленных и затем сформированных материалов (керамика, фарфор);
- г) вяжущие силикатные материалы (цемент, бетон).

2. Материалы органического происхождения:

- а) пластические массы (фаолит, текстолит, винипласт, полиэтилен, полипропилен, фторопласт, стеклопластики);
- б) каучуки (резина, эбонит);
- в) вяжущие материалы (арзамиты);
- г) непластичные материалы (древесина, уголь, графит).

1.3. Типы машиностроительных производств

В зависимости от программы выпуска изделий и характеристик изготовленной продукции различают три типа производств в соответствии с ГОСТ 14.004–83: единичное, серийное и массовое.

Программа выпуска – перечень изготавливаемых или ремонтируемых изделий с указанием объема выпуска по каждому наименованию.

Объем выпуска – количество изделий, изготавливаемых или ремонтируемых предприятием за определенный промежуток времени.

Единичное производство характеризуется широкой номенклатурой изготавливаемых или ремонтируемых изделий и малым объемом их выпуска.

Характеристика единичного производства:

- а) на предприятиях с единичным производством применяют преимущественно универсальное оборудование;



б) оборудование располагают по групповому признаку, т. е. по участкам (токарный, сверлильный, шлифовальный и др.);

в) сборка изделий осуществляется с применением пригоночных операций (вал – втулка);

г) для изготовления деталей используются заготовки простейших форм (точность таких заготовок невысока);

д) работают станочники высокой квалификации;

е) техническая документация сокращена и упрощена;

ж) отсутствуют технически обоснованные нормы затрат времени (пользуются опытно-статистическими нормами).

Серийное производство характеризуется ограниченной номенклатурой изделий, изготавливаемых или ремонтируемых периодически повторяющимися партиями, и сравнительно большим объемом выпуска.

Характеристика серийного производства:

а) часть оборудования и оснастки – универсального назначения;

б) оборудование расположено в последовательности технологического процесса обработки для групп деталей, требующих одинакового их порядка;

в) частично соблюдается принцип взаимозаменяемости при сборке;

г) заготовки обрабатываются партиями;

д) техническая документация и нормирование разрабатываются подробно только для сложных и ответственных изделий.

Массовое производство характеризуется узкой номенклатурой и большим объемом выпуска изделий, непрерывно изготавливаемых или ремонтируемых в течение продолжительного времени.

Характеристика массового производства:

а) объекты производства стабильны;

б) операции закреплены за определенными видами оборудования, которые расположены по потоку;

в) широкое применение специализированного и специального оборудования (шаблоны и др.);

г) максимально возможная механизация и автоматизация (применение робототехники);

д) строгое соблюдение принципов взаимозаменяемости;

е) используются заготовки с минимальными припусками (точное литье, горячая и объемная штамповка, прессование);

ж) техническая документация изготовлена тщательным образом.



2. ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕССЫ

2.1. Производственный процесс

Производственный процесс – совокупность действий людей и орудий труда, необходимых для изготовления и ремонта продукции на данном предприятии. ГОСТ 14.004–83 предусматривает выполнение следующих работ:

- 1) получение заготовок;
- 2) обработка заготовок (электромеханическая, термическая и др.);
- 3) контроль качества;
- 4) транспортирование (внутри цеха, между предприятиями, цехами);
- 5) складирование;
- 6) сборка, регулировка, испытание.

2.2. Технологический процесс

Технологический процесс – это часть производственного процесса, в результате которого изменяется форма или физические свойства материалов, заготовок и деталей или отдельные детали соединяются в сборочные единицы. К элементам технологического процесса относятся: операция, установка, позиция, переход, проход, рабочий прием, рабочее движение.

Операция – часть технологического процесса обработки одной или нескольких одновременно обрабатываемых деталей, выполняемая непрерывно на одном рабочем месте определенным видом оборудования, одним или несколькими рабочими.

Установка – часть операции, выполняемая при закреплении одной заготовки или нескольких одновременно обрабатываемых на станке (операция подгибки кромок листа с двух сторон на прессе состоит из двух установок).

Позиция – каждое из различных положений детали относительно станка или неподвижного инструмента при одной установке (операция сварки n продольных швов обечайки, установленной на роликовом стеллаже, состоит из одной установки и n позиций).

Переход – часть операции, установки или позиции, выполняемая над одним участком одним инструментом, работающим при одном и том же режиме процесса. Изменение одного из перечисленных элементов приводит к новому переходу, операция автоматической сварки двухслойного стыкового шва имеет два перехода.



Проход – один из нескольких одинаковых переходов, непосредственно следующих друг за другом (переход в операции вальцовки листа, как правило, состоит из нескольких проходов, т. е. лист пропускается между вальцами 2–3 раза при одной установке).

Рабочий прием – часть перехода или прохода, представляющая собой замкнутый цикл рабочих движений (смена электрода, зажигание электрической дуги, нажатие пусковой кнопки контактора).

Рабочее движение – наименьший элемент операции. Рабочий прием состоит из движений.

2.3. Схема производства химической аппаратуры

Различают следующие основные группы и виды операций:

I. Заготовительные:

- первичная обработка основного металла (правка листового и сортового проката, очистка металла);
- обработка заготовок (разметка, раскрой, обработка кромок, гибка заготовок);
- прессовые (горячая и холодная штамповка).

II. Сборочные:

- сборка свариваемых элементов;
- до сварки продольных и поперечных швов корпусов аппаратов;
- до сварки деталей аппаратов: штуцеров, лап, фланцев и др.
- сборка трубных узлов и секций трубопроводов;
- сборка монтажных узлов.

III. Сварочные: автоматическая, ручная дуговая, контактная.

IV. Термические:

- предварительная термическая обработка до сварки и в процессе ее (подогрев);
- термическая обработка после обработки давлением и сварки (отжиг, высокий отпуск и др.).

V. Сборочные: узлов, аппаратов.

VI. Операции контроля:

- контроль качества материалов;
- межоперационный контроль;
- контроль качества аппаратов.



2.4. Технологическая документация

Разработка технологического процесса является центральной задачей подготовки производства. Исходным материалом для составления технологических процессов служат:

- 1) чертеж общего вида аппарата;
- 2) рабочие чертежи деталей и узлов;
- 3) технические условия на изготовление аппарата и его деталей;
- 4) программа выпуска изделий;
- 5) данные об имеющихся на предприятии станках и стационарном оборудовании;
- 6) сборники ГОСТов и действующих на предприятии нормалей;
- 7) каталоги режущего, мерительного и вспомогательного инструмента.

Технологический процесс записывается в специально разработанные для этой цели карты. Количество применяемых документов должно быть минимальным.

В аппаратостроении для описания технологических процессов чаще всего применяются *операционные технологии* (карты) или *маршрутные технологии*.

При составлении *операционной технологии* должны быть учтены все специфические свойства применяемого для данной детали материала, указаны инструмент и методы обработки, отмечены характерные рабочие движения, подробно освещены все вспомогательные работы, включая операции контроля.

При составлении *маршрутной технологии* достаточно последовательно перечислить элементы технологического процесса с указанием применяемого оборудования, станков и инструмента.



3. ВИДЫ ЗАГОТОВОК

В аппаратостроении для заготовок применяют главным образом прокат – листовой, сортовой и специальный. При выборе заготовок необходимо учитывать геометрическую форму и размеры заготовки, а также возможные отходы металла.

Листовой прокат. Основной вид проката, применяемый для изготовления корпусов колонной и трубчатой аппаратуры, – листовой. Из проката этого вида изготавливают большинство деталей внутренних устройств аппарата: тарелки, днища, решетки.

Согласно сортаменту на толстолистовую сталь листы выполняют толщиной 4...160 мм. В зависимости от толщины листы можно изготавливать шириной до 3800 мм, длиной до 12000 мм и более и поставлять в рулонах, максимальный вес рулона – не более 10 т.

Особое значение имеет специализированный прокат – фланцевый, который имеет четыре размера: №№ 1–4. Применение фланцевого проката позволяет значительно снизить трудоемкость производства и повысить точность размеров, т. к. профиль проката имитирует профиль детали.

Трубы. В конструкциях печей, теплообменной аппаратуры, трубопроводов широко используется трубный прокат. В зависимости от характера производства стальные трубы делятся на *бесшовные* и *сварные*.

Сортаментом бесшовных труб предусмотрены *горячекатаные трубы* наружным диаметром 25...550 мм и более (до 800 мм), толщиной стенки 2,5...75 мм, длиной 4...12,5 м и *холоднотянутые трубы* наружным диаметром 1...200 мм, толщиной стенки 0,1...12 мм и длиной до 9 м.

Трубы больших размеров диаметром 426...1620 мм, длиной до 24 м и толщиной стенки 4...16 мм выполняют способами дуговой сварки.

Электрической контактной сваркой изготавливают трубы наружным диаметром 0,5...152 мм, толщиной стенки 0,5...5,5 мм и длиной до 8,5 м.

Газовые трубы выполняют наружным диаметром 13,5...165 мм, толщиной стенки 2,25...4,5 мм и длиной до 12 м.

В отличие от бесшовных сварные трубы обладают различной коррозионной стойкостью в зависимости от термической обработки и области их применения. Это объясняется структурной неоднородностью вследствие наличия в шве зоны термического влияния и диффузии.

Поковки и стальные отливки по форме и размерам должны соответствовать чертежам готового изделия с припусками на механическую обработку, технологическими напусками и допусками на точность изготовления. Качество поверхности, механические свойства, допускаемые дефекты и методы их устранения должны соответствовать требованиям ГОСТ 8479, ГОСТ 25054, ГОСТ 26159, ГОСТ 977.



4. ЗАГОТОВИТЕЛЬНЫЕ ОПЕРАЦИИ

В процессе изготовления деталей возникает необходимость изменять размеры, форму, а в некоторых случаях и физико-механические свойства первоначально выбранной заготовки. Эти изменения достигаются различными способами обработки: правкой, резкой, вырубкой, гибкой, вальцовкой, обкаткой, вытяжкой, формованием, механической и тепловой обработкой.

Резкой, вырубкой и механической обработкой изменяют размеры заготовки. Правка, гибка, вальцовка, обкатка, вытяжка, формование позволяют изменять форму заготовки, не уменьшая ее объема. Тепловая обработка применяется для улучшения физико-механических свойств материала.

Выбор способа обработки зависит от свойств обрабатываемого материала, требований к качеству поверхностей, а также от наличия на предприятии оборудования.

4.1. Правка материала

Прокат, выпускаемый металлургическими заводами, в процессе транспортировки и хранения иногда получает различные искривления. Без дополнительной обработки он не пригоден для изготовления деталей аппаратов. Для выпрямления сортового и профильного проката применяют правку.

Правка – разновидность технологии обработки давлением. Правка листов малой и средней толщины производится в холодном состоянии. Холодная правка сопровождается появлением остаточных деформаций, неравномерно распределенных по длине и ширине листа; это следует учитывать при дальнейшей обработке. Для правки листов толщиной свыше 40 мм применяют горячую правку. Профильный прокат и трубы правят как в холодном, так и в горячем состоянии.

4.1.1. Правка листового материала

Для холодной правки листового материала применяют листопривальные вальцы. В этой машине правку производят при помощи гибочных роликов (рис. 4.1).

Лист движется за счет трения, возникающего между поверхностью роликов и материалом и направляется между рядами роликов. При этом зазор между ними делается таким, чтобы во время продвижения лист несколько раз подвергался знакопеременному изгибу. Правка произво-



дится за два-три перехода. Величину прогиба можно регулировать, перемещая верхний ряд роликов по вертикали. Число роликов на листо-правильных вальцах колеблется от 5 до 11. Для правки тонких листов необходимо большее число роликов.

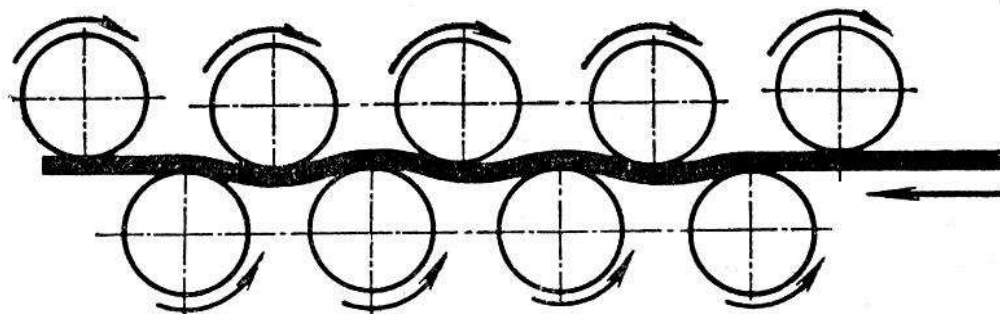


Рис. 4.1. Схема правки листового материала на листоправильных вальцах

На качество правки влияет правильно выбранное расстояние между роликами (шаг). При выборе величины шага рекомендуется пользоваться данными, приведенными в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Влияние толщины листа на расстояние между роликами

Толщина листа, мм	4–16	6–20	8–30	12–40
Шаг роликов, мм	220	220	300	400

Диаметр роликов берется равным 0,9...0,95 величины шага. Скорость правки – 0,06...0,3 м/с. Усилие правки рассчитывается по максимально допустимой силе, приложенной к одному ролику,

$$P = \frac{2b\delta^2\sigma_{\text{изг}}}{3t},$$

где b – максимальная ширина листа, м; δ – максимальная толщина листа, м; $\sigma_{\text{изг}}$ – временное сопротивление изгибу, Н/м²; t – расстояние между осями правильных роликов, м.

Правка очень тонких листов производится на правильно-растяжных машинах.

4.1.2. Правка сортового материала

Правка сортового материала различных профилей (швеллер, уголок и др.) производится на сортоправильных вальцах, которые работают по тому же принципу, что и листоправильные машины. Машины такого



типа имеют от 5 до 9 консольных роликов. Конфигурация роликов в разрезе соответствует профилю подлежащего правке сортового металла. Скорость правки – 0,01...0,05 м/с.

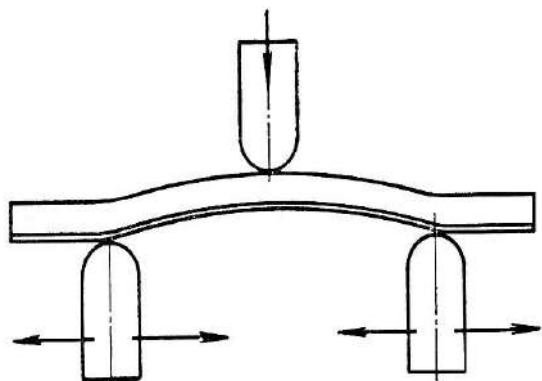


Рис. 4.2. Схема правки проката на прессах

Правку сортового материала можно производить и на гибочных прессах. На таких прессах участок металла, подлежащий правке, помещается между двумя опорами и давяльником, при этом выпуклая часть профиля устанавливается против давяльника (рис. 4.2). Выпрямление профиля происходит за счет усилий подвижного давяльника. Опоры делаются подвижными в направлении, перпендикулярном к движению давяльника; это позво-

ляет менять расстояние между опорами в зависимости от характера искривления профиля.

Для правки профиля изготавливают прессы с усилием до 500 т, с помощью которых можно выпрямлять сортовой прокат, имеющий наибольший размер по сечению до 450 мм и длину до 10 м.

4.1.3. Правка круглого проката и труб

Правка труб и прутков небольших диаметров производится с помощью простого приспособления, представляющего волнообразно изогнутую трубку, которая вставляется в шпиндель токарного станка. Правильное приспособление изготавливают из стальной высокоуглеродистой бесшовной трубы. Внутренняя поверхность трубы шлифуется. Искривление трубки рассчитывается так, чтобы материал, подлежащий правке, во время вращения приспособления подвергался быстрому знакопеременному изгибу. Возникающие при этом напряжения должны быть выше предела текучести, но не выше предела прочности (рис. 4.3).

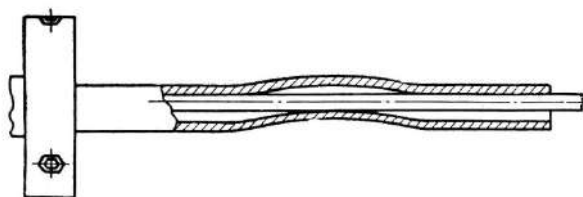


Рис. 4.3. Правка труб на токарном станке



Правку прутков и труб можно производить также на ролико-правильных станках. Длинные тонкие отожженные трубы из мягких металлов часто выпрямляют вручную при помощи ударов на мягком основании. Трубы больших диаметров исправляют на правильных прессах.

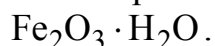
4.2. Очистка материала

4.2.1. Окислы на поверхности проката

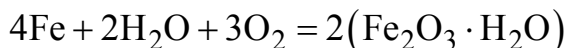
В результате прокатки на поверхности стали образуется **окалина**. За время транспортировки и нахождения на складе на поверхности стали может образоваться **ржавчина** и появиться **загрязнение**.

Ржавчина – продукт коррозии железа, образуемый под действием кислорода в присутствии воды и являющийся основным видом загрязнения металлической поверхности.

Бурая рыхлая масса ржавчины состоит главным образом из водной окиси железа, не связанной с металлом, поэтому не защищает его от дальнейшего разрушения. Ее состав приблизительно отвечает формуле



Процесс коррозии можно выразить следующим уравнением:



Другой разновидностью неметаллических соединений из числа наблюдаемых на поверхности стали является **окалина**, которая образуется в процессе прокатки и термической обработки. Окалина представляет собой закись-окись железа Fe_3O_4 .

При автоматической сварке под флюсом металла, покрытого окалиной, в шве может появиться пористость. При значительном количестве окалина следует ожидать серьезных изменений химического состава и физических свойств шлака, образуемого при сварке.

Загрязнение поверхности металла соединениями типа SiO_2 , Al_2O_3 (песок, глинозем и др.) может в той или иной степени изменить химический состав и физические свойства шлаков, образующихся при сварке.

4.2.2. Способы очистки

Ржавчину, окалину и загрязнения на поверхности металла можно удалять различными способами:

- химическим (травлением разбавленными кислотами);
- термическим (методами газопламенной обработки металла);
- механическим (на металлорежущих станках, абразивными инструментами, стальными щетками и др.)



Очистка травлением – разновидность мокрой химической очистки. Для этой цели применяют слабые растворы кислот, в которые погружают или которыми смачивают обрабатываемые поверхности или изделия. После травления металл нейтрализуют щелочью, затем промывают водой и сушат.

При **термическом методе очистки** проката от окалины и ржавчины применяют многопламенную газовую горелку. При очистке поверхность нагревается до температуры 150...200 °С. Если поверхность очищается за два прохода горелки, то последний проход осуществляется после полного охлаждения металла. Отделение окалины объясняется различием коэффициентов линейного расширения железа и его окислов. Ржавчина $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ обезвоживается при нагреве.

В горелки подается смесь различных горючих газов с кислородом: природный газ, пропан, бутан, ацетилен и др. Горелка за один проход нагревает поверхность шириной до 150...200 мм. Скорость перемещения ее – 0,5...10 м/мин. Газопламенная очистка обязательно сопровождается механической чисткой.

Механическую чистку металла можно производить на металлорежущих станках одновременно с обработкой кромок сварных швов.

Поверхность металла очищают также шлифовальными кругами и щетками с электроприводом.

Однако основными способами очистки поверхности металлических заготовок являются **дробеметный способ**, а также **пескоструйная и дробеструйная очистка**.

Пневматическая пескоструйная и дробеструйная очистка. Действие струи песка или дроби на поверхность аналогично действию абразивных материалов. Применяют пескоструйные и дробеструйные камеры периодического действия. В камеру помещают партию заготовок, которые после очистки убирают. Более совершенными являются камеры непрерывного действия. Через них заготовки проходят непрерывно на транспорте и подвергаются действию струи от сопел, закрепленных внутри камеры в разных местах с целью максимального охвата обрабатываемой поверхности за одну установку или один проход. Скорость подачи металла (скорость транспортера) – 0,9...1,0 м/мин; расход песка – около 3200 кг/ч.

Механическая дробеметная очистка имеет значительные преимущества в энергетическом отношении и эффективности процесса. В этом случае мощность, по сравнению с пневматическим методом очистки, уменьшается в 5–6 раз. Основными частями дробеметного аппарата являются распределительное и рабочее колеса с лопатками. Чугунная дробь под действием центробежных сил выбрасывается через



рабочее колесо со скоростью 60 м/с на очищаемую заготовку. Число оборотов ротора – 2000...2500 об/мин.

4.3. Разметка. Раскрой

Разметкой называется операция, состоящая в переносе на поверхность заготовки с чертежа или образца размерных точек или линий с учетом припусков, необходимых для последующей обработки.

Различают припуски трех видов: припуски на обработку, припуски на деформацию и конструктивные припуски.

Припуски на обработку учитывают глубину обработки резанием, т. е. тот слой материала, который необходимо снять, чтобы из волнистой шероховатой поверхности заготовки получить ровную и гладкую поверхность детали согласно классу чистоты, предусмотренному чертежом.

Припуски на деформацию должны учитывать законы изменения формы заготовок при обработке давлением (вальцовке, гибке, вытяжке).

Конструктивные припуски необходимы при сварке и пайке для создания прочного соединения.

Различают два метода разметки: камеральный и плазовый.

Камеральный метод заключается в переносе размеров на материал по предварительно разработанным эскизам развертки. Эскизы содержат размеры, вычисленные по данным рабочих чертежей деталей.

Плазовый метод разметки заключается в том, что развертка выполняется в натуральную величину на специально подготовленной плоскости, называемой **плазом**, или непосредственно на металле.

В аппаратостроительных цехах в большинстве случаев приходится иметь дело с разметкой листового материала. Заготовка, полученная из листового материала, носит название **развертки**. При вычерчивании развертки на лист должны быть нанесены все размеры, необходимые для определения линии обрезки, обработки кромок, просверливания или просечки отверстий, а также линии, по которым плоская развертка сворачивается в пространственную фигуру.

Криволинейные контуры строятся по координированным точкам (рис. 4.4). В этом случае разметку следует начинать с выбора измерительной базы, которой может быть осевая линия или одна из сторон. Не рекомендуется вести разметку, последовательно отмеряя отрезки от точки к точке, т. к. это приводит к накоплению ошибки. Разметку следует вести, всякий раз измеряя размер от одной и той же точки или линии, принятой за измерительную базу.



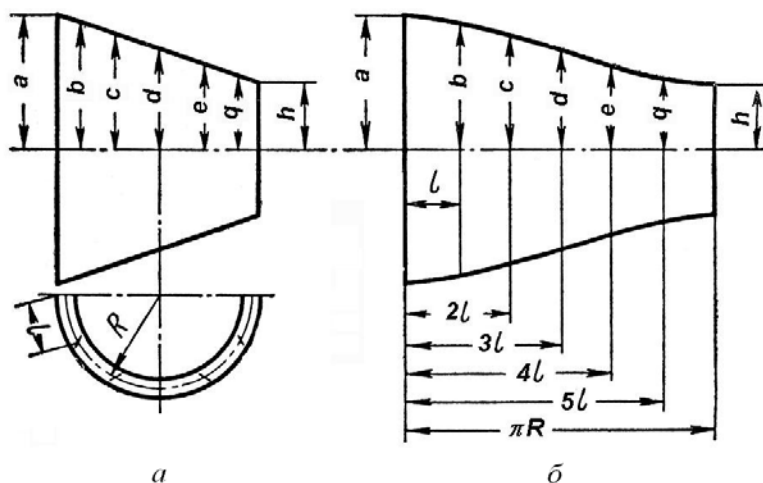


Рис. 4.4. Разметка криволинейного контура:
а – деталь; б – развертка детали

При разметке применяются различные измерительные и специальные разметочные инструменты. Для улучшения видимости разметочных линий следует выбивать на них с помощью кернера на небольшом расстоянии друг от друга ряд неглубоких точек. Разметку чаще всего производят на специальных чугунных разметочных плитах.

При серийном изготовлении деталей значительно выгоднее применять вместо индивидуальной разметки **копирование**.

Копирование (наметка) – нанесение на заготовку формы и размеров по шаблону или готовой детали.

Операция копирования заключается в следующем:

- на лист материала накладывается шаблон или готовая деталь;
- шаблон скрепляется с листом с помощью зажимов;
- очерчиваются наружные контуры шаблона;
- для улучшения видимости линий производится накернивание.

Шаблоны изготавливают по эскизам с учетом всех видов припусков. Материалом для шаблонов могут служить тонколистовая сталь, жель, картон. Способ расположения заготовок деталей на материале называется **раскром**.

Существуют три основных способа раскром листов:

1. Индивидуальный раскрой, при котором материал разрезается на полосы для изготовления одноименных деталей (пластинок для штамповки колец Рашига, полос для прокладок теплообменников).

2. Смешанный раскрой, при котором на листе размечают комплект деталей. Смешанный раскрой позволяет сберечь металл, но при этом увеличивается трудоемкость, т. к. возрастает количество операций и переналадок оборудования.



Для смешанного раскроя разрабатывают раскройные карты, которые представляют эскизы размещения деталей на металле, вычерченные в масштабе на листе бумаги. Раскройные карты составляют с таким расчетом, чтобы разместить на листах весь необходимый для изготовления узлов комплект деталей и обеспечить наиболее рациональную и удобную резку заготовок. На рис. 4.5 дан пример раскройных карт циклона, из которого видно, что правильный раскрой обеспечивает прямолинейную резку.

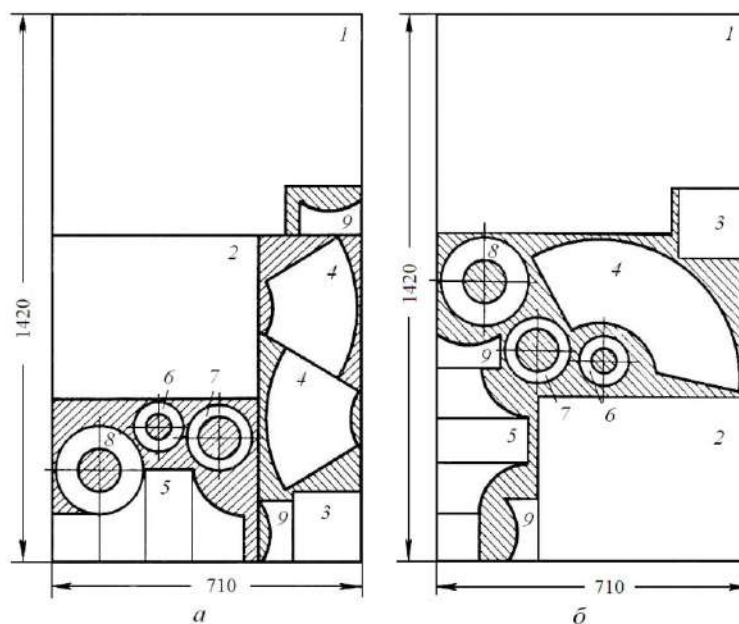


Рис. 4.5. Раскройные карты:
а – правильный раскрой; б – нерациональный раскрой

3. Групповой раскрой. При этом виде раскроя вначале из листа вырезаются крупные заготовки, из отходов раскраиваются детали средней величины, а обрезки используются для мелких деталей. Этот раскрой является наиболее прогрессивным для единичного производства.

4.4. Резка листового, сортового и трубного проката

Операция резки заключается в отделении части материала от исходного листа с целью получения заготовок. Все способы резки можно разбить на три группы: механическая, газопламенная и электродуговая.

С помощью механической резки обрабатывается листовый материал толщиной до 40 мм и большая часть сортового проката. Механическая резка может быть двух видов:

- без снятия стружки (гильотинные и дисковые ножницы, пресса);



– со снятием стружки (отрезанием резцом, фрезерование, резка дисковой пилой).

4.4.1. Механическая резка без снятия стружки

Для резки металла без снятия стружки применяют различные типы ножниц. Процесс резки на ножницах основан на создании ножами уси-

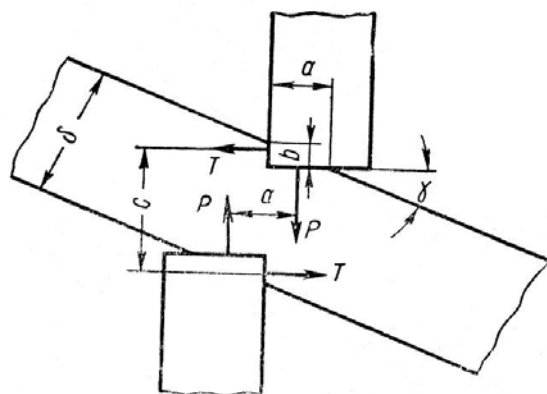


Рис. 4.6. Схема распределения усилий при резании

лий, превышающих предел прочности материала. В начале процесса происходит смятие материала, а затем образуется напряжение сдвига, превышающее допустимое касательное напряжение. Отделение одной части от другой начинается при погружении одного из ножей в материал на глубину, равную 0,2...0,5 толщины заготовки. Так как сила P приложена к ножам в разных плоскостях, возникает изгибающий момент $M = Pa$ (рис. 4.6) и противодействующий ему момент $M_1 = Tc$,

где T – противодействующая сила; a, c – плечо приложения соответствующих сил.

Под действием указанных моментов заготовка стремится отклониться от горизонтальной плоскости на некоторый угол γ , что отрицательно влияет на качество резки. Для уменьшения угла γ на ножницах устанавливают специальные прижимы.

Гильотинные ножницы представляют собой станину с укрепленными на ней в вертикальной плоскости двумя ножами, одному из которых (обычно верхнему) сообщается возвратно-поступательное движение от двигателя через кривошипно-шатунный механизм и систему рычагов (рис. 4.7). Во многих конструкциях ножниц нижний нож устанавливается горизонтально, а верхний – под небольшим углом (до 8°). Зазор между ножами не должен быть больше 1 мм. Ножи, как правило, изготавливают целыми из высококачественной инструментальной стали.

В техническую характеристику гильотинных ножниц входят:

- максимальная толщина и ширина разрезаемых листов;
- число ходов в минуту;



- величина хода ножа;
- габарит в плане;
- наибольшая высота над полом.

Усилия резки определяются:

- для параллельных ножей

$$P = l\delta\tau;$$

- для наклонных ножей

$$P = \frac{0,5\delta^2\tau}{\operatorname{tg}\varphi},$$

где δ – толщина материала, мм; φ – угол наклона верхнего ножа; l – длина реза, мм; τ – допускаемое касательное напряжение, Н/мм².

Дисковые ножницы применяют для резки листового материала по кривой, снятия фасок при подготовке листов к сварке, обрезки заусенцев у деталей и для резки по прямой.

Существует два типа ножниц: с горизонтальными осями (рис. 4.8) и наклонными осями (рис. 4.9). Трение на поверхности среза у ножниц с наклонными осями меньше, чем у ножниц с горизонтальными осями. Скорость резания колеблется от 0,05 до 0,12 м/с. Толщина разрезаемого материала – до 16 мм. Существуют и более мощные дисковые ножницы, разрезающие листы толщиной от 25 до 40 мм.

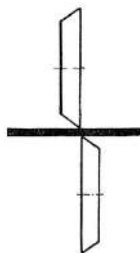


Рис. 4.8. Схема резки на дисковых ножницах с горизонтальными осями

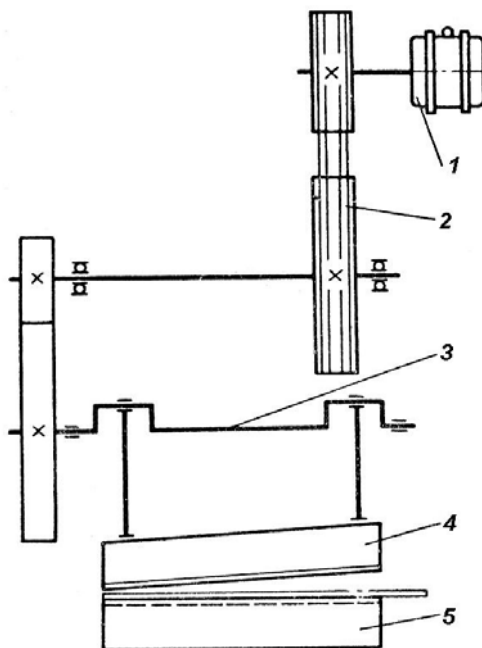


Рис. 4.7. Кинематическая схема гильотинных ножниц:
1 – электродвигатель; 2 – шкив;
3 – передаточный механизм;
4 – подвижный нож;
5 – неподвижный нож

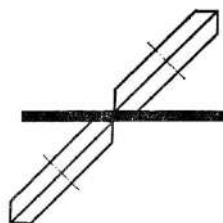


Рис. 4.9. Схема резки на дисковых ножницах с наклонными осями

В техническую характеристику дисковых ножниц входят: толщина материала, скорость вращения роликов и мощность электродвигателя.



Усилие резания определяется по формуле

$$P = 0,65\delta^2\tau \frac{\sin \alpha}{\cos^2 \alpha},$$

где δ – толщина разрезаемого материала, мм; τ – допускаемое касательное напряжение, Н/мм²; α – угол захвата (рис. 4.10).

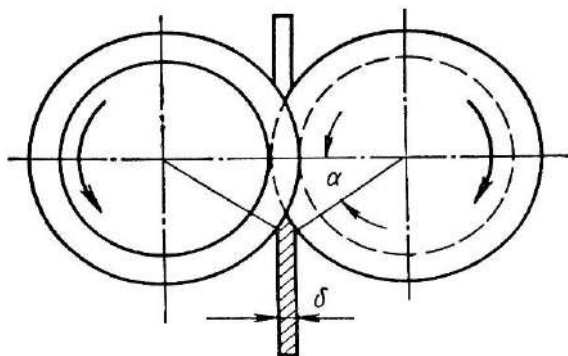


Рис. 4.10. Определение угла захвата α на дисковых ножницах

Комбинированные ножницы. Для резки сортового проката применяют комбинированные ножницы со специальными ножами, профиль которых соответствует профилю проката. Разрез по сечению проката производится за один ход ножа.

Вибрационные ножницы. Для прямолинейной и фасонной резки тонколистового материала до 2,5 мм применяют переносные вибрационные электроножницы с двумя короткими ножами. Нижний нож закреплен неподвижно, а верхнему ножу сообщаются частые возвратно-поступательные и качательные движения.

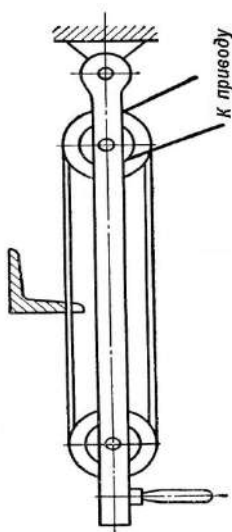


Рис. 4.11. Фрикционная резка с помощью бесконечной ленты

4.4.2. Фрикционная резка

Особый интерес представляет резка листового материала способом, основанным на использовании сил трения, возникающих при движении по материалу быстро бегущей ленты (рис. 4.11).

Лист металла толщиной до 3 мм можно резать стальной лентой, применяемой для обвязки ящиков. При резке металлов большей толщины рекомендуется использовать ленту с зубьями, которые служат для удаления из разреза расплавленного металла. Скорость движения лен-



ты – от 1000 до 4000 м/мин. Хорошо разрезаются пластмассы, силикатные материалы и металлы любой твердости. Преимущество фрикционной резки в том, что этим способом можно резать металлы любой прочности, в том числе и закаленных сталей.

4.4.3. Лазерная резка

При этом методе разрезание металла происходит за счет воздействия на изделие лазерного луча (рис. 4.12). Суть этой резки в следующем: энергия луча создает на металлоизделии отверстие, при этом частично расплавленный металл испаряется, остальное удаляется посредством выдувания смесью газов.



Рис. 4.12. Лазерная резка

Данный способ раскрой металла позволяет разрезать листы толщиной до 20 мм с точностью 0,08 мм. Работая по специальной программе, оборудование позволяет изготовить фигурные детали повышенной сложности, при этом детали после резки не требуют дополнительной обработки края. Лазер может обеспечить выполнение очень маленьких отверстий и разрезов в металле, вплоть до половины миллиметра в диаметре.

Резка металла лазером является практически безотходным производством. Так как раскрой материала осуществляется по предварительно подготовленным схемам и чертежам, то отходы и остатки сводятся к минимуму. Кроме того, после обработки лазерным лучом не остается ни опилок, ни стружек от обрабатываемого материала. Выполняя раскрой с помощью лазера, можно значительно ускорить весь процесс обработки металла, что ведет за собой существенное повышение производительности труда за счет высокой скорости резки и экономии из-за отсутствия необходимости изготавливать специальные формы для прессы и отливания изделий из металла. Цена резки лазером, учитывая все преимущества, совсем невысокая.



Не лишен этот способ и недостатков. И среди первых стоит назвать возможность работать только с тонким металлом. Еще один минус такого способа в том, что лазерный луч плохо разрезает изделия из алюминия и сплавов с ним, нержавеющей стали. Это определяется отражающими способностями данных металлов.

4.4.4. Плазменная резка

Самым дорогостоящим и эффективным методом раскроя металла является плазменная резка, подходящая для материалов, имеющих высокую электропроводность (рис. 4.13). Плазменно-дуговой резкой обычно разрезают нержавеющие и углеродистые стали толщиной до 40 мм, чугун – до 90 мм, алюминий и его сплавы – до 300 мм, медь и ее сплавы – до 80 мм. Точность данного способа – 0,1 мм.

Суть этого способа заключается в том, что металл разрезается смесью газов, который подается под большим давлением. Обычно для этих целей используют кислород. Во время разрезания металл частично выгорает, остальное же выдувается. Осуществляется такая резка при температурах 15000...30000 °С.

Скорость процесса и качество резки в данном случае зависят от того, какой именно плазмообразующий газ используется.



Рис. 4.13. Плазменная резка

Этот способ отличается высокой производительностью, небольшим диаметром луча (0,5...3 мм), универсальностью, фигурной резкой высокой сложности, точностью и экономичностью.

К недостаткам относят необходимость дополнительно обрабатывать края. Также при плазменной резке наблюдается незначительный наклон краев в пределах 3...5°.



4.4.5. Гидроабразивная резка

В последние годы все большую популярность приобретает гидроабразивная резка металла (рис. 4.14). Резка осуществляется смесью воды и абразива (песка), которые под давлением до 400 МПа подаются через узкое сопло. Этот способ позволяет разрезать изделия толщиной до 300 мм.



Рис. 4.14. Гидроабразивная резка

Данным способом обрабатываются любые виды листов металла, даже со слоистой и сотовой структурой, а также неметаллические материалы, например стекло.

Установка гидроабразивной резки металла гарантирует чистоту поверхности среза и высокую точность резки с погрешностью, не превышающей 100 мкм. Для большинства деталей это означает, что их можно сразу использовать, не прибегая к дополнительной обработке. Кроме того, гидроабразивная резка металла не нагревает металл, а ширина реза не превышает 1 мм.

Преимущества метода заключаются в хорошей точности, отсутствии необходимости проводить обработку краев, отсутствии термической деформации металла.

