

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»

Серия учебных пособий

А.С. КИЛОВ, Р.Ш. МАНСУРОВ

ПРОИЗВОДСТВО ЗАГОТОВОК. ТРУБЫ

Книга 4

ПРОИЗВОДСТВО, ОБРАБОТКА, РАЗРЕЗКА И СОЕДИНЕНИЕ ТРУБ

Рекомендовано Ученым советом
государственного образовательного учреждения
высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»
в качестве учебного пособия для студентов,
обучающихся по программам
высшего профессионального образования по
специальности «Теплогазоснабжение, вентиляции и гидромеханики»

Оренбург 2007

УДК 621.7 (075.8)

ББК 34.623 я73

К 39

Рецензенты

доктор технических наук, профессор В.М. Кушнарченко,

Килов А.С.

К 39 Производство заготовок. Трубы. – Кн. 4. Производство, обработка, разрезка и соединение труб / А.С. Килов, Р.Ш. Мансуров - Оренбург: ГОУ ОГУ, 2007. – 216 с. – (Серия учебных пособий).

ISBN

В учебном пособии показаны основы производства труб, материалы для их изготовления, методы их обработки. Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по специальности 270109 «Теплогазоснабжение и вентиляция» и в рамках дисциплины «Технология конструкционных материалов», а также для студентов изучающих дисциплины «Технология заготовительного производства», «Проектирование и производство заготовок», Ил. 137. Табл. 4. Библиогр. список 25 назв.

К $\frac{2704030000}{}$

ББК 34.623 я73

ISBN

© Килов А.С., 2007

©Мансуров Р.Ш., 2007

© ГОУ ОГУ, 2007

Содержание

Предисловие	7
Введение	8
1 Материалы трубных заготовок	10
1.1 Свойства металлов	13
1.2 Сплавы на основе черных металлов	16
1.2.1 Стали	16
1.2.2 Чугуны	17
1.3 Сплавы на основе цветных металлов	18
1.4 Неметаллические материалы	20
1.4.1 Пластмассы	20
1.4.2 Резиновые материалы	23
1.4.3 Композиционные материалы	24
1.4.4 Керамические материалы	24
1.4.5 Древесные материалы	25
1.4.6 Стекланные материалы	25
1.4.7 Клеевые материалы	25
1.5 Дефекты исходного материала	26
2 Производство труб	27
2.1 Производство сварных труб	29
2.1.1 Производство труб с продольным швом	29
2.1.1.1 Производство труб печной сваркой	29
2.1.1.2 Производство труб электросваркой	30
2.1.1.2.1 Профилирование ленточного, полосового и листового материала (изготовление гнутых профилей)	30
2.1.1.2.2 Производство труб с продольным швом	32
2.1.1.2.3 Производство труб со спиральным швом	35
2.1.1.2.3.1 Сетчатые трубы	36
2.1.2 Волочение	37
2.1.3 Изготовление воздухопроводов	38
2.2 Производство цельных (бесшовных) труб	41
2.2.1 Винтовая прокатка	41
2.2.2 Раскатные станы	42
2.2.3 Производство труб холодной прокаткой	43
2.2.3.1 Процессы деформирования с локализацией очага деформации	44
2.2.3.2 Вытяжка эластичной средой	47
2.2.4 Выдавливание	48
2.2.4.1 Гидравлические прессы	49
2.2.5 Выдавливание	52
2.2.6 Изготовления композиционных трубных заготовок	53
2.2.7 Изготовления литых труб. Основные сведения о литейном производстве	54
2.2.7.1 Способы изготовления отливок	55

2.2.7.2	Разработка технологии и принципы конструирования получения литых заготовок	55
2.2.7.3	Технологическая характеристика отливок	57
2.2.7.3.1	Основные правила для проектирования отливок	58
2.2.7.4	Специальные способы литья. Изготовление отливок в многократных (металлических) формах	58
2.2.7.4.1	Виды литья в металлические формы	59
2.2.7.5.1.1	Литье под давлением	59
2.2.7.5.1.2	Литье под низким давлением	60
2.2.7.5.1.3	Литье намораживанием	61
2.2.7.5.1.4	Непрерывное литье	62
2.2.7.5.1.5	Полунепрерывное литье	63
2.2.7.5.1.6	Центробежное литье	64
2.2.7.5.2	Характеристика специальных видов литья	65
2.2.7.6	Очистка и отрубка отливок	66
3	Разрезка металлов	67
3.1	Разрезка труб и проката	67
3.1.1	Разрезка на металлорежущих станках	68
3.1.1.1	На токарно – винторезных станках	69
3.1.1.2	На горизонтальных фрезерных станках	70
3.1.1.3	Абразивными материалами	71
3.1.2	Разрезка пилами	71
3.1.3	Разделка проката операциями обработки давлением	75
3.1.3.1	Разрезка проката на ножницах	75
3.1.3.2	Разрезка во втулках	78
3.1.3.3	Разрезка в штампах	79
3.1.3.4	Ломка прутков в холодном состоянии	80
3.1.3.5	Разрезание стальных труб труборезами	82
3.2	Разрезка листов	83
3.2.1	Разрезание листов на полосы и карты	84
3.2.2	Оборудование для разрезания листового материала	85
3.2.2.1	Кривошипные штамповочные прессы	86
3.2.2.2	Ножницы с параллельными или наклонными ножами	89
3.2.2.2.1	Комбинированные пресс-ножницы	90
3.2.2.3	Дисковые ножницы	92
3.2.2.4	Высечные ножницы	93
3.2.3	Операции листовой штамповки	94
3.2.3.1	Разделительные операции	94
3.2.3.1.1	Вырубка - пробивка	96
3.2.3.1.2	Особенности вырубки и пробивки неметаллических материалов	98
3.3	Разрезка металла плавлением	99
3.3.1	Дуговая разрезка	100
3.3.2	Ручная и машинная плазменная разрезка	100
3.3.3	Кислородная разрезка	101

3.3.3.1 Кислородно-флюсовая (химическая) разрезка	102
3.3.3.2 Разрезка под водой	102
3.3.4 Поверхностная кислородная разрезка	103
3.3.5 Лазерная разрезка	103
3.4 Гибка труб	104
3.4.1 Механические испытания свойств	105
3.4.2 Технологические испытания свойств	108
3.4.3 Формоизменения трубных заготовок	112
3.4.4 Виды и причины брака при гибке и правке	114
4 Соединение технологических трубопроводов	115
4.1 Разъемные соединения	115
4.1.1 Фланцевые соединения	115
4.1.1.1 Пластическая деформация в локальном очаге	115
4.1.2 Резьбовые соединения	118
4.1.2.1 Характеристика резьбы	119
4.1.2.2 Нарезание резьбы	121
4.1.2.2.1 На токарно-винторезных станках	121
4.1.2.2.2 На резьбофрезерных станках	122
4.1.2.2.3 Ручное нарезание внутренней резьбы	123
4.1.2.2.4 Ручное нарезание наружной резьбы	125
4.2 Неразъемные соединения	127
4.2.1 Сварка	128
4.2.1.1 Технология изготовления сварных заготовок	128
4.2.1.2 Классификация и характеристика способов и видов сварки	131
4.2.1.3 Свариваемость металлов и сплавов	132
4.2.1.4 Металлургические процессы при сварке	134
4.2.1.5 Напряжения и деформации в металле шва	135
4.2.1.5.1 Предотвращение возникновения напряжений	135
4.2.1.6 Основные виды сварных соединений и классификация швов	135
4.2.1.7 Выбор режима сварки	140
4.2.2 Термические виды сварки (сварка плавлением)	140
4.2.2.1 Электрическая сварка	141
4.2.2.1.1 Электрическая дуга	141
4.2.2.1.2 Дуговая сварка и ее схемы	146
4.2.2.1.3 Технология ручной сварки	148
4.2.2.1.4 Оборудование и принадлежности для ручной дуговой сварки	149
4.2.2.1.5 Электроды для дуговой сварки	151
4.2.2.2 Сварка в защитном газе	154
4.2.2.3 Автоматическая дуговая сварка под флюсом	157
4.2.2.5 Лучевые способы сварки плавлением	162
4.2.2.6 Газовая сварка	163
4.2.2.6.1 Ацетиленовая сварка	163
4.2.2.6.2 Водородная сварка	166
4.2.2.6.3 Технология газовой сварки	167

4.2.2.6.4 Газосварочное оборудование	170
4.2.3 Термомеханический класс сварки	172
4.2.3.1 Контактная сварка	172
4.2.3.1.1 Стыковая сварка	175
4.3 Соединения пайкой	176
4.4 Сварка труб из полимерных материалов	177
4.4.1 Классификация способов сварки	177
4.4.2 Основные типы и конструктивные элементы сварных соединений	179
4.4.3 Сварка нагретым газом	182
4.4.3.1 Особенности работы с электрическими горелками	182
4.4.3.2 Приемы прутковой сварки	185
4.4.4 Контактная сварка	186
4.4.5 Сварка экструдированной присадкой	187
4.4.6 Другие способы сварки полимерных материалов	193
4.4.7 Требования к производству работ по сварке труб	200
4.5 Склеивание труб из полимерных материалов	202
5 Качество сварных соединений	207
5.1 Контроль качества и возможные дефекты	207
5.1.1 Контроль качества	208
5.2 Дефекты сварных соединений	209
6 Техника безопасности при проведении сварки	212
6.1 Требования к газовому оборудованию	212
6.2 Требования к электрическим устройствам и установкам	213
6.3 Противопожарные мероприятия	214
Список использованных источников	215

Предисловие

Любую машину (машину-двигатель, машину - преобразователь, машину-орудие) собирают из деталей (элементарных частей), изготовленных без применения сборочных операций и приспособлений. Надежность и долговечность машины зависит от качества деталей, из которых она собрана. Качество детали, в основном, определяется заготовкой, которую получают тем или иным методом: литьем; сваркой; обработкой резанием или обработкой давлением (ковкой, объемной или листовой штамповкой).

В современном машиностроении детали (заготовки) делают из металлов и сплавов, а также из неметаллических (пластмасс, резины, древесины, керамики) и порошковых материалов.

К заготовкам, независимо от метода и способа их получения, предъявляются следующие требования:

- поверхности, используемые как базовые на первой операции обработки, должны быть чистыми без заусенцев и других дефектов, чтобы избежать значительных погрешностей установки при дальнейшей обработке или сборке;

- механические и физические свойства материала заготовки, его химический состав, структура и зернистость должны быть стабильными по всему объему;

- все поверхности заготовки не должны иметь механических повреждений, в противном случае возможен выпуск некачественных деталей;

- геометрические размеры заготовок должны приближаться к геометрическим размерам готовой детали;

- коэффициент использования материала должен быть максимальным, а трудоемкость дальнейшей обработки - минимальной, но при этом должно быть обеспечено получение качественной детали (по размерам и шероховатости поверхности) в соответствии с чертежом после механической обработки на металлорежущих станках;

- все внутренние напряжения должны быть сняты за счет применения термообработки.

Каждый из указанных методов представляет самостоятельную отрасль машиностроения и описан в специальной литературе, но, в тоже время, отсутствуют обобщенные сведения по производству заготовок различными методами и способами, что вызывает затруднения при выполнении студентами курсовых и дипломных проектов.

В связи с этим по инициативе авторов разрабатывается и издается серия учебных пособий, которая призвана способствовать лучшему обеспечению студентов учебно-методической литературой.

В серии книг «ПРОИЗВОДСТВО ЗАГОТОВОК» рассмотрены такие вопросы, как получение штампованных и литых заготовок, труб, а также методические указания к лабораторным работам по трубным заготовкам.

Введение

Формообразование при производстве деталей, как и при производстве и обработке труб осуществляется одним из четырех видов:

- литейное производство;
- обработка давлением;
- сварка;
- обработка резанием.

Особенности технологических методов производства заготовок, в том числе и труб влияют на конструкцию и прочностные данные отдельных элементов и устройства в целом. Вариантность любого технологического процесса определяется многими факторами (назначением, размерами, массой, количеством, материалом и др.).

Литейное производство (ЛП) — отрасль машиностроения, изготавливающая заготовки или детали (отливки). Это технологический процесс изготовления заготовок заливкой расплавленного металла заданного химического состава в литейную форму, полость которой имеет конфигурацию заготовки или детали. При охлаждении после затвердевания залитый металл сохраняет конфигурацию полости формы. Литые трубы в дальнейшем не подвергаются дополнительной обработке резанием.

Отливки труб получают из чугуна и из сплавов цветных металлов с высокими механическими и эксплуатационными свойствами, что обуславливают их широкое применение в различных отраслях промышленности. Литьем изготавливают отливки, как простой, так и сложной формы, которые нельзя получить другими технологическими методами. Например, чугунный радиатор отопления, один из вариантов которого запатентован автором Киловым А.С.

Роль процессов обработки металлов давлением в техническом плане различных отраслей хозяйства все более возрастает. Процессы обработки металлов давлением позволяют получать детали и заготовки требуемых форм, размеров и свойств путем пластического деформирования металла в холодном или горячем состоянии. По сравнению с изготовлением деталей резанием, когда часть металла удаляется в стружку, обработка давлением позволяет более экономно расходовать металл, существенно улучшает структуру, а следовательно, и механические свойства металла. Поэтому детали ответственного назначения изготавливают из заготовок, полученных обработкой давлением. Наряду с изготовлением заготовок и деталей из металла обработка давлением широко используется и при переработке пластмасс, что менее трудоемко, чем из металлов, себестоимость их значительно ниже себестоимости металлических изделий. Применение пластических масс дает возможность постоянно совершенствовать конструкции.