4.5. Вырубка. Образование отверстий

Вырубка – процесс отделения части металла от заготовки путем обреза по замкнутому контуру. Вырубка является одним из видов штамповки. Характерной особенностью штамповки является применение двух деформирующих инструментов – пуансона и матрицы. Пуансон 1 обычно изготавливают в виде сплошного сердечника, в матрице 2 имеется отверстие для прохода пуансона. Поперечный размер пуансона во всех случаях должен быть меньше внутреннего размера отверстия матрицы



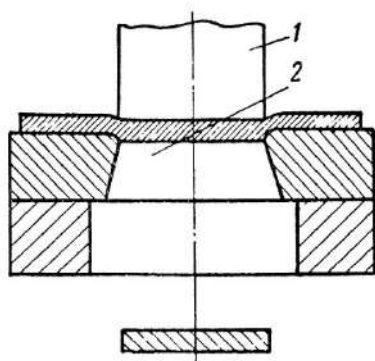


Рис. 4.15. Вырубной инструмент:

1 – пуансон; 2 – матрица

(рис. 4.15). Вырубные матрица и пуансон имеют острые режущие кромки, а зазор между ними значительно меньше толщины материала и составляет обычно 10 % толщины металла.

Просечка – вырубка листовых неметаллических материалов. Картон, текстолит, резина, кожа, пластмасса – материалы, обладающие малым сопротивлением срезу.

Волокнистое строение и эластичность материалов заставляют применять при просечке инструмент, имеющий острые и узкие кромки. Важно следить за тем, чтобы режущие кромки были установлены перпендикулярно поверхности материала. Просечку следует вести на паронитовом листе, толщина которого должна в 2–3 раза превышать толщину обрабатываемого материала. Просечку можно производить как вручную с помощью молотка, так и на гидравлических или приводных механических прессах.

Расчетное усилие пресса складывается из усилия вырубке и усилия проталкивания. Усилие вырубке определяется как

$$P = K_3 \Pi \delta \tau,$$

где K_3 – коэффициент, учитывающий затупление режущих кромок, неравномерность толщины и механических свойств материала, неравномерность зазора; $K_3 = 1,25 \dots 1,3$; Π – длина контура вырубаемого изделия, мм; δ – толщина материала, мм; τ – допускаемое касательное напряжение, Н/мм².

Усилие проталкивания определяется как

$$P_{\text{пр}} = K_{\text{пр}} P \frac{h}{\delta},$$

где $K_{\text{пр}}$ – коэффициент, учитывающий отношение усилия проталкивания к усилию вырубке, $K_{\text{пр}} = 0,01 \dots 0,06$; h – высота цилиндрической части матрицы, мм.

Образование отверстий. Отверстия в деталях можно образовывать:

- механической обработкой на сверлильных или фрезерных станках с использованием сверл, разверток, зенкеров и др.;
- газопламенной или электродуговой резкой;
- пробивкой на прессах;
- электроискровой обработкой;
- химическим фрезерованием.



4.5.1. Пробивка отверстий

Пробивка осуществляется на прессах с помощью штампов. В отличие от вырубки при пробивке вырубленная часть является отходом. Пробивка применяется для образования в деталях отверстий различных форм и размеров.

Пробивка сеток и решеток, в которых отверстия расположены на строго определенном расстоянии друг от друга, осуществляется на специальных станках, позволяющих автоматически передвигать листовую заготовку после каждого удара на расстояние, равное шагу между отверстиями. Пуансон для пробивки сетки с отверстиями диаметром до 1 мм выполняется в виде гребенки, набранной из равных отрезков очень твердой проволоки.

Интересен способ изготовления сеток без отходов материала. На прессах вместо пуансонов устанавливаются ножи с фигурным профилем. Листовой материал с заданной скоростью подается под ножи специальным механизмом. Одновременно с прорубкой материала происходит его растяжение, а в местах разреза в листе образуются ячейки выбранной формы и размера. Методом растяжения можно изготавливать сетки различного назначения из стали и цветных металлов с толщиной листа до 5 мм.

4.5.2. Электроискровая обработка отверстий

При импульсном электрическом разряде через воздушный промежуток между электродами проходит электрический ток очень большой силы – до 10000 А. Электрическая энергия в момент разряда переходит в тепловую, вызывая на узком участке разрядного канала повышение температуры до 40000...50000 °С. Под действием такой температуры металл обрабатываемой детали расплавляется и испаряется с большой скоростью. При этом разрушение металла, вследствие очень короткого времени разряда, происходит в очень малом объеме. Если повторять разряды с большой частотой, можно выплавлять и испарять значительные количества металла.

С помощью электроискровой обработки можно образовывать отверстия как в самых мягких и теплопроводных металлах (медь, латунь, алюминий), так и в самых твердых – нержавеющей сталь, твердые сплавы и др. Электроискровой прошивкой удается легко проделывать отверстия очень малых диаметров – от 0,1 до 1 мм в деталях большой толщины. В зависимости от формы электрода-инструмента можно получать любой контур отверстия. Материалом для электродов служит медь, латунь или медно-графитовая масса.



4.5.3. Химическое фрезерование

В отдельных случаях в крупных деталях при обработке поверхностей сложной конфигурации применяют так называемое химическое фрезерование, при котором происходит глубокое травление поверхностей в специально подобранных травящих составах (например, для травления алюминия и его сплавов применяют водный раствор NaOH, подогретый до 80 °С, с концентрацией от 500 до 600 г/л).

Технологический процесс обработки травлением состоит из следующих операций: тщательная очистка поверхностей; покрытие защитными составами поверхностей, не подлежащих травлению; травление; очистка поверхности и контроль.

Поверхности, не подлежащие травлению, защищаются металлическими щелочестойкими шаблонами, накладками из щелочестойких клейких лент, металлопокрытиями или лакокрасочными покрытиями.

Глубина съема металла – до 50 мм. Химическое фрезерование целесообразно применять при клеймении металлических деталей. Клеймение производят резиновыми штемпелями, на которых нанесены соответствующие надписи или рисунки. Штемпель покрывают тонким слоем кислоты и затем маркируют деталь. Через некоторое время деталь промывается нейтрализующим раствором и сушится.

4.6. Обработка кромок

После резки, вырубки и сверления по краям обрабатываемых деталей остаются заусеницы, наплывы, остатки флюса и другие неровности, нарушающие форму деталей. Их устраняют с помощью обрубки или опиловки.

Операция **обрубки** заключается в периодическом отделении от основного изделия небольших кусков материала. Наиболее производительным способом обрубки является рубка зубилом, установленным на пневматическом молотке. Угол наклона зубила выбирается в зависимости от твердости обрабатываемого материала. Зубило при рубке устанавливается таким образом, чтобы задний угол составлял не более 5°.

Для обрубки мелких деталей можно пользоваться ручными зубилами и слесарными молотками. Детали в этом случае крепят в тисках или на плитах. Толщина стружки, снимаемой при рубке, зависит от угла наклона инструмента к обрабатываемой поверхности и от силы удара. Толщина снимаемого слоя при грубой рубке составляет 3...5 мм. Рубку хрупких материалов производят всухую, при обработке вязких и мягких материалов рекомендуется смачивать зубило маслом или мыльной во-



дой. При рубке сплавов алюминия в качестве смазки применяется скипидар.

Операция **опиловки** заключается в снятии с поверхности мелкой стружки материала. Опиловка производится напильниками или абразивными кругами, укрепленными в переносных электрических или пневматических машинах. Для обработки мелких деталей используют ручные напильники или стационарные точильные станки.

Напильники различают по форме сечения, числу насечек на 1 погонный сантиметр длины и виду насечек.

По форме сечения изготавливают напильники: плоские, квадратные, трехгранные, полукруглые, круглые, ромбические и овальные.

По числу насечек на 1 погонный сантиметр различают 6 классов напильников:

№ 1 – драчевые (число насечек – 5...12; толщина слоя материала, снимаемого за один ход, – 0,08...0,15 мм);

№ 2 – личные (число насечек – 4...24, толщина слоя – 0,0...0,08 мм);

№ 3 – бархатные (число насечек – 30...40, толщина слоя – 0,0...0,08 мм);

№ 4 – бархатные ("- 40...50, "- 0,025...0,05 мм);

№ 5 – бархатные ("- 50...63, "- 0,025...0,05 мм);

№ 6 – бархатные ("- 63...80, "- 0,025...0,05 мм).

По виду насечки напильники бывают с одинарной и с двойной насечкой. Напильники с одинарной насечкой применяют для обработки мягких материалов. Двойная насечка облегчает дробление стружки и применяется для обработки твердых материалов.

Применяемые при опиловке абразивы представляют собой твердые кристаллические зернистые или порошкообразные материалы. Различают природные абразивы (алмаз, корунд, наждак, гранат, кварц, пемза) и искусственные, или синтетические [карбид бора, карборунд (карбид кремния), измельченное стекло и др.].

В зависимости от требуемой чистоты поверхности при обработке используются зерна различных размеров. Абразивные материалы по величине зерен разделяются на 4 группы со следующими номерами зернистости:

– шлифзерно (от № 200 до № 16);

– шлифпорошки (от № 12 до № 3);

– микропорошки (от М63 до М14);

– тонкие микропорошки (от М10 до М1).

Зернистость шлифзерна и шлифпорошков обозначают как 0,1 размера стороны ячейки сита в свету в микрометрах, на котором задерживаются зерна основной фракции. Микропорошки обозначаются буквой М и цифрой, показывающей наибольший размер зерна в микромет-



рах. В зависимости от процентного содержания основной фракции обозначение зернистости шлифматериалов дополняют буквенным индексом: В – высшее, П – повышенное, Н – нормальное и Д – допустимое.

Абразивы применяются в виде порошков, шлифовальных кругов и брусков, точильных камней, шкурок, полировальных и доводочных паст. С помощью абразивов можно обрабатывать изделия любой твердости. Формы и размеры абразивного инструмента стандартизованы.

Широкое распространение получили станки с абразивными ремнями. При работе с абразивными ремнями, по сравнению с шлифовальными кругами, достигается лучшее охлаждение рабочей поверхности инструмента. Ремень хорошо облегает обрабатываемые детали и удаляет наплывы и царапины с выпуклых участков. При прохождении ремня вокруг шкива обеспечивается отделение снятых с поверхности детали частиц и тем самым устраняется «засаливание» поверхностей инструмента. Основой для ремней служит специальная бумага высокой прочности. В качестве абразивного материала используют карборунд и алунд.

4.7. Гибка

Гибкой называется процесс изменения формы заготовки под действием усилий, приложенных в одной или нескольких плоскостях, расположенных под заданным углом друг к другу.

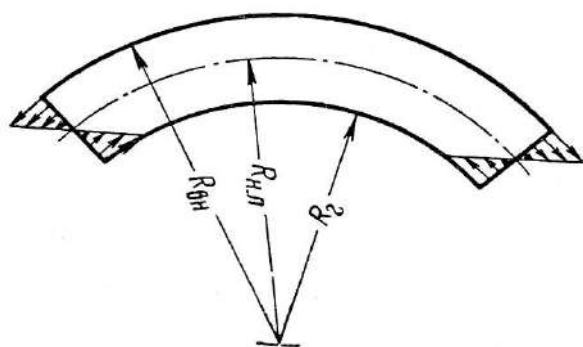


Рис. 4.16. Распределение внутренних напряжений в материале во время гибки:

$R_{вн}$ – внешний радиус детали;
 $R_{н.л}$ – радиус нейтральной линии;
 $R_г$ – радиус гибки

Зона деформации в процессе гибки ограничивается участком, близлежащим к контактным поверхностям, и занимает сравнительно небольшую долю объема заготовки. Как видно из рис. 4.16, внутренние слои материала испытывают сжатие, внешние – растяжение. Линия, по которой материал не сжимается и не растягивается, называется **нейтральной**.

Гибку выполняют как в холодном, так и в горячем состоянии. Когда $R_{н.л} > (20...25)\delta$, применяют гибку в холодном состоянии. Когда $R_{н.л} < (20...25)\delta$, применяют гибку в горячем состоянии, где $R_{н.л}$ – радиус нейтральной линии; δ – толщина заготовки.



4.7.1. Минимальный радиус гибки

Вследствие того, что в процессе гибки внешние волокна изгибаемого материала испытывают напряжения растяжения, на внешней поверхности при чрезмерном удлинении волокон могут возникнуть трещины. С уменьшением радиуса гибки возможность возникновения трещин увеличивается.

Величина минимального радиуса, при котором еще не появляются трещины, определяется по табличным данным в зависимости от толщины материала. Если угол гибки меньше 90° , при определении минимального радиуса гибки следует произвести корректировку умножением на коэффициент K_r :

$$90^\circ > \text{угол гибки} > 60^\circ \quad K_r = 1,1 \dots 1,3;$$

$$60^\circ > \text{угол гибки} > 45^\circ \quad K_r = 1,3 \dots 1,5;$$

$$\text{угол гибки} < 45^\circ \quad K_r \geq 1,5.$$

В общем случае минимальный радиус гибки R_r определяется из условий, при которых наибольшая деформация растянутого волокна вызывает напряжения, не превышающие 80 % предела прочности при растяжении σ_B .

4.7.2. Угол пружинения

Так как при гибке в холодном состоянии в материале возникают как пластические, так и упругие деформации, то после проведения операции радиус гибки детали всегда оказывается больше радиуса инструмента.

Разность между величиной угла между плоскостями детали после гибки и угла инструмента называется **углом пружинения**.

Величина угла пружинения зависит от свойств материала, от отношения величины внутреннего радиуса изгиба к толщине материала R_r/δ , от величины угла гибки, а также от условий проведения гибки. Для расчета угла пружинения при свободной гибке пользуются формулой:

а) для одноугловой гибки (рис. 4.17)

$$\operatorname{tg} \alpha_{\Pi} = 0,375 \frac{1}{K\delta} \cdot \frac{\sigma_T}{E};$$

б) для двуугловой гибки (рис. 4.18)

$$\operatorname{tg} \alpha_{\Pi} = 0,75 \frac{l_1}{K\delta} \cdot \frac{\sigma_T}{E},$$

где α_{Π} – угол пружинения; K – коэффициент, определяющий положение нейтрального слоя в зависимости от (R_r/δ) (табличные данные); l –



расстояние между опорными точками инструмента, мм; l_1 – плечо гибки, мм;

$$l_1 = r_M + r_{II} + 1,2\delta,$$

где r_M – радиус скругления матрицы, мм; r_{II} – радиус скругления пуансона, мм;

$$r_{II} = \frac{R_{\Gamma}}{1 + 3K_0},$$

где K_0 – коэффициент гибки, который определяется по формуле

$$K_0 = \frac{\sigma_T R_{\Gamma}}{E\delta},$$

где E – модуль упругости, Н/мм²; σ_T – предел текучести, Н/мм².

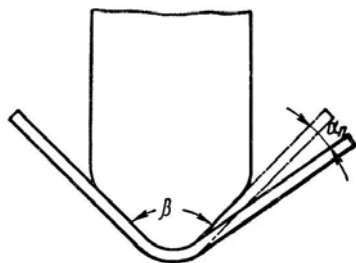


Рис. 4.17. Схема гибки:
 β – угол между гибочными
плоскостями

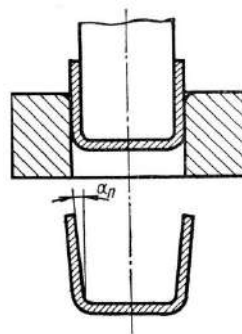


Рис. 4.18. Определение угла
пружинения при гибке скобы

4.7.3. Профилирование

Профилированием называется получение из листовых заготовок жестких и легких профилей, имеющих различную форму сечения. Профилирование производят в штампах или в специальных роликовых машинах. Первый способ используется для обеспечения жесткости деталей (крышек, боковин ящиков, стенок тонкостенных кожухов и др.).

При профилировании в штампах с помощью ложных пуансонов и матриц, имеющих различной формы выступы и канавки, выдавливаются на поверхности детали **зиги** (рис. 4.19). Выдавливание производят за один или несколько переходов.

Сущность профилирования на роликовых машинах заключается в том, что длинная ленточная заготовка последовательно пропускается через несколько пар фасонных роликов, расположенных друг за другом



в одной плоскости и вращающихся с одинаковой скоростью в противоположных направлениях.

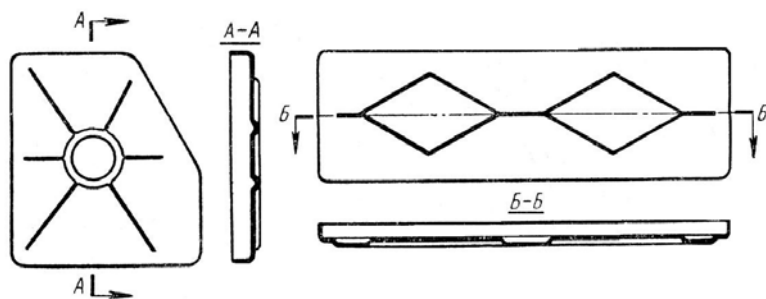


Рис. 4.19. Различные виды ребер жесткости на деталях из тонколистового материала

Если изгиб на ленте производится в поперечной плоскости, то процесс профилирования называется **гофрированием**. Гофрирование осуществляется с помощью специальных роликов (рис. 4.20). Производится как поперек заготовки, так и под некоторым углом.

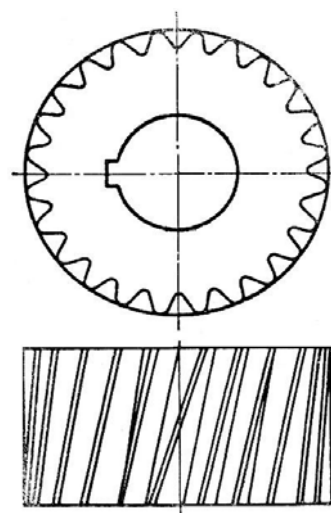


Рис. 4.20. Ролик для создания гофров на ленточной заготовке

4.7.4. Гибка труб

В процессе гибки на внутренней стороне трубы под влиянием сжатия могут возникнуть складки, а внешняя сторона, наоборот, растягивается, что приводит к утончению стенки. Гибочные деформации приводят к овальности сечения (рис. 4.21). Величина гибочных деформаций резко возрастает с уменьшением толщины стенки, поэтому наибольшую трудность представляет гибка тонкостенных труб. Гибка труб производится как в холодном, так и в горячем состоянии.

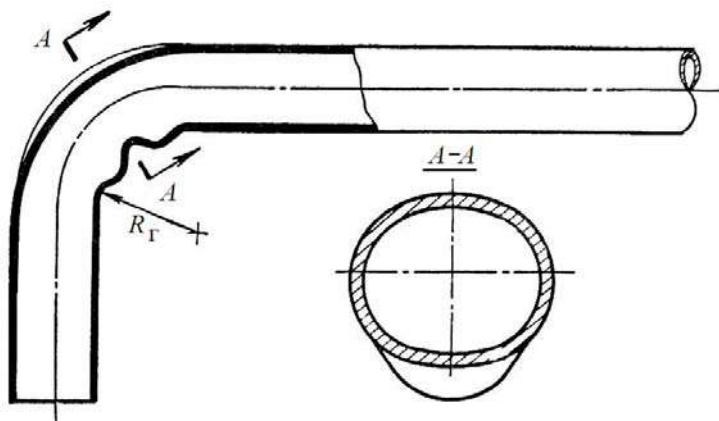


Рис. 4.21. Дефекты, образующиеся при гибке тонкостенных труб



Для предотвращения образования дефектов применяют различные способы, позволяющие поддерживать стенки трубы с внутренней стороны во время гибки. Наиболее распространенным способом является

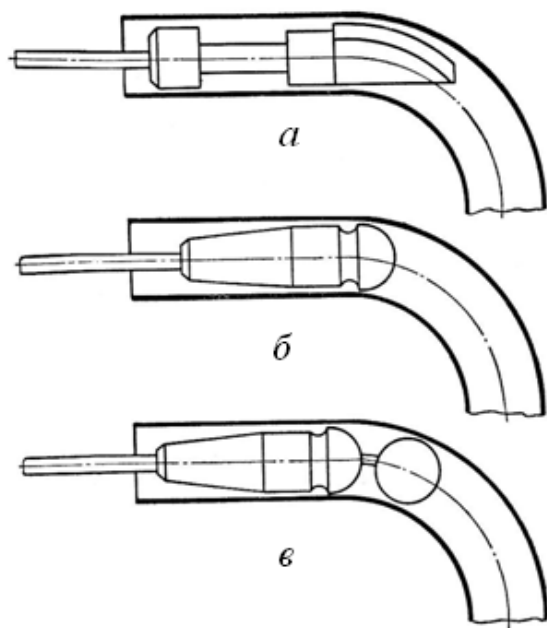


Рис. 4.22. Схема гибки с применением калибровочных пробок:

а – ложкаобразный дорн;
б – шаровой дорн; в – составной дорн

или шаровую форму. Для стальных труб минимальный радиус гибки должен быть не менее 20 толщин стенки. Минимальный радиус гибки может быть значительно уменьшен при нагреве заготовок. Нагревание проводится открытым пламенем или индукционным током. Нагревание труб из пластмасс проводят в жидкостных ваннах при температуре 100...200 °С.

наполнение внутренней полости труб сыпучим или легкоплавким материалом: сухим чистым речным песком, канифолью, свинцом и др.

При заполнении труб песком рекомендуется его уплотнять сжатым воздухом или вибратором. С торцевых сторон трубы должны быть прочно закрыты деревянными или металлическими пробками.

При гибке труб на гибочных станках применяются специальные калибровочные пробки – дорны (рис. 4.22). Дорн перед гибкой вводится внутрь трубы и поддерживает стенки при изгибе. Наиболее широкое распространение получили дорны, имеющие ложкаобразную

4.7.5. Гибка на прессах

Для проведения процесса гибки могут быть использованы прессы различных конструкций. Гибка производится в штампах, пуансон и матрица которых имеют профиль, соответствующий профилю детали. Этим способом изготавливают некрупные детали: ушки, скобы, крюки, уголки и др.

Усилие гибки определяется по эмпирическим формулам:



а) при одноугловой гибке
$$P = 0,6 \frac{l\delta^2\sigma_p}{R_\Gamma + \delta};$$

б) при гибке скобы
$$P = 0,7 \frac{l\delta^2\sigma_p}{R_\Gamma + \delta},$$

где l – ширина изгибаемого изделия, мм; δ – толщина материала, мм; σ_p – предел прочности при растяжении, Н/мм²; R_Γ – радиус гибки, мм.

4.7.6. Роликовые гибочные станки

Отгибку борта на деталях из тонколистового материала удобнее всего производить на простых двухроликовых станках, которые состоят из станины с укрепленными на ней двумя параллельными роликами с механическим приводом. Во время работы станка ролики вращаются в разные стороны, благодаря чему заготовка силой трения затягивается в зазор между ними и одновременно изгибается в соответствии с профилем роликов.

Многоруликовые станки, предназначенные для образования сложного профиля заготовки, по устройству сходны с листопрямильными машинами. В таких станках вместо гладких роликов устанавливают ролики с выточками и выступами. Сечение роликов соответствует профилю образующейся заготовки. Глубина выточек и высота выступов изменяются от минимальных на входе заготовки до максимальных на выходе (рис. 4.23).

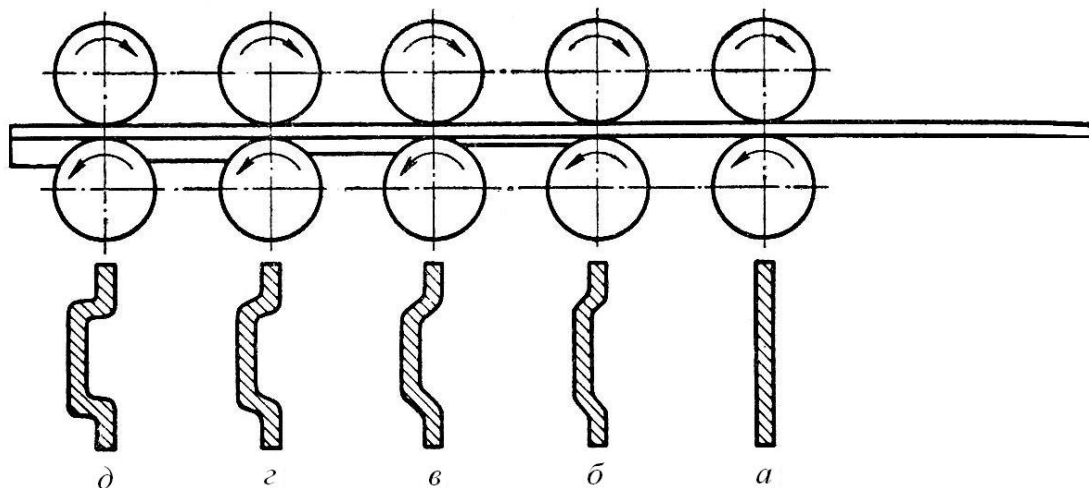


Рис. 4.23. Схема профилирования полосового материала на многоруликовом станке



Количество переходов и количество пар роликов зависят от сложности формы изготавливаемого изделия. Образование профиля происходит за один проход ленты через станок в одну сторону.

В техническую характеристику роликовых станков входят: расстояние между осями гибочных роликов, ширина роликов, скорость их вращения и мощность электродвигателя.

4.7.7. Определение размеров заготовок при гибке

Размер заготовки, подвергаемой гибке, определяется по длине нейтральной линии. Длина нейтральной линии в месте закругления плоской заготовки рассчитывается по формуле

$$l = \frac{\pi\alpha}{180} R_{н. л} = 0,0175(R_r + 0,5\delta)\alpha,$$

где α – угол гибки, град; $R_{н. л}$ – радиус нейтральной линии изогнутой заготовки, мм; δ – толщина заготовки, мм; R_r – радиус гибки по внутренней поверхности, мм.

Если $R_r > 20\delta$, то можно считать, что нейтральная линия проходит по середине сечения листа. При $R_r < 20\delta$ нейтральная линия смещается в сторону сжатых волокон. В этом случае расчетный радиус нейтрального слоя определяется как

$$R_{н. л} = R_r + x\delta,$$

где x – поправочный коэффициент, зависящий от отношения R_r/δ .

При гибке двухслойной стали нейтральная линия смещается в сторону кислотостойкого слоя. Радиус нейтральной линии при гибке двухслойной стали определяется по следующим формулам:

а) при гибке кислотостойким слоем внутрь

$$R_{н. л} = R_r + m\delta - 0,5\delta + z;$$

б) при гибке кислотостойким слоем наружу

$$R_{н. л} = R_r + m\delta - 0,5\delta - z,$$

где m – коэффициент, учитывающий отношение радиуса гибки к толщине заготовки и утонение металла в зоне гибки ($m = 0,32 \dots 0,5$); z – расстояние от внешней поверхности кислотостойкого слоя до нейтральной линии, мм (рис. 4.24, табл. 4.2).

При гибке труб нейтральная линия также смещается к внутренней стороне изгиба (рис. 4.25). Смещение нейтральной линии тем больше, чем меньше отношение $R_r/D_{тр}$, где $D_{тр}$ – диаметр трубы.



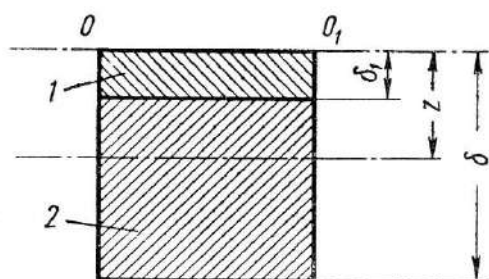


Рис. 4.24. Расположение нейтральной линии при гибке двухслойной стали:
1 – кислотостойкий слой;
2 – основной слой

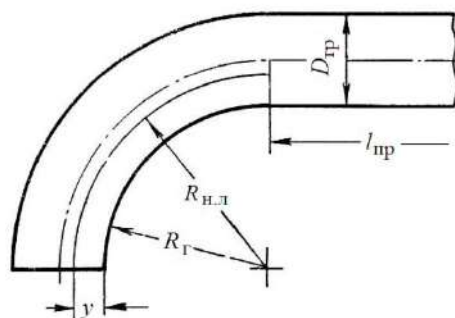


Рис. 4.25. Расположение нейтральной линии при гибке труб

Таблица 4.2

Зависимость смещения нейтральной линии от толщины заготовки

Толщина δ заготовки из двухслойной стали, мм	Толщина δ_1 кислотостойкого слоя, мм	Значение z , мм
6	2	2,2
8	2,5	3,15
10	3	4,0
12	4	4,6

Расстояние нейтральной линии от внутренней поверхности изгибаемого изделия определяется по формуле

$$y = nD_{\text{тр}},$$

где $n = 0,25 \dots 0,48$ (табличные данные).

4.8. Вальцовка

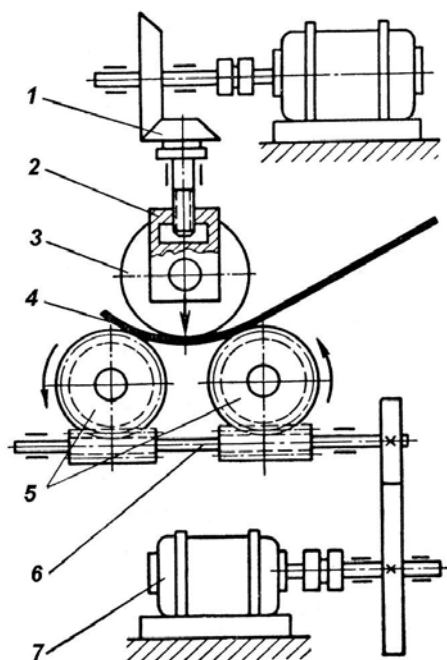
Вальцовка – вид гибки, при которой деформируется весь объем заготовки. Вальцовкой изготавливают трубы, обечайки, конусы, кольца, бандажи и другие детали, имеющие постоянный радиус по всей длине изгиба. Вальцовку производят на гибочных машинах, горизонтальных трехвалковых и четырехвалковых вальцах, а также на вертикальных гибочных вальцах. Простейшими вальцовочными машинами являются трехвалковые вальцы (рис. 4.26).





Рис. 4.26. Трехвалковая листогибочная машина

В этих машинах движение сообщается двум нижним валкам, которые за счет трения создают поступательное движение листа (рис. 4.27). Верхний свободно вращающийся валок имеет возможность перемещаться в вертикальном направлении, создавая различный радиус гибки. Верхний валок имеет опору, которая отводится в сторону, что позволяет снимать с вальцов изделие. Для получения конической поверхности верхний валок ставят в наклонное по отношению к нижним валкам положение. Главный недостаток при гибке на трехвалковых вальцах – у деталей остается



у деталей остается

Рис. 4.27. Кинематическая схема трехвалковых вальцов:

- 1 – привод прижима верхнего валка;*
- 2 – подвижная опора; 3 – верхний валок;*
- 4 – материал; 5 – нижние валки; 6 – привод;*
- 7 – электродвигатель*



плоским краевой участок, равный половине расстояния между осями нижних валков. Длина плоских участков, остающихся на краях листов, зависит от межцентрового расстояния между боковыми валками (рис. 4.28), связанного с конструктивным исполнением листогибочной машины.

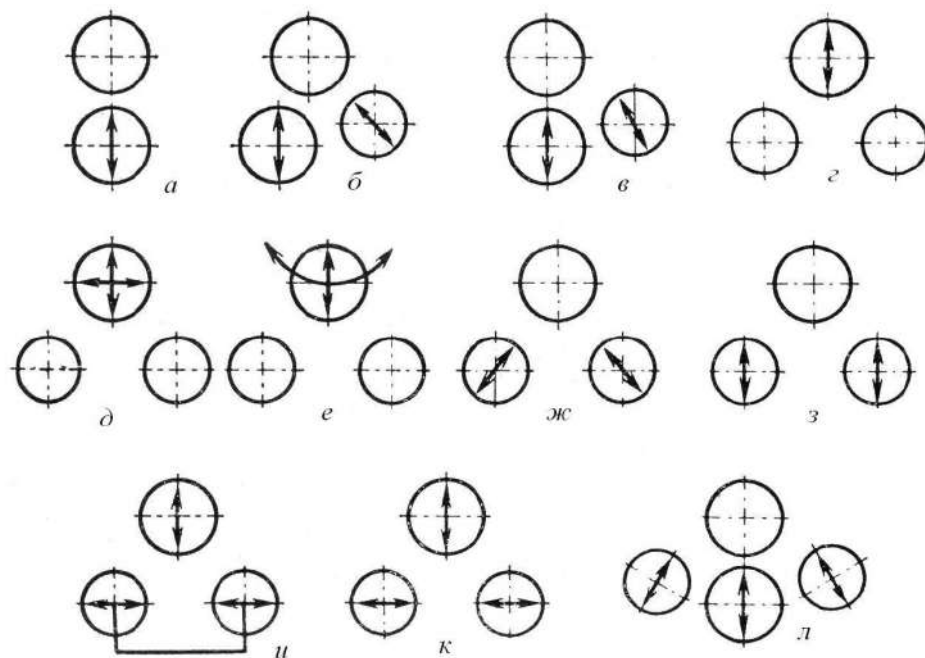


Рис. 4.28. Типовые схемы расположения и перемещения валков в листогибочных машинах

Для уменьшения величины плоских участков обрабатываемых листов используют машины, у которых можно изменять расстояние между боковыми (рис. 4.28, ж) или верхними и нижними боковыми валками (рис. 4.28, д, е, з, и, к). На таких машинах, при гибке толстых и тонких листов, расстояние между центрами валков различно.

Величину плоских участков можно уменьшить, используя для гибки трех- и четырехвалковые машины с нижними подвижными валками (рис. 4.28, з, и, к, л). Устанавливая один из нижних валков против верхнего, можно зажимать кромку листа и производить подгибку кромок. Величина прямых участков в этом случае уменьшается в 6 раз по сравнению с данными, приведенными для машин типа, показанного на рис. 4.28, г.

При работе на четырехвалковых вальцах указанный недостаток почти не имеет места, т. к. величина плоского участка у деталей не превышает одной-двух толщин материала.



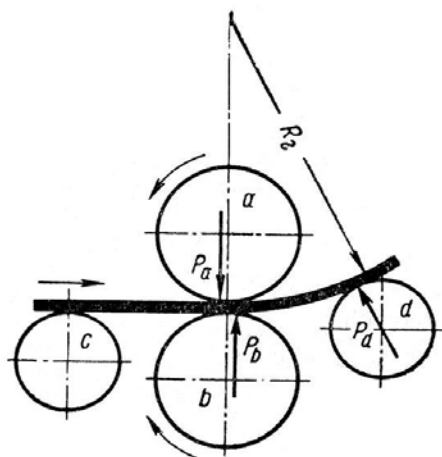


Рис. 4.29. Схема гибки на четырехвалковых вальцах

В четырехвалковых вальцах движение передается средним валкам *a* и *b* (рис. 4.29). Нижний валок может двигаться в вертикальном положении. Два боковых вальца перемещаются по радиусу загиба листа. Валки могут изменять свое положение одновременно или каждый в отдельности.

Необходимый радиус кривизны детали в машинах обоих типов получается при многократном пропуске заготовок через вальцы в противоположных направлениях, при этом каждый раз усиливается прижим гибочных валков.

Между радиусом кривизны вальцуемых деталей и положением осей валков существует следующая зависимость:

а) для трехвалковых вальцов (рис. 4.30)

$$R_{\Gamma} = \frac{(r_2 + \delta)^2 - (h - r_1)^2 - a^2}{2[h - (r_1 + r_2 + \delta)]};$$

$$h = \sqrt{(R_{\Gamma} + r_2 + \delta)^2 - a^2} - (R_{\Gamma} - r_1);$$

б) для четырехвалковых вальцов (рис. 4.31)

$$R_{\Gamma} = \frac{r_2^2 - (r_1 - h)^2 - a^2}{2(r_1 - r_2 - h)};$$

$$h = r_1 + R_{\Gamma} + \delta - \sqrt{(R_{\Gamma} + r_2 + \delta)^2 - a^2}.$$

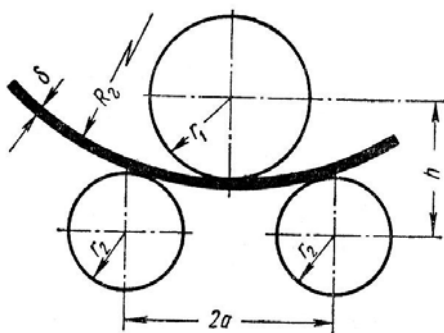


Рис. 4.30. Взаимное расположение валков при гибке на трехвалковых вальцах

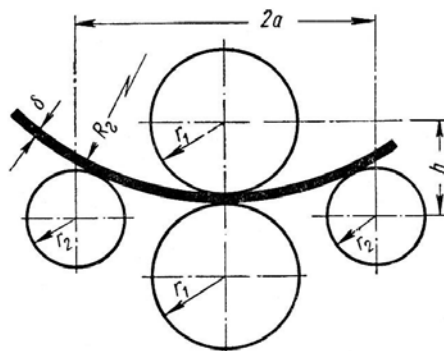


Рис. 4.31. Взаимное расположение валков при гибке на четырехвалковых вальцах



В техническую характеристику горизонтальных вальцов входят:

- полезная длина гибочных валков;
- максимальная толщина вальцуемого материала;
- диаметры валков;
- потребляемая мощность.

Вертикальные гибочные вальцы применяют для гибки сортового проката. Валки на таких станках сменные, с прорезями для установки сортового проката. Подгибку концов проката производят вручную или на прессах.

На вертикальных гибочных вальцах можно загибать прокат различных профилей и размеров: угловую сталь полкой наружу и полкой внутрь, тавровые балки, швеллеры, полосовой прокат при гибке на ребро и др. Гибку сортового проката производят как в холодном, так и в горячем состоянии. При гибке в холодном состоянии в материале возникают пластические деформации, приводящие к искажению первоначальной формы сечения заготовок. При гибке в горячем состоянии возникающие искривления могут быть исправлены вручную с помощью кувалд или правкой на прессах.

4.8.1. Изготовление обечаек

Вальцовка является основной операцией при изготовлении обечаек. Заготовки обечаек получают из листового материала после проведения операций правки, разметки, резки и обработки кромок. Перед вальцовкой производят подгибку краевых участков заготовки вручную, на гидравлических кромкогибочных прессах или путем вдавливания в загибочную матрицу на вальцах (рис. 4.32).

При ручной подгибке конец листа устанавливают между валками таким образом, чтобы край листа был расположен параллельно осям валков. Лист прижимают верхним валком к нижним валкам и подгибают край кувалдой. Затем лист передвигается и аналогичные операции проводят для противоположного конца. После подгибки заготовку заводят в вальцы и вальцуют в два-три прохода до получения необходимого радиуса гибки. Правильность гибки проверяется металлическим шаблоном. Съем обечайки с вальцов производят после освобождения подвижной опоры.

При проведении вальцовки обечаек следует предупреждать образование следующих дефектов: перекося кромок, перегиб на радиус меньше заданного, конусность, бочкообразность, овальность (рис. 4.33).

Перекося кромок (рис. 4.33, а) получается в том случае, когда не соблюдается параллельность торцевой кромки листа с осями валков во время установки листа в вальцах.



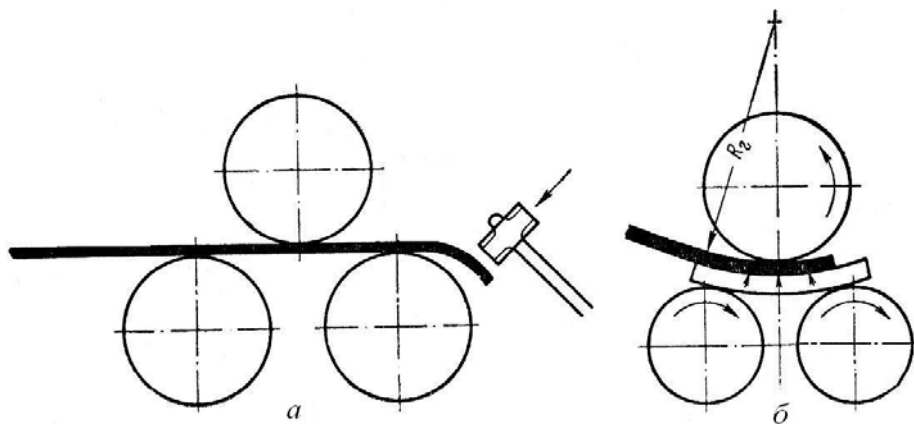


Рис. 4.32. Подгибка краевых участков обечаек:
а – ручная подгибка; б – подгибка в загибочной матрице

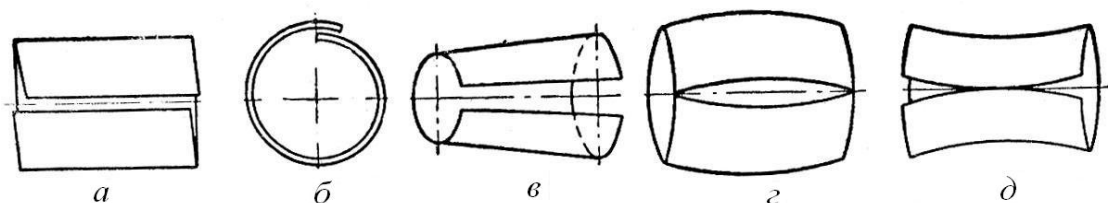


Рис. 4.33. Дефекты гибки обечайки

Перегиб на радиус меньшего размера (рис. 4.33, б) происходит вследствие чрезмерного поджатия валков. Во избежание перегиба следует производить вальцовку в возможно большее число проходов, каждый раз перед началом вальцовки листа поджимая валки на небольшую величину. После каждого прохода следует проверять радиус вальцовки по шаблону.

Овальность возникает вследствие неравномерности прижатия листа по всей длине во время последнего прохода.

Конусность (рис. 4.33, в) является дефектом станка и возникает вследствие непараллельности расположения осей валков.

Бочкообразность (рис. 4.33, г–д) возникает при чрезмерном давлении на валки, вызывающем искривление последних.

В тех случаях, когда заготовка имеет по ширинегиба неодинаковые размеры, необходимо учитывать местное утонение материала, возникающее в процессе вытяжки или усадки. При вальцовке заготовки усеченного цилиндра в том случае, когда развертка выкроена неправильно (рис. 4.34), лист легко перекашивается и заготовка получает неправильную форму. Правильный раскрой заготовки дает возможность получить более качественную деталь.



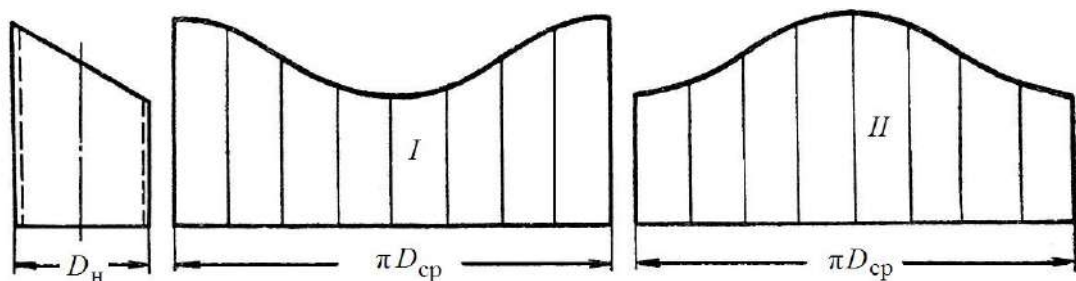


Рис. 4.34. Раскрой заготовки усеченного цилиндра:

I – правильно; *II* – неправильно

При выборе листов для гибки большое значение имеет их раскрой, который должен обеспечивать минимальное количество сварных стыков. С этой точки зрения корпуса аппаратов могут изготавливаться двумя методами: из обечаек и из карт.

При изготовлении корпусов из обечаек листы изгибают поперек волокон, затем из 3–4 обечаек собирают и сваривают корпус.

При изготовлении корпуса из карт лист длиной 6...8 м обрезается в размер по периметру и изгибается вдоль волокон.

Преимущество изготовления корпусов из карт:

а) трудоемкость сборочных работ сокращается в два раза за счет отсутствия кольцевых стыков;

б) сварка швов, кроме одного замыкающего, производится на плоскости, что улучшает качество сварного шва;

в) точность диаметра получается равномерной по всей длине корпуса.

При гибке листового проката между валками листогибочной машины, в случае большого отношения радиуса изгибаемого листа к толщине, появляется потеря устойчивости формы изгиба, из-за чего лист опрокидывается в сторону, противоположную направлению его вращения. Это приводит к необходимости в специальных поддерживающих устройствах, обеспечивающих правильную форму изгиба.

При изгибе листа между валками важно определить не просто устойчивую форму изгиба, но также такую степень устойчивости, при которой обеспечивается правильная форма изгибаемого листа и безопасность рабочего.

Наблюдаются два случая потери устойчивости листа при изгибе (рис. 4.35). В первом случае (рис. 4.35, а) по мере увеличения длины вылета листа *I* (цифрами обозначены последовательные положения листа при изгибе) кривизна выходной ветви уменьшается (положение *II* и *III*) из-за действия собственного веса листа. Достигнув положения, немного превышающего четверть окружности, лист теряет устойчивость и падает (*IV*).



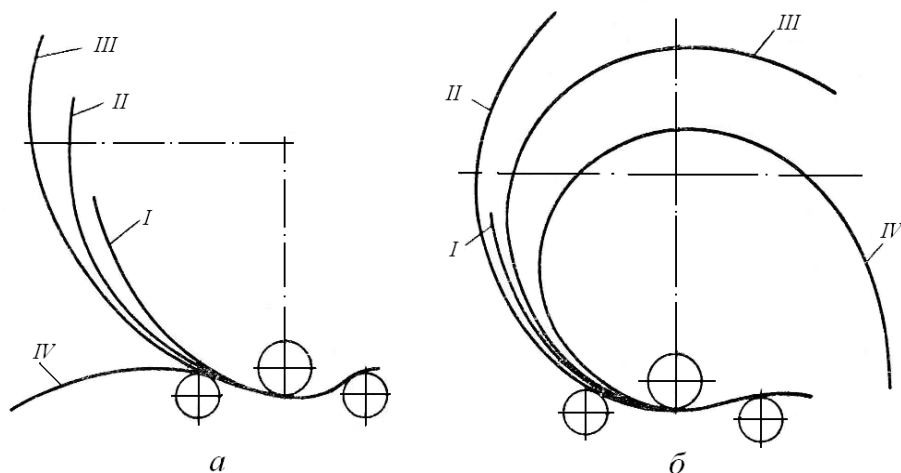


Рис. 4.35. Положение листа в различные моменты изгиба

Во втором случае (рис. 4.35, б) лист изгибается, не теряя первоначальной устойчивости в боковом положении (I, II), однако в верхнем положении (III, IV) прогибы оказываются настолько большими, что продолжать процесс практически невозможно. Незначительное изменение радиуса изгиба приводит к значительным колебаниям изогнутого листа. Работа оператора при таком положении листа является небезопасной.

Возможность появления потери устойчивости того или другого вида зависит от геометрических параметров листа – отношения диаметра к толщине листа, однако, как показали эксперименты, если лист при изгибе подвержен потере устойчивости в боковом положении, то и в верхнем положении он также теряет устойчивость. Для определения области устойчивого изгиба листа можно рекомендовать следующую эмпирическую формулу:

$$\frac{2,3}{10^6} \cdot \frac{D^2}{\delta} \leq 1,$$

где D – диаметр, мм; δ – толщина листа, мм.

Допустимые границы изгиба листов без применения поддерживающих устройств приведены на рис. 4.36.

При заданном значении диаметра обечайки листы, толщина которых лежит выше кривых, при изгибе не требуют применения поддерживающих устройств. При толщине ниже кривых следует применять поддерживающие устройства.

В условиях индивидуального производства, когда установка поддерживающих устройств нецелесообразна, для поддержания используют мостовой кран или можно рекомендовать следующий технологический прием: лист, заведенный между валками, изгибается с одного



конца на 1/3 длины, после чего остальная часть листа, не изгибаясь, пропускается между валками. Изогнутая часть листа опирается в этот момент на подвижный каток.

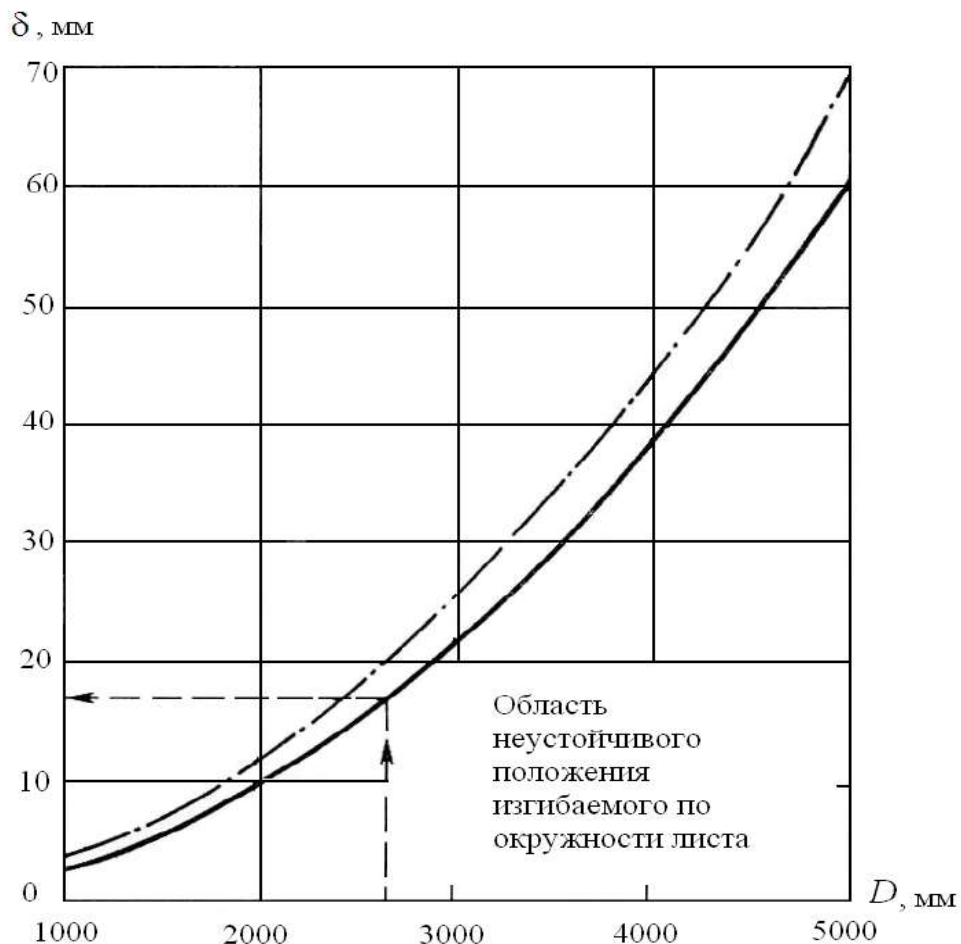


Рис. 4.36. Допустимые границы изгиба листов без применения поддерживающих устройств:
 ----- в холодном состоянии; -- · -- в нагретом состоянии

Изгиб второго конца листа производят на 1/3 длины, после чего лист пропускают до середины и изгибают среднюю часть. Выполнение операции гибки листа указанным способом позволяет отказаться от применения мостовых кранов.

4.8.2. Гибка листов в нагретом состоянии

Технологический процесс гибки листов в нагретом состоянии заключается в следующем: после разметки и обрезки развертка обечайки закладывается в газовую печь либо на торец, либо на бок, в зависимости от удобства захвата и исключения возможности деформации от собственного веса. Температура нагрева обечайки и режим нагрева зависят



от марки стали, толщины стенки и указываются в технологических процессах термообработки. Время выдержки листа определяется из условия 1 мин на 1 мм толщины. Листы должны нагреваться до температуры, при которой не образуется окалины. В тех случаях, когда не удастся устранить образование окалины, используются различного рода покрытия. В частности, для облегчения съема окалины листы перед закладкой в печь покрывают специальным меловым составом: в 10 л воды разбавляют 700 г хлористого аммония и 5 кг мела и размешивают до получения густой суспензии. Этим составом покрывают обечайку по всей поверхности, после нагрева и выема из печи окалину счищают скребком или сдувают воздухом.

Температура печи контролируется термопарой. Нагретый лист подается к листогибочной машине. Для получения необходимых механических свойств металла после нагрева деформирование между вальками должно оканчиваться при температуре не ниже 600 °С для углеродистых и 700...750 °С – для легированных сталей.

При проведении горячей гибки вальки листогибочной машины должны быть выполнены из специальной стали, обладающей прочностью при высокой температуре. Перед горячей гибкой рекомендуется подогревать вальки посредством газового пламени или электронагрева. В противном случае перепад температур вызовет высокие внутренние напряжения, которые приведут к быстрой поломке валька.

4.8.3. Определение размеров заготовок обечаек

Размеры заготовок обечаек рассчитываются по длине нейтральной линии, которая находится из условия

$$l = 3,14D_{\text{ср}} \pm h,$$

где $D_{\text{ср}}$ – средний размер обечайки;

$$D_{\text{ср}} = D_{\text{вн}} + \delta, \quad \text{или} \quad D_{\text{ср}} = D_{\text{н}} - \delta,$$

где $D_{\text{вн}}$ – внутренний диаметр обечайки; $D_{\text{н}}$ – наружный диаметр обечайки; δ – толщина материала; h – зазор, необходимый для образования стыкового сварного шва, или величина нахлестки для паяного шва.

4.8.4. Правка цилиндрических обечаек

При правке цилиндрических обечаек необходимо учесть, что рассматриваются обечайки с жестким контуром, т. е. не прогибающиеся под собственным весом, у которых отношение толщины листа δ к диаметру D – не менее 0,01.



При правке обечаек, имеющих замкнутый контур, ставится задача исправления погрешности круговой формы. Правка обечаек производится между тремя валками путем увеличения кривизны участка, находящегося между валками, и последующего ее уменьшения.

В результате проведения предварительных операций (подгибка кромок, сварка продольного стыка) обечайка имеет неправильную геометрическую форму, причем наибольшее искажение проявляется в околошовной зоне.

Операция правки обечайки разделяется на три последовательных перехода:

1) *нагрузка* – деформирование участка контура обечайки, находящегося между боковыми валками, путем их подъема или опускания верхнего вала;

2) *выкатка* – вращение обечайки при постоянном радиусе изгиба;

3) *разгрузка* – уменьшение деформации участка контура обечайки, находящегося между боковыми валками, путем их опускания или подъема верхнего вала.

Установлена следующая особенность при изгибе обечаек: для получения по всему круговому контуру одинаковой кривизны необходимо, чтобы при вращении обечайки между валками радиус изгиба был меньше радиуса кривизны любого участка по контуру обечайки.

Правка обечаек в горячем состоянии в основном не отличается от правки в холодном состоянии, за исключением одной особенности. После окончания процесса правки валки не отводятся, а обечайку продолжают вращать до момента, когда ее температура достигнет 300–400 °С («до потемнения»), после чего вращение прекращается и обечайку снимают с машины.

4.8.5. Гибка листов различной кривизны

Отдельные детали аппаратов имеют форму, отличную от цилиндрической, и бывают двоякой кривизны. Такую форму имеют лепестки шаровых емкостей, отдельные сегменты шаровых днищ. Лепестки шаровых емкостей могут быть изготовлены двумя методами: штамповкой и гибкой между валками.

Для гибки листов двоякой кривизны без нагрева применяются специальные девятивалковые листогибочные машины (рис. 4.37). Валки в машине расположены в шахматном порядке.

Процесс гибки производится следующим образом. Заготовку лепестка, очищенную от пыли и грязи, укладывают на рольганг перед машиной и устанавливают вплотную к верхнему углу размеченной центральной риски вниз. Ось заготовки совмещается с осью валков машины. По-



сле смачивания поверхности водой заготовка пропускается между валками, пока не выйдет из-под них на длину 1300...1500 мм. После обрезки конца заготовки газопламенным способом последнюю пропускают дальше через валки, пока они не начнут проскальзывать (рис. 4.37, а).

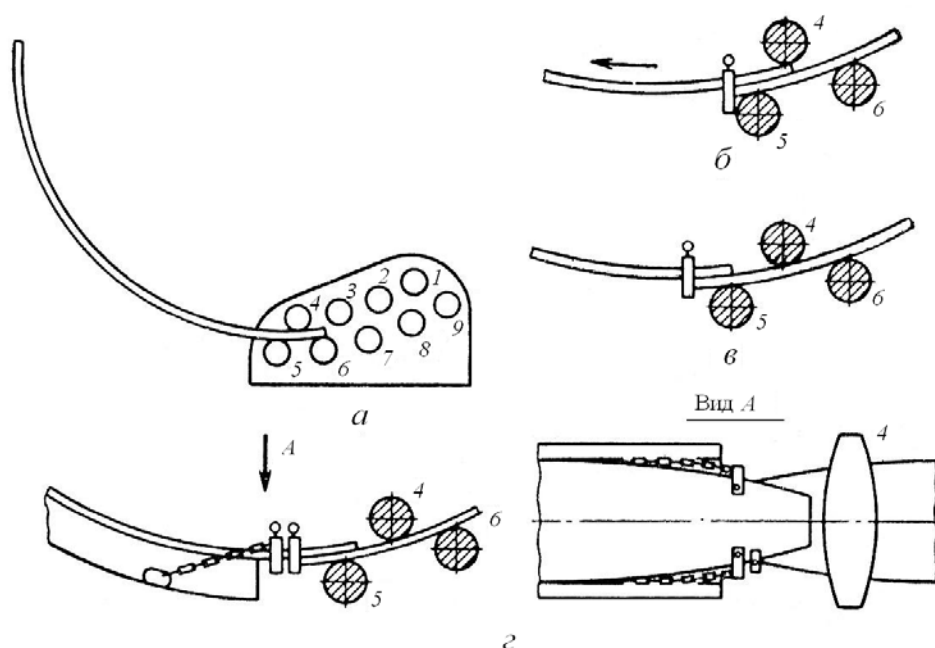


Рис. 4.37. Технологическая последовательность изготовления лепестков

На рольганг укладывают новую заготовку и пропускают ее через валки, выталкивая первую заготовку. Вращение валков останавливается после того, как задний конец выталкиваемого лепестка дойдет до середины валка 4, после чего на этом лепестке закрепляют струбцину – упор вплотную к валку 5 (рис. 4.37, б). Включается вращение валков, и лепесток проталкивается концом вновь изгибаемой заготовки, упирающейся в закрепленную ранее струбцину-упор до середины валка 5 (рис. 4.37, в).

На вытолкнутом лепестке закрепляются две струбцины, скрепленные с рольгангом цепями (рис. 4.37, г). Конец вновь изогнутого лепестка выводится из-под изогнутого ранее лепестка. Кривизну лепестков проверяют на стенде с помощью шаблона.

4.9. Обкатка

Обкаткой называют процесс получения из плоской заготовки изделий, имеющих форму тел вращения, с помощью давитьников, перемещающихся вдоль образующей детали.



Изделиям при обкатке придается вращательное движение. В зависимости от формы отдельные элементы деталей могут образовываться путем отгибки, обжимки, развальцовки или зиговки (рис. 4.38).

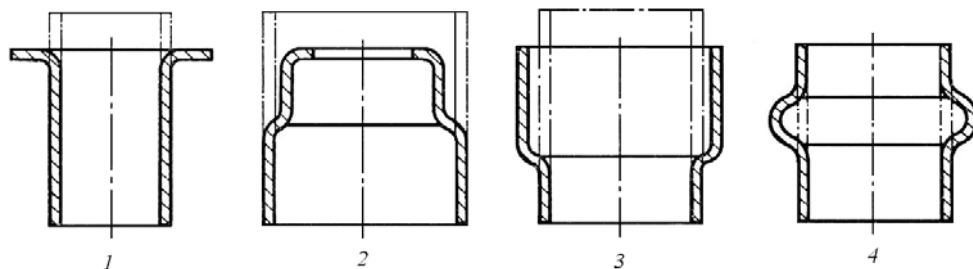


Рис. 4.38. Различные виды обкатки:

1 – отгибка; 2 – обжимка; 3 – развальцовка; 4 – зиговка

Критерием величины допустимых деформаций при отгибке и развальцовке служит отношение наибольшего диаметра готовой детали к внутреннему диаметру исходной трубы или обечайки:

$$\frac{D_{\text{вн}}}{D_{\text{заг}}} \leq 1,25 - 1,3,$$

где $D_{\text{вн}}$ – наибольший диаметр детали после отгибки или развальцовки; $D_{\text{заг}}$ – диаметр исходной трубы или обечайки.

Критерием глубины зиговки является допускаемое утонение стенки. Инструментом при обкатке служат гибочные ролики или давяльники. Обкатку проводят на зиговочных машинах и давяльных станках.

4.10. Вытяжка. Штамповка дниц

Вытяжкой называется процесс получения из плоской заготовки полового тела, открытого с одной стороны (рис. 4.39).

Вытяжку производят на прессах в штампах или в специальных приспособлениях. Вытяжка на прессах может быть проведена без утонения или с утонением стенки.

В первом случае поперечные размеры пуансона делаются меньше размеров отверстия матрицы на величину, превышающую двойную толщину стенки исходной заготовки.

Во втором случае зазор между пуансоном и матрицей составляет от 0,3 до 0,8 толщины материала, что приводит к уменьшению толщины

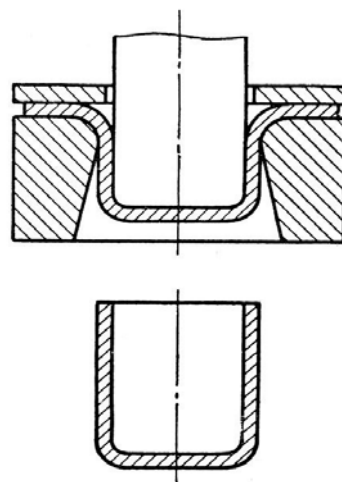


Рис. 4.39. Схема процесса вытяжки и готовая деталь

заготовки и увеличению ее поверхности. Вытяжка с утонением требует больших усилий, поэтому ее применяют для изготовления изделий из пластмасс и мягких металлов: алюминия, меди, латуни.

В химическом машиностроении преимущественно применяют вытяжку без утонения стенки.

В зависимости от используемого материала, требуемой глубины и диаметра деталей существует несколько способов вытяжки:

а) вытяжка готовых деталей через протяжное кольцо на прессах за один ход пуансона;

б) вытяжка на прессах с применением прижима;

в) глубокая вытяжка, проводимая за несколько переходов, при которых последовательно увеличивается высота изделия за счет уменьшения его диаметра;

г) гидравлическая вытяжка и вытяжка резиной;

д) вытяжка с подогревом, позволяющая производить неравномерную деформацию отдельных участков заготовки.

Вытяжка на прессах с применением прижима позволяет избежать образования складок в процессе штамповки тонкостенных деталей. Тонкостенными принято считать детали, у которых отношение толщины стенки к диаметру заготовки меньше 0,01 ($\delta \leq 0,01 D_{\text{заг}}$).

Глубокую вытяжку применяют в том случае, когда отношение диаметра готового изделия к диаметру заготовки меньше рекомендуемого коэффициента вытяжки.

Коэффициентом вытяжки называется отношение внешнего диаметра полученного изделия к диаметру заготовки:

$$k = D_{\text{вн}} / D_{\text{заг}},$$

где $D_{\text{вн}}$ – внешний диаметр готового изделия, мм; $D_{\text{заг}}$ – диаметр заготовки, или диаметр промежуточного изделия при многооперационной вытяжке, мм.

Коэффициент вытяжки служит мерой величины деформаций. Чем меньше значение k , тем сильнее изменяется форма заготовки. Коэффициент вытяжки изменяется в пределах 0,5–0,85. Для уменьшения усилий вытяжки и улучшения качества поверхности рекомендуется применять смазку инструмента и поверхности заготовок. Основными компонентами смазок являются: жиры, тальк, спирт, графит, мел, машинное масло, сода, бензин, глицерин. Для вытяжки в горячем состоянии – стеклянный порошок или волокно.



4.10.1. Вытяжка через протяжное кольцо

Чаще всего вытяжку производят на гидравлических прессах. Пуансоны и матрицы изготавливают из качественных высокоуглеродистых сталей или из легированных сталей. Для штамповки мягких металлов и пластмасс штампы можно изготавливать из дерева, эбонита, текстолита.

Штамповка днищ и крышек на гидравлических прессах производится обычно в горячем состоянии за один двойной ход пресса. Нагретую заготовку укладывают на протяжное кольцо таким образом, чтобы края заготовки, выходящие за стенки кольца, были равными. Пуансон, имеющий форму днища, медленно опускаясь, протягивает заготовку через протяжное кольцо, образуя за один ход днище.

4.10.2. Штамповка с применением прижима

Тонкостенные днища, а также днища из двухслойной стали штампуются с предварительным прижимом заготовки к протяжному кольцу. Прижим осуществляется с помощью приспособлений, сила прижима регулируется. После прижима заготовки внутренний ползун действует независимо от наружного (рис. 4.40).

Для более качественной вытяжки таких днищ рекомендуется делать специальные кольца (рис. 4.41).

Штамповку днищ с применением колец производят за две операции: при первой кольцо кладут на заготовку плоской стороной и производят предварительную штамповку сферической части; при второй кольцо переворачивают и производят окончательную вытяжку заготовки через матрицу. Штамп с двусторонним прижимным

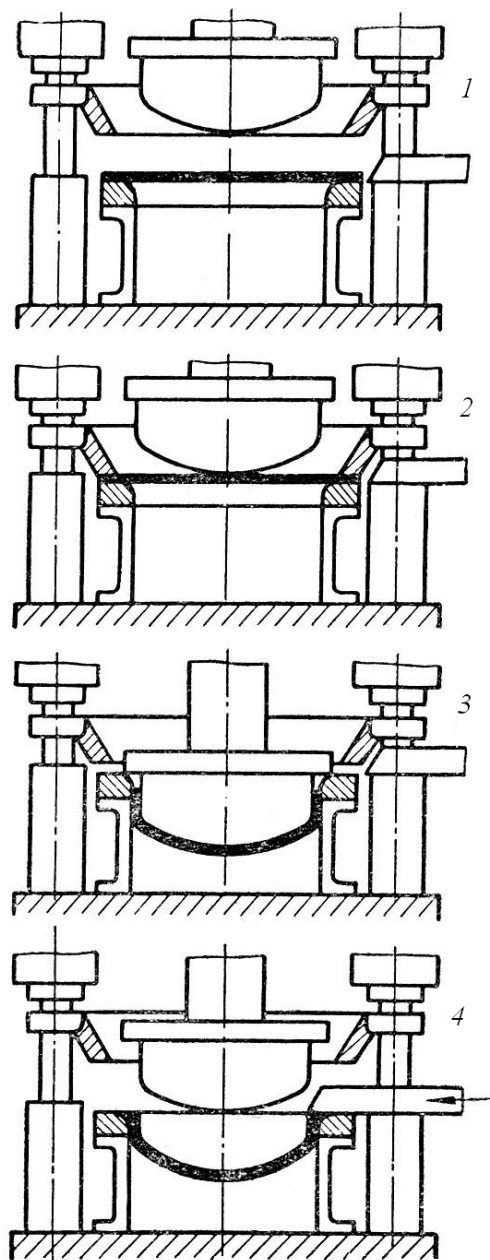


Рис. 4.40. Схема процесса вытяжки по стадиям:
1 – укладка заготовки на кольцо;
2 – прижим заготовки;
3 – вытяжка; 4 – сбрасывание готового изделия



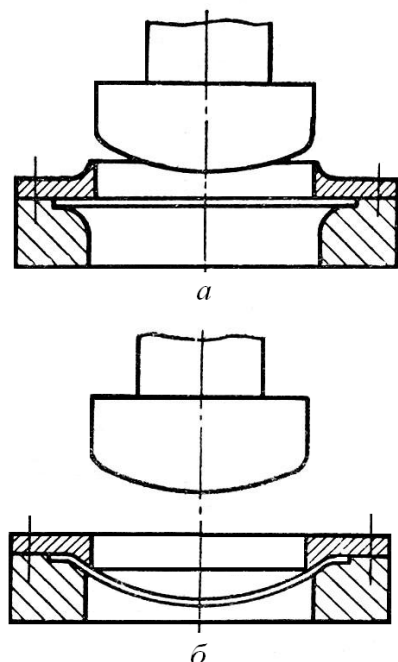


Рис. 4.41. Вытяжка дна
с прижимным кольцом:
а – первая операция;
б – вторая операция

кольцом позволяет прижимать заготовку в течение всего процесса вытяжки и исключает возможность образования гофров, складок, выпучин и других видов брака.

Так как в процессе штамповки остывающий лист сокращает размеры дна, а пуансон расширяется, нагреваясь от заготовки, то дно плотно прижимается к пуансону, и поэтому приходится применять специальное приспособление – сбрасыватель, который снимает дно с пуансона во время обратного хода ползуна. Иногда пуансон изготовляют в виде отдельных секторов. Такое устройство пуансона позволяет снимать дно, не применяя сбрасыватель.

4.10.3. Глубокая вытяжка

Глубокую вытяжку производят на гидравлических прессах, в которых давление прижима регулируется самостоятельно по четырем углам нажимной плиты. На этих прессах легко и быстро регулируется ход ползуна в любой точке во время наладки штампов.

Для изготовления мелких деталей, выпускаемых в большом количестве (колпачки ректификационных колонн, бортшайбы и т. п.), целесообразно применять многопозиционные пресс-автоматы (рис. 4.42).

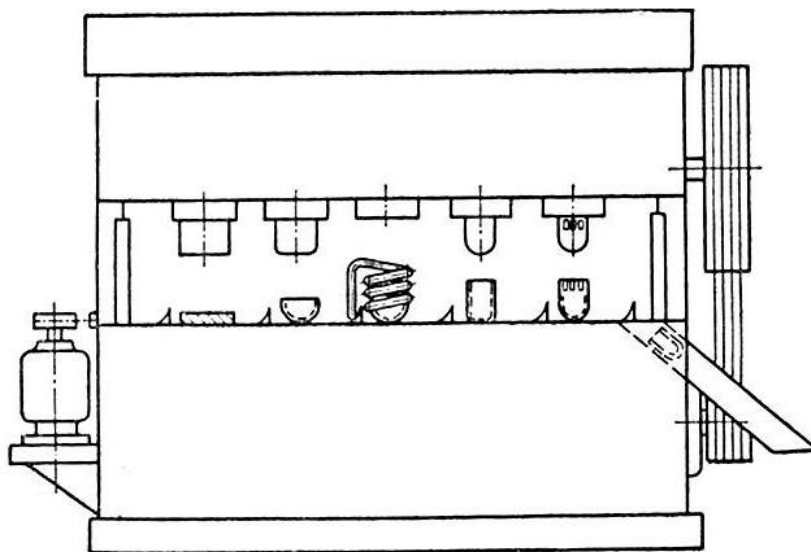


Рис. 4.42. Многопозиционный пресс для штамповки колпачков



Технологический процесс изготовления колпачков состоит из следующих пяти операций:

- 1) вырубки круглой заготовки из полосы металла;
- 2) предварительной вытяжки;
- 3) отжига заготовки на холостом ходу прессы с помощью индукционного нагревателя;
- 4) окончательной вытяжки;
- 5) вырубки боковых прорезей.

4.10.4. Гидравлическая вытяжка

Вытяжка крупногабаритных днищ из тонкого листового материала на прессах даже при применении прижимов не исключает образования складок на бортах. Складки удаляют с помощью ручной выколотки – этот процесс тяжелый и трудоемкий и не обеспечивает хорошее качество изделий.

Наиболее совершенным способом изготовления тонколистовых днищ является гидравлическая вытяжка. Деформирование заготовок при гидравлической вытяжке происходит под действием рабочей жидкости, давление которой достигает до 40 МПа. На этих прессах один рабочий инструмент изготавливают в виде толстого резинового листа, которым закрывается пространство с водой. При создании давления лист натягивает обрабатываемый материал на поверхность пуансона или матрицы равномерно, без образования складок (рис. 4.43).

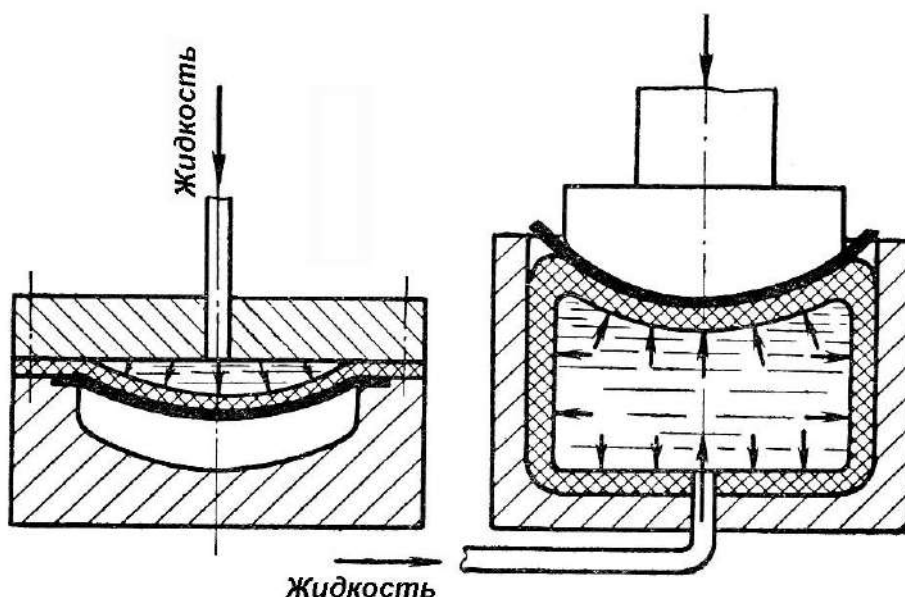


Рис. 4.43. Различные схемы гидравлической вытяжки



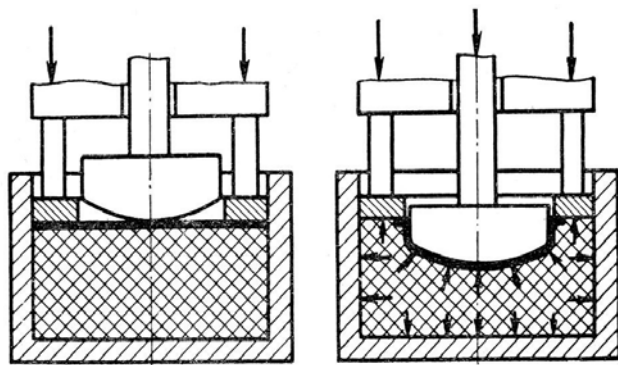


Рис. 4.44. Вытяжка с применением резиновых матриц

Вытяжку из тонколистового материала проводят также с помощью резиновых матриц (рис. 4.44). При этом способе заготовка зажимается между прижимной плитой и резиной, заключенной в замкнутый приемник. При опускании ползуна резина обтягивает заготовку по форме пуансона.

4.10.5. Вытяжка взрывом

Существует способ вытяжки, при котором деформация производится за счет действия взрывной волны. Сущность способа состоит в том, что для деформирования металла используют энергию горения или взрыва взрывчатых веществ (пороха, тола и др.). Процесс взрывной формовки днищ может производиться при непосредственном воздействии на металл продуктов горения или через промежуточный слой жидкости.

В первом случае для штамповки изготавливают массивные разъемные приспособления, нижняя часть которых имеет внутреннюю полость, соответствующую форме детали. Строго рассчитанное количество взрывчатого вещества помещается в верхней части приспособления, над заготовкой. При взрыве продукты горения создают необходимое для формования давление. Для выброса воздуха, находящегося под заготовкой, в нижней части сверлят ряд мелких отверстий.

При втором варианте заготовку крепят на массивном приспособлении, выполняющем роль матрицы и имеющем полость, соответствующую форме днища. Для создания герметичности между заготовкой и приспособлением устанавливают резиновую прокладку. Из образовавшегося замкнутого пространства выкачивают воздух, и приспособление вместе с заготовкой опускают в глубокий бетонированный колодец, залитый водой. В воде (вблизи от центра заготовки) помещают взрывчатое вещество, которое при взрыве через слой жидкости создает необходимое давление.



Формовка взрывом обеспечивает изготовление днищ с сохранением равенности, без поверхностных дефектов и трещин. Этот способ целесообразно применять при изготовлении днищ большого диаметра из тонколистового материала.

4.10.6. Усилие вытяжки

Расчетное усилие пресса складывается из усилия вытяжки и усилия прижима.

Усилие вытяжки определяется:

а) для первой вытяжки

$$P = 3,14d_1\delta\sigma_{\text{в}}n_1;$$

б) для второй и последующих вытяжек

$$P = 3,14d_n\delta\sigma_{\text{в}}n_2,$$

где d_1, d_2, \dots, d_n – диаметр готового или промежуточного изделия, мм; δ – толщина материала, мм; $\sigma_{\text{в}}$ – предел прочности при растяжении, Н/мм²; n_1, n_2 – поправочные коэффициенты (зависят от коэффициента вытяжки); $n_1 = 0,4 \dots 1,0$; $n_2 = 0,8 \dots 1,0$.

Давление прижима определяется как

$$P_{\text{пр}} = Fg,$$

где $P_{\text{пр}}$ – усилие прижима, Н; F – площадь заготовки под прижимом, мм²; g – удельное давление прижима, Н/мм².

Усилие вытяжки при изготовлении днищ из двухслойной стали определяется по формулам:

а) для первой операции

$$P = 4,7\delta\sigma_{\text{в}}(D_{\text{заг}} \dots d_1);$$

б) для последующих операций

$$P = 5,0\delta\sigma_{\text{в}}(d_{n-1} \dots d_n).$$

В большинстве случаев диаметр заготовки может быть с достаточной точностью определен из условий равенства поверхностей готовой детали и заготовки по формуле

$$D_{\text{заг}} = 1,13\sqrt{F},$$

где F – поверхность тела вращения (днища).