Обработка давлением основана на использовании свойства материалов пластически деформироваться в холодном или горячем состоянии. Этот метод широко применяли при изготовлении оружия, орудий, в кораблестроении и т.д.

В настоящее время обработке материалов давлением (далее ОМД) подвергают заготовки из черных и цветных металлов и сплавов, из пластических масс и других не металлических материалов. ОМД включает прокатку, волочение, прессование, объемную и листовую штамповку которые позволяют получать детали, идущие непосредственно на сборку. В основе жестяницких работ, большой группы ремонтных работ и обработки поверхностей без снятия стружки также лежит обработка давлением. Разновидности метода обработки давлением обеспечивают изготовление сложных фасонных профилей с малой шероховатостью поверхностей.

Для получения сварных заготовок применяют практически все виды сварки (под флюсом, дуговую, контактную, в среде защитного газа, электрошлаковую, электронным лучом, лазерную, плазменную, ультразвуковую и т.д.), что вызвано широкой номенклатурой марок и толщиной заготовок для сварных изделий.

При производстве сварных заготовок материал выбирают не только исходя из конструктивных и эксплуатационных соображений, но и его свариваемости, т.е. с учетом возможности обеспечения хорошей сварки.

При производстве сварных заготовок вследствие действия температур происходит изменение формы и размеров заготовки (сварочные деформации), которые снижают точность заготовки и требуют назначения больших припусков на механическую обработку. Также надо учитывать то, что сварочные напряжения, возникающие в околошовном пространстве, могут снижать работоспособность сварочных конструкций в условиях работы при динамических нагрузках или при низких температурах. Для борьбы с этим явлением используют высокотемпературный отпуск при температурах от 550 до 680 °С в течение нескольких часов.

В производстве и применении труб обработка резанием применяется как для разделки исходных заготовок на мерные, так и для подготовки торцов трубных заготовок и при получении фланцевых либо резьбовых соединений.

1 Материалы заготовок и деталей

В качестве исходного продукта при производстве труб используют металлы в виде слитков, листов, карточек или рулонов и неметаллические материалы, в том числе, пластмассы, резину, стекло, керамику и бетон.

При выборе материала для конструкции исходят из комплекса свойств, которые подразделяют на: механические, физико-химические, технологические и эксплуатационные.

К механическим свойствам относят прочность, твердость, износостойкость, пластичность или хрупкость (способность материала подвергаться деформации или разрушению).

Твердость – способность сопротивляться проникновению в него другого тела, например, шарика.

Износостойкость – способность материала сопротивляться поверхностному разрушению под действием поверхностного трения.

К физико-химическим свойствам относят температуру плавления, плотность, электро- и теплопроводность.

К технологическим свойствам относят способность материала поддаваться разным способам обработки, в том числе, литейные свойства, ковкость (штампуемость), свариваемость, обрабатываемость резанием.

Особенности технологических методов и прочностные данные влияют на конструкцию и процессы обработки и поэтому вариантность технологического процесса определяется многими факторами (назначением, размерами, массой, материалом и их строением.)

Конструкционные материалы удобно рассматривать по группам с близкими свойствами и применением. Группу материала, необходимого для конструирования конструктор определяет до начала проектирования и, как правило, без специальных расчетов, на основании представлений о размерах труб, рабочих температурах и действующих нагрузках при эксплуатации, способе ее изготовления. Лишь после выбора группы материала возможно уточнение способа ее изготовления, а после чего можно осуществить и окончательный выбор марки материала.

Трубы в промышленности чрезвычайно разнообразны. Для их изготовления необходимы материалы с различными свойствами. В последние годы значительно расширилась номенклатура материалов, применяемых в машиностроении. Для современного автомобиля детали изготавливают примерно из 70 различных материалов.

Все конструкционные материалы, в основном, делят на две группы: металлические и неметаллические и их группы приведены на рисунке 1.

Металлы и сплавы – основной машиностроительный материал, который обладает свойствами, обусловленными внутренним строением сплава.

Металлы – кристаллические тела, атомы которых расположены в геометрически правильном порядке, образуя кристаллы. Характерным

признаком кристалла является твердое состояние до температуры плавления, причем процесс плавления происходит при постоянной температуре.

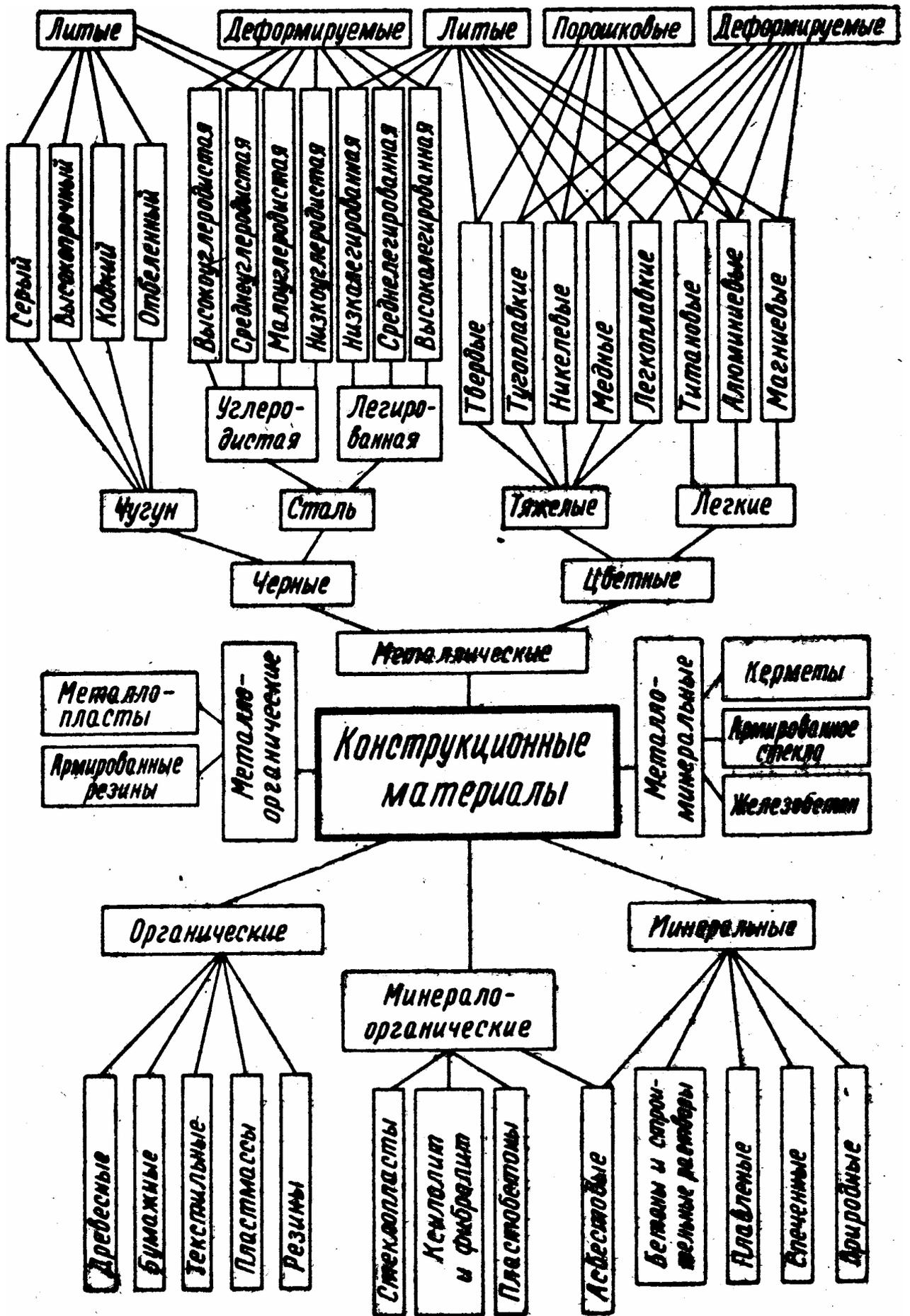


Рисунок 1 - Основные группы конструкционных материалов

Методы формообразования деталей машин подразделены на 4 вида: литейное производство, обработка давлением, сварка и обработка резанием.

Указанные методы обработки материалов используют практически на любом машиностроительном предприятии. Возможная схема состава и взаимосвязи цехов машиностроительного предприятия показана на рисунке 2.

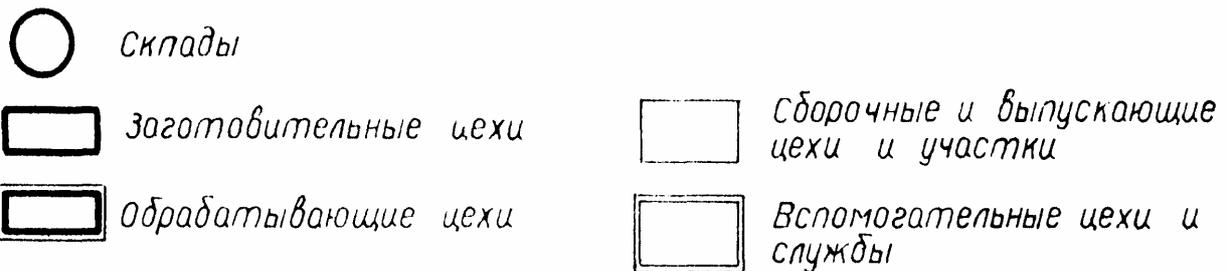
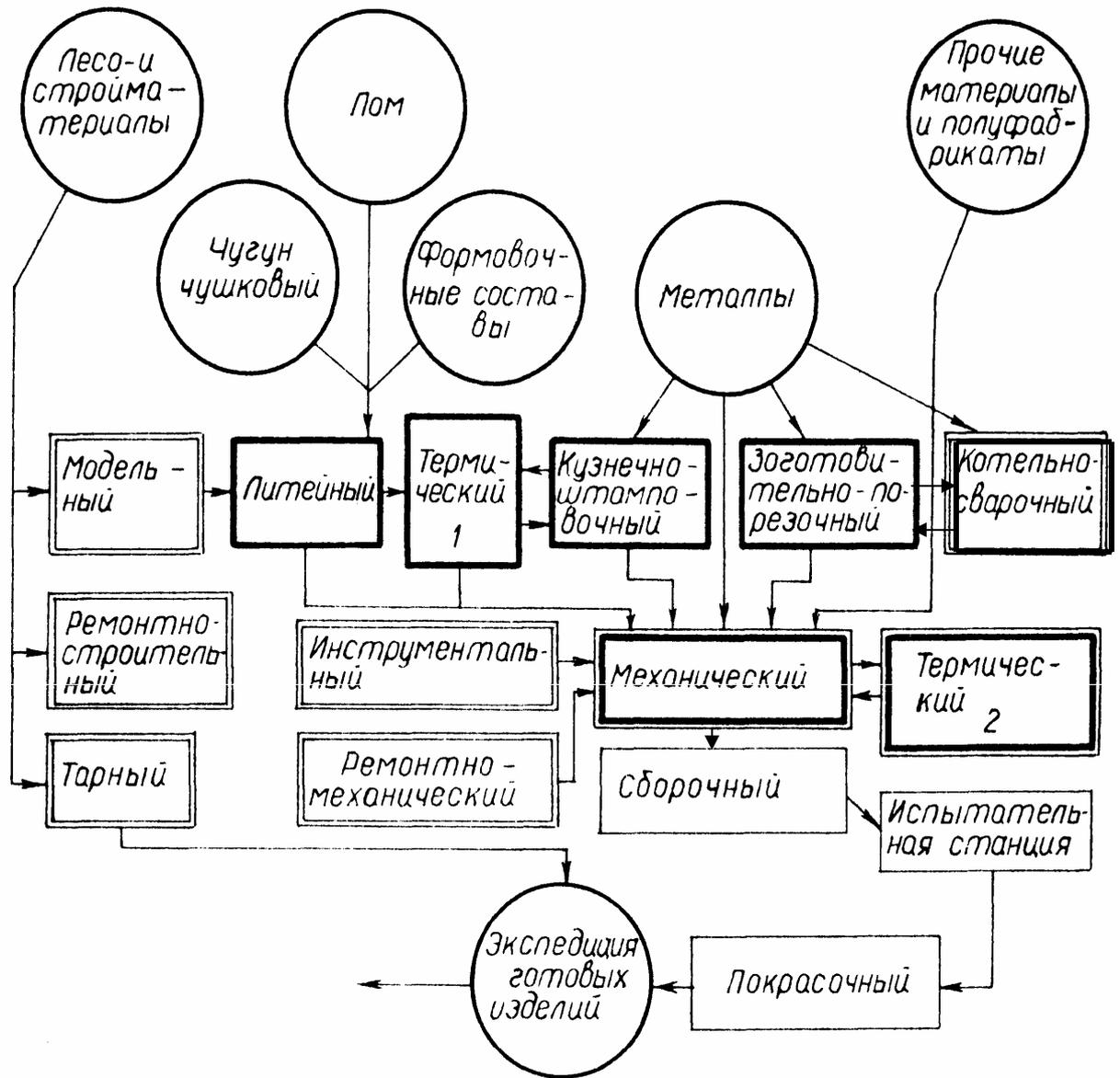


Рисунок 2 - Состав и взаимосвязь цехов машиностроительного предприятия

Основным материалом машиностроения являются металлы.

Металлы – кристаллические тела, атомы которых расположены в геометрически правильном порядке, образуя кристаллы.

Все металлы подразделяются на два класса:

- черные;
- цветные.

К *черным* относят *сплавы на основе железа (сталь, чугун)*. Основные свойства черных металлов определяются количеством углерода. Сплавы с содержанием углерода до 2,14 % - стали, а выше – чугуны.

1.1 Свойства металлов

При выборе материала для конструкции исходят из комплекса свойств, которые подразделяют на механические, физико-химические, технологические и эксплуатационные.

К механическим относят:

- прочность;
- твердость;
- износостойкость;
- пластичность.

Прочность – способность материала сопротивляться деформации или разрушению. Показателем прочности является предел прочности:

$$\sigma_d = P / F_0,$$

где P – нагрузка разрушения стандартного образца, Н;

F_0 - площадь поперечного сечения, мм².

Пластичность – способность твердых тел изменять форму и размеры без разрушения под действием внешней нагрузки. Пластичность определяется максимальным относительным удлинением при разрыве:

$$\delta = ((l - l_0) / l_0) 100 \%,$$

где l - длина после разрыва, мм;

l_0 - первоначальная длина, мм.

Твердость – способность материала сопротивляться проникновению в него другого тела, например шарика.

Износостойкость – способность материала сопротивляться поверхностному разрушению под действием поверхностного трения.

К физико-химическим свойствам относят:

- температуру плавления;
- плотность;
- электро- и теплопроводность.

К технологическим свойствам относят их способность поддаваться различным способам обработки (литейные свойства, ковкость, свариваемость, обрабатываемость режущими инструментами).

Способность металлов и сплавов к литью.

Не все сплавы в одинаковой степени пригодны для изготовления отливок. Из одних сплавов (серого чугуна, силумина) можно легко изготовить отливку сложной конфигурации, а из других (титановых сплавов, легированных сталей и др.) получение отливок сопряжено с определенными трудностями. Получение качественных отливок без раковин, трещин и других дефектов зависит от литейных свойств сплавов. К основным литейным свойствам сплавов относят жидкотекучесть, усадку сплавов, склонность к образованию трещин, газопоглощение и ликвацию.

Жидкотекучесть — способность расплавленного металла течь по каналам литейной формы, заполнять ее полости и четко воспроизводить контуры отливки. При высокой жидкотекучести литейные сплавы заполняют все элементы литейной формы, при низкой — полость формы заполняется частично, в узких сечениях образуются недоливы. Жидкотекучесть сплавов определяют по специальным пробам. За меру жидкотекучести принимают длину заполненной спирали в литейной форме, и она зависит от многих факторов. Например, повышение температуры заливки увеличивает жидкотекучесть всех сплавов. Чем выше теплопроводность материала формы, тем быстрее отводится тепло от залитого металла, тем ниже жидкотекучесть. Неметаллические включения снижают жидкотекучесть сплавов. На жидкотекучесть влияет химический состав сплавов: с увеличением в исходном материале содержания серы, кислорода и хрома жидкотекучесть снижается, а с повышением содержания P, Si, Al, C - увеличивается.

В зависимости от жидкотекучести сплава выбирают минимальную толщину стенок отливок. Например, при изготовлении мелких отливок из серого чугуна в песчаных формах минимальная толщина стенок составляет от 3 до 4 мм, для средних от 8 до 10 мм, для крупных от 12 до 15 мм; для стальных отливок, соответственно, от 5 до 7, от 10 до 12 и от 15 до 20 мм.

Способность материала к обработке давлением.

Способность материала деформироваться под действием внешних нагрузок не разрушаясь и сохранять измененную форму после прекращения действия усилий, называется пластичностью. Таким образом, пластичность - это возможность металла изменять форму или деформироваться при обработке давлением без нарушения целостности.

Количественно пластичность можно характеризовать величиной максимальной деформации, которую можно сообщить металлу до появления в нем разрушения. Общая пластическая деформация поликристаллов (это практически все применяемые металлы и сплавы) складывается из двух видов деформаций - внутрикристаллитной и межкристаллитной. Внутрикристаллитная деформация это скольжение и образование двойников в кристаллах, а межкристаллитная — это повороты и смещения зерен относительно друг друга.

В результате обработки давлением зерна кристаллов частично раздробляются и вытягиваются в направлении наибольшего течения металла, что вызывает его упрочнение. Превышение напряжений пластической деформации приводит к возникновению трещин, то есть приводит к разрушению металла. Следовательно, в обработке давлением важно знать условия деформирования, при которых происходит пластическая деформация и при которых наступает разрушение.

Способность металлов и сплавов к сварке.

Свариваемостью металла называют совокупность его технологических свойств, определяющих способность обеспечить при принятом технологическом процессе экономичное, надежное в эксплуатации сварное соединение. Соединение считают качественным или равнопрочным, если его механические свойства близки к характеристикам основного металла и в нем отсутствуют поры, шлаковые включения, раковины. Кроме того, в некоторых случаях соединение должно иметь химические и физические свойства такие же, как свойства основного металла.

Свариваемость — это сложная характеристика, определяемая не только свойствами свариваемого металла, но и выбором технологического процесса, режимом сварки, свойствами применяемых сварочных материалов. Поэтому нет единого вида испытания на свариваемость, а следует применять несколько видов для определения различных характеристик. Число и вид испытаний обусловлен свойствами материала, назначением конструкции и условиями ее работы. Чаще всего признаком плохой свариваемости является наличие в сварном соединении отдельных дефектов. Дефектом является существенная разница свойств основного металла сварного шва и зоны термического влияния. При сварке заготовок из углеродистых и легированных сталей твердость зоны термического влияния возрастает, в то время как пластические свойства значительно снижаются, что повышает хрупкость.

Свариваемость – свойство металла или сочетания металлов образовывать при установленной технологии сварки соединение, отвечающее требованиям, обусловленным конструкцией и эксплуатацией изделия.

Способность металлов и сплавов к обработке резанием.

Обработка резанием является одной из наиболее часто применяемых операций машиностроения, без которой не обходится изготовления ни одной детали. Способность металлов и сплавов к обработке резанием определяется химическим составом и видом термической обработки. Для обработки резанием наиболее часто применяют автоматные стали А12, А20, А40, имеющие повышенное содержание серы (от 0,08 до 0,3 %), фосфора ($\leq 0,05$ %) и марганца (от 0,7 до 1,0 %). Сталь 40Г содержит от 1,2 до 1,55 % Mn.

Фосфор, повышая твердость, прочность и охрупчивая сталь, способствует образованию ломкой стружки и получению высокого качества поверхности. Такие стали обладают большой анизотропией механических свойств, склонны к хрупкому разрушению, имеют пониженный предел выносливости. Поэтому сернистые автоматные стали применяют лишь для изготовления неотчетливых изделий - преимущественно нормалей или метизов.

1.2 Сплавы на основе черных металлов

Железоуглеродистые сплавы, в основном, классифицируют по содержанию углерода. По этому признаку их подразделяют на стали содержащие углерода менее 2,14 % и чугуны - углерода более 2,14 %.

1.2.1 Стали

Жесткие, прочные, стойкие к удару и нагреву детали изготавливают из конструкционной углеродистой или легированной стали. По назначению стали бывают конструкционные, инструментальные и специальные.

По качеству все стали подразделяют по содержанию серы и фосфора на обыкновенные (до 0,05 % S и 0,04 % P), качественные (не более 0,04 % S и 0,035 % P), высококачественные (не более 0,025 % S и 0,025 % P) и особовысококачественные (не более 0,015 % S и 0,025 % P).

На качество и свойства стали существенное влияние оказывают постоянные примеси, которые бывают постоянные, скрытые и случайные.

Постоянные примеси - Mn (от 0,3 до 0,7 %), Si (от 0,2 до 0,4 %), S и P (до 0,03 %);

Скрытые – O₂, H₂, N.

Случайные – Ni, Cr (от месторождения).

Углерод – его увеличением повышается твердость и прочность, уменьшается пластичность и вязкость.

Mn и Si – полезные примеси и их добавляют при раскисании

Сера и фосфор – повышают хрупкость, причем сера повышает хрупкость при нагреве (красноломкость), а фосфор вызывает хладоломкость.

Газы (O₂, N, H₂) – разрыхляют металл, снижают его деформируемость, повышают хрупкость, металл крошится.

Углеродистые стали (состав в масс. процентах: от 0,12 до 0,6 C; от 0,2 до 0,5 Si; от 0,5 до 0,8 Mn; до 0,05 P и до 0,05 S) имеют более высокие механические свойства, чем серый и ковкий чугуны. Их применяют для изготовления различных цилиндров, станин прокатных станов, зубчатых колес и других изделий. Качественная углеродистая конструкционная сталь обозначается сотыми долями процента углерода, например, сталь 35 содержит примерно 0,35 % углерода.

Легированные стали отличаются от углеродистых составом легирующих, т. е. дополнительно добавленных элементов (хром, никель, молибден, титан и др.) или повышенным содержанием марганца и кремния. Легирующие элементы придают стали высокую коррозионную стойкость, жаропрочность и другие специальные свойства. Легированная конструкционная сталь обозначается буквенно-цифровым индексом, например, сталь марки 45ХН2А. Цифра 45 - сотые доли процента углерода, буквы - обозначение легирующих элементов Х - хром, Н - никель, цифра 2-процентное содержание элемента в легированной стали, никеля – примерно 2 %, отсутствие цифры после буквы

указывает, что количество легирующего элемента (хрома) ~1 %, обозначение других легирующих элементов Г - марганец, С - кремний, В - вольфрам, Т - титан, Ю - алюминий, Д - медь, М - молибден, Ф - ванадий, Б - ниобий, Р - бор, К – кобальт. Значение буквы А в маркировке стали зависит от места ее написания. В начале шифра она обозначает автоматную сталь, в середине шифра – количество азота в сплаве, в конце шифра - высококачественную сталь. Из легированных сталей получают турбинные лопатки, коллекторы выхлопных систем, различную арматуру и прочие подобные детали.

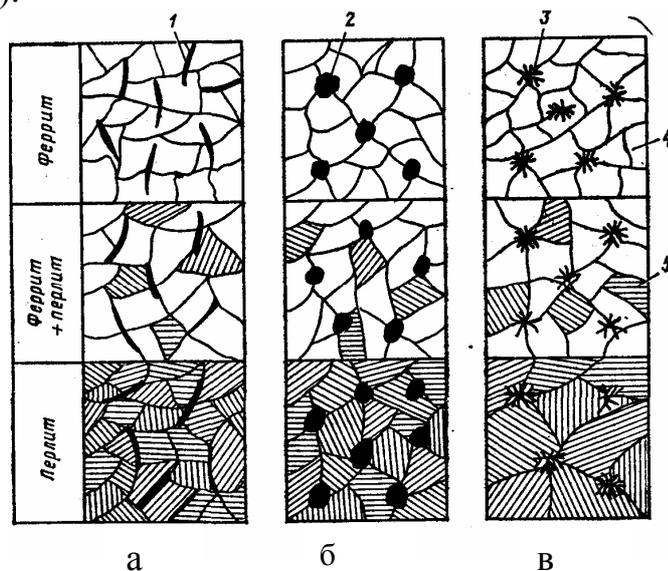
Инструментальные стали бывают углеродистые, обозначают от У 7 до У 13 (цифры означают десятые доли процента углерода в сплаве) и легированные, например, 9ХС, ШХ9, ШХ15 и стали карбидного класса Х12М, Х6ВФ, в том числе и быстрорежущие (рапид) Р6М5 и Р18 (цифра после Р – процентное содержание вольфрама в сплаве).

1.2.2 Чугуны

Статически нагруженные детали преимущественно изготавливают из чугуна, так как он дешевле стали. В зависимости от состояния углерода в сплаве чугуны подразделяют на белые, серые, высокопрочные и ковкие.

Белые чугуны – в них весь углерод связан с железом в виде цементита. Подразделяют на доэвтектические, эвтектические и заэвтектические. Из-за большого количества цементита эти чугуны твердые и хрупкие и для изготовления деталей машин практически не используются.

В серых чугунах углерод частично представлен в виде пластинчатого графита (рисунок 3). Приняты следующие его марки: СЧ 10, СЧ 15, СЧ 25, СЧ 35 (цифры показывают временное сопротивление при растяжении (МПа), уменьшенное в 10 раз).



а — серого; б — высокопрочного; в — ковкого
 1 — пластинчатый графит; 2 — шаровидный графит;
 3 — хлопьевидный графит; 4 — феррит; 5 — перлит

Рисунок 3 - Схемы микроструктур чугуна

Серый чугун (состав в %: от 2,8 до 3,5 С; от 1,8 до 2,5 Si; от 0,5 до 0,8 Мп; до 0,6 Р и до 0,12 S) имеет достаточно высокую прочность, высокую циклическую вязкость, легко обрабатываем и дешев. Недостатком серого чугуна является низкая ударная вязкость и хрупкость. Из серого чугуна изготавливают детали с повышенной прочностью, работающие при высоких нагрузках или тяжелых условиях износа (станины станков, корпуса редукторов, шкивы и др. отливки).

Высокопрочный чугун (состав в масс. процентах: от 3,2 до 3,6 С; от 1,6 до 2,9 Si; от 0,4 до 0,9 Мп; не более 0,15 Р; не более 0,02 S; не менее 0,04 Mg) обладает высокой прочностью, пластичностью, хорошо обрабатывается. Высокие механические свойства этих чугунов получают обработкой расплавленного чугуна магнием или церием, при которой графит принимает шаровидную форму (рисунок 3 б).