В общем случае поверхность заготовки тела вращения любой формы определяется из уравнения

$$F = 2\pi RL,$$

где F – площадь поверхности тела вращения, мм²; R – расстояние центра тяжести контура от оси вращения, мм; L – длина образующей вытягиваемой детали (периметр вращающего контура), мм.



4.11. Формование

В последние годы в химическом аппаратостроении получили широкое применение высокомолекулярные органические материалы, получаемые на основе природных или искусственных смол. Смолы разделяют на две группы: термопластичные и термореактивные.

Термопластичными называют смолы, которые при нагреве становятся пластичными и затвердевают при охлаждении, причем этот процесс может быть повторен неоднократно (поливинилхлоридные и полиакриловые смолы, полистирол, полипропилен, полиамиды и др.).

Смолы, не обладающие пластичными свойствами, называются термореактивными (эпоксидные, фенолформальдегидные и некоторые кремнийорганические смолы).

Добавка к смолам различных порошковых наполнителей, пластификаторов и красителей позволяет получать сырье для изготовления изделий – термопластичные и термореактивные пластмассы. Для изготовления деталей крупногабаритных аппаратов высокой прочности применяют листовые термопласты и термореактивные пластмассы, упроченные стекловолокном.

4.11.1. Формование листовых термопластов

Листовые термопласты, в отличие от металлов, не имеют постоянной температуры плавления. С повышением температуры они постепенно становятся менее вязкими и пластичными. Например, винипласт до 80 °С находится в твердом состоянии, в интервале от до 170 °С – в высокоэластичном, а при температуре 170 °С – в жидкотекучем состоянии. Эти особые свойства термопластов позволяют производить изменение их формы при незначительном нагреве и небольших давлениях.

Существует несколько способов переработки пластмасс в изделия: прессование, литье под давлением, экструзия, гибка, штамповка, пневматическое и вакуумное формование.

Для вальцовки обечаек применяют гибочные барабаны, внешний диаметр которых равен внутреннему диаметру обечайки. Барабаны изготавливают из дерева, винипласта, текстолита и других материалов, имеющих низкую теплопроводность. По образующей барабана прибивается полотно (бельтинг). Разогретый до пластического состояния пластмассовый лист накладывается на полотно, а затем на него быстро накатывается барабан (рис. 4.45). При этом заготовка принимает форму обечайки и после охлаждения снимается с барабана.

Для изготовления обечаек больших диаметров используют металлические цилиндры с внутренним диаметром, равным внешнему диа-



метру обечайки. Разогретую и размягченную заготовку предварительно соединяют встык и заправляют внутрь цилиндра, стенки которого смазаны маслом. Благодаря упругости пластмасс лист прижимается к внутренней поверхности и после охлаждения снимается.

Одним из простейших способов образования доннышек из винипласта является выдавливание с применением песка. Мелкий сухой песок нагревают до температуры 150...180 °С, а затем насыпают на поверхность пластмассового листа, зажатого между двумя металлическими фланцами (рис. 4.46). Выдавливание происходит за счет силы тяжести.

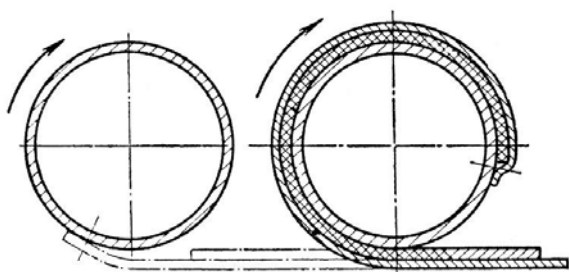


Рис. 4.45. Вальцовка обечаек из винипласта на гибочном барабане

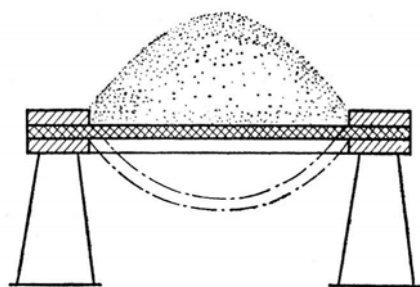


Рис. 4.46. Формование деталей из листовых термопластов

Формование изделий из листовых термопластов можно производить в специальных формах, одна часть которых служит приемником подаваемого в форму воздуха, а вторая часть ограничивает поверхность детали (рис. 4.47, а).

Заготовку зажимают между двумя частями формы, а затем в нее вводят горячий воздух, под действием которого листы размягчаются и заполняют форму (обычно формируют детали сложной конфигурации).

Формование можно провести и без ограничивающей поверхности (рис. 4.47, б), и под вакуумом (рис. 4.47, в).

При вакуум-формовании размягченный формуемый материал укладывают на сосуд, края уплотняют резиновым кольцом и прижимают крышкой, а затем с помощью вакуум-насоса выкачивают воздух из сосуда. Материал прижимается к краям сосуда, герметизирует его и начинает втягиваться внутрь полого пространства, пока не приобретет необходимую форму. Вакуум в сосуде поддерживается до полного охлаждения изделия, которое можно ускорить обдувкой холодным воздухом.



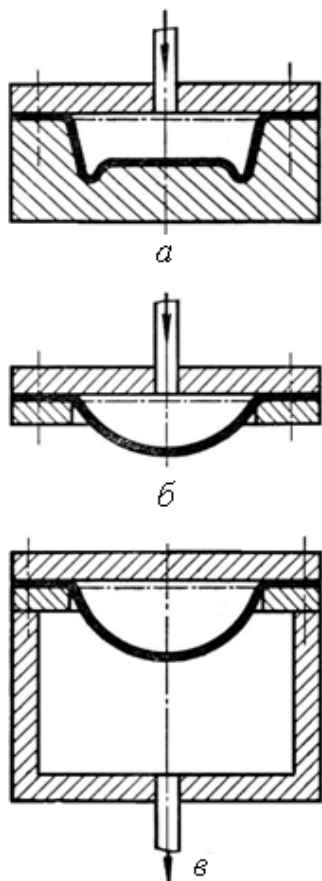


Рис. 4.47. Формование деталей из листовых термопластов:
а, б – пневмоформование;
в – вакуум-формование

Вакуум-формование можно производить в мягких оболочках, например в мешках из резины или полиэтилена. Форму помещают в мешок, накладывают на нее нагретую заготовку, быстро закрывают мешок и выкачивают из него воздух. Мягкая оболочка прилегает к форме и плотно прижимает к ней листовую термопласт.

Важным условием для качественного формования является правильно выбранная температура нагрева.

4.11.2. Формование стеклопластиков

Для увеличения прочности пластмасс добавляют волокнистые наполнители: бумагу (гетинакс), хлопчатобумажные ткани (текстолит), асбест (асболит, асботекстолит) или стеклянное волокно (стеклопластики).

Стеклопластики – инновационный строительный материал, который производится на основе особых стеклянных волокон в виде пряжи (рис. 4.48, а), стеклоткани (рис. 4.48, б) или матов, термореактивных полимерных связующих (полиэфирные, фенолформальдегидные и эпоксидные смолы) и отвердителей.

Стеклопластики обладают очень высокими механическими свойствами, химической стойкостью, влагостойкостью и термостойкостью.

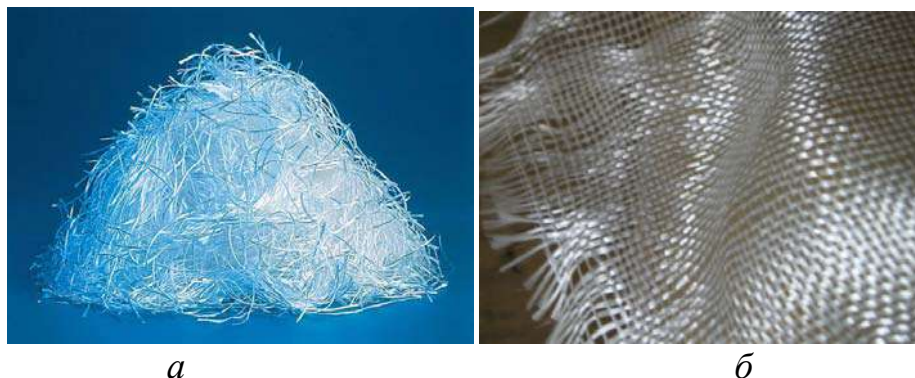


Рис. 4.48. Стеклянное волокно в виде пряжи (а) и стеклоткани (б)



Формование стеклопластиков производится при температурах отвердевания смол. Для регулирования температуры отвердевания в смолу добавляют специальные растворители.

Получаемый продукт, арматура или конструктивные материалы (швеллеры, уголки, трубы) обладают следующими свойствами, конкурентноспособными перед традиционными материалами:

- высокой механической прочностью;
- высокой коррозионной, химической, электрохимической и биологической стойкостью;
- более низкой токсичностью газов, выделяемых при горении, по сравнению с древесиной;
- достаточно широким диапазоном рабочих температур: от -60 до $+80$ °С;
- стойкостью к ультрафиолетовому излучению;
- низким водо- и влагопоглощением;
- является прекрасным электроизоляционным материалом.



Рис. 4.49. Оборудование из стеклопластика

Высокая стойкость стеклопластиков против воздействия агрессивных сред делает их незаменимым материалом для изготовления крупных корпусных изделий: бассейнов, емкостей, резервуаров, цистерн, контейнеров, водоохлаждающих градирен и многих других оболочковых конструкций (рис. 4.49).

Контактный способ изготовления деталей заключается в том, что на форму, выполненную из дерева, металла или пластмассы, накладывают раскроенную стеклоткань, которую затем пропитывают смолой с помощью кисти. Для уплотнения материала и удаления пузырьков воздуха рекомендуется прокатывать заготовку ребристыми валками, а для свободного отделения стеклопластика от формы после его отвердевания – смазывать формы специальным составом, например парафином.



При изготовлении деталей из стеклопластиков **пнеумо- или вакуум-формованием** применяют вакуумные или воздушные резиновые мешки. На внутреннюю поверхность формы равномерно расстилают стекловолокнистый материал, который затем с помощью пульверизатора пропитывают термореактивными смолами. Полученную заготовку накрывают резиновым мешком и над ним создают давление или, наоборот, производят откачку воздуха из пространства между мешком и стенкой формы (рис. 4.50).

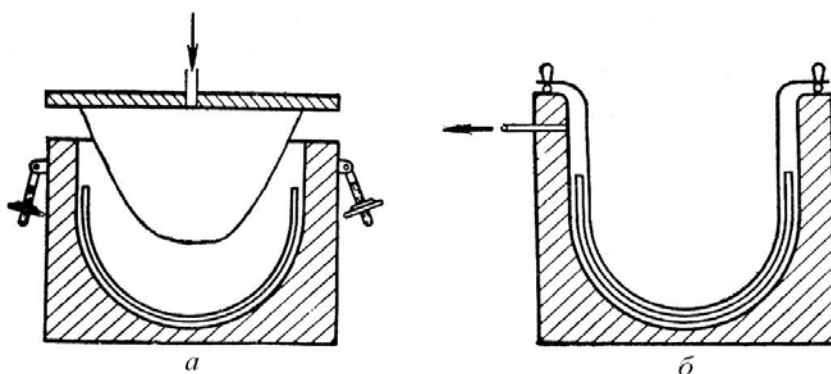


Рис. 4.50. Способы изготовления днищ из стеклопластиков:
а – пнеумоформование; б – вакуум-формование

Большой интерес представляет получение деталей из стеклопластиков с помощью **центрифугирования**, которое применяют при изготовлении цилиндрических емкостей, обечаек, труб и других тел вращения. При этом способе рубленные стеклянные волокна одновременно со смолой загружают во вращающуюся центрифугу. Центрифугирование обеспечивает уплотнение и равномерное распределение материала и связующей смолы. Прилипание смолы к барабану предотвращают, прокладывая слой целлофана или воска. После центрифугирования внутрь барабана помещают резиновый мешок и производят дополнительное уплотнение материала сжатым воздухом.

Другим способом изготовления тел вращения является намотка ленточной стеклоткани или пряжей стекловолокна на цилиндрические оправки при одновременной пропитке ее смолой с последующим застыванием в термической камере.

Композитные трубы – это изделия из стеклопластика или базальтопластика, которые производятся методом непрерывной намотки (рис. 4.51). При этом доля стеклянных волокон в материале трубы может составлять от 65 до 85 %. Физико-механические характеристики стеклопластиковых труб зависят от направления укладки стеклянных волокон и для каждого типа трубы различаются вдоль оси и в окружном направлении.



Трубы из стеклопластика служат дольше и эффективнее, чем аналогичные изделия из стали, т. к. обладают рядом преимуществ:

- являются хорошим диэлектриком;
- высокая химическая стойкость предполагает срок безремонтной службы порядка 60 лет;
- не замерзают и лучше переносят гидроудар за счет большей упругости стеклопластика;
- в 10 раз легче стали, что позволяет осуществлять монтаж без использования тяжелой спецтехники;
- теплопроводность в 100 раз меньше, чем у стали;
- способны выдерживать давление до 20 МПа;
- простота монтажа и обслуживания.

Компания «АрмПласт» г. Нижний Новгород осуществляет производство стеклопластиковых труб для строительства нефте- и водопроводов, арматуры, стеклосетки, а также конструктивных элементов из стеклопластика.



Рис. 4.51. Стеклопластиковые трубы



Рис. 4.52. Стеклопластиковая арматура

Композитная арматура (рис. 4.52) в настоящее время считается качественной современной продукцией, которая произвела невероятный прорыв в области строительных материалов. Стеклокомпозитная арматура выполняется из стекловолокна, диаметр прутков может составлять от 4 до 14 мм. Арматура поставляется в бухтах любой длины. Стеклопластиковая арматура отличается высокой прочностью, по сравнению с металлическим аналогом, и превышает показатель прочности металла в 3 раза. Стоит принять во внимание и долговечность материала – 80 лет без необходимости в дополнительном ремонте. Материал прекрасно подходит для таких конструкций, как пенобетон, монолитный фундамент. Он не проводит электричество и имеет высокую устойчивость к химическим воздействиям, поэтому будет особо эффективен:



- при строительстве хранилищ на химических производствах;
- при возведении систем мелиорации, водоотведения, канализации;
- при строительстве морских сооружений, укреплении береговой линии.

Стоимость стеклопластиковой арматуры ниже стоимости металлической на 40...50 %, что позволяет не только снизить затраты, но и значительно увеличить качество возводимых сооружений. Таким образом, без преувеличения можно называть стеклопластиковую арматуру одним из наиболее перспективных инновационных строительных материалов.

4.12. Тепловая обработка

Термическая обработка – последовательное нагревание и охлаждение заготовок деталей или аппаратов с целью улучшения их механических, эксплуатационных и технологических свойств вследствие фазовых и структурных превращений и уменьшения внутренних напряжений металла.

К термической обработке относятся процессы отжига, нормализации, закалки, отпуска и обработки холодом.

При изготовлении аппаратов преимущественно приходится иметь дело с отжигом. **Отжиг** заключается в нагревании металла до температуры, обеспечивающей получение равновесных структур, выдержке при этой температуре и медленном охлаждении.

После отжига понижается твердость металлов, повышается их вязкость, а также снимаются внутренние напряжения, вызванные предыдущей обработкой. Степень уменьшения напряжений зависит от времени выдержки и температуры. Время выдержки прямо пропорционально толщине отжигаемого материала.

В зависимости от свойств металлов существуют различные технологические приемы отжига. Отжиг металлов, как правило, производят в печах. Стальные изделия нагревают в электрических или газовых печах, выдерживают несколько часов при температуре отжига, а затем медленно охлаждают вместе с печью или в горячем песке.

Для предохранения металлов от окисления в рабочее пространство печей вводят защитную газовую среду. При обработке сталей используют:

- 1) смесь азот – водород – пары воды;
- 2) генераторный газ;
- 3) смеси, образуемые при сжигании коксового или природного газа;
- 4) крекинг-газ и пирогаз.



Медь подвергают светлomu отжигу в атмосфере азота, водорода, углекислого газа, паров воды или смеси углекислого газа и окиси углерода.

Латунь значительно улучшает свои свойства при низкотемпературном отжиге $\approx 300^\circ\text{C}$.

Для получения светлой неоокисленной поверхности никелевых сплавов применяют отжиг в среде чистого водорода.

Термическую обработку изделий из титана проводят при нагревании и разряженной атмосфере с предварительным покрытием поверхности порошком кремния. Наивысшей пластичности титан достигает при отжиге в атмосфере чистого аргона или в вакууме.

Нагревание при обработке деталей давлением. Горячей обработке давлением могут подвергаться почти все металлы и большинство пластмасс. Хорошо гнется и штампуется в горячем состоянии двухслойная сталь, хотя во избежание расслоения не следует нагревать заготовки более двух раз.

Нагрев пластических масс производят в пламени горелки или передачей тепла через металл, воздух, песок или жидкость. Равномерность нагрева по всей толщине пластмассового листа достигается при погружении его в жидкостную ванну. В качестве нагревающей жидкости применяют трансформаторное масло или глицерин (глицерин легко удалять с поверхности, смыв водой).

Обжиг керамических изделий производят в печах периодического или непрерывного действия. Тоннельные печи непрерывного действия применяют для однородной массовой продукции. Печи периодического действия позволяют проводить любой режим нагревания и охлаждения. Обжиг в печах периодического действия продолжается 5...6 суток. Примерно такое же время затрачивается на процесс охлаждения.



5. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОСНОВНЫХ ДЕТАЛЕЙ АППАРАТУРЫ

В химических аппаратах широко используют фланцы, бортшайбы и трубные решетки. Эти детали имеют одно и то же конструктивное назначение, с их помощью осуществляют соединение отдельных узлов или готовых аппаратов, присоединение труб и трубопроводов.

5.1. Изготовление фланцев

Различные типы фланцев, используемые в аппаратах, представлены на рис. 5.1. В зависимости от профиля сечения и размеров заготовками для фланцев могут быть отливки, круглый, профильный, полосовой или листовой прокат.

Фланцы с внешним диаметром до 150 мм нарезают из круглого проката. Навертные фланцы с внешним диаметром до 400 мм изготавливают

путем вырезки заготовок из листового проката с последующей механической обработкой. Для приварных и крупных намертных фланцев целесообразно изготавливать заготовки центробежным литьем или вальцовкой из полос и профильного проката. Из профильного проката гнутся заготовки фланцев или их элементы. Гибку производят как в горячем, так и в холодном состоянии. Заготовка может состоять из одного или нескольких частей, длина которых по средней линии должна быть не менее 400 мм. Отдельные куски заготовки сваривают.

Сварку фланцев производят на плите. Место стыка обкладывают асбестом и огнеупорным кирпичом так, чтобы во время сварки из зазора в стыке не мог вытекать расплавленный металл. После сварки фланцы отправляют на механическую обработку.

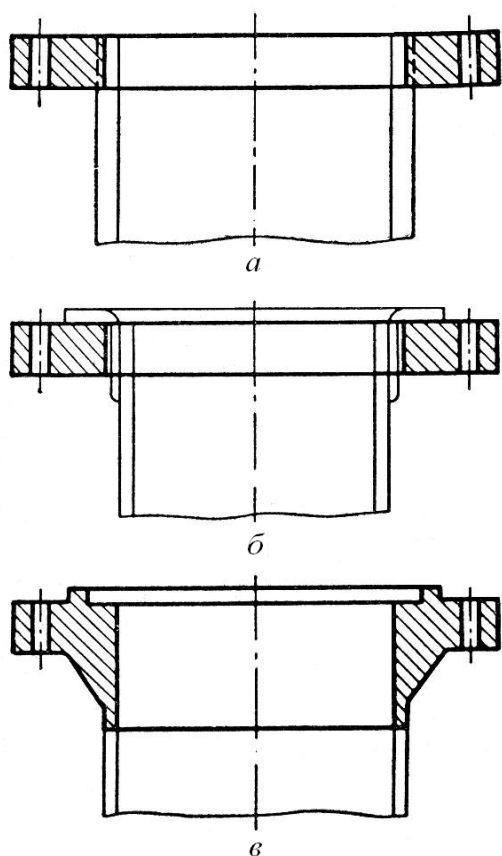


Рис. 5.1. Конструкции фланцев:
а – намертной; б – намертной;
в – приварной



Если фланцы являются частью сварного аппарата, окончательную механическую обработку рекомендуется производить только после полной сварки швов, соединяющих заготовку фланца с другими деталями корпуса аппарата. Это обусловлено тем, что в процессе сварки в результате нагревания металла возникают значительные напряжения, которые могут привести к искривлению сопрягаемых поверхностей.

Окончательная механическая обработка корпусов и крышек, имеющих фланцы, производится после отжига изделий.

Ответственной операцией при изготовлении фланцев является разметка отверстий под болты или шпильки. Разметка должна обеспечивать полное совпадение отверстий сопрягаемых фланцев при любом угле поворота одного относительно другого. Лучше всего вести разметку по разметочным приспособлениям – кондукторам.

При индивидуальном изготовлении аппаратов целесообразно производить совместное сверление сопрягаемых фланцев. Такое сверление обеспечивает совпадение отверстий в одном из возможных взаимных положений фланцев. Это положение фиксируется при сверлении отметкой на внешней стороне сопрягаемых деталей. Если совместное сверление невозможно, следует производить более точную разметку.

Рекомендуемый порядок разметки:

1. Точно провести окружность расположения отверстий, для чего должна быть найдена и строго зафиксирована центральная ось фланца.
2. С помощью циркуля разделить окружность на равное число частей, кратное числу отверстий на фланцах (4, 6, 8, 12, 16 и т. д.).
3. Определить длину хорды между центрами двух соседних отверстий:

$$l = D_0 \sin \frac{\alpha}{2},$$

где l – длина хорды; α – угол, заключенный между радиусами, проведенными из центра фланца через центры соседних отверстий; D_0 – диаметр расположения центров отверстий.

4. С помощью циркуля, раздвинутого на размер длины хорды, отметить расположение отверстий, ведя разметку вправо и влево от ранее размеченных центров. Сверление отверстий производят на вертикальных сверлильных станках.

5.2. Изготовление бортшайб

Бортшайбы устанавливаются в аппаратах для присоединения цилиндрических обечаек, патрубков или колен к плоским или выпуклым поверхностям более крупных деталей (рис. 5.2). Заготовками для бортшайб может служить листовой или полосовой прокат и трубы.



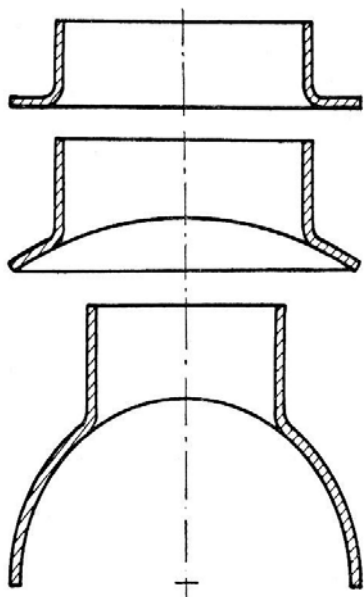


Рис. 5.2. Различные конструкции бортов

Мелкие тонкостенные бортов (диаметром цилиндрической части до 50 мм и толщиной от 0,5 до 2,5 мм) изготавливают на давильных станках. Если высота цилиндрической части больше, чем ширина кольца, то для заготовки выбирают трубы. При незначительной высоте цилиндрической части, по сравнению с шириной плоского кольца, для заготовки удобнее выбирать листовой прокат.

Бортов, имеющие криволинейную сопрягаемую поверхность, и плоские бортов изготавливаются в штампах на прессах. В зависимости от марки и толщины материала штамповку проводят в холодном или в горячем состоянии. Перед штамповкой в заготовке должно быть проделано центральное отверстие.

Процесс образования в плоской или поллой заготовке с предварительно пробитым отверстием борта заданной формы (рис. 5.3) и высоты называется **отбортовкой**.

При отбортовке имеет место вытяжка и растяжение с утонением стенки. Мерой величины деформации при отбортовке служит **коэффициент отбортовки**, определяющий допустимое утонение стенки,

$$K_{отб} = \frac{d_{отв}}{D_{отб}},$$

где $d_{отв}$ – диаметр отверстия; $D_{отб}$ – максимально возможный диаметр отбортовки; $K_{отб} = 0,58...0,78$ (в зависимости от материала и толщины листа).

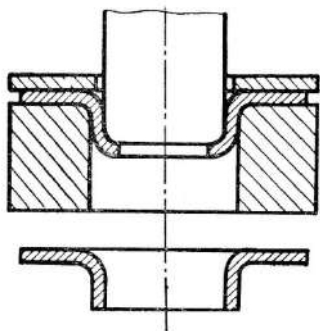


Рис. 5.3. Схема процесса отбортовки и готовая деталь

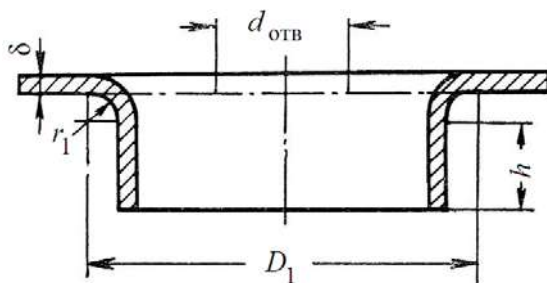


Рис. 5.4. Соотношение основных размеров детали на проведение отбортовки



Диаметр отверстия под отбортовку определяется из уравнения (рис. 5.4)

$$d_{\text{отв}} = D_1 - 3,14 \left(r_1 + \frac{\delta}{2} \right) - 2h.$$

Усилие отбортовки при штамповке на прессах может быть найдено по формуле

$$P = 3,14 D_{\text{отб}} \delta \sigma_{\text{в}} \frac{n}{K_{\text{отб}}},$$

где $D_{\text{отб}}$ – диаметр отбортовки, мм; δ – толщина материала, мм; $\sigma_{\text{в}}$ – предел прочности при растяжении, Н/мм²; $K_{\text{отб}}$ – коэффициент отбортовки; $n = 0,2 \dots 0,3$ – поправочный коэффициент.

Бортшайбы с внутренним диаметром цилиндрической части более 250 мм рекомендуется изготавливать из полосового или специального углового проката. Для изготовления борта производят гибку полосы в продольном направлении на кромкогибочных станках.

5.3. Изготовление трубных решеток

Трубные решетки являются неотъемлемой деталью кожухотрубчатых теплообменных аппаратов и предназначены для крепления в них труб. На рис. 5.5 показаны различные конструкции трубных решеток. Материалом для трубных решеток служит листовая сталь толщиной, равной толщине решетки. Трубные решетки изготавливаются обычно цельными, вырезкой из листа. В отдельных случаях допускается изготовление решеток из нескольких частей, число которых определяется экономичностью раскроя листа (обычно при большом диаметре решетки). Сверление отверстий может производиться на сварных швах.

Наиболее ответственной работой при изготовлении решеток является разметка и сверление отверстий. При небольшой партии решеток вместо индивидуальной разметки можно применить способ, при котором на решетки наклеивают синьки с разметкой, произведенной на бумаге, а затем производят кернение и сверление отверстий. При мелкосерийном и серийном изготовлении решеток следует применять накладные кондукторы (рис. 5.6).

При индивидуальной разметке, допускаемой в единичном производстве, следует скреплять решетки попарно и сверлить их одновременно. Диаметр отверстий в решетках должен быть несколько больше диаметра труб для обеспечения свободной установки труб во время сборки. В отверстиях не допускается оставлять сквозные зазубрины, заусенцы и сквозные продольные и спиральные риски.



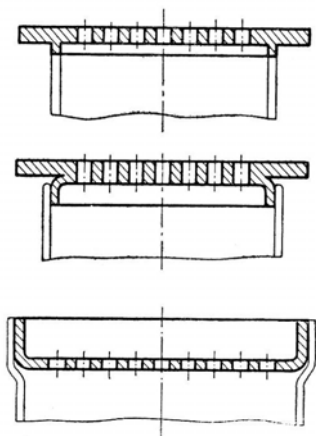


Рис. 5.5. Различные конструкции трубных решеток

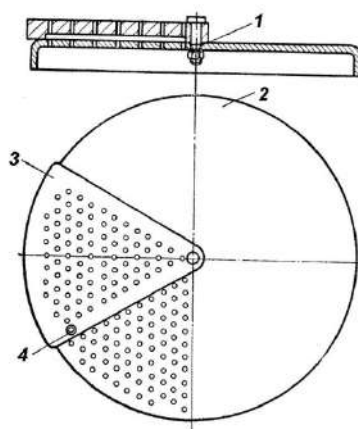


Рис. 5.6. Схема установки кондуктора при сверлении трубной решетки: 1 – опорный болт; 2 – заготовка решетки; 3 – кондуктор; 4 – установочный штифт

Кроме трубных решеток, в аппаратах применяют различные типы решеток, предназначенные для промежуточных перегородок в трубчатках и опор для насыпной насадки или фильтрующих материалов. Обычно такие решетки изготавливаются из тонколистового материала, и их сверление может быть проведено при одновременном пакетировании 5–6 заготовок.

5.4. Технология изготовления штуцеров

В аппаратостроении применяют главным образом штуцера с плоскими приварными и приваренными встык фланцами.

Сборка и сварка штуцеров с плоским фланцем. Плоский фланец укладывается уплотнительной поверхностью на сборочную плиту (рис. 5.7). По внутреннему диаметру укладываются подкладки, толщина которых равна величине недовода k торца патрубка до уплотнительной поверхности фланца. Патрубок торцом устанавливается во фланец на подкладки. Выдерживается перпендикулярность оси патрубка к уплотнительной поверхности фланца, зазор между патрубком и фланцем. Патрубок прихватывается сваркой и затем приваривается к фланцу.

Сборка и сварка штуцеров с буртовым фланцем. Фланец укладывается на сборочную плиту привалочной поверхностью вниз. На фланец устанавливают патрубок, выдерживая зазор 1...2 мм с помощью подкладок (рис. 5.8).



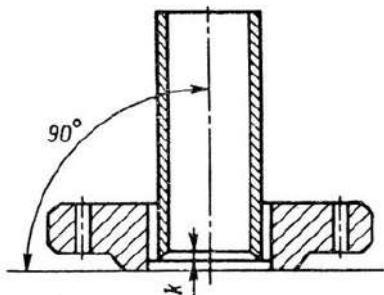


Рис. 5.7. Плоский фланец
с патрубком

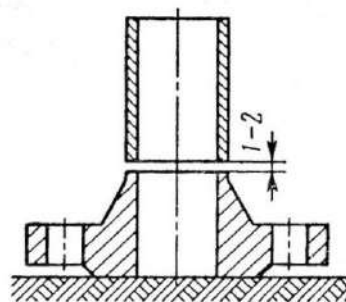


Рис. 5.8. Буртовой фланец
с патрубком

При установке выдерживается перпендикулярность оси патрубка к уплотнительной поверхности фланца и выводится внутреннее смещение кромок патрубка и фланца. Парубок прихватывают электросваркой, при этом количество прихваченных точек (мест) и их длина выбираются в зависимости от диаметра штуцера (3–4 точки длиной 20...60 мм). После прихватки производится сварка кольцевого шва.

5.5. Изготовление корпусов аппаратов

После сборки и сварки корпуса аппаратов должны удовлетворять следующим требованиям:

- отклонение от длины аппарата не должно превышать 0,3 % от номинальной длины корпуса, но не более ± 75 мм;
- непрямолинейность изделия не должна выходить за пределы 2 мм на длине 1 м, не более 20 мм при длине изделия до 10 м включительно и 30 мм при длине более 10 м;
- у аппаратов с внутренними устройствами, присоединяемыми в собранном виде, непрямолинейность не должна быть более величины номинального зазора между внутренним диаметром корпуса и наружным диаметром устройства;
- допускаемая овальность корпусов для аппаратов, работающих под вакуумом или под наружным давлением, не должна выходить за пределы 0,5 % номинального диаметра и не должна превышать 20 мм для аппаратов свыше 4000 мм. Допускаемая овальность корпусов для остальных аппаратов составляет 1 % номинального диаметра, но не более 20 мм для аппаратов диаметром свыше 2000 мм.

У обечаек стыкуемые кромки под сварку на ширину 15...20 мм от кромки и торец зачищаются абразивом или металлической щеткой. Обечайки устанавливаются на сборочный стенд, собираются и прихватываются сваркой по кольцевым швам. Продольные сварные швы в горизонтальных



аппаратах должны располагаться вне пределов 140° нижней части корпуса, если эта часть малодоступна для осмотра. Производятся замеры корпуса по диаметру в местах стыковки обечаек. Затем выполняется сварка сначала наружных, затем внутренних кольцевых швов. Качество сварных швов проверяется рентгеноскопическим или ультразвуковым методом.

Вырезка отверстий в корпусе осуществляется следующим образом: производится расцентровка корпуса, наносятся осевые линии и краской отмечаются номера главных осей; размечаются отверстия под штуцера по чертежу; накерниваются центр и окружность, а затем вырезают отверстие со снятием фасок под сварку.

Соединение люков и штуцеров с корпусом аппарата может быть осуществлено четырьмя способами (рис. 5.9).

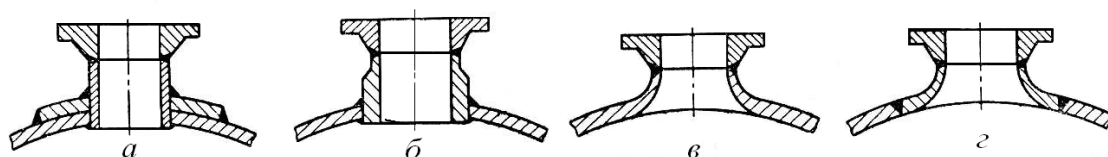


Рис. 5.9. Способы соединения люков и штуцеров с корпусами аппаратов:
а – посредством укрепляющего кольца; *б* – утолщением патрубка;
в – приваркой к вытянутой в корпусе горловине;
г – приваркой к вваренному в корпус торovому воротнику

Установка и приварка штуцеров *1* производится следующим способом (рис. 5.10). Размечается положение двух поддерживающих планок *2* по осевым линиям. Планки прихватываются к патрубку, при этом выдерживают размеры вылета штуцера по чертежу. Штуцер устанавливают в корпус, выдерживая перпендикулярность. Намечается линия среза патрубка заподлицо с внутренней поверхностью корпуса, штуцер снимается с корпуса, удаляется припуск с патрубка по разметке. После отрезки патрубка штуцер вновь устанавливают в корпус и прихватывают электросваркой. Поддерживающие планки удаляют, срез патрубка зачищают заподлицо с внутренней поверхностью корпуса. Штуцер приваривают в следующей последовательности: сначала заваривают внутри, выбирают корень шва снаружи с последующей зачисткой металлической щеткой и заваривают снаружи.

Перед приваркой штуцера, чтобы избежать коробления корпуса, в него вставляют распорное кольцо. При диаметрах штуцера более 200 мм и корпуса до 1000 мм кольцо устанавливается на расстоянии от края до 800 мм, а при диаметрах корпуса более 1000 мм и штуцера более 200 мм – на любом расстоянии от края корпуса.

При сборке днища с корпусом стыкуемые кромки обечайки и днища зачищают на ширину 15...20 мм от края. К днищу привариваются



направляющие планки (рис. 5.11), его подводят к корпусу и собирают. После удаления планок производится приварка. Кольцевой шов сначала заваривается снаружи, затем – изнутри. Для аппаратов диаметром менее 1200 мм сначала заваривают внутренний шов, затем – наружный.

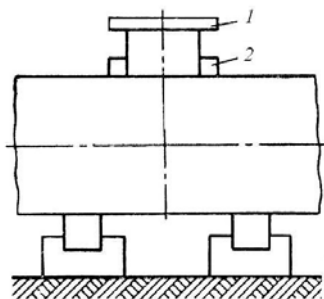


Рис. 5.10. Установка штуцера на корпус

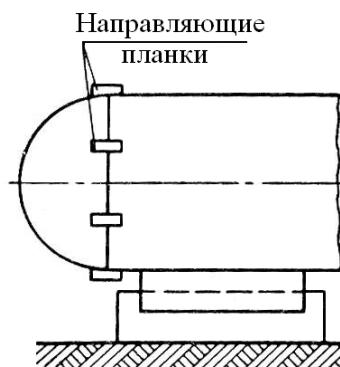


Рис. 5.11. Сборка днища с корпусом

При определенных соотношениях диаметра и толщины корпус может прогибаться под собственным весом, в результате чего затрудняется установка внутренних устройств. В этих случаях в корпус устанавливаются распорки, которые после сборки аппарата убираются. Распорки изготавливают из уголка длиной, равной внутреннему диаметру корпуса. При установке распорок их прихватывают электросваркой внутри корпуса в зоне установки внутреннего устройства (перегородки и др.).

При сборке и соединении между собой обечаек и днищ используют также различные конструкции колец жесткости и распорных домкратов. С помощью этих приспособлений сохраняют во время сварки строго определенный диаметр сосудов, регулируют зазор между кромками и создают лучшие условия для предохранения швов от коробления.

5.6. Изготовление компенсаторов

5.6.1. Линзовые компенсаторы

Линзовые компенсаторы применяют при компенсации тепловых удлинений в трубопроводах и аппаратах (рис. 5.12). Изготавливаются линзовые компенсаторы различными способами:

- 1) штамповкой полулинзы на гидропрессах с последующей сваркой их кольцевым швом;
- 2) штамповкой на гидропрессах отдельных секций линзы, которые сваривают меридиональными швами;



3) обкаткой роликами кольцевой заготовки на специальном приспособлении к карусельному станку, в результате чего получается полулинза;

4) изгибом между роликами предварительно спрофилированной заготовки;

5) выкаткой роликами из обечайки.

Первые три способа имеют некоторые недостатки.



Рис. 5.12. Линзовые компенсаторы

При первом способе для каждого компенсатора, отличающегося диаметром, толщиной стенки и формой линзы, требуется новый дорогостоящий штамп, что в условиях индивидуального и мелкосерийного производства увеличивает стоимость компенсатора. Для линз больших диаметров необходимы громоздкие штампы, для хранения которых необходима большая площадь в цехах. Кольцевой сварной шов, находящийся в наиболее нагруженной зоне, является слабым местом конструкции. Практика показывает, что все разрывы компенсатора происходят по кольцевому шву. Раскрой металла в виде кольцевой пластины весьма неэкономичен.

При втором способе для линз каждого типоразмера также изготавливается штамп. Так как длина секции линзы сравнительно невелика



(в среднем 600...700 мм), то для получения линз больших диаметров нужно сварить до 10–15 секций, что усложняет сборку, приводит к возрастанию жесткости и повышению трудоемкости.

При третьем способе также необходима специальная оснастка для изготовления линз разных диаметров и форм. Полулинзы сваривают кольцевым швом. Раскрой металла в виде кольцевой пластины неэкономичен.

Четвертым методом изготавливают линзы толщиной 2,5...4 мм и диаметром 400...1600 мм. При этом способе гибкой на профилегибочной машине изготавливают две полулинзы, свариваемые меридиональным швом в двух стыках.