В ковких чугунах (КЧ 30-6, КЧ 35-8, КЧ 37-12, КЧ 45-7, КЧ 60-3 и КЧ 80-1,5) графит имеет хлопьевидную форму. Первая цифра, как и в других чугунах, указывают уменьшенное в 10 раз значение временного сопротивления при растяжении (МПа), а вторая - значение относительного удлинения в процентах. Ковкий чугун (состав в масс. процентах: от 2,4 до 2,8 С; от 0,8 до 1,4 Si; менее 1 Мп; примерно 0,2 Р и 0,1 S) по прочности превосходит серые чугуны и имеет высокую пластичность. Получают ковкий чугун при отжиге отливок из белого чугуна (в белом чугуне углерод почти полностью находится в связанном состоянии в виде Fe_3C) в течение до 60 ч при температуре от 900 до 1050 °С. Из ковких чугунов изготавливают детали высокой прочности, работающие в тяжелых условиях износа, и способные принимать ударные и знакопеременные нагрузки (корпусов пневматического инструмента, ступиц, кронштейнов, звеньев цепей и других деталей).

1.3 Сплавы на основе цветных металлов

Цветные металлы подразделяют на тяжелые (Cu, Pb, Sn, Ni и др.), легкие (Al, Mg и др.), редкие (W, Md), благородные (Ag, Au, Pt).

Цветные металлы обладают многими ценными свойствами, которые определяют применение их в промышленности. Однако, вследствие большой трудоемкости при их получении и высокой стоимости, объем их потребления в машиностроении незначителен и по возможности их стараются заменить черными металлами, пластмассами и синтетическими материалами.

Из сплавов цветных металлов наибольшее применение имеют алюминий и его сплавы, медь и медные сплавы

Алюминий - металл серебристо-белого цвета с температурой плавления 600 °С. Алюминий имеет кристаллическую ГЦК решетку. Наиболее важной особенностью алюминия является низкая плотность – 2,7 г/см³ против 7,8 г/см³ для железа и 8,94 г/см³ для меди. Алюминий обладает электрической проводимостью, составляющей 65% электрической проводимости меди. В

зависимости от чистоты различают алюминий особой чистоты: А999 (99.999 % Al); высокой чистоты: А995 (99.995 % Al), А99, А97, А95 и технической чистоты: А85, А8, А7, А6, А5, А0 (99.0 % Al). Технический алюминий изготавливают в виде листов, закрытых профилей (труб), прутков, проволоки и других полуфабрикатов и маркируют АД0 и АД1.

Алюминий и его сплавы обладают малой плотностью, высокой прочностью и пластичностью, их легко обрабатывать. Наиболее распространены сплавы алюминия с кремнием (силумины), которые обладают повышенной коррозионной стойкостью хорошей свариваемостью.

Наибольшее распространение получили сплавы Al-Cu, Al-Si, Al-Mg, Al-Cu-Mg и другие. Все сплавы алюминия можно разделить на деформируемые, предназначенные для получения полуфабрикатов, поковок и штамповых заготовок путем прокатки, прессования,ковки и штамповки, и литейные, предназначенные для фасонного литья. Сплавы алюминия, обладая хорошей технологичностью во всех стадиях передела, малой плотностью, высокой коррозионной стойкостью, при достаточной прочности, пластичности и вязкости нашли широкое применение в авиации, судостроении, строительстве и других отраслях народного хозяйства.

Дуралюминами называются сплавы Al-Cu-Mg, в которые дополнительно вводят марганец. Типичным дуралюмином является сплав Д1.

Из сплава Д16 изготавливают обшивки, шпангоуты, стрингера и лонжероны самолетов, силовые каркасы, строительные конструкции, кузова грузовых автомобилей и т.д.

Медь - металл красного, в изломе розового цвета. Температура плавления 1083 °С. Кристаллическая решетка ГЦК. Плотность меди $8,94 \cdot 10^3$ кг/м³. Медь обладает высокими тепло- и электропроводимостью. В зависимости от чистоты медь изготавливают следующих марок: М00, М0, М1, М2, М3. Присутствующие в меди примеси оказывают большое влияние на ее свойства.

Медь хорошо сопротивляется коррозии, легко обрабатывается давлением, но плохо резанием. Имеет невысокие литейные свойства из-за большой усадки.

Медь и ее сплавы (бронзы и латуни) имеют высокую коррозионную стойкость, сравнительно высокие механические и антифрикционные свойства, хорошую обрабатываемость. Для изготовления отливок применяют оловянные и безоловянные бронзы и латуни. Безоловянные бронзы используют как заменители оловянных бронз.

Различают две основные группы медных сплавов:

- латуни - сплавы меди с цинком;
- бронзы - сплавы меди с другими элементами.

Медные сплавы обладают высокими механическими и техническими свойствами, хорошо сопротивляются коррозии и износу.

Латунями называют двойные или многокомпонентные сплавы на основе меди, в которых основным легирующим элементом является цинк.

Когда требуется высокая пластичность, повышенная теплопроводность применяют латуни с высоким содержанием меди (Л60 и Л90). Латуни Л62,

Л60,Л59 с большим содержанием цинка обладают более высокой прочностью, лучше обрабатываются резанием, дешевле, но хуже сопротивляются коррозии.

Латунь ЛЦ40С - $\sigma_b = 215$ МПа, $\delta = 12$ %, 70 НВ.

Бронзами называют сплавы меди с алюминием, оловом, свинцом, кремнием, цинком и другими элементами, где цинк не является основным легирующим элементом.

Наилучшими свойствами обладают оловянистые бронзы БрОЦ4-3, БрОЦ10-2, которые вследствие дефицитности и дороговизны легирующих элементов заменяются менее дорогими марками сплавов.

Литые оловянистые бронзы с цинком и свинцом имеют высокие литейные свойства, малую объемную усадку и хорошую жидкотекучесть.

По коррозионным, механическим и антифрикционным свойствам безоловянные бронзы превосходят оловянистые. Медные сплавы применяют при производстве арматуры, подшипников, гребных винтов, зубчатых колес и др. Алюминиевые, магниевые и медные сплавы широко применяют в приборостроении.

Алюминиевые бронзы занимают одно из первых мест среди медных сплавов. Широкое применение получили в промышленности алюминиевые бронзы: БрАЖ9-2, БрАЖМц10-3-1,5 (А-алюминий, Ж – железо, Мц – марганец). Они обладают высокими антикоррозионными и механическими свойствами, хорошей износостойкостью и применяются при изготовлении втулок, арматуры для судостроения, ответственных деталей.

Оловянные бронзы. Обладают хорошими литейными свойствами и применяются для литья деталей сложной формы. Недостатком отливок из оловянных бронз является большая микропористость.

1.4 Неметаллические материалы

Основным направлением научно-технического прогресса, определяющим перспективы долгосрочного развития экономики, является производство синтетических материалов с заранее заданными свойствами. Многие из существующих промышленных материалов уже не могут удовлетворять запросы многих отраслей промышленности.

В машиностроении относительно небольшое применение по сравнению с металлами и сплавами находят различные материалы, такие как пластмассы, резина, стекло, композиционные материалы, керамика, клеевые материалы, причем с развитием химии и новых технологий, доля неметаллических материалов в машиностроении постоянно увеличивается. Из неметаллических материалов наибольшее применение находят пластмассы.

1.4.1 Пластмассы

Пластмассы представляют собой многокомпонентные материалы. Они состоят из связующего вещества, наполнителя, пластификатора, красителя, смазывающего вещества, катализатора, ингибитора и других добавок.

Каждый из видов пластмасс имеет какие то особое свойство, такие как хорошую удельную прочность, фрикционность, прозрачность, электро- и теплоизоляционность, химическую стойкость в окружающей атмосфере и агрессивных средах и т. д. Благодаря особым свойствам, в ряде случаев полимеры успешно конкурируют с металлами.

В настоящее время ежегодно производится более 50 млн. тонн пластмасс, а применение одной тонны изделий из пластмасс берегает до пяти тонн стали или до трех тонн цветных металлов, снижая при этом трудоемкость производства до восьми раз, к тому же детали из пластмасс отличаются высоким коэффициентом использования материала КИМ (до 95 %).

Пластическими массами (пластмассами) называют материалы, основу которых составляют природные или синтетические высокомолекулярные соединения. Высокомолекулярные соединения состоят из большого числа низкомолекулярных соединений (мономеров), связанных между собой силами главных валентных связей. Соединения, большие молекулы (макромолекулы) которых состоят из одинаковых структурных звеньев, называют полимерами.

Пластмассам присущи свойства, выгодно отличающие их от других материалов. К их числу относятся: простота изготовления сложных деталей и изделий с минимальными последующими доработками; малая плотность деталей и изделий, не превышающая 2500 кг/м^3 (в большинстве случаев от 1000 до 1300 кг/м^3); высокая удельная прочность, вибрационная устойчивость, фрикционные и антифрикционные свойства; высокая устойчивость против атмосферных воздействий и агрессивных сред; хорошие диэлектрические, звуко- и теплоизоляционные свойства; свето- и радио прозрачность.

Пластмассы подразделяют на термопластичные (термопласты) и термореактивные (реактопласты) которые при повышенных температурах проявляют разное поведение. Основными технологическими свойствами пластмасс являются текучесть, усадка, скорость отвердевания (реактопластов) и стабильность (термопластов).

Текучесть — способность материала заполнять форму при определенной температуре и давлении, зависит от вида смолы, содержания в ней наполнителя, пластификатора, смазки, а также от конструктивных особенностей пресс-формы. Для термопластичных (ненаполненных) материалов за показатель текучести принимают «индекс расплава» — количество материала, выдавливаемого через сопло экструзионного пластометра в единицу времени.

Под усадкой понимают абсолютное или относительное уменьшение размеров детали по сравнению с размером полости пресс-формы. В абсолютной величине усадки наибольшую долю составляет разница между коэффициентами линейного расширения материала пресс-формы и материала пластмассовой детали. Величина усадки зависит от физико-химических свойств связующей смолы, количества и природы наполнителя, содержания в нем влаги и летучих веществ, температурного режима переработки и других факторов. Усадку необходимо учитывать при проектировании пресс-форм.

Скорость отвердения это продолжительность процесса перехода

термореактивного материала из высокоэластичного или вязкотекучего состояния в состояние полной полимеризации. Скорость отверждения (полимеризации) зависит от свойств связующего (термореактивной смолы) и температуры переработки. Низкая скорость отверждения увеличивает время выдержки материала в пресс-форме под давлением и снижает производительность процесса. Повышенная скорость отверждения может вызвать преждевременную полимеризацию материала в пресс-форме, в результате чего отдельные участки формирующей полости не будут заполнены прессматериалом, и деталь пойдет в брак.

Под термостабильностью понимают время, в течение которого термопласт выдерживает определенную температуру без разложения. Высокую термостабильность имеет полиэтилен, полипропилен, полистирол и др. Для материалов с низкой термостабильностью (полиформальдегид, поливинилхлорид и др.) необходимо предусматривать меры, предотвращающие возможность разложения их в процессе переработки, например, увеличение сечения литников, диаметра цилиндра и т. д.

Механические свойства пластмасс характеризуются вязкоупругим поведением полимеров под нагрузкой. Подбором отдельных компонентов и их соотношений материалу придается желаемая совокупность свойств.

Конструкционные пластмассы по механической прочности подразделяют на три основные группы: с низкой, средней и высокой прочностью.

К группе пластмасс низкой прочности относят полиэтилены, фторопласты и др. Из полиэтилена изготавливают трубы, детали для вентиляционных установок, гальванических ванн, центробежных насосов для кислот и щелочей и т. д. Фторопласты (фторопласт-4, фторопласт-3, фторопласт-40) отличаются высокой химической стойкостью, тепло- и морозоустойчивостью и высокими диэлектрическими свойствами. Детали, изготавливаемые из этих материалов, способны работать в агрессивных средах и при значительных колебаниях температуры.

Специальными технологическими методами удается изменять стандартные свойства пластмасс. Так, быстрое охлаждение отпрессованных изделий повышает поверхностную твердость и общую прочность материала; выдержка их в термостате повышает стабильность размеров.

Термореактивными называют пластмассы (реактопласты), которые при нагревании сначала переходят в вязкотекучее состояние, а затем, вследствие химических реакций, превращаются в твердое неплавящееся вещество. Такие пластмассы используются однократно. Реактопласты прочнее термопластов, более жестки и их свойства меньше зависят от температуры.

Полимеры, способные образовывать пространственные структуры, служат основой термореактивных пластмасс (реактопластов).

При поликонденсации высокомолекулярное соединение возникает в результате реакций замещения или обмена между функциональными группами мономеров, сопровождающихся отщеплением воды, аммиака, спирта и др.

Термопластичными называют пластмассы (термопласты), которые способны размягчаться при многократных нагревах и затвердевать при

охлаждении без изменения свойств. Переход термопластов из одного физического состояния в другое может осуществляться неоднократно без изменения химического состава.

1.4.2 Резиновые материалы

Резина как конструкционный материал обладает рядом важных технических свойств: высокими эластичностью, сопротивлением разрыву, износу, газо- и водонепроницаемостью, химической стойкостью, ценными электрическими свойствами, малой плотностью и т.д. Высокая эластичность, способность к большим обратимым деформациям, стойкость к действию активных химических веществ, малая водо- и газопроницаемость, хорошие диэлектрические и другие свойства резины обусловили ее применение во всех отраслях народного хозяйства. Резиновые технические изделия применяют для подачи воды, жидкого топлива, кислот, масел, газа и воздуха (рукава напорные и всасывающие); сальники, манжеты, прокладочные кольца и уплотнители — для уплотнения подвижных и неподвижных соединений, для электроизоляции (детали слаботочной и высокочастотной аппаратуры, изоляционные трубки). При изготовлении резиновых технических изделий используют резины, текстиль, металлическую арматуру (камеры и покрышки автомобиля).