Процесс осуществляется следующим образом. Лист размечается по требуемой развертке с припуском в 30 мм на последующую отрезку концов. Заготовка отрезается на ножницах, и профиль детали (рис. 5.13) получается в штампе. При штамповке толщина листа в различных местах сечения профиля не изменяется. Гибка заготовки производится между роликами профилегибочной машины. Максимальный диаметр гибки не ограничен, минимальный лимитируется утонением стенки компенсатора.

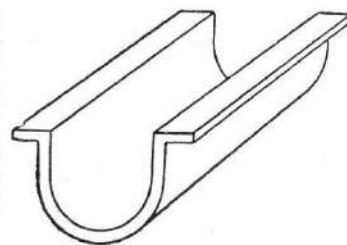


Рис. 5.13. Профиль линзы после штамповки

Максимальное утонение для компенсаторов диаметрами 500 и 1000 мм и толщиной стенки 4 мм составляет 20...23 и 10...12,5 % толщины листа, а толщиной стенки 2,5 мм – 12...20 и 6...8 % соответственно. Утонение стенки линзы при гибке не влияет на способность компенсаторов выдерживать расчетное давление. Утонение способствует снижению напряжения и уменьшает жесткость компенсатора.

После гибки у заготовки по концам отрезают прямые участки, две полулинзы собирают вместе и ручной сваркой заваривают два стыка. После сварки линзы проходят термообработку.

При производстве линз выкаткой роликами из обечайки последняя изготавливается из листа соответствующей толщины и марки стали. Наружный диаметр обечайки равен наружному диаметру готового компенсатора, а высота обечайки равна развертке контура компенсатора с учетом припуска на механическую обработку по торцам. Сварной шов необходимо зачищать заподлицо с основным металлом.

Перед выкаткой обечайка проходит термообработку.

Подготовленная обечайка устанавливается на планшайбу карусельного станка и закрепляется. Внутри обечайки вводится специальное приспособление, основными деталями которого являются два давить-



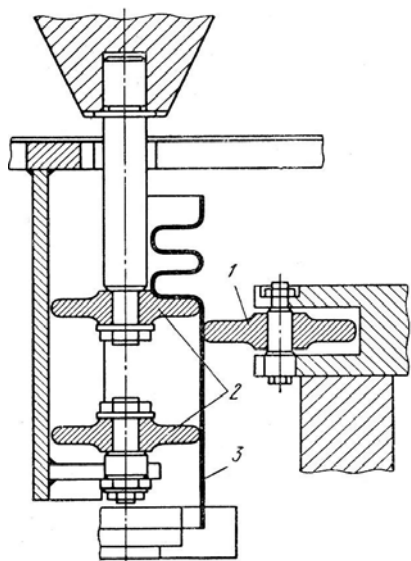


Рис. 5.14. Приспособление для изготовления линз на карусельном станке

ных ролика, которые могут сближаться один с другим. Приспособление (рис. 5.14) с роликами подводится вплотную к поверхности обечайки 3. На боковом суппорте укрепляется третий давящий ролик 1, который выдавливает часть материала обечайки в пространство, ограниченное двумя внутренними роликами 2. Сокращение расстояния между внутренними роликами позволяет вести процесс почти без утонения стенки компенсатора и значительно снизить усилия, возникающие при выкатке. Режимы выкатки: частота вращения заготовки – 100 об/мин, подача ролика – 0,12 мм/об. Метод выкатки универсален, т. к. с помощью трех роликов можно выкатать компенсаторы любого размера.

5.6.2. Волнистые компенсаторы

Наиболее современными компенсирующими устройствами, получившими широкое распространение, являются волнистые компенсаторы, которые могут выполнять различные функции. Волнистые компенсаторы используются:

- а) для поглощения тепловых линейных изменений;
- б) погашения вибраций;
- в) понижения пульсаций давления перекачиваемых сред;
- г) компенсации смещения в соединениях оборудования с трубами;
- д) для случаев, когда требуется надежно работающее малогабаритное гибкое герметичное соединение.

При разработке конструкций волнистых компенсаторов применяют различные профили гофров (волн) гибких элементов. В отечественной и зарубежной практике наиболее часто используют профили, приведенные на рис. 5.15.

Наиболее простые профили гофров (рис. 5.15, а) состоят из двух прямых участков, сопряженных с изогнутыми участками, расположенными в вершине и впадине гофра (описаны радиусом r). В зависимости от угла γ наклона прямых участков гофры образуют линзовый (U-образный) или поднутренный профиль. При повышенных давлениях среды применяют ограничительные кольца, расположенные по впадине



нам волн (рис. 5.15, б). Повышение давления среды в гофрированной оболочке сопровождается некоторым выпучиванием стенок кольцевых пластин. При наличии ограничительных колец и давления в оболочке эластичная стенка гофры плотно прилегает к поверхности колец, ограничивая ее выпучивание.

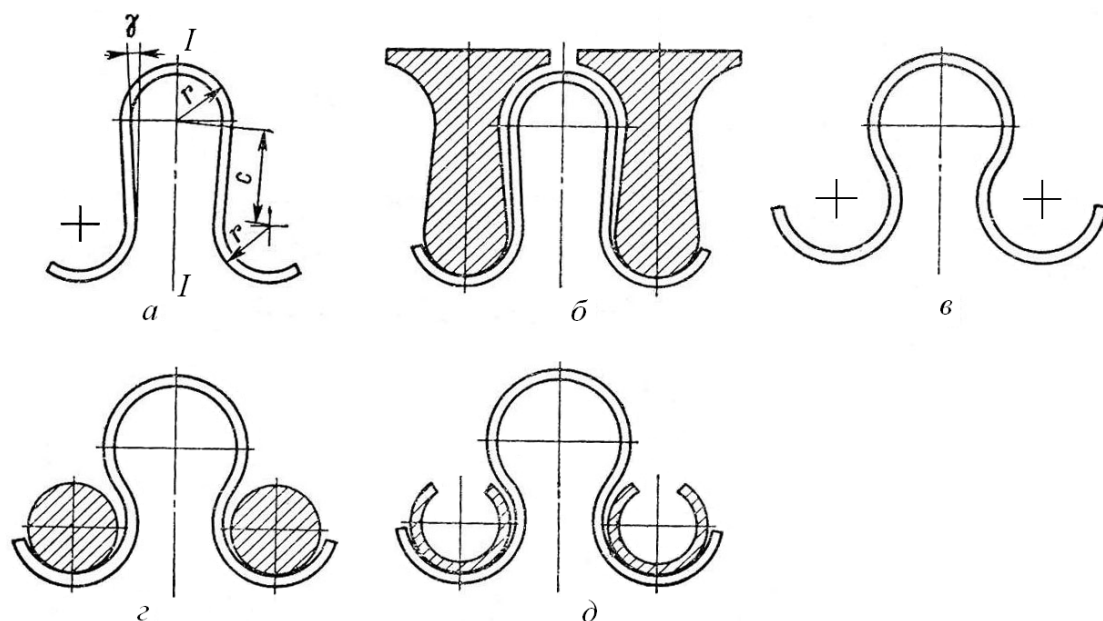


Рис. 5.15. Профили волн гибких элементов

В волнистых компенсаторах, работающих при повышенных давлениях среды, применяют Ω -образный профиль без колец (рис. 5.15, в) и с кольцами круглого сечения (рис. 5.15, г). Этот профиль используют также с несъемными упругими кольцами (рис. 5.15, д), которые воспринимают через стенку волны пульсации давления перекачиваемой жидкости, получая при этом упругие деформации. При импульсе давления упругие кольца прогибаются, объем полости волн увеличивается, вследствие чего давление выравнивается. Упругие кольца, кроме того, способствуют поглощению вибраций и снижают вес компенсатора.

Гибкий элемент – основная деталь компенсатора. Материал гибких элементов выбирают особенно тщательно в зависимости от температуры среды, транспортируемой по трубопроводу или теплообменному аппарату.

При изготовлении гибких элементов из полых цилиндрических заготовок со сварным продольным швом необходима особо тщательная термическая обработка заготовок перед гофрированием.



Основная операция при изготовлении гибкого элемента компенсатора – гофрирование полой цилиндрической заготовки. Линзовый (U-образный) или поднутренный профиль можно гофрировать обкаткой холодной или горячей заготовки в роликах. Иногда используют комбинированный способ – предварительную обкатку роликами с последующей гидравлической формовкой. Применяется также последовательная формовка гофров резиной. За один ход пресса формируется один гофр.

Гибкие элементы Ω -образного профиля изготавливаются давлением жидкости (гидравлической формовкой), при которой за одну операцию формируется несколько гофров (групповой метод). Использование этого способа дает возможность получить достаточную точность размеров гибкого элемента, чистую их поверхность, а также снизить количество операций.

Гибкий элемент изготавливается из нержавеющей хромоникелевых сталей 08X18H10 или 12X18H10T.

Гидравлическая формовка гофров производится с осадкой заготовки по высоте, что дает возможность получить меньшее утонение стенки заготовки и снизить давление рабочей поверхности. Для удобства процесс разделяют на два периода: предварительную формовку без осадки заготовки по высоте и формовку с осадкой заготовки.

Деформация заготовки в первый период соответствует схеме (рис. 5.16, а), где стенка растягивается в кольцевом и продольном направлениях. При предварительной вытяжке выпучивание заготовки должно соответствовать углу $\alpha = 10 \dots 12^\circ$.

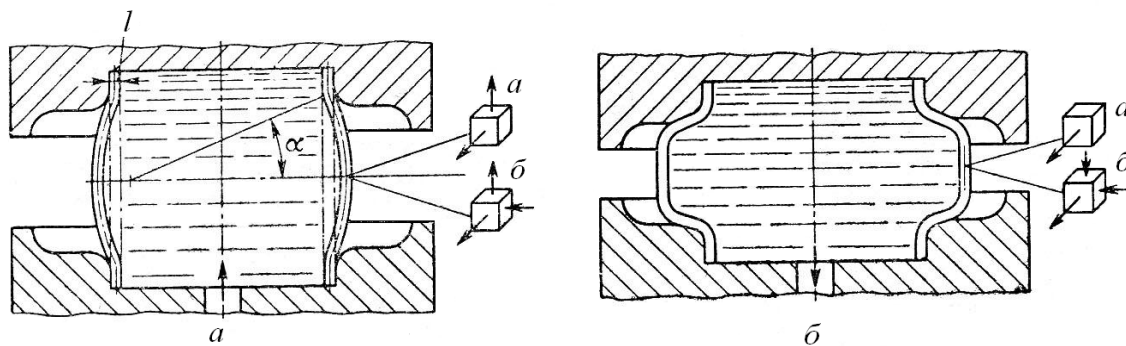


Рис. 5.16. Схемы деформации заготовки при гидравлической формовке гибкого элемента

На рис. 5.16, б приведена схема гидравлической формовки гофра с осадкой заготовки по высоте, а также даны схемы напряженного (а) и деформированного (б) ее состояния. При осадке объем полости уменьшается, избыток жидкости удаляется через разгрузочные клапаны, отрегулированные на избыточное давление. Давление жидкости во второй период формовки равно давлению жидкости в конце первого периода.



При завершении операции с целью калибровки гибкого элемента давление повышают на 20...30 %.

В условиях мелкосерийного производства компенсаторов с малым числом волн можно использовать стандартный гидравлический пресс (рис. 5.17).

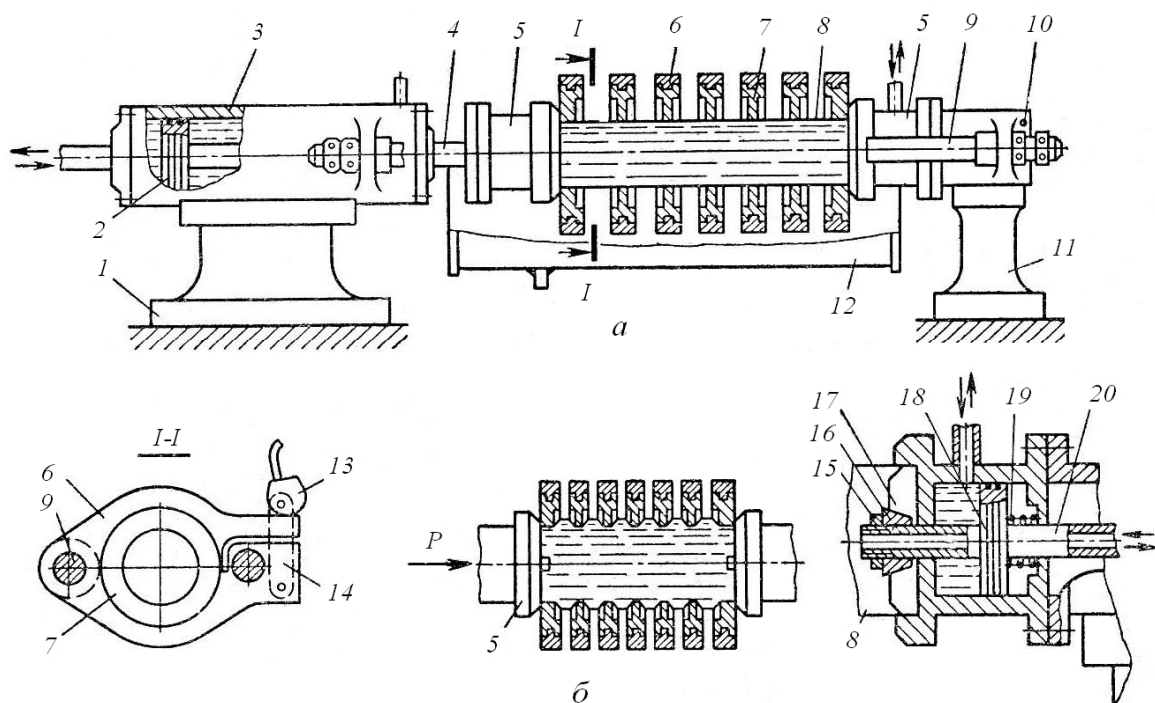


Рис. 5.17. Схема специального гидравлического пресса для гидроформовки гибких элементов волнистых компенсаторов:

- а – общий вид пресса в исходном положении; б – период гидроформовки с осевым сжатием заготовки; 1, 11 – опоры; 2, 18 – поршень; 3 – рабочий цилиндр; 4 – шток; 5 – патрон; 6 – матрицедержатель; 7 – матрица; 8 – полая заготовка; 9 – колонны; 10 – державка; 12 – корыто; 13 – эксцентрик; 14 – серьга; 15 – гайка; 16 – конус; 17 – цанговый зажим; 19 – пружина; 20 – трубка

Полая заготовка крепится в матрицах, имеющих профиль гофра и состоящих из двух половин, на равном расстоянии одна от другой. Пустота заготовки герметизируется. В заготовку рабочая жидкость подается насосом. В качестве рабочей жидкости чаще всего используют масло. Когда давление достигнет расчетного, заготовка осаживается за счет сокращения расстояния между соседними матрицами до полного их смыкания. В период осадки избыток рабочей жидкости удаляется через разгрузочный клапан.

Перед извлечением готового гибкого элемента из матриц выключают насосы зажимных патронов, концы гибкого элемента выходят из

патронов, рабочая жидкость выливается в корыто. Гибкий элемент извлекается из пресса. На прессах можно готовить элементы компенсаторов диаметром 150...300 мм с числом волн от трех до шести.

В целях повышения компенсирующей способности и прочности гибкие элементы изготавливают двухслойными. Сначала изготавливается наружная и внутренняя обечайки, свариваемые по продольному стыку. После закалки при температуре 1100...1120 °С обечайки вставляются одна в другую, торцы заваривают и производят гидроформовку на гидравлическом прессе.

Основными видами дефектов этого процесса являются разрыв основного металла в околосшовной зоне, неправильное формование внутренней обечайки и выпучивание на отдельных участках.

В целях ликвидации дефектов требуется качественное выполнение заготовительных операций. После круговой гибки листа на валковой листогибочной машине кромки около продольного стыка должны иметь форму прямых участков или быть вогнуты внутрь. При термообработке обечайки загружают в печь парами и укладывают на под печи таким образом, чтобы сварные швы не соприкасались с подом в целях их одинакового прогрева с основным металлом. Наиболее целесообразна вертикальная установка обечаек в печи. Для обеспечения зажима овальность не должна превышать 2...3 мм, чтобы не превышать величины зазора между обечайками.

При формовке наличие зазора между обечайками является источником накопления масла: при выпучивании на контактных поверхностях и матрице происходит зажим поверхностей внутренней и наружной обечаек, в результате чего между ними остается полость, заполненная маслом.

Для этого были предложены плотная обварка торцов обечаек и сверление отверстий диаметром 3 мм для выхода масла и воздуха на образующей наружной обечайке на расстоянии 26 мм от торца с двух сторон. При обварке торцов без отверстий по концам в результате расширения воздуха и газа между обечайками в отдельных местах происходят выпучины листа. В обечайках, не подвергшихся предварительной обварке торцов, при гидроформовке наблюдается смещение одной из обечаек относительно другой.

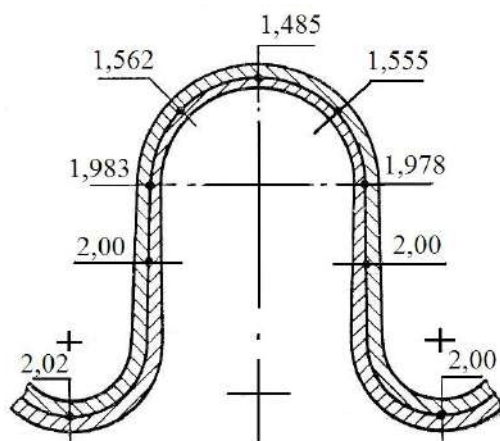


Рис. 5.18. Изменение толщины двухслойного листа в процессе формовки



На рис. 5.18 показано изменение толщины двухслойного гибкого элемента по длине волны. Исходная толщина листа внутренней обечайки – 1,02 мм, наружной – 0,98 мм. После формовки прилегание становится плотнее. Изменение толщины листа начинается примерно с середины волны и достигает максимума на ее вершине, где утонение достигает 25,5 %. Отсюда следует, что при расчете на прочность гибкого элемента, при выборе номинальной толщины листа, следует учитывать величину утонения в процессе формовки. После окончания процесса формовки и разъема матриц в результате пружинения размер гибкого элемента увеличивается, что необходимо учитывать при назначении его окончательных конструктивных размеров.

5.6.3. Неметаллические компенсаторы

Обеспечивая надежность технологических систем, неметаллические компенсаторы должны выдерживать те же рабочие нагрузки, что и жесткие элементы системы или трубопровода, и дополнительно воспринимать смещения, механические нагрузки, колебания и вибрацию.

Тканевые компенсаторы – это специальные гибкие соединения, разработанные для уменьшения напряжения в трубопроводах путем поглощения движений, вызванных температурными изменениями, а также компенсацией отклонений от оси примыкающих воздухопроводов и иного оборудования.



Рис. 5.19. Тканевые компенсаторы

В тканевых компенсаторах (рис. 5.19) для герметизации используются термостойкие упругие синтетические материалы и ткани. Изготавливаются они на жестком металлическом каркасе, в котором закреплена тканевая вставка. Компенсатор, как правило, состоит из одного или более слоев материала. Герметизирующие пленки защищены от температурных и механических воздействий слоями композитов и армирующих материалов. Не только размеры и форма (круглоовальная или прямоугольная), но и материалы должны подбираться индивидуально для



конкретного применения. Тканевые компенсаторы изготавливаются диаметром до 4 м и сделаны из синтетических материалов, стеклотканей, нержавеющей стали и керамических материалов и выдерживают температуру среды до 1000 °С и давление до 0,2 МПа.

Для определенной рабочей среды со своим температурным режимом формируется тканевый гибкий элемент из специально подобранных слоев. Основная задача многослойной конструкции – это обеспечение надежной и долговременной эксплуатации компенсатора в условиях агрессивной среды и высокой температуры. Внутренние слои принимают на себя основную температуру, поэтому в тканевых компенсаторах устанавливается направляющая вставка, которая защищает внутреннюю поверхность от износа и механических частиц, содержащихся в среде. Газонепроницаемые слои обеспечивают герметичность компенсатора и сопротивляемость агрессивным средам. Внешние слои обеспечивают снижение остаточной температуры и предотвращение ранений обслуживающего персонала при касании компенсатора. Также в структуру компенсатора добавляются армирующие слои, основная задача которых – это обеспечение устойчивости к давлению и сохранению формы при выполнении необходимых перемещений. Также в условиях высоких температур в конструкцию компенсатора могут быть добавлены термоизоляционные силикатные материалы. Именно они принимают на себя основную нагрузку от высоких температур.

Преимущества неметаллических компенсаторов:

- монтаж и замена неметаллических компенсаторов существенно проще и дешевле, чем металлических;
- не вызывает распорных усилий в местах крепления;
- не передает вибрацию дальше по трубе;
- допускается ремонт неметаллических компенсаторов;
- не чувствителен к изменению присоединительных размеров, т. е. деформациям к соединяемой трубе (овальность и пр.) и оседанию фундамента или опор.

Резиновые компенсаторы, или вибровставки, представляют собой гибкие соединители, изготавливаемые из натуральных или синтетических эластомеров, устанавливаются на системы водного охлаждения на заводах, системы газо- и водоснабжения, на компрессорах, насосах, турбинах и бойлерах для компенсации больших температурных перемещений, устранения осцилляции, вибрации и шумов, поглощения гидродаров.



5.7. Прокладки

Прокладочные материалы применяют для уплотнения фланцевых соединений трубопроводов и арматуры. Они должны быть пластичны, прочны, а также устойчивы к температурным условиям и коррозионному действию продукта, в котором они находятся.

Мягкие прокладки изготавливают из картона, асбеста, резины, текстолита, пластмассы, паронита (листовой материал, изготавливаемый прессованием массы, состоящей из асбеста, каучука и порошковых ингредиентов), фибры (материал, изготавливаемый пропиткой концентрированным раствором хлорида цинка непроклеенной тряпичной бумаги, состоящей из нескольких слоев). Для жестких прокладок используют металлы: свинец, медь, алюминий, углеродистую и нержавеющую сталь. Широко применяют также комбинированные прокладки из графиченного асбестового шнура, помещенного внутрь металлической оболочки: асбестоалюминиевые, асбестомедные.

Прокладочный картон используют в трубопроводах воды, пара, сжатого воздуха и инертных газов при давлении до 1 МПа и температуре не более 100 °С. Картон, проваренный в олифе, стоек в нефтепродуктах.

Асбестовые прокладки, пропитанные жидким стеклом, используют в трубопроводах для минеральных и органических кислот (кроме соляной) при давлении до 2,5 МПа и температуре до 450 °С.

Техническую резину применяют для прокладок в щелочной, кислой или нейтральной среде при условном давлении не выше 0,6 МПа и температуре до 50 °С.

Листовой паронит – это основной прокладочный материал для фланцевых соединений, работающих в разнообразных газовых и жидких средах при давлении до 6,4 МПа и температуре от – 180 до +450 °С.

Фибру листовую применяют для смазочных масел и газовых сред при высоких давлениях и нормальных температурах.

Прокладки из пластмасс (полиизобутилена, полиэтилена, фторопласта) используют в трубопроводах с агрессивными средами.

Медные жесткие прокладки применяют при температуре до 350 °С и высоком давлении. Прокладки из мягкой стали используют при температуре до 500 °С и при высоком давлении до 100 МПа.

В аппаратостроении для уплотнения фланцевых соединений применяются прокладки различных типов (рис. 5.20): плоские, гофрированные, витые, овального или восьмиугольного сечения.



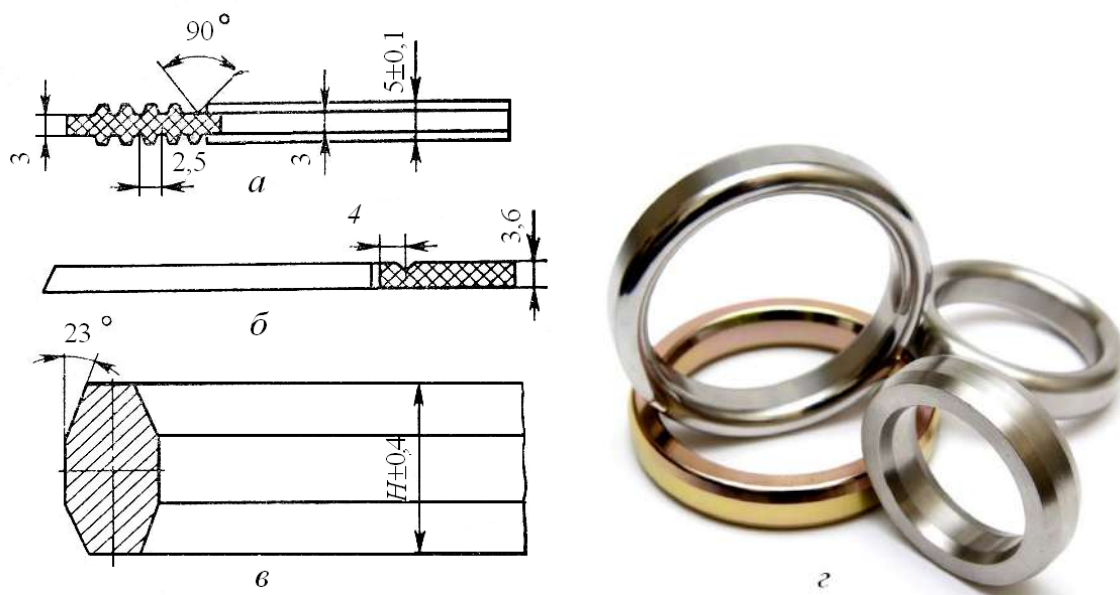


Рис. 5.20. Поперечное сечение прокладок:
 а – плоские гофрированные; б – плоские гладкие;
 в – восьмигранного сечения; г – овального сечения

Плоские неметаллические прокладки изготавливают в основном из паронита тремя способами:

- а) штамповкой диаметром 25...250 мм;
- б) вырезкой из листа на специальном станке диаметром до 750 мм;
- в) резкой полос на виброножницах при диаметре более 750 мм.

При штамповке прокладок за один ход одновременно высекается 4–6 прокладок разных диаметров. Подкладным материалом штампа служит толстолистовой алюминий или дерево твердых пород.

При небольшой серийности производства прокладки изготовляют вырезкой на станках в виде цельных колец (радиусом 150...800 мм) и в виде секторов (радиусом 500...1500 мм, толщиной до 4 мм) из паронита, картона, резины, полихлорвинила и других подобных материалов.

Паронитовые прокладки можно изготавливать на радиально-сверлильном станке с помощью режущих роликов. При этом за один оборот шпинделя вырезаются наружный и внутренний диаметры прокладки. В тех случаях, когда диаметр вырезанного отхода совпадает с наружным диаметром прокладки, приспособление можно настраивать на одновременную вырезку двух прокладок. Этим приспособлением можно вырезать прокладки диаметром от 200 до 750 мм.

Гофрированные асбометаллические прокладки изготовляют с оболочкой из мягкого отожженного листового алюминия толщиной 0,3 мм, заполненной сердечником из плотного листового асбеста.



Витые прокладки (рис. 5.21) изготавливают двух профилей (*V*-образные толщиной 4,4 мм и *W*-образные толщиной 3,2 мм) и двух видов:

1) состоящие из чередующихся витков прокатанной металлической полосы и вставкой из ленты;

2) получаемые обмоткой двух металлических катаных полос и одной вставкой из ленты.

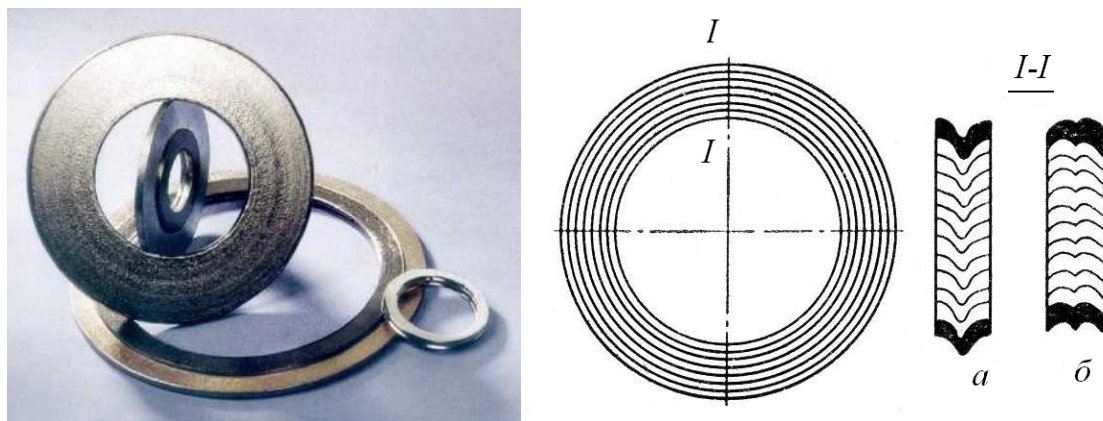


Рис. 5.21. Витые прокладки:
а – тип *V*; б – тип *W*

Материал металлических полос – нержавеющая сталь, железо Армко (ARMCO – сокращенное название американской фирмы American Rolling Mill Corporation, технически чистое железо), монель-металл: сплав никеля с медью 27...29 %, железом 2...3 % и марганцем 1,2...1,8 % (по имени американского промышленника А. Монеля). Материал вставной ленты – асбестовая бумага, спрессованный асбест и сжатый синтетический каучук. Витые прокладки применяют при температуре до 600 °С.

Витые прокладки наматывают на станках различной степени автоматизации, в зависимости от серийности производства. Плотность прилегания слоев обеспечивается постоянным усилием, при котором производится намотка. По внешнему и внутреннему диаметрам верхние слои прокладок прихватываются электросваркой.

Для теплообменных аппаратов диаметром 325...1400 мм на условное давление 1,0...6,4 МПа и температуру от –30 до +450 °С изготавливают два типа прокладок: для фланцев распределительной камеры с различным числом ходов по трубам (рис. 5.22, а, б, в); для крышки плавающей головки аппаратов типа ТП (рис. 5.22, г, д, е).

Для фланцевых соединений на давление 6,4...25,0 МПа применяют металлические прокладки овального сечения, а при давлениях свыше 4 МПа и диаметрах свыше 400 мм – восьмиугольного сечения.



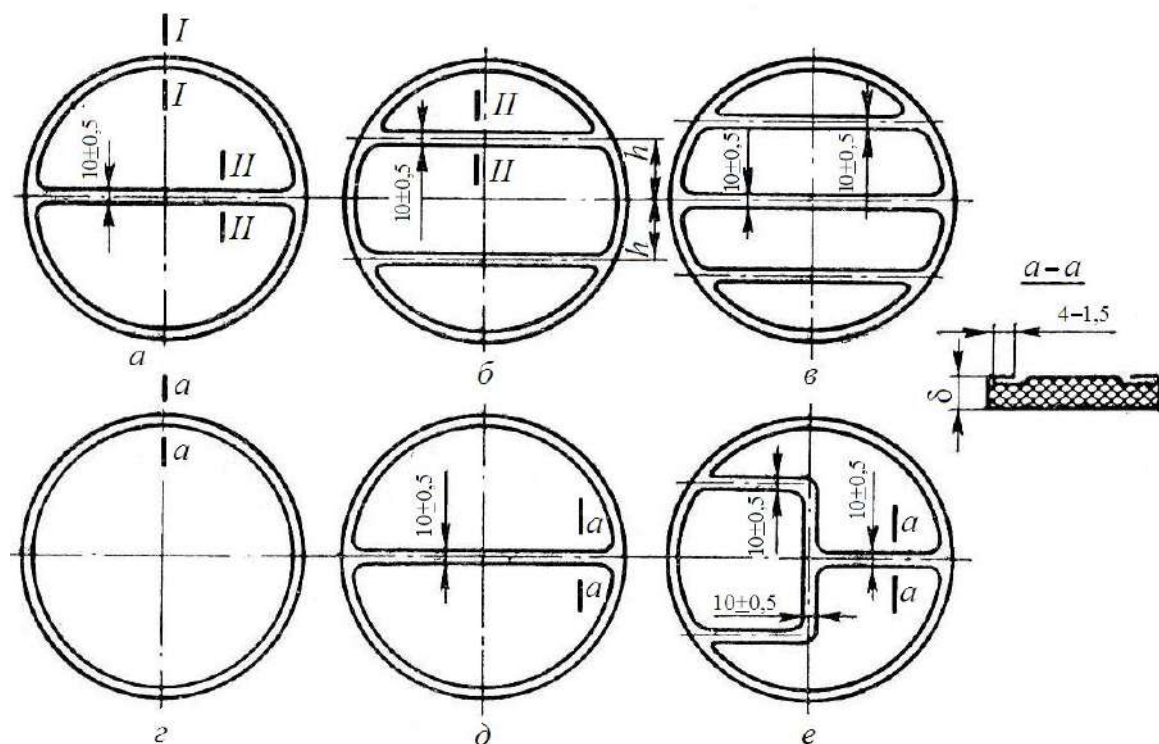


Рис. 5.22. Типы асбестометаллических прокладок для теплообменных аппаратов

5.8. Футерование и плакирование деталей и аппаратов

В ряде случаев для защиты химических аппаратов и резервуаров производят обкладку их внутренних поверхностей антикоррозийными пластинками или плитками. Такая защита носит название **футеровки**.

В качестве футеровочных материалов используют керамику, фарфор, природные кислотоупоры, графит, эбонит и др. Вяжущим составом служат различные марки кислотоупорных цементов.

Технология футеровки состоит из следующих операций:

- подготовка поверхностей аппаратов под футеровку;
- приготовление раствора кислотоупорного цемента;
- шпатлевка аппаратов;
- футеровка штучными материалами;
- сушка футерованного слоя.

Так как вяжущие вещества хорошо схватываются только с чистой металлической поверхностью, перед футеровкой проводят тщательную очистку поверхности от грязи, ржавчины, окалины и жира.

Очень важной операцией является приготовление кислотоупорного цемента, который представляет собой смесь жидкого стекла (водного раствора кремнекислого натрия Na_2SiO_4) с тонкоизмельченными по-



рошками каменного материала (наполнителя) и кремнефтористого натрия Na_2SiF_6 , применяемого в качестве ускорителя процессов схватывания и отверждения. Наилучшими свойствами обладают цементы, в которые, кроме наполнителя, вводят 22...28 % жидкого стекла и 4...5 % кремнефтористого натрия. В процессе приготовления смеси сначала насыпают порошок, в который заливают жидкое стекло, и затем тщательно перемешивают до получения тестообразной массы. Смесь приготавливают непосредственно перед употреблением.

Футеровку начинают со шпатлевки, которая заключается в нанесении на поверхности аппаратов тонкого сплошного слоя кислотоупорного цемента. После высыхания шпатлевки в течение 12 ч при 20...40 °С производят укладку плиток. При укладке одну поверхность плитки и все ее ребра покрывают слоем цемента толщиной 7...10 мм, устанавливают на место и плотно прижимают. Плитки укладывают таким образом, чтобы поперечные швы каждого ряда были сдвинуты на половину плитки по отношению к швам предыдущего ряда. Толщина слоя цемента между поверхностью аппарата и плиткой должна составлять 5...8 мм.

В штуцера и патрубки устанавливают защитные вкладыши, изготовляемые из меди, свинца, керамики или пластмассы. Вкладыши устанавливают после нанесения на внутреннюю поверхность штуцеров и патрубков шпатлевки. В некоторых случаях металлические вкладыши устанавливают с небольшим зазором, который затем плотно забивают асбестовым шнуром, пропитанным битумом или жидким стеклом, и заделывают с обеих сторон кислотоупорным цементом.

Аппараты, предназначенные для неорганических кислот, целесообразно футеровать графитовыми плитами, пропитанными фенолформальдегидной смолой. Футеровку производят с помощью замазки арзамит. После футеровки производят сушку, устанавливая внутри аппарата печи паровые змеевики, электролампы или подавая подогретый воздух. Температура сушки – 30...40 °С, время сушки – не менее трех суток.

Одним из существенных недостатков футерованных покрытий является малая стойкость к ударным нагрузкам.

Футерование листовым титаном. Титан – единственный материал, коррозионно-стойкий в средах, содержащих двуокись хлора, хлораты, гипохлориты и влажный хлор. Из-за высокой стоимости титана ограничено его применение для изготовления оборудования, поэтому чаще всего применяют футеровку листовым титаном толщиной 1,5...2 мм. В отдельных случаях для аппаратов небольших размеров, работающих в менее активных средах, – толщиной 1 мм, а для футеровки трубных решеток – до 5 мм.



При футеровке аппаратов «вставным вкладышем» (рис. 5.23) вначале штампуют из пакетных заготовок днища из титана. При этом одновременно получают днища из углеродистой стали для корпуса аппарата. При изготовлении днищ берут две заготовки из углеродистой стали и между ними помещают одну заготовку из титана. При этом заготовки для днищ могут выполняться из целого листа, а если ширина листа недостаточна, то из двух или нескольких частей, сваренных в соответствии с требованиями. При этом сварные швы должны быть зачищены заподлицо. Поверхность титановой заготовки должна быть без царапин, вмятин и других дефектов. На поверхности заготовки не допускается наличие окисной пленки и цветов побежалости. Заготовка из титана должна быть по диаметру меньше заготовки из углеродистой стали на 8...16 мм.

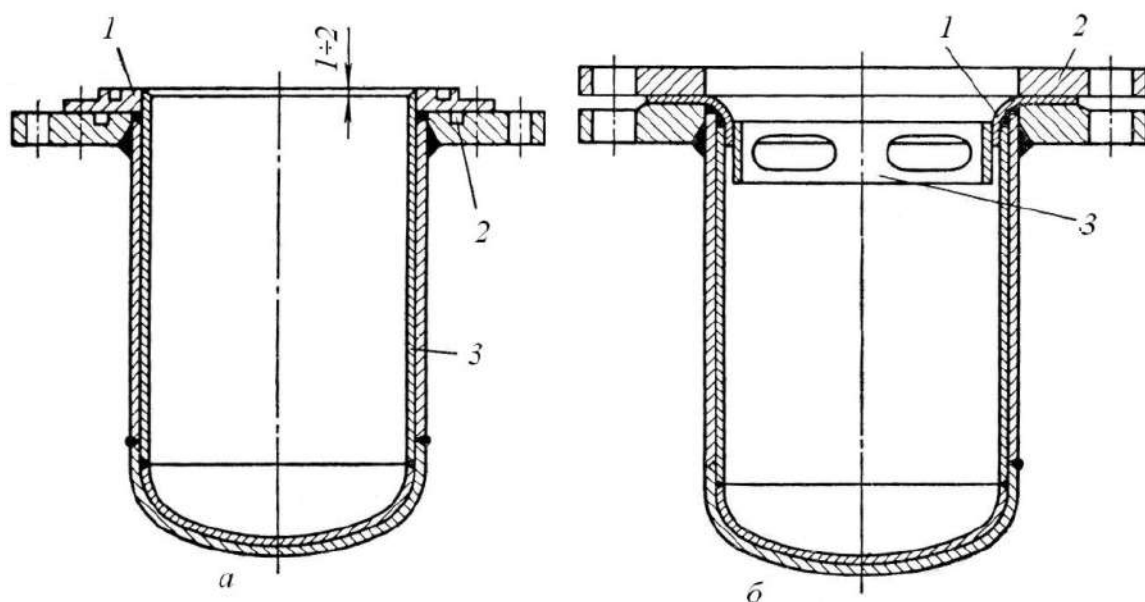


Рис. 5.23. Корпус аппарата с футеровкой из листового титана, выполненной способом «вставного вкладыша» со сваркой титановой обечайки с титановым днищем встык:

- а – с плоским титановым фланцем: 1 – титановый фланец;
2 – технологическая кольцевая канавка; 3 – футеровка корпуса;
б – с титановым воротником, изготовленным обкаткой:
1 – титановый воротник; 2 – технологический фланец; 3 – разжимное кольцо*

Заготовки из углеродистой стали перед сборкой в пакет выправляют и тщательно очищают до металлического блеска. В каждой заготовке на расстоянии 15...20 мм от края просверливают 4–6 отверстий диаметром 4...5 мм. Отверстия располагают равномерно по окружности для выхода воздуха и устранения возможного выпучивания пакетной



заготовки при нагреве ее в печи перед штамповкой. Собранный пакет перед сваркой должен быть сжат под прессом. При небольших размерах пакета его сжимают под грузом. В сжатом состоянии пакет обваривается по периметру. Для предотвращения попадания шлака в зазор между заготовками во время сварки пакетную заготовку устанавливают наклонно и, по мере обварки краев, периодически поворачивают.