Резиновые материалы классифицируют по виду сырья, по технологическим методам переработки в зависимости от тех или иных параметров:

- по твердости - пористые, мягкие, особозэластичные, средней твердости, твёрдые, высокой твёрдости, жесткие;
- по назначению - универсальные и специальные (химически стойкие, маслостойкие, тепло- и морозостойкие, газопроницаемые и электростойкие;
- по технологии изготовления — клеевые, литые, формованные, штампованные;
- по типу конструкции изделий – шинные, камерные, рукавные.

В зависимости от назначения и требуемых эксплуатационных свойств резины делят на две большие группы: общего назначения, используемые в производстве шин, ремней, рукавов, амортизаторов и т.д. и специальные - обладающие специальными свойствами (морозо- или теплостойкие, газонепроницаемые, диэлектрические, стойкие к маслу или радиации и т.д.).

Резины также подразделяют на мягкие (для изготовления шин, прокладок и других технических изделий), жесткие или эбонитовые (для электротехнических деталей и химически стойких элементов), пористые или губчатые (для амортизаторов, сидений и т. д.), пастообразные (для герметизации и уплотнения).

Основой резиновых смесей служит каучук. Его подвергают горячей или холодной обработке (вулканизации) — для придания материалу требуемой прочности, упругости и т. д. В качестве вулканизирующего вещества в каучук вводят до 3 % серы. Для ускорения вулканизации вводят до 1,5 % ускорителей (оксид магния, цинка и др.). Количество серы определяет эластичность резиновых деталей. Например, мягкие резины

содержат от 1 до 3 % серы, твердые (эбонит) — до 30 % серы. Процесс вулканизации происходит под температурным воздействием (горячая вулканизация) или без температурного воздействия (холодная вулканизация).

1.4.3 Композиционные материалы

Принципиальное значение замены металлов на КМ состоит в том, что вместо ограниченного числа материалов с постоянными и практически равными во всех направлениях свойствами появляется возможность применять большое число новых материалов, различающихся свойствами в зависимости от направления ориентации наполнителя в материале (анизотропия свойств КМ). Это различие свойств КМ является регулируемым и у конструктора появляется возможность направлено создавать КМ под конкретную конструкцию в соответствии с особенностями ее эксплуатации и действующими нагрузками.

Композиционные материалы — это искусственные материалы, получаемые сочетанием компонентов с различными свойствами. Одним из компонентов является матрица (основа), другим - упрочнители (волокна, частицы). В качестве матриц используют полимерные, металлические, керамические и углеродные материалы. Упрочнителями служат волокна - стеклянные, борные, углеродные, органические, нитевидные кристаллы (карбидов, бериллов, нитридов и др.) и металлические проволоки, обладающие высокой прочностью и жесткостью. При составлении композиции эффективно используются индивидуальные свойства составляющих композиций. Свойства композиционных материалов зависят от состава компонентов, количественного соотношения и прочности связи между ними. Содержание упрочнителя в композиционных материалах составляет от 20 до 80 % по объему. Композиционные материалы являются гетерофазными материалами. Композиционные материалы являются весьма перспективными конструкционными материалами для многих отраслей машиностроения. При производстве труб используют такие композиционные материалы как ткань пропитанную резиной или смолами, железобетон.

Использование КМ в конструкциях позволило уменьшить массу изделия до 40 %, увеличивая полезную нагрузку.

В настоящее время КМ применяют в энергетическом машиностроении, химической промышленности (автоклавы, цистерны, емкости).

Правильно спроектированная и хорошо изготовленная конструкция из КМ более совершенна, чем такая же конструкция выполненная из металлов. Само создание изделий из КМ является примером единения конструкции и технологии. При этом КМ, спроектированный конструктором, образуется одновременно с изготовлением изделия со свойствами в значительной степени зависящими от параметров технологического процесса.

1.4.4 Керамические материалы

Керамические материалы обладают такими специфическими свойствами как высокая химическая стойкость, простота изготовления, низкая стоимость, огнеупорность. Изделия из керамических материалов характеризуются химической основой и методами их получения и бывают:

- из Al_2O_3 (из глинозема или корунда), для изделий, работающих при высоких температурах (лабораторная посуда, элементы термопар и т. д.);
- из CaO – изготавливают изделия электротехнической промышленности, трубы для орошения.

1.4.5 Древесные материалы

Все древесные материалы относятся к классу волокнистых органических веществ с капиллярно-пористой структурой. Деревянные трубы являлись одними из первых естественных труб полученных из ствола бамбука. Широкая доступность, а также ряд положительных свойств, как высокая механическая прочность, малый объёмный вес, лёгкая обрабатываемость, позволили широко использовать древесные материалы в различных отраслях промышленности.

1.4.6 Стекланные материалы

Стекло – аморфное тело, не имеющее определённой температуры плавления (постепенный переход из твёрдого состояния в жидкое через все стадии размягчения).

Стёкла бывают органические (метакриловая кислота) и неорганические, которые, в свою очередь, подразделяются на:

- силикатные (основа SiO_2);
- алюмосиликатные (Al_2O_3 и SiO_2);
- боросиликатные (B_2O_3 и SiO_2) и др.

Структура стекол характеризуется беспорядочной пространственной трёхмерной сеткой, в узлах которой, расположены ионы, атомы или их группы. Механические свойства стёкол зависят от химического состава и термической обработки (более низкие свойства у стёкол, содержащих PbO , K_2O , Na_2O , а высокие у кварцевого и щелочного стекла. Химическая стойкость также определяется химическим составом. Для упрочнения стекла используют закалку, при этом характеристики повышаются в 4 – 5 раз. Химическую и химико-термическую обработку используют для обеспечения наглядности процесса или прибора.

Наряду со стёклами, в машиностроении используют ситалы (стеклокристаллические материалы). Они имеют более высокую температуру размягчения. Изготавливают изоляторы, цилиндрические пары ДВС, обтекатели ракет, химическую аппаратуру и детали насосов.

1.4.7 Клеевые материалы

Клеи – это композиции высокополимерных веществ, в которых с течением времени происходят необратимые процессы - старение. В зависимости от применения различают клеи конструкционного и неконструкционного назначения. Их основная особенность заключается в возможности получения неразъёмных соединений разных (разнородных) материалов, что позволяет обеспечивать герметичное соединение и ускорить процесс сборки.

Основные свойства клеев – вязкость клеевой плёнки, рабочая жизнеспособность клея, теплостойкость, прочность сцепления.

Недостатки – низкие термостойкость и стойкость соединений при повышенных температурах. По отношению к температуре клеи делятся на термопластичные (обратимые) и терморезактивные (необратимые).

В зависимости от природы связующего вещества клеи подразделяют на: белковые, смоляные и каучуковые. По состоянию поставки они бывают жидкие (наиболее распространённые), порошкообразные и плёночные (скотч). Также клеи бывают универсальные и специальные.

1.5 Дефекты исходного материала

Исходный материал, поступающий на обработку, может иметь дефекты, которые бывают поверхностными и внутренними.

Поверхностные дефекты образуются из-за нарушения технологии прокатки или прессования и к ним относят: наружные трещины; продольные риски; волосовины; заусенцы; захват и смещение профиля. Поверхностные дефекты требуют увеличения припусков на обработку резанием, и они могут явиться причиной брака на поверхности деталей.

К внутренним дефектам относят расслоение и рыхлости, представляющее собой усадочные раковины, слитка, вытянутые на длину при прокатке; скопление неметаллических включений, в том числе огнеупоров. Внутренние дефекты неисправимы.

К числу недостатков пластмасс следует отнести: невысокую длительную теплостойкость (до 300 оС); относительно низкие значения модуля упругости и ударной вязкости; старение, приводящее к изменению физико-механических свойств изделий в процессе длительного хранения и эксплуатации.

2 Производство труб

Трубы являются одним из продуктов без которого не обходится ни одно производство и значение труб для промышленности сравнивают со значением вен для живого организма, а диапазон их выпуска по размерам от долей миллиметра (оптико-волоконная связь) до десятка метров (тоннели). Материалом для изготовления труб является практически вся гамма имеющихся материалов от текстиля (пропитанного смолами для пожарных рукавов) через полимеры, резины, стекло, керамику, через все металлы и бетоны (железобетонные трубы) до скальных пород (трубы в горах - тоннели). Трубы весьма различны и по назначению. Их применяют для передачи светового сигнала (оптико-волоконная связь), воздуха и газов, жидких природных материалов и искусственных веществ, а также и твердых материалов (пневмопочта и пневмопровод для транспортировки сыпучих материалов).

Различные трубопроводы от медицинской системы до трансконтинентальных нефте- и газопроводов (рисунок 4), жизненно важных как для индивидуального человека, так и для человечества.



Рисунок 4 – Трубопроводы и их монтаж



Рисунок 5 – Монтаж колоны с помощью автомобильного крана

Промышленное значение имеют несколько способов изготовления труб, в том числе с использованием всех основных методов обработки конструкционных материалов (литьем, обработкой давлением, сваркой и обработкой резанием). Наиболее распространенными являются две принципиально различные технологии производства труб. Первый способ: стальной лист или ленту сворачивают в трубу и сваривают по прямой линии или по спирали. Второй способ: нагретую до 1300 °С круглую заготовку прошивают на специальном винтовом стане в полую гильзу с толстыми стенками, которую затем раскатывают в длинную трубу с требуемой толщиной стенки. Так изготавливают бесшовные трубы.

2.1 Производство сварных труб

Сварные трубы получают из плоской заготовки — рулонов ленты, называемой штрипсом, или из листов, ширина которых обычно соответствует длине окружности трубы. Сварные трубы изготавливают несколькими способами: печной сваркой (встык или внакладку), электрической и газовой сваркой.

Сварные трубы изготавливают с толщиной стенки от 0,5 до 20 мм и диаметром более 2400 мм с хорошо выполненным прямым или винтовым швом (рисунок 6) и высоким качеством поверхности.



Рисунок 6 - Виды труб

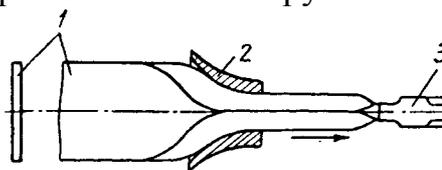
2.1.1 Производство труб с продольным швом

2.1.1.1 Производство труб печной сваркой

Способом печной сварки изготавливают трубы на цепных и непрерывных станах главным образом встык диаметром от 10 до 114 мм при толщине стенки до 5 мм. Для печной сварки применяется малоуглеродистая сталь (С - 0,3 %).

Процесс изготовления труб сваркой встык на цепных станах начинают с того, что у одного конца полосы обрезают углы, а сам конец загибают (рисунок 7). Затем заготовку 1 нагревают в печи до сварочной температуры 1300-1350 °С. После чего специальными клещами 3 захватывают за загнутый конец полосы (или приваренного стержня) и протягивают ее через воронку 2, в

которой она одновременно сворачивается в трубу и благодаря давлению сваривается встык. При малых диаметрах труб к заготовке приваривается стержень. Окалина перед сваркой сбивается струей сжатого воздуха.



1 - заготовка; 2 - воронка; 3 - клещи

Рисунок 7 - Схема процесса получения труб сваркой встык в печи

В настоящее время сварку труб встык производят в непрерывных станах, состоящих из нескольких клетей (от 6 до 12), в которых валки имеют круглые калибры. В этих станах размотанная с рулона лента вначале проходит роликосую правильную машину, а затем поступает в узкую длинную (до 40 м) газовую печь, где она нагревается до 1350 °С.

По выходе из печи лента попадает в непрерывный прокатный стан, где она формуется в трубу и сваривается встык. После выхода из стана труба на ходу разрезается специальной пилой на куски требуемой длины (сейчас этот способ применяется реже).

2.1.1.2 Производство труб электросваркой

Большинство труб производят электросваркой, с использованием индукционной сварки токами высокой частоты, контактной сварки сопротивлением, сварки под слоем флюса и газовой сварки. При этом представляется возможным получать трубы с прямым или винтовым швом.

Технологический процесс получения сварных труб осуществляется в трех основных поточных участках — подготовительном, формовки и сварки (выполняются как непрерывный процесс) и отделки.

2.1.1.2.1 Профилирование ленточного, полосового и листового материала (изготовление гнутых профилей)

Разновидностью процессов гибки является получение профильных заготовок, имеющих постоянную по длине пространственную форму поперечного сечения, получаемую из плоской листовой заготовки (гнутые профили и трубы). Профилированием изготавливают легкие, но жесткие профили простой и сложной конфигурации различной длины. Исходным материалом при профилировании являются холоднокатаные ленты, полоса или листы толщиной от 0,5 до 20 мм и шириной до 2000 мм из мягкой коррозионно-стойкой (нержавеющей) стали, цветных металлов и их сплавов.

Существует много способов и специализированных гибочных машин для получения профильных заготовок из листового металла. Широкие, но

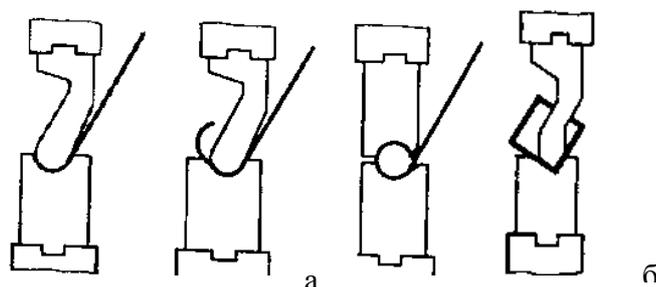
короткие профили из тонкого полосового и листового металла изготавливают на универсально-гибочных машинах.