Штампы для днищ из пакетных заготовок имеют прижимные кольца. Температура нагрева пакетной заготовки для штамповки – не выше 750 °С. Зазор между матрицей и пуансоном – в пределах 1,05...1,1 толщины пакетной заготовки.

При футеровке аппарата методом «вставного вкладыша» днища из углеродистой стали и титана вынимают. А при использовании днищ в качестве крышек из штампованного пакета вынимают только внутреннее днище из углеродистой стали, которое может быть использовано для изготовления других аппаратов – без дополнительной обработки или после перештамповки на другой размер.

После штамповки титановые днища подвергают травлению, а затем промывают в теплой воде при 40...50 °С и высушивают, обдувая теплым воздухом. Наружное днище из стали очищают дробеструйной обработкой. На поверхности днищ не должно быть складок, трещин, гофра и других дефектов.

По полученным фактическим размерам наружного диаметра титанового днища и внутреннего диаметра корпуса аппарата изготавливают титановую обечайку. Заготовку из титана изгибают и сваривают автоматической аргонодуговой сваркой. К титановой обечайке приваривают титановое днище с использованием распорного кольца, конструкция которого обеспечивает поддув аргона с обратной стороны шва.

Титановую обечайку с приваренным днищем вставляют в корпус до плотного прилегания к поверхности днища. Затем на плоскость фланца, изготовленного из углеродистой стали, накладывают титановый фланец и плотно прижимают его винтами.



6. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И СБОРКИ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ

Согласно ГОСТ 9929 теплообменные аппараты изготавливаются следующих типов:

- Н – с неподвижными трубными решетками;
- К – с температурным компенсатором на кожухе;
- П – с плавающей головкой;
- У – с U-образными трубами.

По конструктивным признакам все трубчатые аппараты можно разделить на четыре основные группы:

- а) кожухотрубчатые теплообменники;
- б) теплообменники со змеевиками;
- в) витые теплообменники;
- г) блочные теплообменники и реакторы.

Основной частью трубчатых теплообменников является трубчатка, состоящая из пучка труб, ограниченного трубными решетками. Остальные детали и узлы теплообменников – обечайки, днища, крышки, фланцы, штуцера и т. п. – конструктивно ничем не отличаются от деталей аппаратов емкостного типа и в большинстве случаев могут быть подобраны по нормалам.

Трубы, применяемые для получения трубчаток, изготавливаются как из металлических, так и из неметаллических материалов. Все металлические трубы по способу изготовления делятся на две группы:

- трубы со швом (сварные), изготавливаемые из горячекатаных полос или лент путем их свертывания и соединения встык или внахлестку;
- бесшовные трубы – цельнокатанные или цельнотянутые.

Для аппаратов, работающих под давлением, как правило, применяют бесшовные трубы.

Кроме стальных труб, в химическом аппаратостроении широко используют медные, латунные и алюминиевые трубы, обладающие хорошей теплопроводностью, а также трубы из графита, пропитанного уплотняющим веществом. Ценность графита состоит в его исключительной высокой теплопроводности и химической стойкости.

Перед сборкой графитовые трубы необходимо пропитывать формальдегидной смолой, обладающей способностью при прогреве до 40 °С заполнять поры. После пропитывания графитовые трубы подвергают термической обработке, при которой смола, попавшая в поры, отвердевает и делает графит непроницаемым.



Для аппаратов типов Н и К предусматривается применение труб диаметром 20, 25, 38 и 57 мм, а для типов П и У – 20 и 25 мм. Узкая номенклатура труб позволяет значительно уменьшить складские запасы и ограничить количество необходимого инструмента для их обработки.

Очень важную роль играет также нормализация трубных решеток. Отверстия на решетках размещают либо по периметрам правильных шестиугольников, либо по концентрическим окружностям. Расстояние между осями труб (шаг) принимают равным 1,25...1,3 наружного диаметра трубы. В тех случаях, когда разность между температурой нагрева кожуха и пучка труб превышает 50 °С, необходимо учитывать появление температурных деформаций. Для предотвращения чрезмерных напряжений в конструкциях устанавливают линзовые компенсаторы, или так называемые «плавающие головки» с сальником на корпусе.

6.1. Сборка трубчаток

Наиболее трудоемкой операцией при изготовлении кожухотрубчатых теплообменников является сборка трубчаток. Сборку, как правило, производят в специальных приспособлениях, которые строго фиксируют положение трубных решеток. Если трубчатка состоит из большого числа труб, то во время сборки приспособление устанавливают вертикально, при малом числе труб – горизонтально. При вертикальном положении трубчатки соосность противоположащих отверстий в трубных решетках проверяют отвесом. Под нижнюю решетку на расстоянии, равном длине выступающих из решетки концов труб, подкладывают плоскую плиту. Этим обеспечивают ровное расположение труб над поверхностью нижней решетки. Набор трубок ведут от центра к периферии.

При горизонтальной сборке трубчаток (рис. 6.1) для центровки отверстий в решетках сначала заводят 20 труб, равномерно расположенных по диаметру решетки. Положение перегородок выверяется и закрепляется на стяжках гайками. Затем набивается нижняя часть трубного пучка, а потом остальные трубы, при этом концы труб выходят за решетку на толщину последней. После сборки каркаса с трубами их крепят в трубной решетке развальцовкой, обваркой и др.

Сборка U-образного трубного пучка производится в следующей последовательности: на сборочный стенд устанавливается трубная решетка 1 (рис. 6.2); устанавливаются и привариваются к решетке стяжки 2; в соответствии с чертежом устанавливаются поочередно перегородки 3, которые затягиваются с помощью гаек на стяжках.



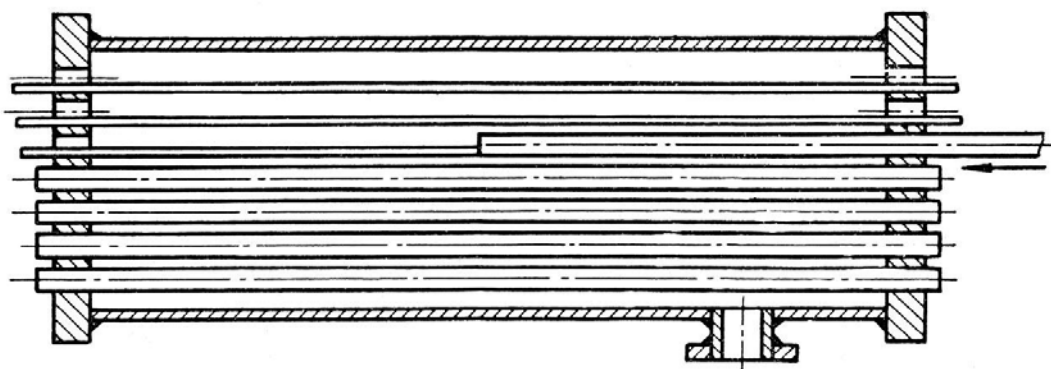


Рис. 6.1. Сборка трубок в теплообменнике с применением шомполов

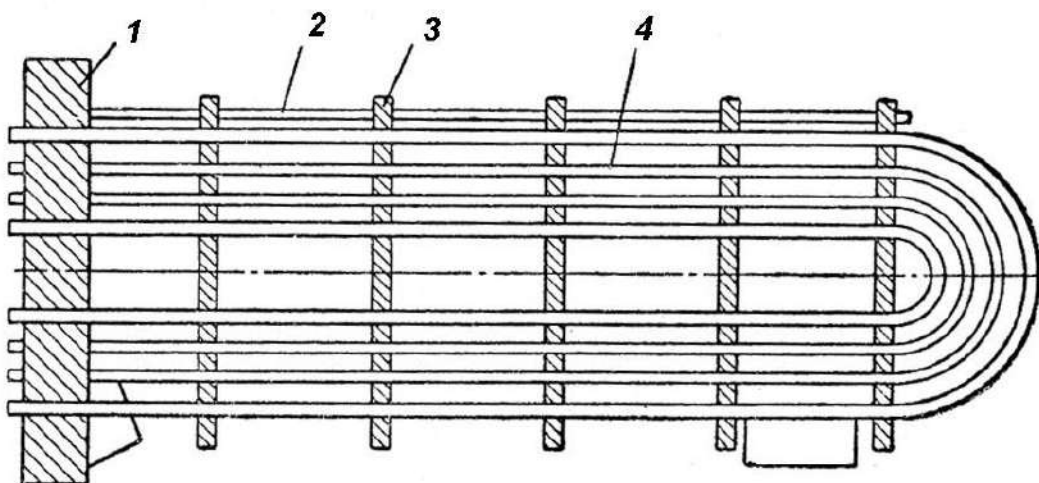


Рис. 6.2. Сборка каркаса U-образного трубного пучка

В собранный каркас последовательно, начиная с труб с наименьшим радиусом изгиба, заводят U-образные трубки 4 так, чтобы концы выходили за пределы решетки на 40...50 мм. Концы выравниваются, чтобы они выступали за пределы решетки не более чем на 5 мм. Производится крепление труб в решетке. Устанавливаются и привариваются нижний и верхний отбойники. После сборки трубный пучок проходит гидроиспытание, при котором проверяются прочность и плотность труб, их закрепление в трубной решетке, плотность сварных швов.

В тех случаях, когда конструкция теплообменника предусматривает соединение трубных решеток с кожухом до установки трубок, сборка усложняется вследствие ввода трубок во вторую решетку из внутренней полости аппарата. Набор трубок таких теплообменников производят в горизонтальном положении с применением предварительно установленных шомполов. При сборке трубного пучка в корпусе аппарата (с диаметром 1600 мм и выше) первая трубная решетка стыкуется с корпусом и прихватывается к нему сваркой. В корпусе аппарата наме-



чаются места крепления промежуточных перегородок, которые устанавливают последовательно одну за другой, пропуская одновременно через их отверстия до десяти контрольных труб и выдерживая расстояние между перегородками. Перегородки прихватываются сваркой внутри корпуса. Затем устанавливается и прихватывается вторая трубная решетка, через отверстия которой пропускают контрольные трубы. После этого заводят все трубы в трубную решетку. После закладки труб, начиная с верхнего ряда, трубы продвигают за трубную решетку со стороны закладки. Отверстия в трубной решетке продувают сжатым воздухом и устанавливают трубы на место.

Для правильного распределения длинных, тонких труб между трубными решетками устанавливают поперечные перегородки. Вместо перегородок могут быть использованы кольцевые прокладки, которые устанавливают и крепят на трубках по концентрическим окружностям по мере набора трубчаток. Трубы в трубных решетках крепят развальцовкой, сваркой или пайкой.

6.2. Крепление труб в трубных решетках

6.2.1. Развальцовка

Развальцовкой называют процесс крепления труб в отверстиях трубных решеток за счет пластических деформаций стенок, возникающих в результате давления, создаваемого со стороны внутренней поверхности труб. Технологический процесс развальцовки состоит из подготовки труб и отверстий решеток под развальцовку, установки труб и их крепления в решетках.

Концы труб, предназначенных для развальцовки, подвергают отжигу, обрезают с торца, снимают заусеницы и зачищают внешнюю поверхность до металлического блеска на длине, равной 2...2,5 толщины трубной решетки. Обрезку и зачистку целесообразнее всего проводить на токарных станках.

Очень важным условием для качественной развальцовки является правильный выбор размеров отверстий в трубных решетках. Максимально допустимый зазор должен быть для труб диаметром 25 мм – 0,8 мм, диаметром 38 мм – 0,9 мм, диаметром 57 мм – 1 мм. Трубные решетки могут иметь ли-

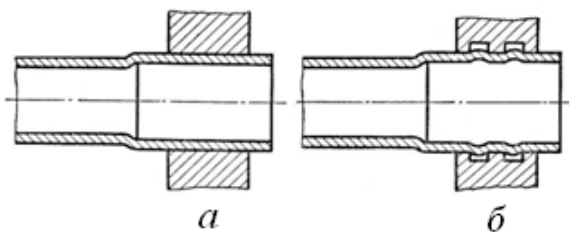


Рис. 6.3. Соединения на развальцовке:

а – в аппаратах низкого давления;
б – в аппаратах высокого давления



бо гладкие отверстия, либо отверстия с кольцевыми канавками, которые улучшают герметичность и прочность соединения (рис. 6.3).

Развальцовку труб производят специальным инструментом – вальцовкой (рис. 6.4). Вальцовка представляет собой корпус – обойму 1, в которую вставляют конические ролики 3. Внутри обоймы вводят конус 4. Для ограничения хода на обойму надевают упорные шайбы 2.

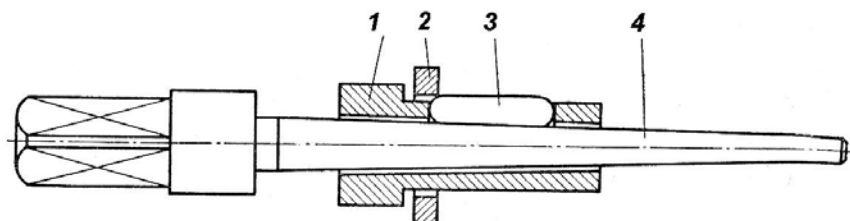


Рис. 6.4. Вальцовка

Принцип действия вальцовок состоит в том, что конусу придают медленное поступательное движение вглубь трубы, при этом он раздвигает ролики. Одновременно с продольной подачей конусу сообщают вращательное движение, которое, благодаря трению, передается на ролики. Ролики в процессе обкатки давят на трубу, расширяют ее и прижимают к стенке отверстий. Рабочую длину роликов рассчитывают, исходя из длины выступающего конца трубы и толщины трубной решетки. В некоторых случаях крепления на развальцовке дополняют отбортовкой специальными бортовочными вальцовками.

Развальцовка может быть ручной и машинной. При механизированной развальцовке применяют переносные пневматические или электрические машинки с реверсивным ходом.

Основное требование к процессу развальцовки – это обеспечение оптимальной степени развальцовки. Существует два метода контроля степени развальцовки:

- 1) основанный на измерении изменений размеров вальцуемых труб (внутреннего или наружного диаметра либо толщины стенки);
- 2) основанный на измерении и регулировании усилия, прилагаемого к вальцовке.

Первый метод имеет следующие недостатки:

а) колебания размеров диаметров и толщин стенок труб и диаметров отверстий в трубной решетке приводят к тому, что при одном и том же внутреннем или наружном диаметре трубы степень развальцовки значительно отличается друг от друга;

б) простой расчет показывает, что в этом случае наряду с недовальцовкой многие трубы будут перевальцованы;



в) если ужесточить допуски на размеры, то резко возрастет стоимость изготовления аппаратуры.

В связи с этим все большее распространение нашел второй метод. Применяются различные конструкции развальцовочных машин с приборами для регулировки крутящего момента.

Степень развальцовки Δ рассчитывается по формуле

$$\Delta = \frac{(d'_{\text{вн}} - d_{\text{вн}}) - (d_o - d)}{d_o} 100 \%,$$

где $d'_{\text{вн}}$ – внутренний диаметр трубы после развальцовки; $d_{\text{вн}}$ – внутренний диаметр трубы до развальцовки; d – наружный диаметр трубы до развальцовки; d_o – диаметр отверстий в трубной решетке.

Практически степень развальцовки должна быть равной 0,7...1,6 %.

Недовальцовка ($\Delta < 0,7 \%$) не обеспечивает полной герметичности соединения. Перевальцовка ($\Delta > 1,6 \%$) приводит к растрескиванию трубы или кромок отверстия. Недовальцовка легко устраняется дополнительной развальцовкой. Перевальцовка часто приводит к неисправному браку.

При развальцовке аппаратов с толстостенными, трудно уплотняемыми трубами (диаметром 28×4 и 57×3,5 мм) в целях исключения течи используется эпоксидный клей, который приготавливают из эпоксидной смолы, дибутилфталата и полиэтиленполиамин. Процесс уплотнения заключается в следующем: один конец трубы (на длину развальцовки) смазывают эпоксидным клеем; трубку вставляют в отверстие первой решетки несмазанным концом. Во второй решетке обмазывают клеем отверстия. Для равномерного распределения слоя клея трубу поворачивают вокруг своей оси 2–3 раза, после чего закрепляют с одной стороны трубу скобами и производят развальцовку. Время между обмазкой клеем и окончанием развальцовки не должно превышать 3 ч, т. к. в течение этого времени происходит полимеризация клея. По окончании развальцовки наплывы клея с поверхности решеток удаляют. Гидравлическое испытание необходимо проводить не раньше чем через 18 ч после окончания вальцовки.

Для аппаратов, работающих при давлении 32...70 МПа и температурах до 350 °С, технология крепления труб следующая: вначале в трубной решетке обрабатывают отверстие, диаметр которого на 0,15...0,3 мм превышает наружный диаметр трубок; затем трубки развальцовывают до плотного прилегания к стенке отверстия, после чего концы трубок, выступающие из трубной решетки на 4...5 мм, обваривают по периметру.



Одним из факторов, затрудняющих сборку теплообменных аппаратов, является прогиб решеток при изготовлении трубных пучков. Прогиб происходит в основном по двум причинам: за счет остаточных напряжений, вызванных приваркой трубных решеток к корпусу, и за счет остаточных напряжений, вызванных развальцовкой.

На рис. 6.5 представлены наиболее распространенные в практике схемы последовательности развальцовки труб.

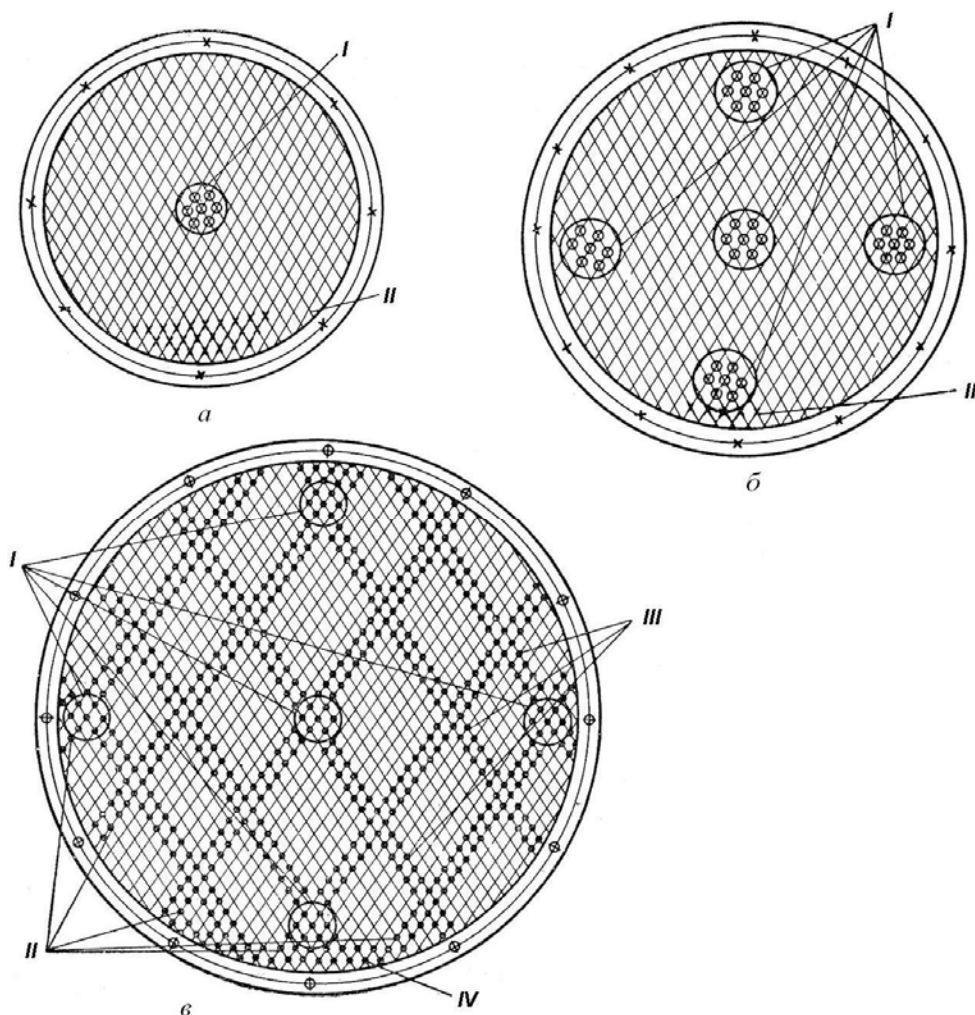


Рис. 6.5. Схемы последовательности развальцовки труб и трубных решеток:

а – D_y – до 800 мм; *б* – $D_y = 1000-2000$ мм; *в* – $D_y > 1200$ мм

Для аппаратов $D_y = 800$ мм (рис. 6.5, *а*) сначала в центре развальцовывают с двух сторон по семь труб (поз. *I*), затем трубы вальцуют начиная с нижнего ряда (поз. *II*). Для аппаратов с $D_y = 1000...1200$ мм (рис. 6.5, *б*) сначала развальцовывают по семь труб с двух сторон в пяти местах (поз. *I*), затем вальцуют трубы начиная с нижнего ряда (поз. *II*). Для аппа-



ратов $D_y > 1200$ мм (рис. 6.5, в) развальцовывают семь труб с двух концов в пяти местах (поз. I), развальцовывают пять парных рядов труб с двух концов с поворотом аппарата (поз. II), поворачивают аппарат на 120° и развальцовывают пять парных рядов труб с двух концов (поз. III), устанавливая аппарат так, чтобы ряды труб находились в горизонтальной плоскости, и вальцуют трубы от нижнего конца к центру (поз. IV).

6.2.2. Приварка труб к трубным решеткам

Приварку труб производят электросваркой с применением угольных или металлических электродов с качественными покрытиями. Сварку металлическими электродами осуществляют в вертикальном положении теплообменника с образованием углового шва, катет которого равен высоте выступа трубки над решеткой. Сварку угольными электродами производят в горизонтальном положении, при этом расплавляется выступающий конец трубки и происходит ее сварка с плоскостью трубной решетки.

Для уменьшения коробления трубных решеток сварку рекомендуется вести по диагонали, начиная от центра к краю решетки, выбирая при этом при каждом следующем проходе перпендикулярно расположенные диагонали. Непровары, свищи и другие дефекты при приварке труб не допускаются.

Все швы должны быть зачищены от наплывов, брызг и окалины. Для проверки отсутствия внутри труб сварочных пробок производят их шомполовку или продувку сжатым воздухом.

Трубы, предназначенные для соединения с решеткой способами сварки, должны выступать над поверхностью решетки на 2,5...3 мм, это необходимо для расплавления концов труб при сварке и образования качественного шва.

6.2.3. Пайка труб в трубных решетках

В тех случаях, когда трубчатка состоит из большого числа труб с малым диаметром (до 12...16 мм), наилучшим способом соединения является пайка. Перед пайкой мягкими припоями концы труб и отверстия в решетках должны быть тщательно облужены. Наиболее экономичным способом лужения является гальваническое покрытие, однако оно обладает меньшей химической стойкостью и худшими адгезионными свойствами, чем покрытие, получаемое при горячем лужении.

Лужение — нанесение тонкого слоя олова на поверхность металлических изделий путем натирания, погружения в расплав или электролитическим способом.



Пайку мягкими припоями производят при горизонтальном положении решетки с помощью газовых горелок. Припой, используемый для пайки, должен плавиться не от пламени горелки, а при соприкосновении с горячим участком решетки. Толщину наплавляемого слоя не следует делать более 2...3 мм, т. к. прочность и герметичность соединения достигаются за счет затекания припоя в зазор между стенкой трубы и отверстием решетки. Длина концов трубок берется равной 4...5 мм. Зазор между трубками и стенками отверстий в луженых решетках не допускается выше 0,3 мм.

После пайки поверхность решеток должна быть очищена от окислов и следов флюса, а все трубки проверены на проходимость шомполовкой или продувкой сжатым воздухом.

Крепление графитовых труб в фаолитовой трубной решетке осуществляется с помощью арзамитовой замазки, обладающей хорошей сцепляемостью как с фаолитом, так и с графитом. Другим способом соединения частей графитового теплообменника является склеивание. В качестве клея могут быть использованы фенолформальдегидная смола с добавкой соляной кислоты и арзамита или клей типа БФ.

6.3. Изготовление и сборка змеевиковых теплообменников

В тех случаях, когда по расчету для обеспечения теплопередачи необходимо иметь большую длину труб, целесообразно располагать их в виде змеевиков. Длина одной трубы в змеевиковых теплообменниках может достигать 40...60 м, поэтому заготовку приходится собирать из нескольких труб, сваренных встык или спаянных.

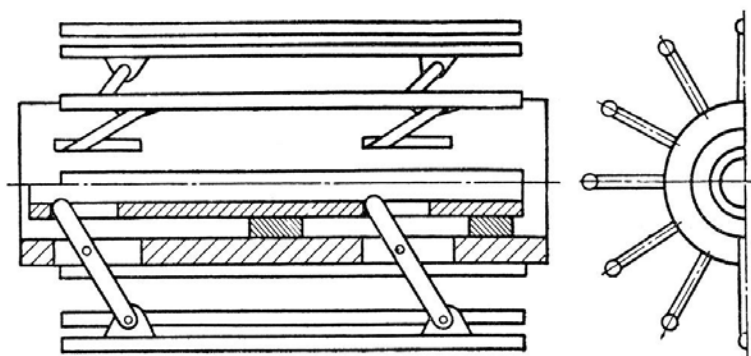


Рис. 6.6. Схема барабана для гибки змеевиков

Изготовление (гибку) цилиндрических змеевиков осуществляют на специальных разъемных приспособлениях-барабанах (рис. 6.6). Трубы наматываются на ряд стержней, шарнирно закрепленных по окружности



вокруг центрального сердечника. Диаметр расположения стержней может быть изменен, тем самым обеспечивается возможность изготовления змеевиков разных диаметров и легкое снятие с приспособления готовых элементов. Змеевики внутри аппаратов крепят на стойках или каркасах с помощью хомутов.

Основным требованием, предъявляемым к теплообменникам типа «труба в трубе», является необходимость соблюдения точного зазора между внутренним диаметром внешней и наружным диаметром внутренней трубы. В змеевиках с прямыми трубками это обеспечивается приваркой колец в торцах внешней трубы или установкой сальников. В змеевиках наиболее удачным решением является образование на внешней трубе фиксирующих углублений. На рис. 6.7 показана схема станка, на котором выдавливаются углубления. Основным элементом станка являются два вращающихся диска с впрессованными на их поверхности шариками из твердого металла. Углубления образуются при пропуске трубы через зазор между дисками.

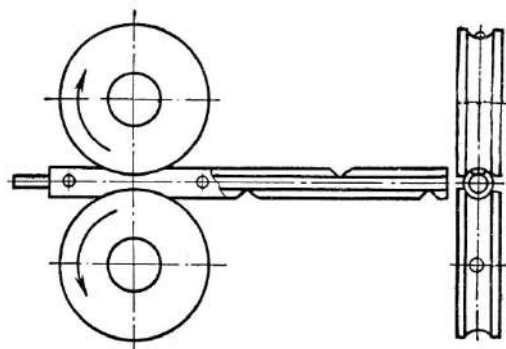
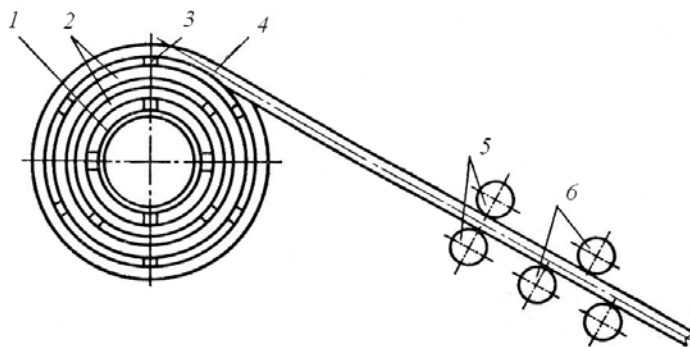


Рис. 6.7. Схема выдавливания фиксирующих углублений

6.4. Изготовление и сборка витых теплообменников

Наиболее трудоемкой операцией при сборке витых теплообменников является намотка трубчатки. Трубки перед намоткой должны быть отождены в печах. Намотку производят на специальных станках, где вначале закрепляют сердечник теплообменника. На сердечник параллельно его оси накладывают прокладки, которые соединяются с сердечником сваркой. Трубки, предназначенные для намотки первого ряда, прихватывают к краю сердечника таким образом, чтобы оставались концы длиной, достаточной для вывода трубок в решетку. Намотку проводят при вращении сердечника. При намотке должен быть обеспечен такой натяг, который позволял бы трубам ровно ложиться на прокладки при заданном радиусе гибки. Натяг трубок осуществляют ручную или с помощью натяжных приспособлений (рис. 6.8). Ручная натяжка хотя и обеспечивает хорошее качество навивки, но является очень трудоемкой, особенно когда требуется намотка большого количества трубок.





*Рис. 6.8. Схема натяжки трубок во время навивки:
1 – сердечник теплообменника; 2 – ряды трубок; 3 – прокладки;
4 – трубка; 5 – натяжные ролики; 6 – направляющие ролики*

При машинном натяге применяют текстолитовые и резиновые ролики или гребенки, между которыми пропускают заготовки трубок. Ролики крепят на тележках, передвигающихся по направляющим вдоль оси сердечника. Крепление прокладок и навивку последующих рядов производят в том же порядке, однако направление навивки с каждым последующим рядом изменяется. Для теплообменников, работающих под давлением, после намотки каждого ряда необходимо проводить испытания трубок на разрыв. Для этого свободный конец трубки присоединяют к гидропрессу, а на другой конец – манометр, который устанавливают после заполнения трубок водой.

6.5. Изготовление и сборка ребристых блочных теплообменников

В химической промышленности в качестве теплообменных аппаратов используют некоторые виды специальных аппаратов: одним из таких является теплообменник с ребристыми трубками. Ребра теплообменников изготавливают литьем, выдавливанием из материала труб или приваркой к трубам большого числа плоских пластинок, равномерно располагая их по длине. В последнем варианте пластинки свободно надевают на тщательно очищенные трубы. Для фиксации расстояния между пластинками устанавливают полукольца. Трубу неподвижно закрепляют на опоре (рис. 6.9), а через нее пропускают тросик, на конце которого закрепляют шарик, имеющий несколько больший диаметр, чем внутренний диаметр трубы. При протягивании шарика стенки трубы раздаются и плотно прилегают к внутренней поверхности отверстий ребер. Полукольца служат только для технологических целей, их снимают после сборки и используют для изготовления следующих изделий.



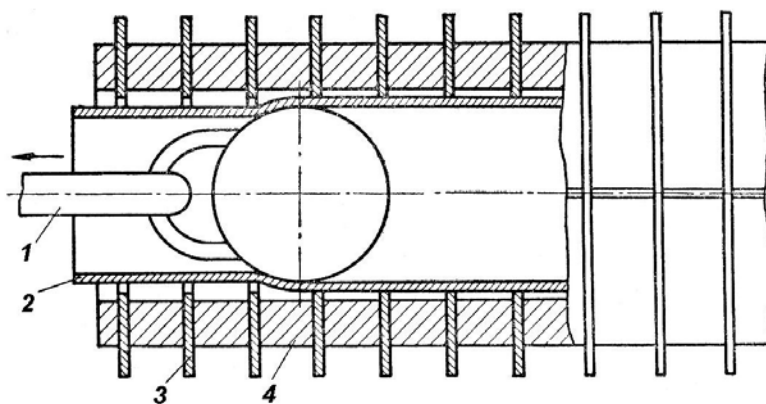


Рис. 6.9. Схема изготовления ребристых теплообменников методом протяжки:

1 – протяжка; 2 – труба; 3 – ребро; 4 – прокладочное полукольцо

Применение ребристых и ошипованных элементов труб существенно увеличивает поверхность, компенсируя низкий коэффициент теплоотдачи со стороны газа и, следовательно, интенсифицирует процесс теплообмена, уменьшает вес, габариты и стоимость теплообменной аппаратуры.

Существует большое многообразие конструкций оребренных трубных элементов и методов их получения. Наиболее распространенные из них:

- продольное оребрение, выполненное прокаткой, вытяжкой из расплава или сваркой;
- поперечное оребрение, выполненное набором ребристых элементов на трубе, и дальнейшее их соединение сваркой, пайкой либо деформированием;
- поперечно-винтовое оребрение, выполненное прокаткой или навивкой ленты с различными методами ее крепления на трубе.

Характеристикой оребренных и ошипованных элементов труб является **коэффициент оребрения** ϕ – отношение полной наружной поверхности оребренной трубы к наружной поверхности гладкой трубы у основания ребер. У высокорребристых труб $\phi = 16$, у низкорребристых $\phi = 2,5 \dots 4,0$.

Продольное оребрение трубных элементов. Трубные элементы с продольным оребрением изготавливаются из отдельных деталей, соединенных методом сварки или пайки. Наибольшее распространение получил метод соединения ребер с трубой с помощью шовной контактной сварки (рис. 6.10).



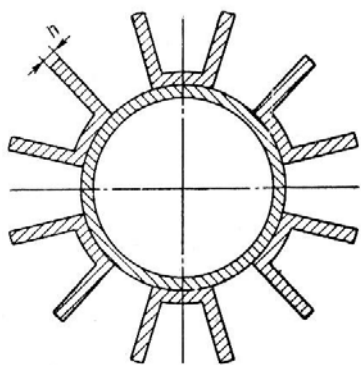


Рис. 6.10. Труба
с приваренными
продольными
ребрами

Производство ребристых трубных элементов может осуществляться вертикальной вытяжкой изделия заданного профиля из жидкого металла. В расплав металла погружают фильеру, в отверстие которой опускают формообразователь с профилем, соответствующим ребристой трубе. При подъеме формообразователя, благодаря силам поверхностного натяжения, жидкий металл вытягивается из ванны в кристаллизатор. Образовавшийся в кристаллизаторе профиль охлаждается сжатым воздухом. При охлаждении жидкий металл переходит в твердую фазу. Производительность установки, в зависимости от конструкции оребренных элементов, – 4...12 м/ч.

Поперечно-винтовая прокатка высокоребристых труб производится на трехвалковых станах винтовой прокатки. Исходной заготовкой служат гладкие толстостенные трубы. Прокатка производится тремя приводными валками, расположенными под углом 120° вокруг заготовки. Заготовка заправляется в валки, которые сообщают ей вращение и осевое перемещение, и происходит постепенное формообразование заданного профиля ребер.

Для труб диаметром более 60 мм перспективной является технология приварки ребра из стальной ленты, навиваемой на трубу с заданным шагом (спиральное оребрение). Предварительно в специальных штампах на ленте делают просечки шириной 2 мм (не дорезается около 5 мм). Затем лента с просечками навивается на трубу и приваривается к ней.

Ошипование трубных элементов. Ошипование, как и оребрение, имеет целью увеличение поверхности теплообмена труб. Однако ошипованные трубы работают в более высоких температурных режимах. Наружные поверхности труб и шипы омываются газообразными продуктами сгорания, имеющими температуру до 900°C , при которой тонкостенные ребра быстро выходят из строя. Ошипованные трубы имеют кольцевое и спиральное расположение шипов, приваренных к трубе в шахматном порядке (рис. 6.11). Шипы приваривают к трубам с помощью контактной сварки.

Так как ошипованные трубы работают в более высоких температурных режимах, то для их изготовления применяются стали марок 20, 12Х1МФ, 15Х5М, 12Х18Н10Т и др. Диаметр труб – 32...277 мм, длина – до 12 м. Ошипованные трубы применяются в змеевиках трубчатых печей, теплообменной аппаратуре, в котельных поверхностях нагрева и пр.



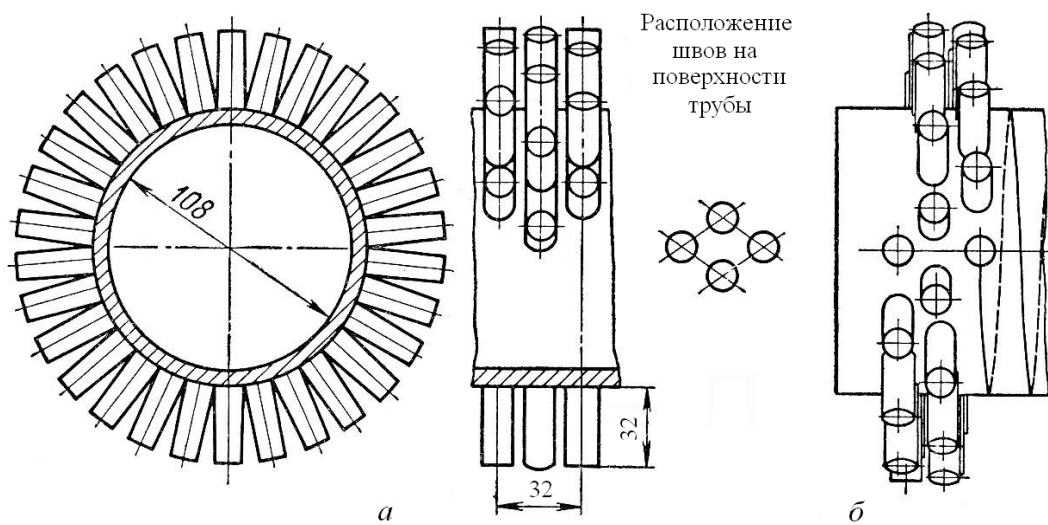


Рис. 6.11. Ошипованная труба:
а – по кольцу; б, в – по винтовой линии



7. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И СБОРКИ КОЛОННЫХ АППАРАТОВ

К колоннам относятся вертикальные цилиндрические аппараты, изготовленные из углеродистых, легированных и двухслойных сталей. Большую часть этой аппаратуры составляют ректификационные колонны, абсорберы и десорберы, внутри снабженные ректификационными тарелками и другими вспомогательными устройствами. Тарелки ректификационных колонн располагаются горизонтально на определенном расстоянии одна от другой и служат для создания контакта между парами нагретых продуктов, идущими снизу вверх, и жидкостью, стекающей сверху вниз.