Наиболее распространенными способами профилирования листового металла являются: гибка на гибочных прессах с поступательным движением ползуна или гибка на роликовых профилировочных станках.

Крупные профили как из тонкого, так и из толстого листа изготавливают на специальных листогибочных прессах. Схема изготовления профилей на прессах с поступательным движением ползуна приведена на рисунке 8.

Длина профиля, который можно получать на гибочных прессах, несколько меньше длины пуансонов и матриц.

Заменой пуансонов и матриц на гибочных прессах можно получать и более сложные профили, в том числе и закрытые профили, например, трубчатые и имеющие круглое сечение (рисунок 8).



а – круглого; б – квадратного

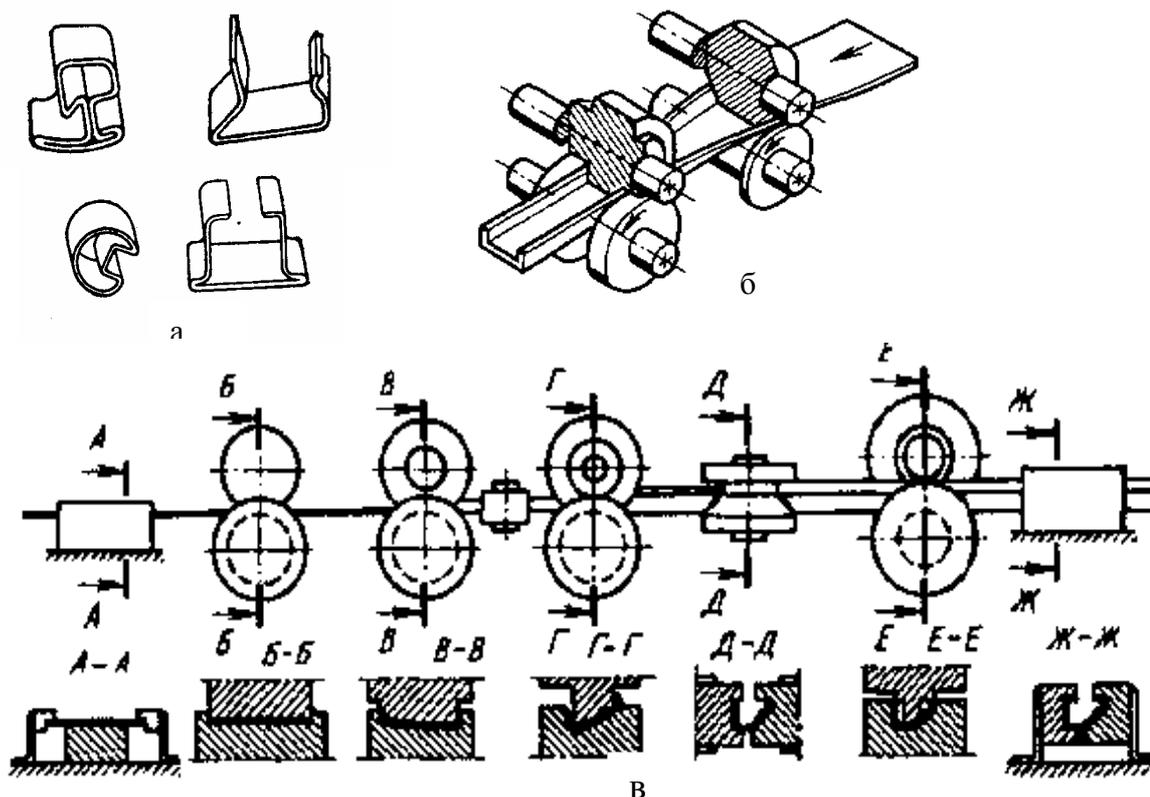
Рисунок 8 - Схема гибки закрытых профилей на прессах

Для получения достаточно длинных профилей гибочные прессы обычно делают двухстоечными с длинным, но узким столом и ползуном. Существующие прессы обеспечивают получение профилей длиной более 6 м из листа толщиной более 10 мм. Роликовые профилировочные станки представляют собой станок с удлиненной станиной, вдоль которой размещается несколько пар роликов, приводимых во вращение от общего или от индивидуальных приводов. Каждая пара роликов имеет желоб (на одном из роликов) и ребристый выступ (на другом ролике). Зазор между ребром и желобом примерно равен толщине исходной заготовки, а профиль этих элементов (отличный от профилей предыдущих пар роликов) определяет характер и величину формоизменения заготовки в промежутке между смежными парами роликов (рисунок 9).

В профилировочных станках пары роликов по ходу деформирования могут иметь горизонтальное и вертикальное расположение осей вращения. Поэтому ролики действуют на заготовку вертикальными или горизонтальными внешними силами, что позволяет получить как открытые, так и закрытые профили, причем последние могут быть сделаны с внутренним наполнителем.

Профили, полученные гибкой на прессах, на валковых гибочных машинах и на профилегибочных станках, при необходимости в дальнейшем подвергаются разделительным или формоизменяющим операциям.

Профили большой длины из ленты или полосы изготавливают на специальных многороликовых профилировочных станках (рисунок 9).



а - примеры гнутых профилей; б — схема гибки; в — схема работы станка

Рисунок 9 - Гибка на профилировочных станках

Плоская заготовка постепенно изгибается в требуемую форму посредством пропускания ленты через несколько пар вращающихся роликов.

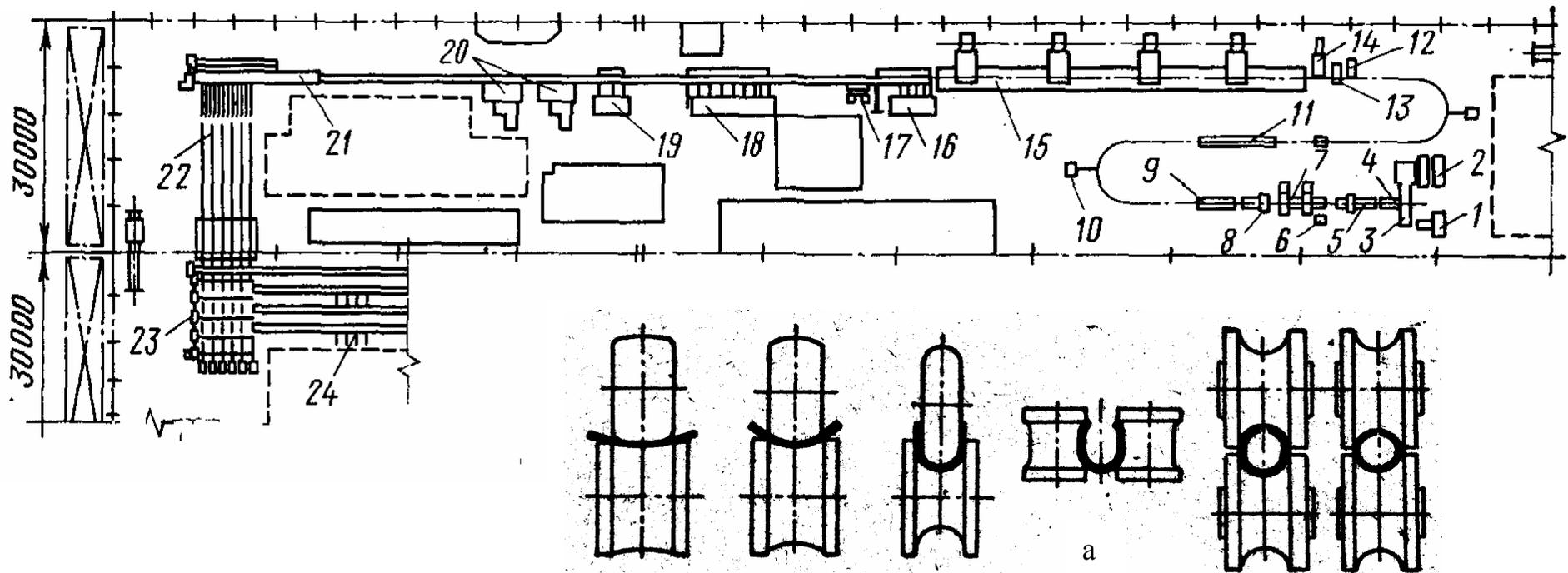
2.1.1.2.2 Производство труб с продольным швом

Формовку ленты (горячекатаной с $\delta > 1,75$ мм, холоднокатаной с $\delta < 1,75$ мм) производят в девяти приводных клетях и одной не приводной. Сварка кромок сформованной трубы осуществляется в сварочной клети, где кромки сближаются вертикальными не приводными роликами.

К подготовительным операциям относятся разматывание рулонов, их резка, правка, при необходимости травление, холодная прокатка, строжка кромок, сварка концов одного рулона с другим и др.

Формовка и электросварка выполняются как непрерывный процесс.

На рисунке 9в показана последовательность профилирования одного конкретного профиля из полосы толщиной 0,8 мм. Производительность станов достигает 15 м/мин и более. Разновидностью профилегибочных станов являются станы для производства труб. На рисунке 10 приведена схема размещения оборудования трубосварочного стана.



- 1—весы для взвешивания рулонов; 2—приемное устройство для рулонов; 3 -консольно-поворотный кран;
 4—загрузочное устройство; 5—разматыватель штрипса; 6— девятироликовая правильная машина; 7—ножницы
 для отрезки концов; 8—машина для сварки концов рулонов; 9—тянущие ролики; 10—регулятор петли;
 11—петлеобразователь; 12—передвижные ножницы; 13—автомат для приварки иглы к концу штрипса; 14—
 машина для подачи штрипса в печь; 15—печь для нагрева штрипса; 16— шести клетевой формовочно-сварочный стан;
 17—летучие кривошипные ножницы для клетевого отделения иглы; 18—четырнадцать клетевой редуционный
 стан; 19— трехклетевой калибровочный стан; 20— летучая пила для разрезки труб на ходу; 21—винтовая секция
 холодильника с винтовым сбрасывателем труб; 22—цепная секция холодильника; 23— делительное устройство;
 24— рольганги четырех линий отделки труб

Рисунок 10 - Схема расположения оборудования трубосварочного стана $\frac{1}{2}$ - 2 и последовательность процесса свертывания трубы из полосы в шести парах валков профилезагибочного стана (а)

Трубную заготовку полученную на стане сваривают в трубу в специальных валках после нагрева индуктором. Сварочное устройство стана состоит из индуктора (рисунок 11) или системы контактного токоподвода, магнитопровода, высокочастотного трансформатора и контура конденсаторов. Эти элементы объединены в один блок – сварочную головку.

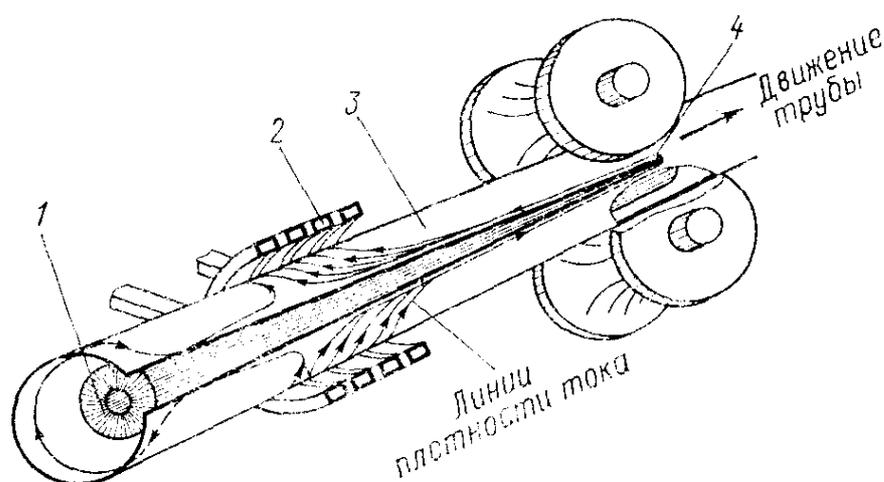
Сварка токами высокой частоты (ТВЧ) по технологии производства сварных профилей дает чрезвычайно широкий диапазон свариваемых материалов и толщины. Сварка ТВЧ отлично работает при производстве труб, где нагреваемые кромки одинаковы. Энергия, выделяющаяся в кромках, составляет от 40 до 70 % энергии, передаваемой в заготовку трубы. В индукторе теряется примерно 10 % подводимой энергии.

Ток высокой частоты, подводимый к трубной заготовке индукционным или контактным методом, вследствие эффекта близости стягивается на стороны кромок, обращенных друг к другу, и быстро разогревает тонкий слой металла до плавления. Расплавленный металл выдавливается при осадке в сварочных валках вместе с окислами, образуя наружный и внутренний грат. Минимальное количество расплава определяется надежностью удаления загрязнений. Увеличение глубины прогретого слоя приводит к росту потребляемой мощности, возрастанию объема графа и снижению устойчивости тонких кромок при осадке в сварочной клетке.

Электрический режим характеризуется частотой тока и расходом энергии на единицу длины (м) и толщины трубы (мм).

Для индукционной сварки труб за основную частоту принята частота 440 кГц, однако при малой толщине стенки (от 0,3 до 0,4 мм) используется частота 1760 кГц, а при толщине 6 мм и большом диаметре стальных труб — 10 кГц.

При индукционном подводе энергии используются внешние и внутренние индукторы. Внешний индуктор имеет один или несколько витков (рисунок 11) и может быть разъемным для облегчения монтажа.