Типы тарелок, применяемые в колонных аппаратах, можно разделить на четыре группы:

- колпачковые тарелки;
- тарелки «провального» типа (решетчатые, ситчатые, щелевые);
- клапанные (балластные) тарелки;
- струйно-направленные тарелки.

Клапаны изготавливаются из холодно- и горячекатаных листов с отклонением по толщине $\pm 0,15$ мм. Согласно техническим требованиям, номинальная масса клапана составляет 0,036 кг. Допускаемое отклонение его массы составляет $\pm 0,003$ кг, при этом отклонение массы клапанов от среднего значения на одной тарелке не должно превышать $\pm 0,002$ кг. Вырубка заготовок клапанов (рис. 7.1) производится в двухрядном вырубном штампе с периодическим продвижением полосы 1 таким образом, что в ранее вырубленных отверстиях устанавливаются упоры 2 для пробивки последующих отверстий. В отдельных штампах производится надрезка ножек и ограничителей клапана, гибка ножек на 90° и калибровка ограничителей.

Полотна тарелок изготавливаются из листового проката, как правило, из материала марок 08X18, 08X18H10T или СтЗкп толщиной 2 и 4 мм. После правки листа вырезка заготовок производится на гильотинных ножницах. На полотне по шаблону размечаются места расположения пазов, после чего производится их вырубка в штампах с поочередным отключением и включением соответствующих рядов пуансонов. Окончательной операцией является правка полотна тарелки на листо-правильной машине. Неплоскостность не должна быть более 2 мм на всей длине.



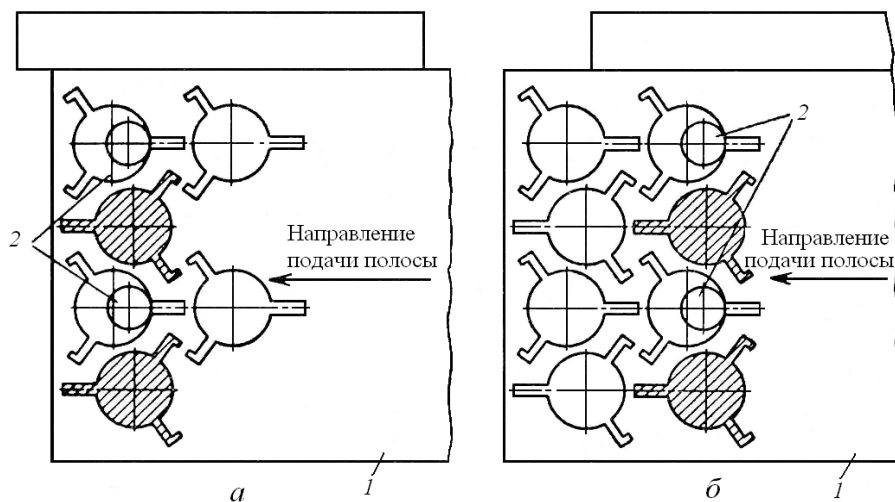


Рис. 7.1. Схема вырубki заготовки клапана:
1 – полоса; 2 – направляющая планка; 3 – упоры

Сборка клапанов с полотнами тарелок выполняется на специальном стенде. Полотно устанавливается вертикально на опорные планки стола стенда и закрепляется винтовыми зажимами. Клапаны устанавливаются в отверстия полотна и закрываются крышками поворотного стола. Стол поворачивается на 105° по часовой стрелке, и производится гибка сборочной ножки на угол 75° с одновременной подгибкой боковых ножек на угол 3° . Затем стол поворачивают в исходное положение и открывают крышки. Подвижность клапанов в отверстиях полотна проверяется путем поворота стола на 180° и возвращением его в исходное положение.

Полотна ситчатых тарелок изготавливаются из просечно-вытяжных листов. После правки на листопрямильной машине с точностью 1,5 мм на 1 м длины полотно подается на просечно-вытяжной пресс, где производится просечка отверстий. После просечки смещение оси ячейки по длине листа не должно быть более 5 мм на длине 2000 мм и неплоскостность по ширине листа – не более 7 мм на длине 1000 мм.

Крепление патрубков к основанию колпачковой тарелки осуществляется тремя способами: развальцовкой, закаткой и приваркой. Технологическая схема закатки патрубков размером $70 \times 2,5$ мм показана на рис. 7.2.

Тарелки с капсульными колпачками должны отвечать следующим требованиям. Местные выпучины и кривизна листов не должны превышать 4 мм по всему сечению тарелки. Полотна тарелок можно изготавливать из частей, при этом сварные швы должны быть зачищены заподлицо с основным металлом с обеих сторон.



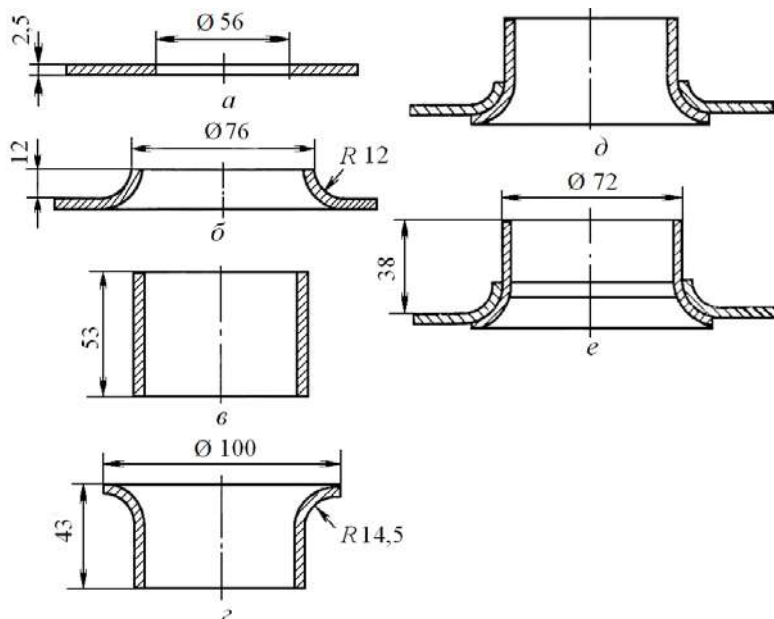


Рис. 7.2. Технологическая схема закатки патрубков размером $70 \times 2,5$ мм:

- а – заготовка тарелки с пробитым отверстием;
 б – заготовка с отбортованным отверстием; в – патрубок из трубы;
 г – отбортованный патрубок; д – тарелка в сборе с патрубком;
 е – закатанный патрубок с тарелкой

Отклонение по шагу между соседними отверстиями под паровые патрубки не должно превышать ± 2 мм, отклонения между крайними отверстиями под паровые патрубки тарелки в пределах одного полотна не должны превышать ± 4 мм. Верхние торцы паровых патрубков в сборе должны быть в одной горизонтальной плоскости, отклонение – в пределах ± 3 мм. Отклонение уровня верхних торцов сливных труб относительно поверхности тарелок допускается в пределах ± 3 мм. Перекос колпачков относительно плоскости тарелки допускается в пределах ± 1 мм.

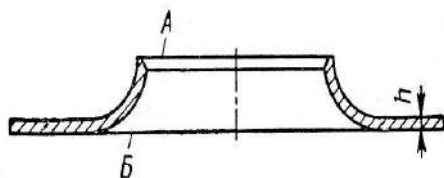


Рис. 7.3. Схема проверки
непараллельности
плоскостей тарелки

Для тарелок, изготавливаемых из легированных сталей, должны соблюдаться следующие требования: непараллельность плоскостей *A* и *B* не должна быть более 0,5 мм на диаметр отверстия при $h = 2,5$ мм и не более 0,3 мм при $h = 1,6$ мм (рис. 7.3).

Проверка на плотность и герметичность вальцовки парового патрубка с диском производится наливом воды с высотой уровня, равной высоте парового патрубка. Допускается просачивание не более 5 капель воды в минуту из-под каждого патрубка. Тарелка в сборе является герметичной, если уровень жидкости в течение 20 мин понижается на величину не более 25 мм.



Технологический процесс сборки и сварки колонной аппаратуры состоит из следующих операций: сборка и сварка секций корпуса; сборка корпуса колонны; разметка корпуса; установка деталей и сборочных единиц тарелок и других внутренних элементов, приваренных к корпусу; сборка нижнего днища и корпуса вертикальной опоры; контроль положения приваренных внутренних деталей колонны и контроль сварки их с корпусом; установка и приварка штуцеров, люков и муфт к корпусу колонны; установка съемных деталей и сборочных единиц внутренних элементов; испытание; отделка; подготовка колонны к отгрузке.

Для примера рассмотрим технологический процесс изготовления колонны диаметром 3800 мм, высотой 65 м, толщиной корпуса 22 мм с эллиптическими днищами (разбита на три секции: 21, 22, 23 м), все тарелки клапанные.

При сборке секций должны быть обеспечены следующие требования: отклонение по длине не должно превышать ± 25 мм, т. к. для всего аппарата допускаемое отклонение составляет ± 75 мм; непрямолинейность не должна выходить за пределы 10 мм; расположение продольных швов обечаек должно исключать возможность попадания люков и штуцеров диаметром более 150 мм на продольные швы обечаек; смещение кромок в кольцевых стыках секций корпуса не должно быть более 5 мм.

После контроля секция подается на стенд для сварки кольцевых швов. Качество сварных швов контролируется рентгеновскими лучами или ультразвуком. После исправления дефектов секции поступают на стенд общей сборки корпуса, состоящий из индивидуальных роликоопор, одна из которых – приводная – располагается в центральной части колонны. Расстояние между смежными роликоопорами, пользуясь картами раскроя, подбирают таким образом, чтобы в дальнейшем в зону контакта корпуса с опорой не попали штуцера, муфты, люки и наружные элементы корпуса.

После установки секций на стенд с целью устранения овальности производится калибровка корпуса разъемными и неразъемными калибровочными кольцами. Неразъемные кольца устанавливаются на расстоянии 200 мм от торцов крайних секций и сохраняются там до момента установки днищ. Калибровка средних частей корпуса производится разъемными кольцами. Овальность в местах калибровки корпуса не должна превышать 20 мм. С целью фиксации достигнутой после калибровки формы применяются бандажные кольца, которые устанавливаются по концам секций, а также внутри их на расстоянии 3...4 м одно от другого. После сборки и приварки деталей тарелок бандажные кольца снимаются, за исключением расположенных вблизи монтажных стыков – эти кольца удаляются только после сборки и сварки секций корпу-



са на монтаже. С целью устранения вмятин в местах расположения роликоопор на корпус устанавливаются подкладные обечайки размерами: диаметр – 3844 мм, толщина листа – 22...26 мм, высота – 600 мм. В общем случае установка подкладных обечаек может быть рекомендована при соотношении $h/D < 0,01$, где D – диаметр колонны; h – толщина корпуса.

Разметка является основной технологической операцией, существенно влияющей на точность установки внутренних устройств аппарата, его люков, штуцеров и других деталей и сборочных единиц. Существует несколько способов разметки корпусов:

- с помощью линейных мерительных инструментов и отвеса;
- посредством теодолита и гидроуровня;
- оптическая разметка с применением лазерного визира.

На основании чертежа развертки корпуса на наружной поверхности торцов корпуса с помощью рулетки намечаются точки главных осей аппарата. Корпус аппарата устанавливается так, чтобы намеченные точки *I–I* и *III–III* главных осей расположились в вертикальной плоскости, проверку производят с помощью отвеса. С целью уточнения положения точек четырех главных осей лазерным лучом отмечают точки *I* и *III* на внутренней поверхности заднего торца, а также точки *II* и *IV*. По найденным точкам с помощью шнура отбиваются оси *I–I*, *II–II*, *III–III*, *IV–IV* внутри корпуса. После переноса точек с внутренней поверхности на наружную поверхность на ней намечаются главные оси. Точки главных осей кернятся и обводятся краской с обозначением номеров осей. Необходимо также накернить концы главных осей на расстоянии 500–600 мм от торцов корпуса. На линии главной оси *III–III* нанести две базовые кольцевые риски на расстоянии 100 мм от торцов (эти риски нужны для правильной установки опоры и точности установки колонны на фундаменте, а также для разметки тарелок и установки приварных деталей внутри корпуса).

После проведения перечисленных операций на ось *III–III* с помощью рулетки наносятся точки под установку тарелок с интервалом 400...500 мм. Разметка корпуса под установку люков, штуцеров, муфт и других сборочных единиц производится путем нанесения размеров от главных осей корпуса в соответствии с чертежом и картой раскроя.

По окончании внутренней разметки на главных осях (*I*, *II*, *III* и *IV*, рис. 7.4) с наружной стороны нижнего торца корпуса размечается базовый размер под установку вертикальной опоры. Размечаются также линии для выверки колонны на месте монтажа или под установку реперов. Эти линии обязательно накерниваются.



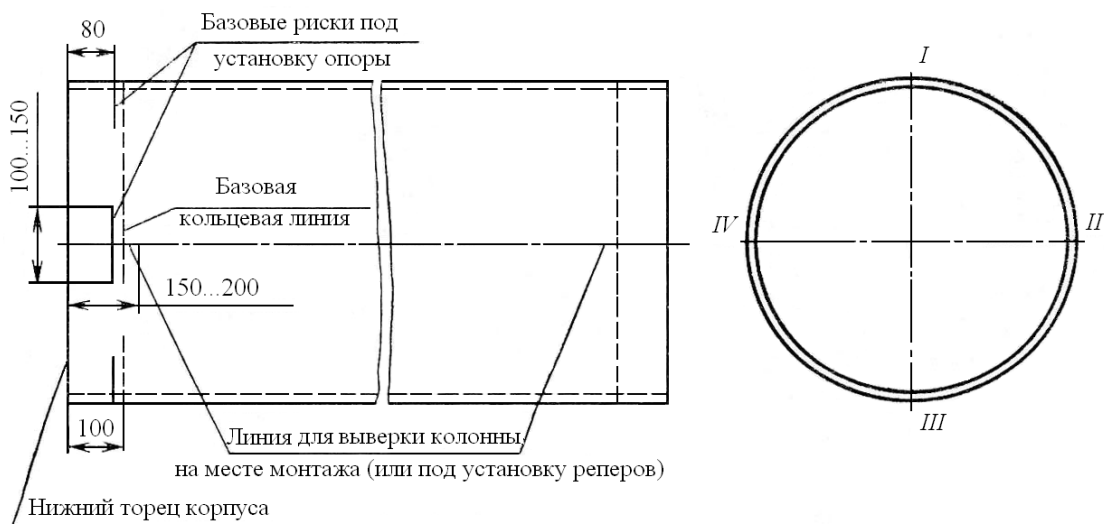


Рис. 7.4. Схема нанесения рисок для установки опоры и выверки колонны на монтажной площадке

Затем производится вырезка отверстий для установки люков, штуцеров и других элементов арматуры колонны. Вырезку отверстий, расположенных вблизи от стыков днищ к корпусу и от монтажных стыков, производят после приварки днищ к корпусу и сварки монтажного стыка.

Перед установкой внутренних устройств необходимо смонтировать в корпусе аппарата технологическую двутавровую балку с талью грузоподъемностью 1 т. Балка должна быть приварена к корпусу аппарата прерывистым швом. По ее концам должны быть установлены ограничители движения. В корпус подают сегменты в сборе с угольниками, косынками на один ряд и размещают их согласно разметке, прихватывая сваркой к корпусу. Устанавливают косынки под сегменты по разметке и прихватывают сваркой к корпусу и сегменту. Затем поворачивают корпус на 180° , перестраивают монтаж транспортировочной балки и устанавливают сегменты для тарелок противоположного ряда. Демонтируют транспортировочную балку. Сваривают все опорные элементы, сварные швы тщательно зачищают. После приварки внутренних элементов колонны свариваются наружные швы соединений люков, штуцеров, муфт. Испытания и контроль сварных швов должны быть проведены до постановки съемных внутренних устройств.

Перед установкой днищ в корпусе должны быть установлены съемные детали, включая полотна тарелок в сборе. После установки и приварки днищ с корпуса колонны удаляются калибровочные и бандажные кольца. Подкладные обечайки сохраняются обычно для обеспечения сборки и сварки стыков на монтаже и удаляются только перед заключительным гидроиспытанием колонны.



8. ИЗГОТОВЛЕНИЕ КРУПНОГАБАРИТНЫХ АППАРАТОВ

Технология изготовления крупногабаритных аппаратов имеет свои особенности. Несмотря на большой диаметр многих колонн, башен и резервуаров, вследствие отсутствия внутреннего давления, для них достаточно прочным оказывается тонколистовой материал толщиной от 2 до 6 мм. Жесткость конструкции обеспечивается установкой колец и ребер, изготавливаемых из профильного проката. На рис. 8.1 показана характерная конструкция аппарата, не испытывающего в процессе эксплуатации внутреннего давления. Днища таких аппаратов изготавливают плоскими из листового материала. Крупногабаритные днища собирают из нескольких листов. Листы раскладывают на стендах, кромки листов тщательно подгоняют, скрепляют с помощью электромагнитов, скоб или прихватками и сваривают. Днища сваривают отдельными участками длиной 200–300 мм за один проход от центра шва к периферии (рис. 8.2). Вначале сваривают все поперечные швы, соединяющие листы в длинные полотнища, а затем производят сварку продольных стыков. Такой способ сварки уменьшает коробление. Для этой же цели рекомендуется прижимать листы к стеллажу, раскладывая вдоль швов массивный груз.

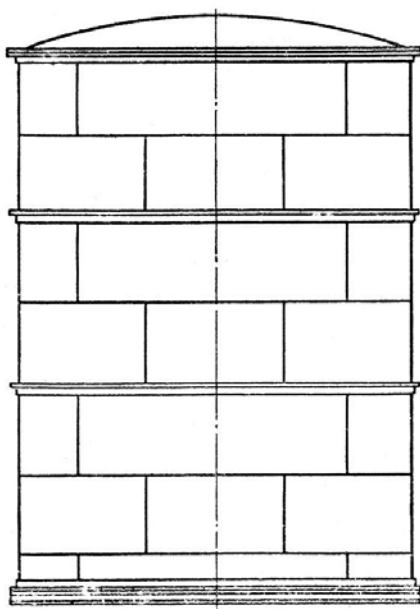


Рис. 8.1. Резервуар для хранения жидких продуктов



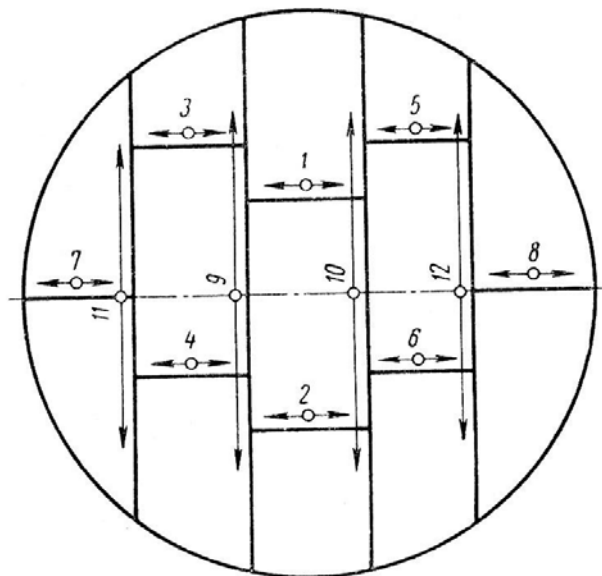


Рис. 8.2. Сварка крупногабаритных плоских днищ
(цифрами показан порядок сварки стыкуемых листов)

Разметку и вырезку отверстий, а также приварку штуцеров, патрубков и отводов на днищах производят после сварки всех плоских элементов.

Цилиндрические части крупногабаритных емкостей из тонколистового материала изготавливают путем последовательного соединения между собой отдельных обечаек без кольцевых стыков, имеющих высоту, равную ширине используемого листа. Сборку и сварку отдельных обечаек рекомендуется производить на приспособлениях, не допускающих появления овальности. Обечайки друг с другом соединяют с помощью колец жесткости. Для сборки и сварки очень крупных обечаек, диаметром 7...9 м, используют шаблоны-барабаны, на которых можно одновременно собрать несколько обечаек. Вначале сваривают все продольные швы обечайки, а затем кольцевые. По окончании сварки обечаек производят приварку ребер жесткости и приспособлений для подъема готовых обечаек. Ребра жесткости приваривают прерывистым швом в шахматном порядке с обеих сторон. Рекомендуемая длина шва составляет 100 мм.

При снятии обечаек с барабана следует иметь в виду, что они весьма эластичны и легко деформируются при транспортировке и монтаже. Чтобы предохранить обечайки от повреждения, в них вставляют распорные каркасы, которые вынимают только после окончательной установки частей аппарата на монтажной площадке.

Изготовление сварных листовых конструкций способом сворачивания. В ряде случаев удобнее и экономичнее собирать аппараты не



из отдельных секций, а из полных заготовок обечаяек, днищ и крышек, свернутых в рулоны. Такой рулон занимает значительно меньше места, чем комплект секций. Так, например, вся цилиндрическая часть резервуара емкостью 700 м^3 может быть свернута в рулон диаметром 1,5 м и высотой 9 м, а рулон для резервуара емкостью 5000 м^3 имеет диаметр 3 м и длину 12 м при следующих габаритных размерах готового аппарата: высота – 12 м, диаметр – 23 м.

Для производства рулонных заготовок сооружают специальные столы – стенды, на которых можно размещать полную развертку обечаяек и днищ. Такой стенд представляет собой двухэтажную разборную металлическую конструкцию. По краям стенда устанавливают барабаны, один из которых имеет диаметр, равный расстоянию между этажами, он предназначен для передачи заготовок с одного этажа на другой, а второй – для свертывания готовых рулонов.

Стыковку и сварку полотнищ из отдельных листов, предварительно правленных и обрезанных, производят на втором этаже. Листы соединяют с помощью электромагнитов, которые укреплены на передвижных тележках, расположенных под листами.

Сваренные с одной стороны полотнища при помощи троса и лебедки передают на первый этаж, где производят подварку швов с другой стороны и окончательную правку. Готовые полотнища свертывают в рулоны. Аналогичным способом изготавливают днища и крышки.

Окончательную сборку таких резервуаров производят на монтажной площадке. Вначале укладывают днище, которое обычно находится в рулоне в виде двух половинок. После освобождения закреплений половина днища сама под действием упругости разворачивается на плоскости. Затем на днище устанавливают вертикально рулонную заготовку обечайки. Разворачивание обечайки производят протаскиванием вертикально поставленного рулона по краю днища, при этом он вращается вокруг оси. Одновременно с разворачиванием производят приварку нижнего торца к днищу.



9. ИЗГОТОВЛЕНИЕ АППАРАТОВ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

В химической промышленности утвердились два основных направления в конструировании «холодных» и «горячих» аппаратов, работающих под высоким давлением.

Первое направление характеризуется созданием аппаратов малых емкостей, измеряемых в литрах, на высокие и сверхвысокие параметры – давление до 100...400 МПа и выше, температура 500...700 °С и выше.

Второе направление характеризуется созданием аппаратов больших емкостей, измеряемых в кубических метрах, с внутренним диаметром до 3000 мм и выше, работающих при давлении порядка 10 МПа и более и с широким диапазоном температур – от отрицательных до 700 °С.

Аппараты высокого давления находят широкое применение в различных отраслях промышленности: при синтезе аммиака, метанола, мочевины, полиэтилена и др. К таким аппаратам можно отнести реакторы, скрубберы, сепараторы, автоклавы и т. д. Кроме того, аппараты такого типа широко используются в качестве резервуаров для хранения жидкостей и газов под высоким давлением.

Наиболее распространены в промышленности следующие конструкции аппаратов высокого давления (рис. 9.1): цельнокованные (рис. 9.1, *а*); ковано-сварные (рис. 9.1, *б*); штампосварные (рис. 9.1, *в*); витые (рис. 9.1, *ж*) и многослойные (рис. 9.1, *з*, *д*, *е*).

Витые и многослойные конструкции аппаратов высокого давления имеют ряд существенных преимуществ перед сосудами со сплошной стенкой:

- большая надежность в эксплуатации, поскольку разрушение локализуется в одном слое и не распространяется сразу на всю толщину стенки, как в однослойном сосуде;
- использование качественной тонколистовой стали с более высокими прочностными характеристиками, чем у толстолистовой стали;
- возможность производства корпусов аппаратов высокого давления с неограниченной толщиной стенки и большого диаметра без применения уникального кузнечно-прессового оборудования;
- отсутствие потребности в уникальном термическом оборудовании для нагрева заготовок,ковки, штамповки и последующей термической обработки сосудов после сварки;
- значительное уменьшение черного веса заготовок и экономии металла, достигающей 12...20 %;
- сокращение цикла производства корпуса не менее чем на 25 %;



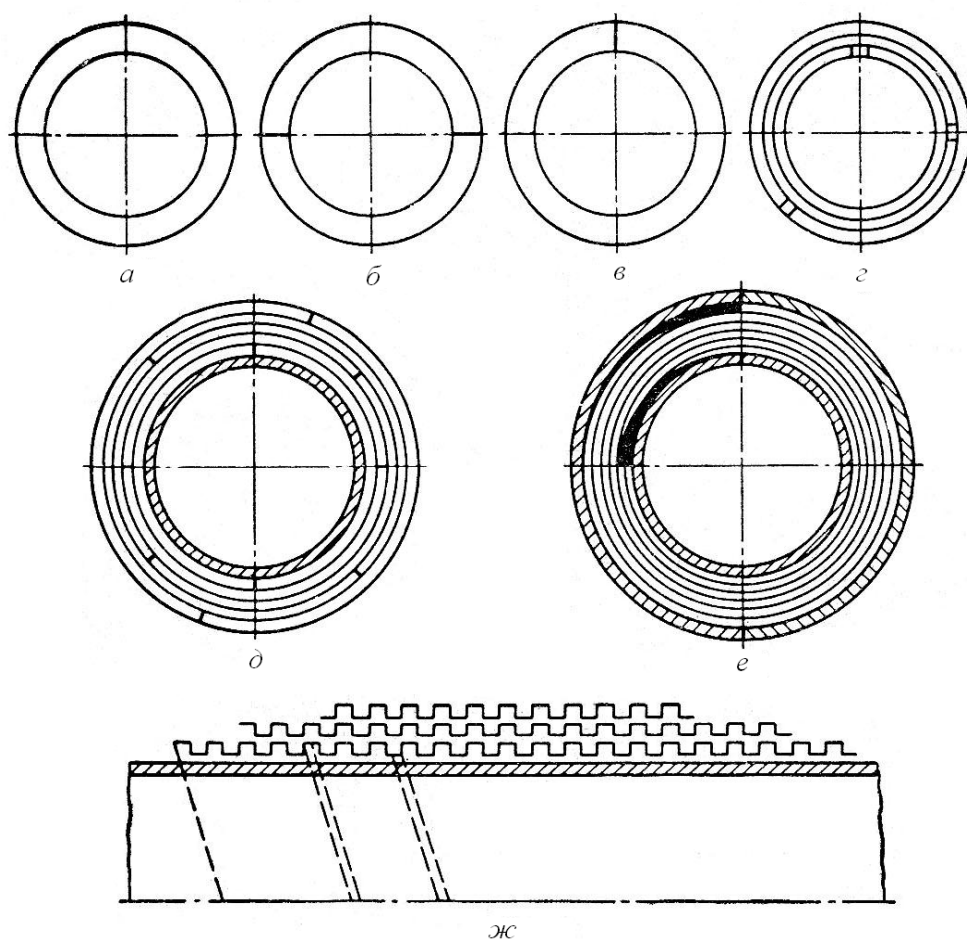


Рис. 9.1. Конструкции корпусов аппаратов высокого давления

- снижение стоимости аппаратов до 20 %;
- возможность сравнительно простого способа производства корпуса сосуда с биметаллическими стенками;
- доступность листового металла полному предварительному контролю, что нельзя сказать об однослойных аппаратах высокого давления.

9.1. Изготовление кованных сосудов

Впервые аппараты высокого давления, связанные с синтезом аммиака, изготавливались из кованой сплошной цилиндрической заготовки высверливанием центральной части до нужных размеров. Такой аппарат был изготовлен с внутренним диаметром 800 мм и длиной 6 м, рассчитанный на давление 20 МПа.

При наличии мощных (до 15000 т) прессов аппараты изготавливают из больших сплошных цилиндрических заготовок путем «прошивания»



пуансоном центральной части. Этим способом можно изготавливать наиболее крупные кованные аппараты высокого давления из заготовок весом 300 т со следующими характеристиками: давление – 70 МПа, внутренний диаметр – 1000 мм, длина – 18 м, вес – 150 т.

Общим недостатком цельно-кованных аппаратов является ограниченность размеров и большой отход металла от первоначального веса заготовки.

С развитием сварочного производства стали изготавливаться ковано-сварные аппараты из нескольких кованных обечаек, соединенных кольцевыми швами (рис. 9.2). Ограничение по длине в таких аппаратах отпадает. Аппараты сваривают круговым швом из двух или нескольких полых поковок до требуемой длины. После проведения термической обработки путем растачивания и повторного обтачивания аппарат доводят до требуемых размеров.

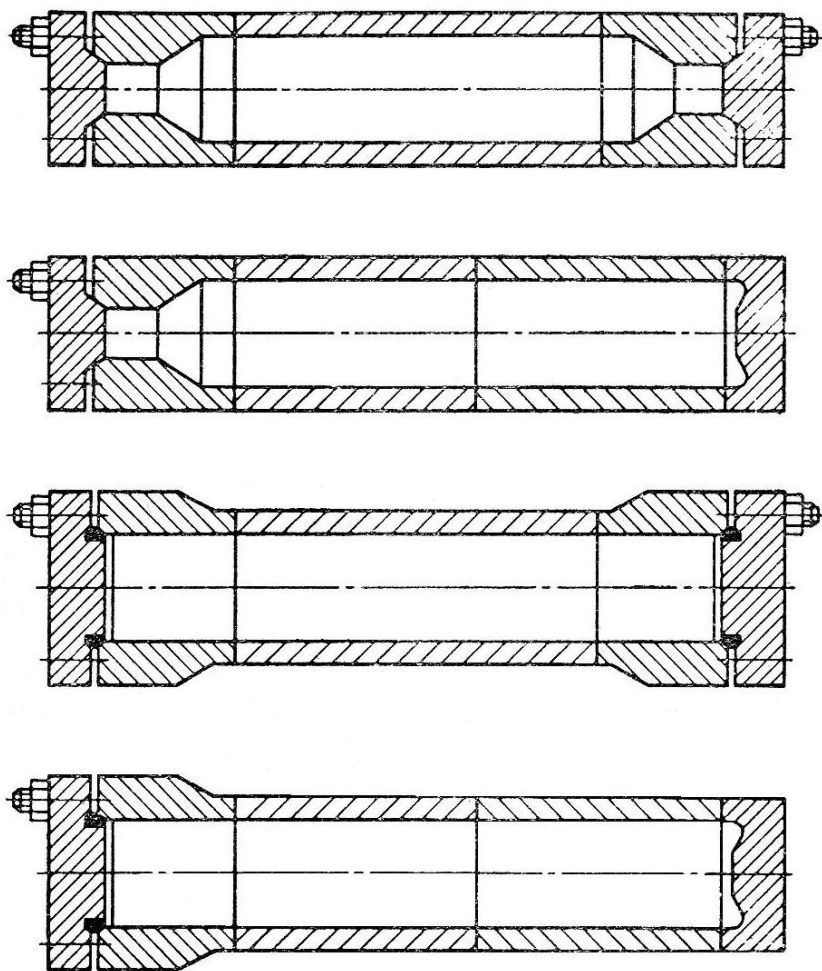


Рис. 9.2. Типы конструкций аппаратов в ковано-сварном исполнении



Основные недостатки, присущие кованым и ковано-сварным аппаратам:

- 1) сложный и длительный цикл изготовления;
- 2) высокая стоимость из-за применения дорогостоящих и дефицитных материалов;
- 3) применение мощного кузнечно-прессового оборудования;
- 4) нерациональное распределение напряжений по толщине стенки;
- 5) ограниченные возможности технологического оборудования и установок для термообработки;
- 6) применение мощного подъемно-транспортного оборудования;
- 7) потребность в больших производственных площадях;
- 8) потребность в рабочих высокой квалификации;
- 9) возможность больших потерь из-за брака;
- 10) большой отход ценного материала, достигающий до 50 %, а в некоторых случаях – и до 70 %.

9.2. Изготовление штампованных аппаратов

Штампосварные аппараты выгодно отличаются от кованых тем, что они изготавливаются из листового проката, качество которого значительно выше качества поковок. Кроме того, резко сокращаются отходы материала при изготовлении, т. к. толщина листа подбирается из условия прочности аппарата. Штампосварные аппараты изготавливают штамповкой из холодного и горячего листа полуобечаек с последующей их сваркой продольным швом. Технология штамповки таких полуобечаек заключается в следующем: сначала под прессом загибают один торцовый край полуцилиндра; затем лист пропускают через пресс и в нем загибается второй край; последующую штамповку производят участками от края к центру. Штампосварные аппараты могут собираться и из отдельных обечаек. Этим методом изготавливаются аппараты с толщиной стенки 150 мм.

Существенным недостатком штампованных аппаратов является их высокая стоимость, т. к. для их изготовления применяют дорогостоящие, легированные стали, стойкие против газовой коррозии и других агрессивных сред. Это вызвано тем, что основное применение штампосварные аппараты нашли в производстве аммиака, метанола, в процессах гидрирования угля, масел и др. А эти процессы приводят к таким явлениям, как физическая и химическая абсорбция газа металлом, диффузия газов в металле, растворение газов в металле с образованием вредных химических соединений. Проникновение газов внутрь стенок аппарата вызывает дополнительные напряжения в стенках, что снижает прочность аппарата.



9.3. Изготовление витых аппаратов

Методом навивки профилированной ленты изготавливаются аппараты диаметром 120...2500 мм и с толщиной стенки до 400 мм на следующие величины избыточного давления: 32,5 или 50 МПа – для синтеза аммиака или гидрирования углеводородов; 70 МПа – для синтеза уксусной кислоты; 160, 250 и 320 МПа – для полимеризации этилена.

Автоклавы изготавливаются для давлений свыше 320 и 600 МПа, а в специальных случаях – для еще более высоких давлений. Аппараты изготавливаются из углеродистых и легированных сталей, а также с футеровками, например, из свинца, меди, серебра, тантала и титана. На рис. 9.3 приведены используемые профили ленты. Ленты размером 50 × 5 мм имеют три паза (рис. 9.3, *а*) и применяются при внутреннем диаметре сосуда около 120 мм. Лента 79 × 8 мм имеет пять пазов и применяется для диаметра до 1200 мм (рис. 9.3, *б*); при диаметре аппарата 1200 мм и выше необходима лента размером 132 × 8 мм, имеющая 9 пазов (рис. 9.3, *в*). Применение широкой ленты сокращает время, требуемое на навивку, и значительно повышает экономичность производства сосудов высокого давления. Еще одним преимуществом широких лент является возможность делать в корпусе отверстия диаметром до 80 мм, что во многих случаях бывает необходимо.

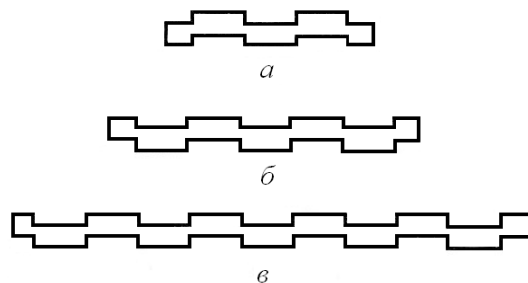


Рис. 9.3. Профили лент
для изготовления витых
аппаратов

Собственно изготовление аппарата складывается из двух этапов: изготовление центральной трубы и навивка корпуса ленты до необходимого диаметра.

После изготовления центральной обечайки на ее поверхности вытачивается трехжелобчатый профиль, соответствующий профилю ленты. Навивка ленты производится на машине, напоминающей токарный станок. Центральная обечайка закрепляется в станке, а бухта намотанной ленты установлена на тележке. Лента вкладывается в профиль корпуса и фиксируется сваркой. При прохождении через участок сопротивления лента нагревается до 900 °С, и при одновременном вращении центральной трубы и передвижении тележки профиль ленты запрессовывается в профиль центральной трубы при помощи прижимного ролика, который является вторым полюсом нагревательного участка. Процесс запрессовки ускоряется тем, что приблизительно через четверть



оборота после навивки лента охлаждается водой и воздухом. В конце навивки лента снова фиксируется приваркой на центральную трубу. На первый слой навитой ленты навивается следующий со смещением на $1/3$ ширины. В процессе намотки каждая профилированная лента сначала нагревается, а затем, охлаждаясь, осаждается на предыдущий слой. Таким образом, каждый слой увеличивает сжатие нижележащих слоев и внутренней обечайки.

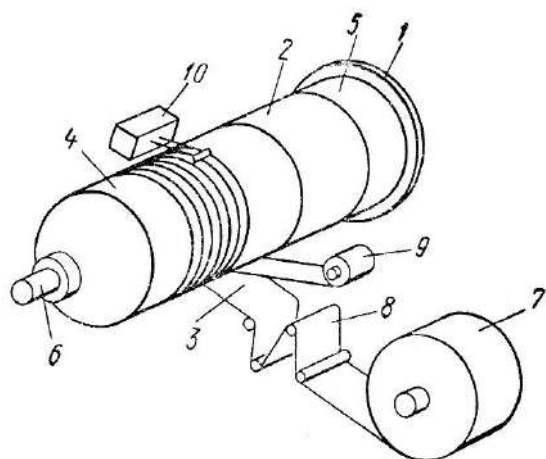


Рис. 9.4. Схема намотки ленты

Другой способ изготовления многослойного сосуда методом навивки ленты показан на рис. 9.4. Установка состоит из нескольких сборочных единиц. Вращающийся барабан 1 держит при вращении сердечник 2, на который спиралью навивается полосовой материал 3. На сердечнике 2 установлены концевые секции будущего аппарата 4 и 5, одна из которых имеет хвостовик 6, посредством которого удаляется сердечник 2 после того, как изготовлен аппарат.

Полосовой материал 3 вращением сердечника 2 сматывается с рулона 7 через натяжное устройство 8. Это устройство натягивает полосу 3 дифференцированно: большее натяжение получает край полосы, образующий внешнюю поверхность аппарата (навивка осуществляется внахлестку). Вместе с полосой 3, между перекрывающимися поверхностями полосы 3, движется лента 9 легкоплавкого твердого припоя. Лента 9 может быть во всю ширину этих поверхностей, но обычно бывает достаточно покрыть припоем часть нахлестки. Индукционный нагреватель 10 плавит припой, и последний соединяет навитые слои полосы в единую конструкцию.