1 – сердечник; 2 – индуктор; 3 - тело заготовки;
4 - точка схождения кромок

Рисунок 11 - Схема сварки трубы внешним индуктором

С ростом диаметра трубы увеличиваются потери тока в ее теле. Этот недостаток индукционного подвода сглаживается при использовании внутреннего индуктора на частоте 10 кГц, что осуществимо, однако лишь при диаметре труб свыше 200 мм.

Магнитное поле индуктора 2 наводит в теле заготовки 3 ток, часть которого (рабочий ток) проходит по кромкам и замыкается через точку их схождения 4. Остальной ток замыкается по внутренней стенке трубы (шунтирующий ток). Для его уменьшения в полость трубы вводится сердечник 1 из феррита или трансформаторной стали (при 10 кГц), закрепленный на кронштейне, проходящем через щель заготовки. Сердечник интенсивно охлаждается водой. Возможен нагрев одновременно внешним и внутренним индукторами, что повышает скорость сварки и равномерность нагрева кромок.

2.1.1.2.3 Производство труб со спиральным швом

Трубы со спиральным швом получают значительное распространение, так как их производство выгодно отличается от производства труб с прямым швом, ибо при этом требуется более простое оборудование, а отходы металла уменьшаются в несколько раз. Характерная особенность способа получения труб со спиральным швом — это его универсальность, т. е. возможность из одной и той же ширины листа изготавливать трубы различных диаметров, производя лишь переналадку стана в соответствии с измененным углом спирали, и, наоборот, трубы одного диаметра можно изготавливать из листа или ленты различной ширины.

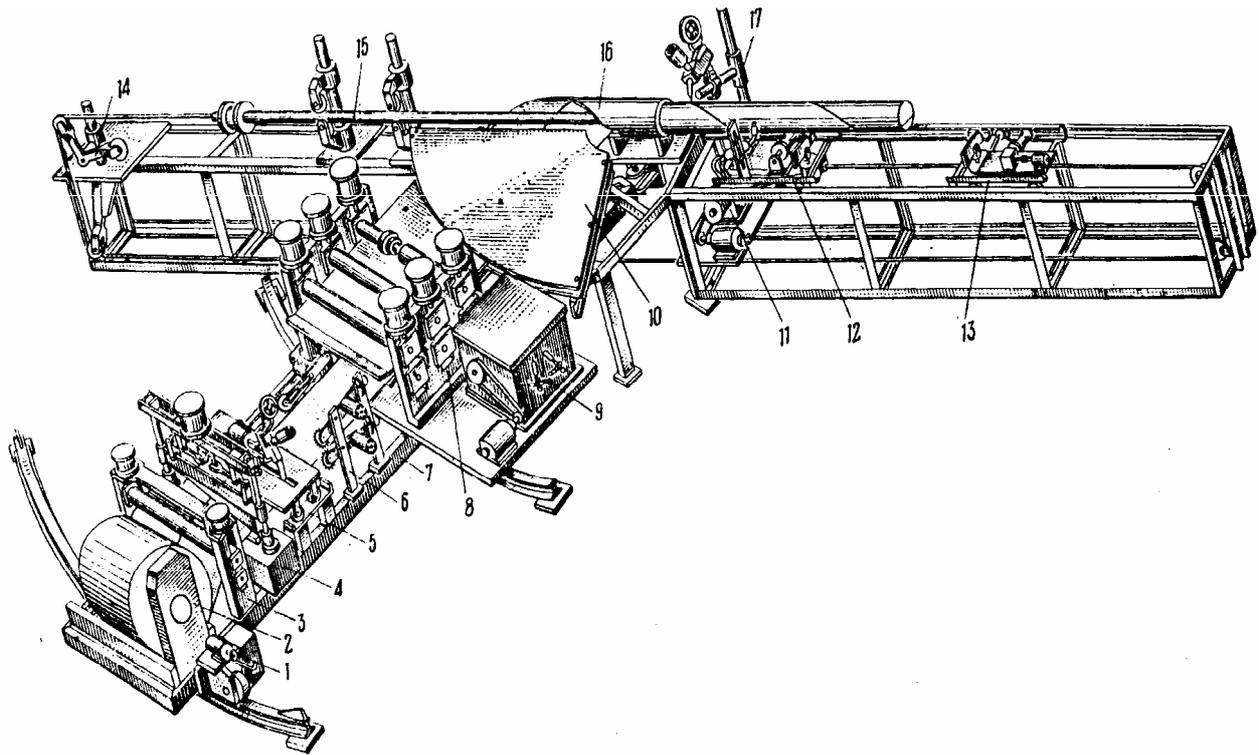
Основными операциями при сварке труб со спиральным швом являются формовка трубы, сварка и резка на ходу. Поэтому стан спиральной сварки состоит из трех основных механизмов:

- задающего;
- формовки и сварки;
- отрезного.

На рисунке 12 представлена схема стана спиральной сварки труб. Стан предназначен для получения сварных труб диаметром от 150 до 560 мм из ленты шириной от 400 до 750 мм.

Задающий механизм стана разматывает рулон, подготавливает кромки ленты (зачистка и отбортовка), и подает ленту с необходимым усилием и под определенным углом в механизм формовки и сварки, где лента сворачивается в спиральную трубу, а затем сваривается по кромкам сплошным швом. Так как процесс формовки и сварки трубы происходит непрерывно, то резка на мерные длины с помощью газового резака выполняется на ходу. При этом весь цикл резки — включение газового резака и сбрасывающего механизма, выключение резака и отвод всех механизмов отрезного устройства в исходное положение — выполняется автоматически за один оборот трубы, т. е. за один шаг спирали.

Такой стан обслуживают всего лишь два человека, а его производительность составляет 60—80 м труб в час.



- 1 - механизм поворота рамы; 2 - разматыватель; 3 - приемные валки;
 4 - гильотинные ножницы; 5 - установка для стыковой сварки ленты;
 6 - зачистное устройство; 7 - рама задающего механизма; 8 - валковая клеть;
 9 - коробка скоростей; 10 - щелевые проводки; 11 - механизм возврата;
 12 - тележка с резаком; 13 - тележка концевая; 14 - поворотно-регулирующий блок;
 15 - разжимное приспособление; 16 - формующая гильза;
 17 - кронштейн сварочной головки

Рисунок 12 - Схема стана спиральной сварки труб

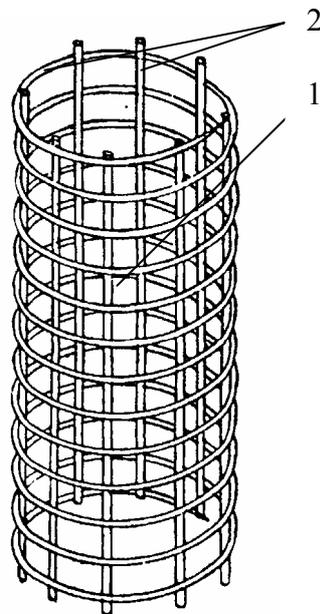
Отрезанные трубы подвергают отделочным операциям (калибровке концов и др.) и проводят испытания гидравлическим способом.

Трубосварочный стан спиральной сварки может быть передвижным, установленным на транспортных машинах. Это позволяет использовать стан в полевых условиях для изготовления и укладки, например, газовых магистральных труб.

После выхода из сварочной клетки труба имеет некоторую овальность, что устраняется прокаткой в калибровочном стане или волочением, которое не только позволяет устранить овальность, но и из одинаковых заготовок получать трубы разного сечения.

2.1.1.2.3.1 Сетчатые трубы

Сетчатые трубы представляют продольные проволочные стержни с приваренной к ним точечной сваркой наружной проволочной спиральной оплеткой (рисунок 12 а).



1 - спираль наружной оплетки; 2 - продольные стержни

Рисунок 12 а - Сетчатая труба

Такие трубы применяют в качестве закладной арматуры для:

- железобетонных, асбоцементных и других трубчатых конструкций повышенной прочности;
- дренажных трубопроводов и вентиляционных шахт и каналов;
- вертикальных емкостей хранения слеживающихся "сыпучих" материалов, а также в качестве каркасов для:

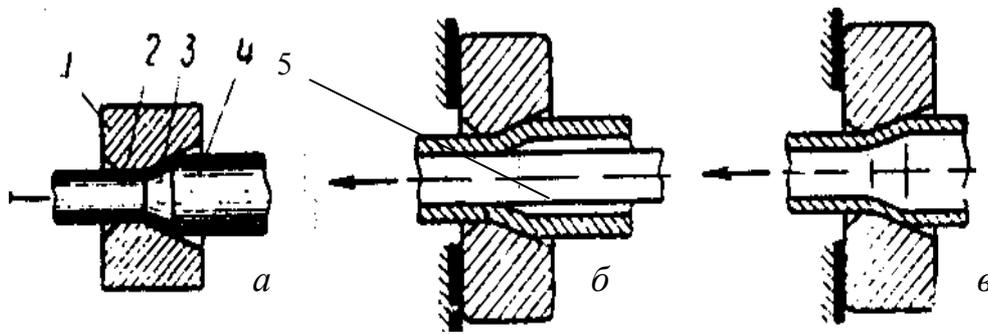
- тканевых рукавов вентиляционных систем;
- рукавов пневмотранспортных устройств;
- кассетных рукавных, зернистых, кольцевых фильтров;

Сетчатые трубы имеют следующую характеристику:

- внутренний диаметр, мм, от 70 до 300
- длина, м, от 1,5 до 11,0
- диаметр проволоки продольных стержней, мм, от 2,5 до 3,5
- шаг продольных стержней, мм, от 5 до 25
- шаг спирали наружной оплетки, мм, от 5 до 50
- количество продольных стержней (максимальное), шт., 96
- диаметр проволоки наружной оплетки, мм, от 5 до 50
- диаметр проволоки продольных стержней и наружной оплетки может быть одинаковым или в любых сочетаниях в указанных пределах.

2.1.2 Волочение

Волочением получают проволоку, калибруют прутки и трубы круглого и фасонного сечения (рисунок 13).



а - прутка; б - трубы на оправке; в - трубы без оправки; 1 – волока;
2 - калибрующая и 3 - деформирующая части; 4 – заготовка; 5 оправка

Рисунок 13 - Схемы волочения

При волочении заготовку 4 деформируют, протягивая ее через отверстие в инструменте – волоке 1. Волока – это кольцо из инструментальной стали или твердого сплава с отверстием переменного сечения заданной формы. Отверстие волоки имеет коническую деформирующую 3, калибрующую цилиндрическую часть 2 и выходной конус для лучшего выхода изделия. Обработку волочением осуществляют за один или несколько проходов.

При многопроходной обработке заготовку протягивают через несколько волок последовательно, при этом рабочие размеры отверстий каждой последующей волоки меньше, чем у предыдущей волоки.

Резку труб на мерные длины производят на ходу специальным автоматически работающим разрезным станком.

Подобные трубосварочные станы имеют устройства для удаления наружного и внутреннего грата, т. е. избытка металла, вытесняемого при сварочном давлении по шву. Наружный грат удаляется резцом, а внутренние - закатываются роликами.

2.1.3 Изготовление воздуховодов

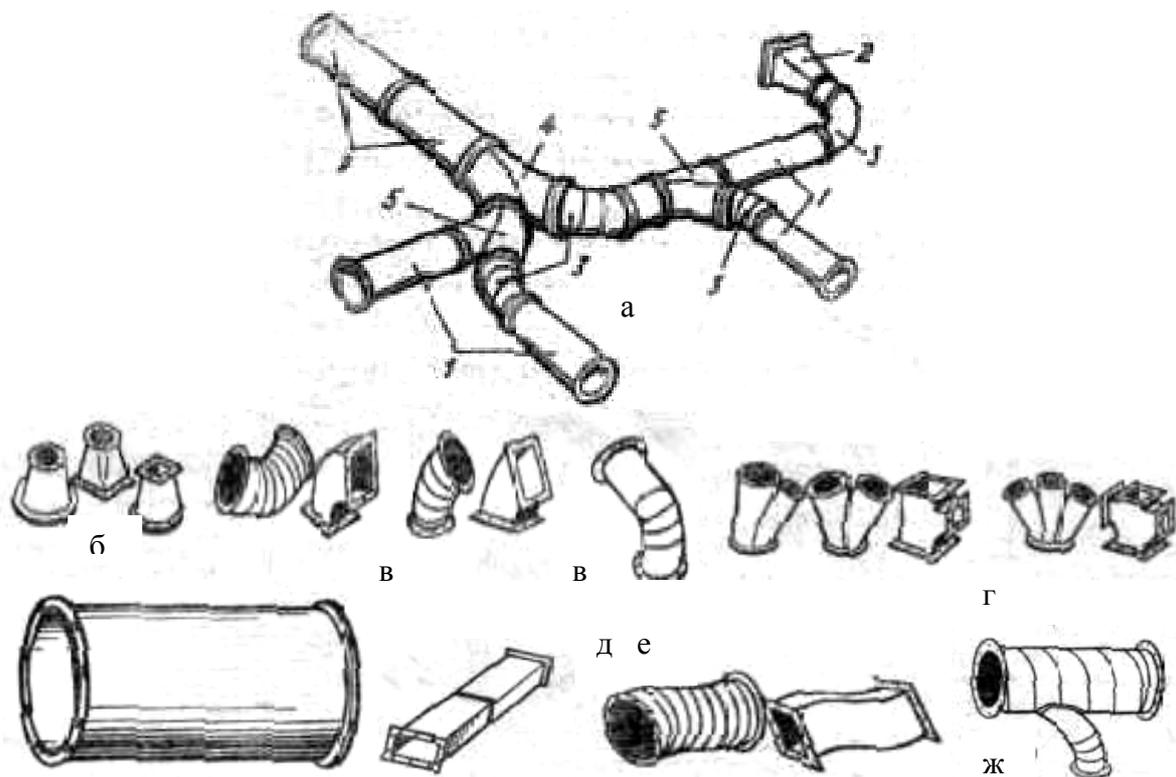
Разновидностью труб являются воздуховоды, производство которых связано с выполнением жестяных работ, которые осуществляют в различных отраслях хозяйства, в том числе в машиностроении, строительстве, сельском хозяйстве и др.