При необходимости припой может содержать неплавящиеся частицы нужных размеров (карборунд, никель), которые во время плавки обеспечивают необходимый зазор между перекрытиями полосы 3.

Синхронно с вращением сердечника 2 происходит поперечное перемещение рулона 7 и устройства 8 для обеспечения спиральной навивки. Толщина полосы 3 равна 0,05...0,3 мм при ширине 25...600 мм. Толщина полосы 9 твердого припоя обычно равна 0,025 мм.



9.4. Изготовление многослойных аппаратов

9.4.1. Аппараты со стенкой из концентрических слоев

При изготовлении многослойных аппаратов на внутреннюю обечайку толщиной от 8 до 15 мм накладываются листы толщиной 5...7 мм, заваренные продольными швами, благодаря чему создается возможность изготавливать выдерживающую давление стенку из углеродистой или низколегированной стали и лишь внутреннюю обечайку выполнять из высоколегированной стали (рис. 9.5).

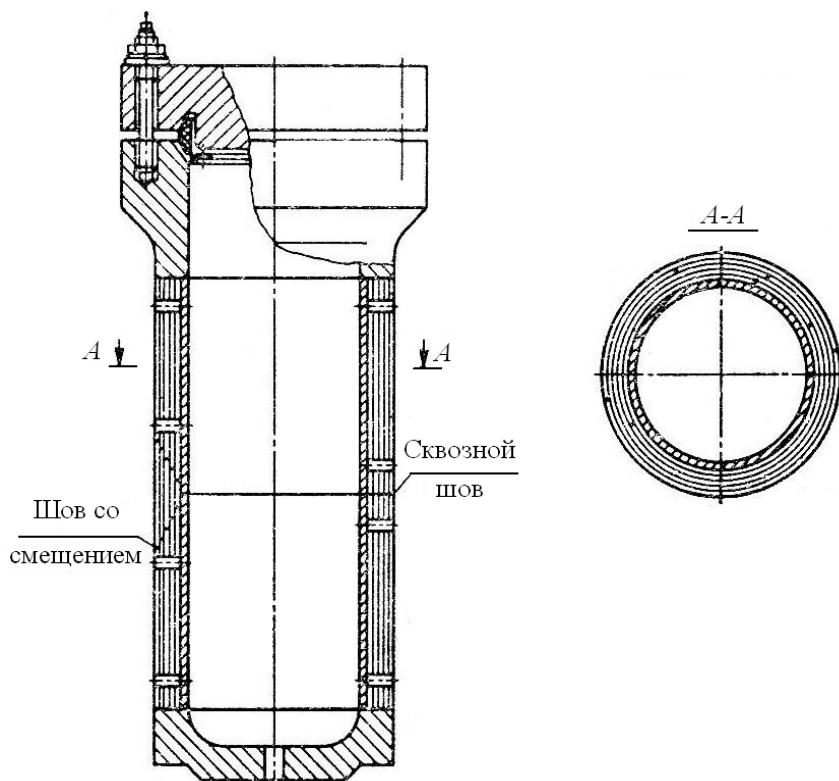


Рис. 9.5. Многослойный аппарат с концентрическим расположением слоев

Технологический процесс изготовления корпуса состоит в следующем (рис. 9.6): внутренняя обечайка 1 изготавливается сваркой металлического листа швом 2 (рис. 9.6, а); шов с наружной стороны выполняется заподлицо с поверхностью обечайки; второй слой б состоит из двух половинок 3 и 4, изогнутых на листогибочной машине (рис. 9.6, б, г).

Перед наложением на обечайку половинок 3 и 4 по их краям наносят узкой полосой тонкий слой графита 5, оставляя всю центральную часть чистой. Половинки 3 и 4 со слоем графита накладываются на обечайку, образуя два продольных шва 7 и 8 (рис. 9.6, в). Шов 7 прихватывается в нескольких местах 17 для закрепления половинок на обечайке.



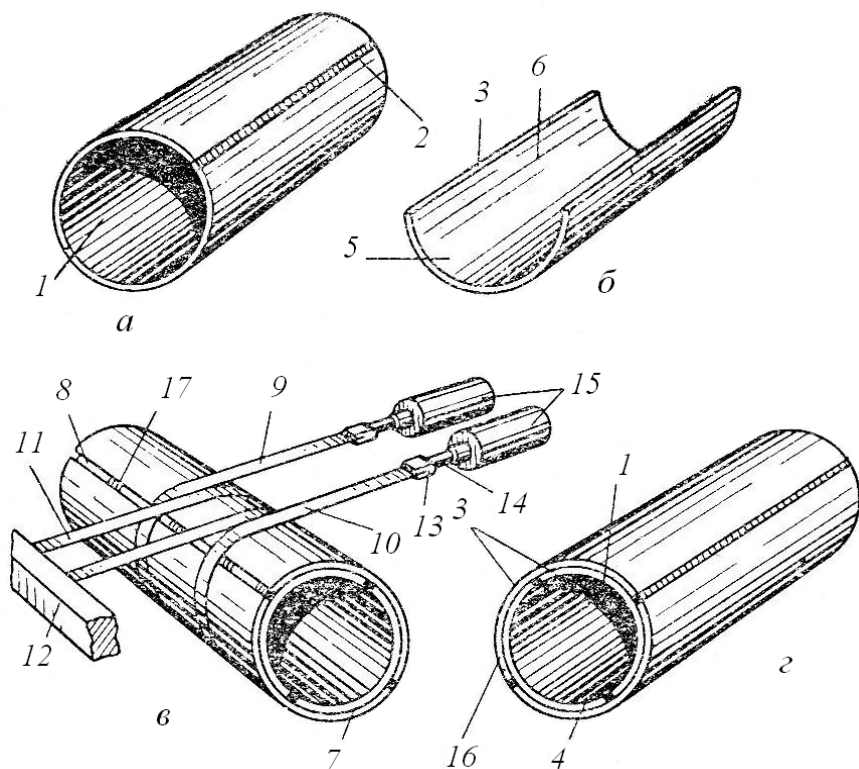


Рис. 9.6. Последовательность выполнения операций при изготовлении многослойного аппарата путем наложения двух половин

На собранную конструкцию устанавливаются обжимающие бандажы 9 и 10, концы 11 которых закреплены в раме 12, а подвижные концы 13 прикрепляются к рычагам 14 гидравлических цилиндров 15. При работе цилиндров 15 бандажы стягиваются, прижимая половинки 3 и 4 к цилиндру 1. Слои графита обеспечивают относительное скольжение слоев и плотность их прилегания друг к другу.

При стягивании бандажей внутренний цилиндр 1 подвергается значительному сжатию. Если половинки второго слоя сварить в момент обжатия конструкции, а потом ослабить бандажы (рис. 9.6, з), то второй слой 16 получит значительное растяжение. Такое остаточное напряжение недопустимо, когда отношение диаметра к толщине стенки аппарата выражается числом меньше 10 и когда необходимо предварительное напряжение слоя.

Перед сваркой шва 8 бандажы немного ослабляются, при этом ослабляется и внутренняя обечайка 1, а слои остаются в том же плотном контакте. Шов 8 прихватывается точечной сваркой, затем бандаж снимается и шов заваривают полностью. Подобным образом накладываются последующие слои.



9.4.2. Рулонированные аппараты

Многослойная обечайка, изготовленная методом рулонирования стальной ленты, состоит из внутренней обечайки толщиной 10...16 мм, стальной ленты толщиной 3...6 мм, которая наматывается на внутреннюю обечайку для образования стенки необходимой толщины, и из наружной обечайки из двух половинок, которые изготавливаются из листа толщиной 5...6 мм. Половинки наружной обечайки накладываются на спиральную намотку ленты и привариваются. В каждой многослойной обечайке просверливаются контрольные отверстия, не доходящие по глубине до внутреннего цилиндра, назначение которых состоит в том, чтобы в случае разрушения металла внутреннего цилиндра неисправность можно было бы обнаружить по просачиванию через них жидкости или газа.

Для рулонирования применяется сталь 10Г2СД толщиной 6 мм и шириной 1500 мм. Также могут быть использованы стали 12Х18Н10Т, 12МХ, 12ХГМ.

Методом рулонирования изготавливаются аппараты диаметром 400...3400 мм с толщиной стенки до 250 мм.

При изготовлении аппаратов путем намотки стальной ленты главную роль играет метод наматывания полосы на внутреннюю обечайку. На рис. 9.7, *а* показан метод намотки рулонированной обечайки на четырехвалковой листогибочной машине.

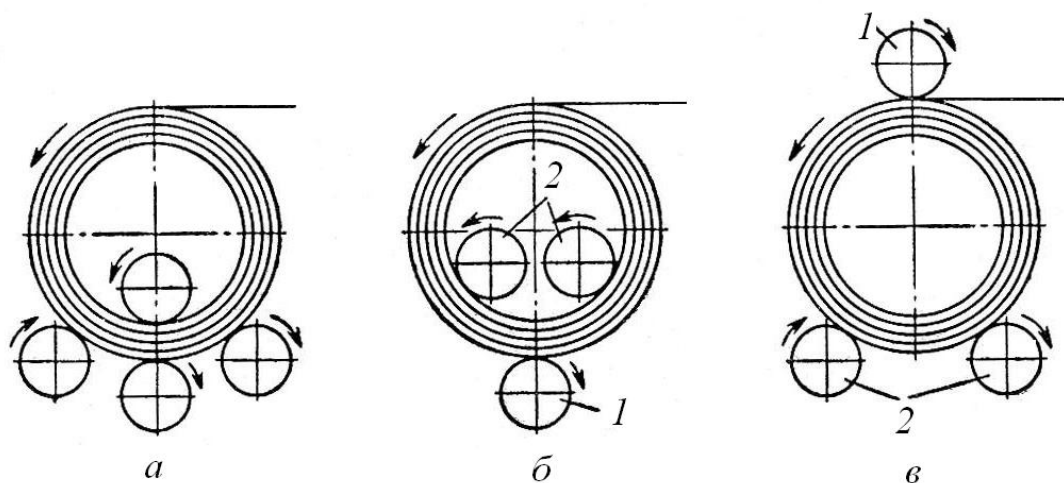


Рис. 9.7. Способы намотки многослойной обечайки

При намотке вторым методом два вала находятся внутри, и ведущий валок 1 передает вращение на наматываемый барабан (рис. 9.7, *б*). Валок 1 изгибает стенку внутренней обечайки вместе с наматываемой стальной лентой в радиальном направлении к центру. В результате это-



го внутренняя обечайка вместе с наматываемой стальной полосой изгибается внутрь между валками 1 и 2, и в этом месте радиус кривизны окружности увеличивается. Следовательно, когда внутренняя обечайка после прохода через систему валков принимает исходный радиус кривизны и витки намотки ленты натягиваются, это позволяет получить плотную намотку стальной ленты с определенным натяжением.

Производя наматывание стальной ленты на внутреннюю обечайку третьим методом (рис. 9.7, в), можно получить требуемую плотность намотки. В этом случае ведущий валок давит на поверхность наматываемой стальной полосы с наружной стороны, но т. к. валок 1, расположенный на верхней части обечайки, изгибает обечайку внутрь, действуя через всю толщину намотки ленты, то при этом обечайка становится более плоской (принимает эллипсоидную форму). После того как обечайка принимает исходный радиус кривизны, намотка плотно натягивается.

Для достижения необходимой плотности прилегания слоев регулируют расстояние между валками и давление на поверхность обечайки. При намотке, как правило, наблюдается сползание (сход) полосы с центральной обечайки. Для устранения этого явления используется кран. Намотанные и плотно уложенные слои прихватываются друг к другу электроприхватками, поднимают верхний вал и распушивают верхние, не прихваченные слои, намотанные с большим сходом. Краном поднимают обечайку и путем сдвигания троса укладывают верхние слои. Эту операцию повторяют через каждые 1,5...2 слоя.

В процессе намотки между слоями то с левого, то с правого торца обечайки могут образовываться местные выпучины («пузыри»), затрудняющие сворачивание. Образовавшийся «пузырь» перераспределяют между валками. Немного выше «пузыря» ставится прихватка длиной 50...100 мм. Отжимают боковой валок и поворачивают обечайку в такое положение, чтобы прихватка стала против бокового валка. Прижимают обечайку боковым валком, нижний валок при этом опускается, поворачивая обечайку и продвигая «пузырь» дальше. При этом «пузырь» уходит в намотанные слои и там распределяется. Образовавшиеся в результате этого зазоры выбираются последующей обкаткой.

В целях более плотного прилегания слоев используется иногда следующий прием. В наружную обечайку вставляется навитый рулон, наружный конец которого приваривается к внутренней поверхности этой обечайки. Собранный узел подвергают вращению, при котором в результате действия центробежных сил витки ленты раскручиваются и плотно прилегают один к другому. После этого внутренний конец витка приваривают к его собственной поверхности. Длина внешней окружно-



сти внутренней обечайки несколько больше, чем длина внутренней окружности ленточного витка. Когда обечайку вставляют внутрь витка, то сначала ей придают несколько вогнутую форму, которая под действием внутреннего напряжения распрямляется до формы цилиндра.

9.4.3. Гильзованные аппараты

Изготовление многослойных обечаек методом гильзования производится путем насадки отдельных обечаек в нагретом состоянии одна на другую. Эта операция требует изготовления обечаек с высокой точностью. Данный способ не ограничивает размеры корпусов аппаратов. Толщина отдельных обечаек составляет обычно 30...80 мм. После изготовления обечайки внутренний и наружный швы зачищаются заподлицо с основным металлом. Овальность обечайки после правки не должна превышать 0,1 % диаметра. Внутренняя и наружная поверхности обечаек проходят дробеструйную обработку, торцы размечаются под установку проушин, предназначенных для захвата обечайки тросом при транспортировании и сборке с другой обечайкой. Проушины устанавливаются на всех обечайках, кроме внутренней. Наружная обечайка устанавливается на выдвижной под камерной печи и нагревается при температуре 400...500 °С. После нагрева наружную обечайку надевают на холодную внутреннюю обечайку (рис. 9.8). После сборки проушины отрезают резак, места прихваток и приварок зачищаются.

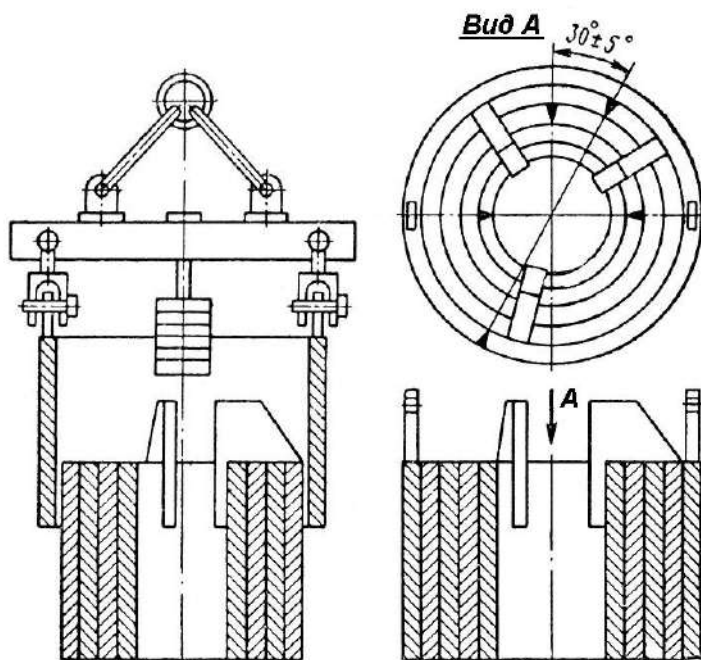


Рис. 9.8. Сборка многослойной обечайки



После полной сборки производится термообработка. Аппарат загружается в печь, предварительно нагретую до 300 °С. Нагрев производится со скоростью не более 100...150 град/ч до 580...600 °С. При этой температуре аппарат выдерживают в печи из расчета времени 4 мин на 1 мм толщины аппарата. Охлаждение производится со скоростью 100 град/ч до температуры 200...250 °С вместе с печью.

Более совершенным методом сборки является осуществление процесса гильзования непосредственно в нагревательном устройстве. В зависимости от диаметра обечайки крышка печи открывается частично или полностью, и холодная наружная обечайка опускается на под печи. После нагрева и расширения внутрь ее опускается следующая обечайка. Таким образом, процесс продолжается до получения необходимой толщины многослойной обечайки.



10. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ШАРОВЫХ РЕЗЕРВУАРОВ

С развитием химической и нефтяной промышленности возросла потребность в резервуарах для хранения газов и жидких продуктов. Применяемые для этих целей цилиндрические резервуары требуют большого расхода металла. В связи с этим нашли широкое применение шаровые емкости.

Шаровые резервуары изготавливают диаметром от 4,8 до 33 м с толщиной стенки 9...36 мм. Материалом служат низкоуглеродистые или низколегированные стали, обладающие хорошей свариваемостью.

Элементы оболочки могут изготавливаться двумя методами: штамповкой в холодном или горячем состоянии; гибкой между вальками.

В зависимости от способа изготовления, соображений наименьшего расхода металла и повторяемости типоразмеров заготовок раскрой шара может быть произведен различными способами.

При изготовлении емкостей диаметром до 13 м делают раскрой, раньше применявшийся для клепаных шаровых газгольдеров (рис. 10.1, а).

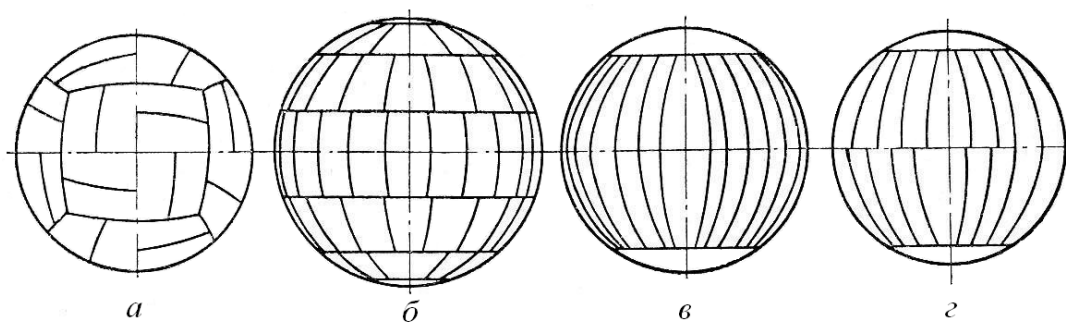


Рис. 10.1. Схемы раскроя корпусов шаровых резервуаров

Однако при изготовлении штамповкой наибольшее распространение получил меридионально-экваториальный раскрой, облегчающий монтаж и выполнение сварочных работ (рис. 10.1, б). По этой схеме раскроя резервуар емкостью 600 м³ изготовлен из 114 лепестков при длине швов 435 м. При изготовлении элементов гибкой из листа между вальками применяется раскрой, обеспечивающий минимальное количество лепестков (рис. 10.1, в). По схеме рис. 10.1, г резервуар имеет 26 лепестков при длине швов 200 м. Следовательно, длина швов находится в прямой зависимости от числа лепестков и поясов резервуара, отсюда и стремление к сокращению числа лепестков.

В целях обеспечения надежности шарового резервуара устанавливаются довольно жесткие требования к форме заготовок, особенно к разделке кромок листов. Во всех случаях при сооружении шаровых резервуаров особое значение придается правильности формы (постоянной



кривизне в двух направлениях), когда внутреннее давление не может вызвать изгибающего момента в оболочке и дополнительных напряжений (рис. 10.2).

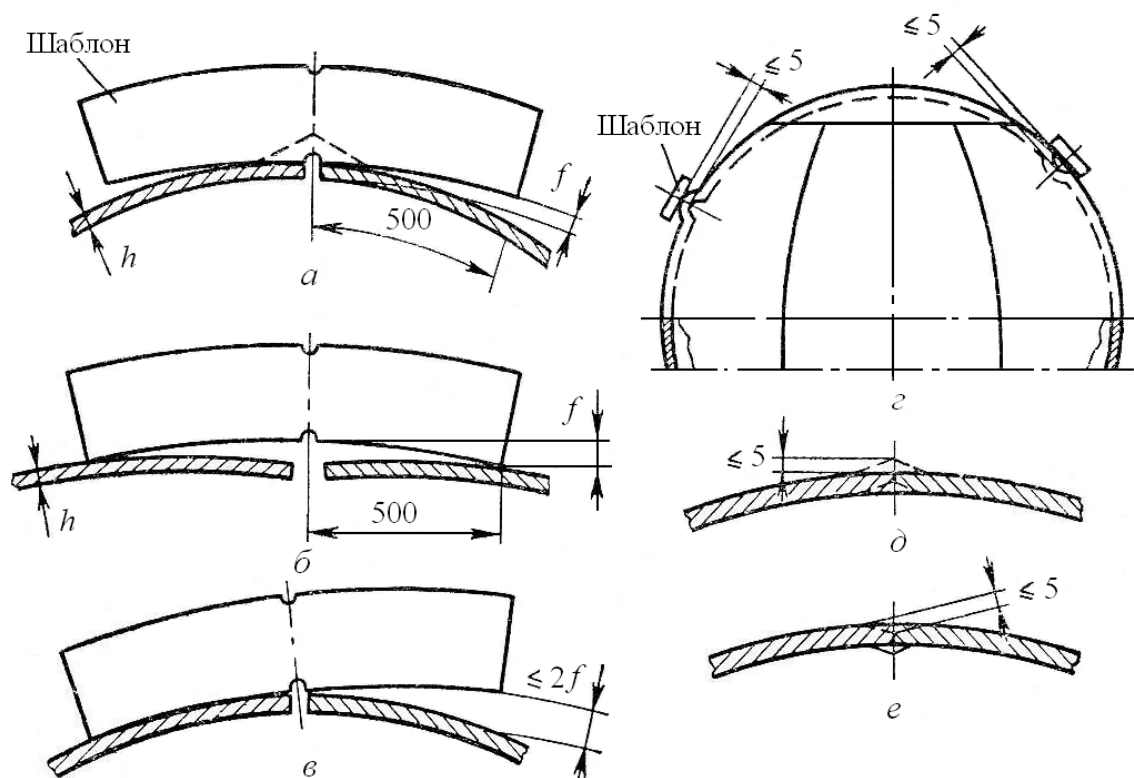


Рис. 10.2. Допускаемые отклонения при изготовлении шаровых резервуаров

Все элементы шаровой оболочки проходят на заводе контрольную сборку для обеспечения полной взаимозаменяемости одноименных элементов. Все элементы маркируются. Лепестки, усиливающие кольца, штуцера и другие детали корпуса поставляются на монтаж в разобранном виде и на время транспортировки и хранения покрываются протекторным грунтом ГФ-95 с алюминиевой пудрой, позволяющей производить сварку без предварительной очистки зон сварки. Металлоконструкции, лестницы, переходные площадки, опоры и другие сборочные единицы окрашиваются черным лаком № 177.

Формирование лепестков на прессах является менее производительным процессом и используется в индивидуальном производстве. Холодную штамповку лепестков производят с помощью пуансона и матрицы на прессах. Для каждого размера резервуара применяют сменные матрицы и пуансоны. В процессе формовки кривизну лепестков за-



меряют плоским металлическим шаблоном, а после окончательной формовки – с помощью пространственных шаблонов.

Для повышения точности размеров лепестков листы подают на штамповку с припуском 150...200 мм на сторону. Огневую резку лепестков по шаблону производят только после окончания штамповки. Если в заготовках сферических резервуаров необходимо приварить к лепесткам временные приспособления (скобы и т. п.), то их приваривают следующим образом: перед приваркой участок оболочки подогревают до температуры 120...150 °С; после резания и последующей зачистки удаленного сварного шва проверяют наличие подрезов или трещин; дефекты заваривают, предварительно подогревая этот участок до температуры 120...150 °С.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В связи с интенсивным развитием химической, нефтяной и газовой промышленности необходимо совершенствование, как в качественном, так и в количественном отношении, производства, ремонта и содержания химического и нефтегазохимического оборудования.

Чрезвычайно расширен диапазон условий эксплуатации этого оборудования. Работы ведутся в различных кинематических условиях, при воздействии абразивных и агрессивных сред, поэтому химическое машиностроение решает задачу совершенствования проектирования и качества изготовления машин и оборудования: повышение его долговечности и надежности; морозоустойчивости и коррозионной стойкости; технологичности и ремонтпригодности. Таким образом, производственный и технологический процессы изготовления оборудования для нефтехимического и химического машиностроения имеют исключительно важное значение для экономики страны.

Современная технология химического машиностроения развивается по следующим основным направлениям: создание новых материалов; разработка новых технологических принципов и процессов; автоматизация технологических процессов, освобождающая человека от тяжелого, а часто и вредного непосредственного участия в процессах химических производств.

Становление технологии химического машиностроения как научной дисциплины затруднено огромным разнообразием химического оборудования, бесчисленным множеством методов изготовления.

Постепенное накопление исследований технологических процессов, выявление отдельных особенностей и фактов, связей между явлениями, выдвижение различных идей и гипотез помогли сформулировать технологию как науку. Наука о технологии – это результат практической деятельности человека. Она подчинена целям развития общественной практики и способна служить для этого теоретической основой. На основе технологической науки было создано учение о точности обработки деталей машин и аппаратов, раскрыты закономерности размерных связей технологического процесса, выработаны расчетные методы, сформулирована система основных понятий и определений, создана методика проектирования технологических процессов и определены особенности проектирования технологической оснастки для химического машиностроения, что и нашло отражение в данном учебном пособии.



КОНТРОЛИРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ

Вопросы для самопроверки

1. Что такое технологический процесс, операция, переход, установка, позиция, прием?
2. Какие данные необходимы для разработки технологического процесса? Какими документами он оснащается?
3. Что такое припуск? Как его рассчитать?
4. От чего зависит качество и точность обработки поверхности?
5. Что понимается под качеством поверхности?
6. Что называется базой? Какие требования предъявляются к базам?
7. Из каких элементов складывается норма штучного времени?
8. Какими приборами определяют шероховатость поверхности?
9. Какие основные факторы учитываются при выборе оборудования?
10. От чего зависит выбор материала и конструкция инструмента?
11. Какие факторы определяют режим резания?
12. Чем отличаются аппараты от машин?
13. Перечислите основные операции при заготовке элементов аппаратов.
14. Какова технология изготовления днищ?
15. В чем особенности изготовления трубных решеток?
16. Охарактеризуйте основные операции при сборке химических аппаратов.
17. В чем сущность рулонного метода изготовления резервуаров?
18. Каковы особенности конструкции вертикальных резервуаров?
19. Назовите наиболее характерные для химических машин металлы.
20. Каковы основные требования к материалам, используемым для химических машин и аппаратов.
21. Расскажите о применении стекла и дерева в химических аппаратах.
22. В чем состоит роль пластмассы как конструкционного материала в химическом машиностроении?
23. Перечислите наиболее характерные для химической промышленности процессы.
24. Способы расположения труб в трубной решетке для кислородной аппаратуры.
25. Что такое вырубка?
26. Способы изготовления сит.
27. Что такое обтюрация?
28. На какой поверхности осуществляется просечка?
29. Способы образования отверстий на стеклянной поверхности.
30. Для чего используются бортшайбы?



31. Как определяется размер заготовки, подвергаемой гибке?
32. Какие способы профилирования Вы знаете?
33. Основные дефекты, возникающие при вальцовке листовой заготовки.
34. Чем обеспечивается устойчивость листа во время гибки?
35. Для каких обечаек осуществляется правка (выкатка)?
36. Из какого материала изготавливают прокладки для уплотнения?
37. Максимальное количество линз, устанавливаемых на кожухе теплообменника.
38. Чем отличается штамповка от вытяжки?
39. Способы правки материалов.
40. Способы резки материалов.
41. Гибка труб. Приспособления для гибки труб.
42. Вытяжка днищ. Способы вытяжки.
43. Формование днищ.
44. Сборка корпуса и трубного пучка в теплообменниках.
45. Сборка трубного пучка в теплообменниках жесткой конструкции.
46. Сборка колонных аппаратов в царговом исполнении.
47. Изготовление днища и корпуса цилиндрических резервуаров.
48. Изготовление технологических трубопроводов большого диаметра.
49. Чем контролируется оптимальная степень развальцовки?
50. Способы крепления труб в трубной решетке в теплообменниках, работающих при высоком давлении.
51. Способы раскроя шаровых резервуаров.
52. Способы крепления люков и штуцеров с корпусом аппарата.
53. Типы опор для вертикальных и горизонтальных аппаратов.

Тесты

1. Способы расположения труб в трубной решетке для кислородной аппаратуры:

- | | |
|-----------------------------------|------------------|
| а) по правильному шестиугольнику | б) по квадрату |
| в) по прямоугольному треугольнику | г) по окружности |

2. При какой толщине листа применяют горячую правку материала?

- а) > 5 мм б) > 10 мм в) > 20 мм г) > 40 мм д) > 50 мм

3. Что такое обтюрация?

- а) уплотнение б) гидроизоляция в) теплоизоляция

4. Какой тип раскроя используется для изготовления металлических колец Рашига?



- а) индивидуальный б) смешанный в) групповой

5. Допускается ли расположение отверстий на сварных швах трубных решеток в теплообменной аппаратуре?

- а) да б) нет в) иногда

6. Какие ножницы являются универсальными, т. е. осуществляют резку материала по кривой и по прямой?

- а) гильотинные б) дисковые
в) комбинированные г) вибрационные

7. На какой поверхности не осуществляется просечка?

- а) металлической б) полимерной в) резиновой
г) кожаной д) паронитовой е) гетинакс

8. Вырубка – процесс отделения материала от какой поверхности:

- а) сталь б) полимер в) резина г) цветной металл

9. Способы образования отверстия на металлической поверхности:

- а) сверление б) просечка в) вырубка г) пробивка

10. Способ изготовления сеток (сит) без отхода материала:

- а) пробивка на прессах пуансоном б) сверление
в) электроискровая обработка г) газопламенная обработка

11. Образование отверстий химическим фрезерованием происходит с использованием инструментов:

- а) сверло б) развертка в) фреза г) зенкер д) штемпель

12. Обрубка заусенцев, наплывов и других неровностей с поверхности хрупких металлов производят с использованием:

- а) скипидара б) масла в) мыльной воды г) всухую

13. Изготовление каких деталей аппаратов осуществляется вытяжкой?

- а) крышек б) труб в) штуцеров г) колпачков



14. Угол пружинения – это:

- а) угол, под которым согнута пружина
- б) разность между величиной угла между плоскостями детали после гибки и углом инструмента
- в) угол гибки
- г) угол между гибочными плоскостями инструмента

15. Профилирование – способ получения:

- а) легких профилей
- б) жестких профилей
- в) тонкостенных профилей
- г) узорчатых профилей

16. Способы профилирования:

- а) гофрирование
- б) плиссирование
- в) штамповка
- г) выдавливание

17. Как определяется размер заготовки, подвергаемой гибке?

- а) по длине нейтральной линии
- б) по длине заготовки
- в) по толщине заготовки
- г) по углу гибки
- д) по радиусу гибки нейтральной линии

18. Какие днища аппаратов изготавливаются вальцовкой?

- а) сферические
- б) конические
- в) эллиптические
- г) плоские
- д) коробовые
- е) цилиндрические

19. Основные дефекты, возникающие при вальцовке листовой заготовки:

- а) овальность
- б) конусность
- в) бочкообразность
- г) сферичность

20. Какие из следующих процессов обработки заготовок относятся к обкатке?

- а) отгибка
- б) вальцовка
- в) обжимка
- г) зиговка
- д) гибка

21. Процесс опиловки осуществляется:

- а) напильником
- б) зубилом
- в) абразивным кругом
- г) дисковой пилой
- д) ленточной пилой

22. Есть ли различие между понятиями «штамповка» и «вытяжка»?

- а) да
- б) нет



23. При изготовлении бортшайбы делается ли центральное отверстие в заготовке?

- а) да б) нет в) иногда

24. Бортшайба – это деталь, необходимая для присоединения цилиндрических обечаек:

- а) к плоской поверхности б) к цилиндрической поверхности
в) к сферической поверхности г) к конической поверхности

25. Формование – способ изготовления деталей из:

- а) стеклопластиков б) термопластов в) цветного металла
г) стали д) резины е) керамики

26. Удаление окислов с металлической поверхности осуществляется травлением с использованием:

- а) неорганических кислот б) щелочей в) растворов солей
г) мыльным раствором д) эфиров е) органических кислот

27. Способ крепления труб в трубной решетке в теплообменной аппаратуре:

- а) сварка б) резьбовое соединение в) развальцовка
г) склеивание д) с помощью прокладок

28. Способы развальцовки:

- а) простая (гладкая) б) коническая в) с 2-я канавками (продольными)
г) с отбортовкой д) с 1-й кольцевой канавкой (поперечной) с отбортовкой

29. Какие виды работ можно производить на листогибочной машине?

- а) правка листа б) гибка конуса в) подгибка кромок
г) круговая гибка листа д) гибка листа на 90°

30. Чем обеспечивается устойчивость листа во время гибки?

- а) шириной листа б) толщиной листа
в) диаметром обечайки г) нагревом заготовки

31. Для каких обещаний осуществляется правка (выкатка)?

- а) жестких б) деформирующихся в) овальных г) бочкообразных

32. При правке обечаек важно, чтобы радиус изгиба был:

- а) меньше радиуса кривизны любого участка по контуру обечайки



б) больше радиуса кривизны любого участка по контуру обечайки

33. Правка обечайки происходит на листогибочной машине:

- а) 2-валковой б) 3-валковой в) 4-валковой г) 5-валковой

34. Из какого материала не изготавливают прокладки для уплотнения?

- | | | |
|-------------------|-------------|------------------|
| а) резина | б) полимер | в) картон |
| г) асбест | д) паронит | е) сталь |
| ж) цветной металл | з) гетинакс | и) стеклопластик |
| к) текстолит | л) эбонит | м) керамика |

35. Линзовые компенсаторы служат для:

- | | |
|---|-----------------------|
| а) поглощения тепловых деформаций | б) погашения вибраций |
| в) понижения пульсаций | г) гибкого соединения |
| д) компенсации смещения в соединениях оборудования с трубой | |

36. Способы изготовления волнистых компенсаторов:

- а) штамповкой полулинзы с последующей сваркой
б) штамповкой отдельных секций линзы с последующей сваркой
в) изгибом между роликами предварительно спрофилированной заготовки
г) обкаткой заготовки в роликах (гофрирование полого цилиндра)
д) гидравлической формовкой гофр

37. Основные типы опор для аппаратов вертикального типа:

- а) стойки б) лапы в) кольцевая г) седлообразная

38. Способы крепления люков и штуцеров с корпусом аппарата:

- | | |
|------------------------------------|------------------------|
| а) резьбовое соединение | б) болтовое соединение |
| в) посредством укрепляющего кольца | г) утолщением патрубка |

39. Продольные сварные швы в горизонтальных аппаратах должны располагаться вне нижней части корпуса в пределах:

- а) 60° б) 90° в) 140° г) 180°

40. После сборки и сварки аппарата максимальное отклонение по длине не должно превышать:

- а) ± 55 мм б) ± 65 мм в) ± 75 мм г) ± 85 мм



41. Не прямолинейность аппарата при длине более 10 м должна быть не более:

- а) 20 мм б) 25 мм в) 30 мм г) 35 мм

42. Сборка приварных днищ с корпусом осуществляется с помощью:

- а) планок б) рисок в) шпилек г) хомутов

43. Методы крепления труб в трубных решетках:

- а) с помощью роликовых вальцовок б) обварка труб
в) развальцовка труб взрывом г) резьбовое соединение
д) высоким гидравлическим давлением е) сальниковое соединение
ж) импульсный метод развальцовки ударом жесткого инструмента

44. Каким методом чаще всего контролируется оптимальная степень развальцовки?

- а) основанным на измерении размеров вальцуемых труб
б) основанным на измерении и регулировании прилагаемого к вальцовке усилия

45. Какими инструментами обрабатываются отверстия?

- а) керн б) зенкер в) развертка г) метчик

46. Методы изготовления витых аппаратов:

- а) навивкой профилированной ленты
б) навивкой полосового материала
в) навивкой гофрированной ленты

47. Методы изготовления элементов оболочки шаровых резервуаров:

- а) штамповкой б) прессованием
в) гибкой между валками г) ковкой

48. Линзовые компенсаторы применяются только в аппаратах:

- а) вертикального типа б) горизонтального типа

49. Какое максимальное количество линзовых компенсаторов устанавливается на кожухе аппарата?

- а) один б) два в) три г) четыре

50. Какие типы напильников по числу насечек Вы знаете?

- а) зернистые б) драчевые в) личные г) бархатные



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Берлинер Ю.И. Технология химического и нефтяного аппаратостроения / Ю.И. Берлинер, Ю.А. Балашов. – Москва : Машиностроение, 1976. – 256 с.
2. Базров Б.М. Основы технологии машиностроения : учебник / Б.М. Базров. – Москва : Машиностроение, 2007. – 736 с.
3. Ковшов А.Н. Технология машиностроения: учебник / А.Н. Ковшов. – Санкт-Петербург : Лань, 2008. – 320 с.
4. Микитянский В.В. Технология химического машиностроения : учебное пособие / В.В. Микитянский, Л.М. Микитянская. – Астрахань : Изд-во АГТУ, 2005. – 352 с.
5. Никифоров А.Д. Типовые технологические процессы изготовления аппаратов для химических производств. Атлас : учебное пособие / А.Д. Никифоров, В.А. Беленький, Ю.В. Поплавский. – Москва : Машиностроение, 1979. – 280 с.
6. Колчинский Ю.А. Изготовление и монтаж технологических трубопроводов из неметаллических материалов / Ю.А. Колчинский. – Москва : Стройиздат, 1976. – 160 с.
7. Поплавский Ю.В. Технология химического аппаратостроения / Ю.В. Поплавский. – Москва : Химия, 1977. – 305 с.
8. Аверченков В.И. Технология машиностроения. Сборник задач и упражнений : учебное пособие / В.И. Аверченков, Е.А. Польский. – Москва : Машиностроение, 2010. – 288 с.
9. Мосталыгин Г.П. Технология машиностроения / Г.П. Мосталыгин, Н.Н. Толмачевский. – Москва : Машиностроение, 1990. – 288 с.
10. Колесов И.М. Основы технологии машиностроения : учебник / И.М. Колесов. – Москва : Машиностроение, 1997. – 592 с.



Учебное издание

СЕМАКИНА Ольга Константиновна

ТЕХНОЛОГИЯ ХИМИЧЕСКОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

Учебное пособие

Научный редактор
доктор технических наук, профессор
В.В. Коробочкин

Корректурa Д.В. Заремба
Компьютерная верстка О.Ю. Аршинова
Дизайн обложки А.И. Сидоренко

Подписано к печати 07.06.2017. Формат 60х84/16. Бумага «Снегурочка».
Печать CANON. Усл. печ. л. 8,37. Уч.-изд. л. 7,57.
Заказ 162-17. Тираж 100 экз.



Издательство

ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