Примерами жестяных изделий, то есть примерами выполнения жестяных работ при их изготовлении являются:

- изделия систем вентиляции, (воздуховоды, рисунок 14);
- защитные покрытия тепловой изоляции, (кожуха или футляра);
- устройства для транспортировки сыпучих грузов (лотки, бункера);
- элементы кузовов легковых автомобилей, кабины грузовых автомобилей и сельскохозяйственных машин и механизмов (при их ремонте);
- изделия хозяйственно-бытового назначения бидоны, ведра и др.);
- металлическая кровля (скаты, косяки, карнизы и водостоки).

Основные требования, предъявляемые к жестяным изделиям, следующие: высокая прочность, широкий спектр габаритных размеров, минимальная масса, технологичность и экономичность, удобство и безопасность обслуживания, транспортабельность, эргономичность и эстетичность.

Основным материалом для выполнения жестяных работ являются: тонколистовые (толщиной от 0,2 до 4 мм) листовые, полосовые, рулонные, ленточные и угловые стали. Причем тонколистовая сталь бывает в виде горячекатанной черной жести и кислото- и коррозионно-стойкой оцинкованной жести. Из цветных металлов в жестяных работах используют алюминий, медь, титан и их сплавы.



а – воздуховод; б - переходы; в – отводы и патрубок ответвления; г – тройники и крестовины; прямые участки д - круглого и е - прямоугольного сечения, ж - с патрубком ответвления

1- прямые участки; 2 – переход с круглого сечения на квадратное;
3 – отводы; тройники 4 – штанообразный и 5 – прямые;

Рисунок 14 – Воздуховод и его фасонные части различных участков

При изготовлении систем и устройств, в состав которых входят жестяные изделия, выполняют заготовительные и монтажно-сборочные работы. При заготовительных жестяных работах осуществляют различные технологические операции. Причем операциями ОМД выполняют:

- правку листового металла,
- разделение (разрезание, отрубка, пробивка отверстий);
- формоизменение заготовок (гибка, зиговка, образование бортов и т.д.);
- соединение заготовок (клепаное, фальцованное).

Правку листового металла и изготавливаемых из него заготовок осуществляют, преимущественно, механизированным способом, на листопрямильных станках. Для формоизменения заготовок применяют образование бортов и изгибов, зиговку

Гибкой листов из стали и цветных металлов получают заготовки для изделий цилиндрической, конической или прямоугольной формы. Для изделий цилиндрической и конической формы операцию гибки, называют выкаткой. Ее выполняют в холодном состоянии на вращающихся листогибочных станках. Для операции гибки профилей в одной или нескольких плоскостях применяют кромкогибочные, профилегибочные и другие станки. Ручная гибка осуществляется на опорном инструменте и в оправках.

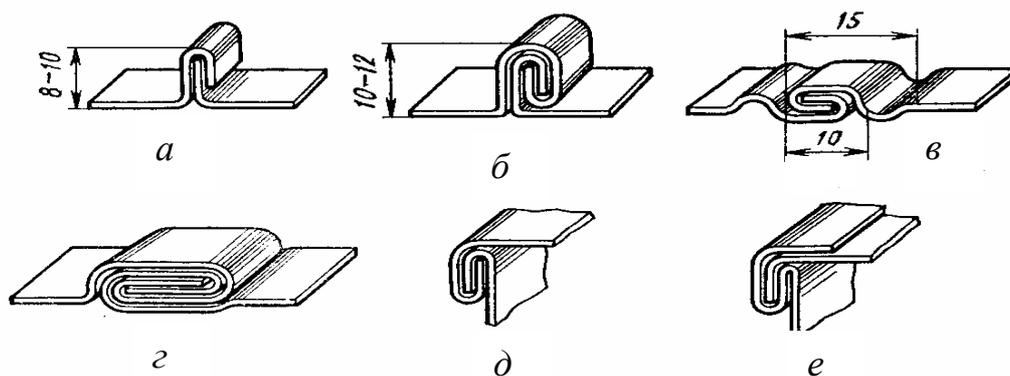
Соединение заготовок в жестяных работах осуществляют сваркой (преимущественно контактной) и операциями ОМД, причем, последние выполняют холодной клепкой и фальцовкой.

Фальцовка металла – операция по получению неразъемных соединений с помощью фальцевых швов (рисунок 15).

Фальцовку применяют при изготовлении из листовых заготовок и других фасонных частей, воздухопроводов, кожухов тепловой изоляции сосудов для хранения жидкостей и сыпучих материалов.

Зиговка – операция, выполняемая с целью образования на листовом металле выступов и углублений (зигов – валиков жесткости). Операцию выполняют на фасонных роликах, между которыми пропускается листовый металл. К зиговке относятся: отгиб кромок на деталях криволинейной формы, гофрирование (создание волнообразных складок) звеньев воздухопроводов и т.п.

Фальцы могут быть изготовлены с применением специального оборудования – фальцепрокатных и фальцезакаточных станков.



а - стоячий одинарный фальц; б - стоячий двойной фальц; в - одинарный лежащий фальц с двойной отсечкой; г - двойной лежащий фальц; д - одинарный угловой фальц; е - комбинированный угловой фальц

Рисунок 15 - Основные типы фальцевых соединений

Образование бортов в заготовке – операция, выполняемая для отгибания наружу кромок заготовок. Образование борта проводят на зигочных машинах.

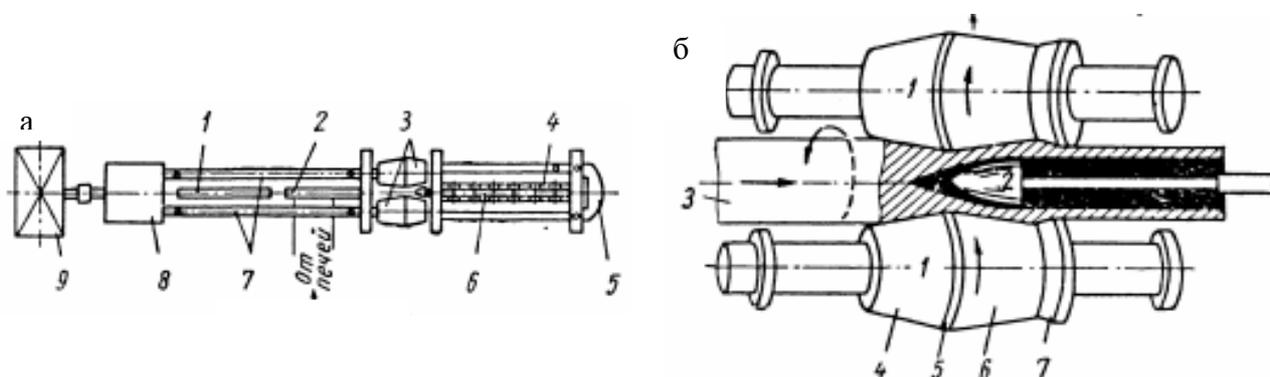
К вспомогательным материалам, используемым при изготовлении и монтаже жестяничных изделий, относятся крепежные детали, сварочная проволока, электроды, припой, лакокрасочные материалы и др.

2.2 Производство цельных (бесшовных) труб

Производство цельных (бесшовных) труб осуществляется несколькими видами, такими как винтовая прокатка с последующей раскаткой гильзы (рисунки 16 и 17, 18), выдавливание (прессование) (рисунки 25, 28) и литье труб (рисунки 29 - 34).

2.2.1 Винтовая штамповка вальцовкой (прокатка)

Винтовая прокатка заключается в том, что нагретую круглую болванку пропускают между двумя бочкообразными валками вращающимися навстречу друг другу (рисунок 16), при этом, вследствие сил трения между валками и заготовкой последняя вращается между валками, а вследствие их формы различные части заготовки движутся с разными скоростями и поэтому металл заготовки скручивается и вытягивается, а в осевой зоне происходит его разрыхление и возникает полость, которая постепенно распространяется по всей длине заготовки.



а — схема расположения стана:

- 1 - толкатель; 2 - желоб; 3 - валки;
- 4 - ролик; 5 - замок;
- 6 - стержень с пробкой;
- 7 - соединительные шпиндели;
- 8 - шестеренная клетка; 9 - мотор

б — схема прошивки слитка (заготовки)

- 1 - валки; 2 - пробка на стержне (оправка); 3 - слиток или заготовка;
- 4 - конус прошивки; 5 - калибровочный пояс; 6 - конус раскатки; 7 - конус выдач

Рисунок 16 - Схема расположения прошивного стана и прошивки заготовок с бочкообразными валками

Пройдя через валки, заготовка насаживается на специальный стержень (оправку), благодаря чему внутренней полости придается правильное круглое сечение (рисунок 16 б) и получается толстостенная заготовка (гильза).

2.2.2 Раскатные станы

Полученные на прошивных станах толстостенные трубные заготовки (гильзы) далее раскатывают в горячем состоянии на раскатных станах различной конструкции в тонкостенные трубы. Прокатка осуществляется на периодических, автоматических, непрерывных или трех валковых станах.

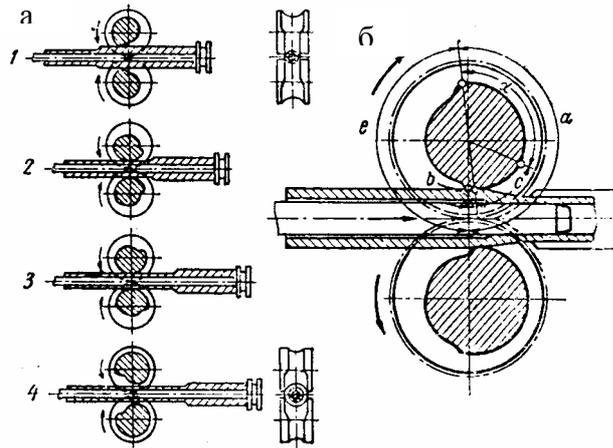
Периодический стан (пильгерстан) представляет собой нереверсивный двухвалковый стан. Валки его имеют круглый калибр переменного сечения (рисунок 17 б). Металл подается в валки навстречу их вращению. На этом стане производится прерывно - периодическая (пилигримовая) раскатка горячей гильзы в трубу на цилиндрической оправке. На рисунке 17 а дана схема процесса раскатки на этом стане при различных положениях 1, 2, 3, 4.

В процессе прокатки непрерывно чередуются прямой и обратный ход с периодическим поворачиванием гильзы вокруг своей оси. Деформация трубной заготовки (гильзы) осуществляется правой стороной калибра (рисунок 17 б), на поверхности которого имеются три участка б, с и д. На участке б происходит захват гильзы, на участке с обжатие ее; на обоих участках профиль и радиус ручья переменные. На участке д происходит раскатка трубы и сглаживание ее поверхности, на этом участке радиус ручья постоянный.

Левая часть вала с имеет меньший радиус. Труба на этом участке с валками не соприкасается (холостой участок), что дает возможность свободно перемещать ее в направлении подачи.

За каждый оборот валков прокатывается часть гильзы длиной от 8 до 30 мм в часть трубы длиной от 80 до 160 мм. Во время раскатки гильзы оправка нагревается до температуры свыше 300 °С, поэтому ее приходится менять и охлаждать. По этой причине раскатку каждой гильзы производят на отдельной оправке. Задний конец гильзы на этих станах не докатывается и отрезается на пилах горячей резки.

На периодических станах получают трубы диаметром от 50 до 615 мм при длине от 10 до 30 м. Толщина стенки трубы от 2,5 до 8 мм. Производительность этих станов при диаметре трубы в 200 мм составляет до 1500 м за смену. Общая производительность их от 80 до 250 тыс. т в год. После раскатки на периодических станах трубы поступают на обкатный стан и далее на калибровочный стан с валками круглого калибра. В нем происходит калибровка труб по размерам (по диаметру), затем они передаются на правильный пресс, холодильник (для охлаждения), трубоотрезной станок для резки труб по длине, весы, контрольный пресс и далее на склад готовой продукции. Все это оборудование располагается последовательно по технологическому циклу в комплексную трубопрокатную установку по выпуску бесшовных труб различных размеров.



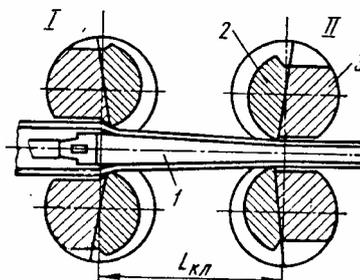
а - схема процесса прокатки; б - деформация гильзы правой стороной калибра
1, 2, 3, 4 - различные положения; б, с и д - три участка калибра

Рисунок 17 - Схема процесса и форма калибра валков для раскатки трубы на периодическом стане (пильгрстане)

2.2.3 Производство труб холодной вальцевой штамповкой (прокаткой)

Для различных видов машин и приборов требуются трубы с высоким качеством внутренней и внешней поверхности, высокой точностью размеров стенки трубы и ее формы. Такие трубы можно получить только в условиях холодной обработки: прокаткой в холодном состоянии и волочением. Данные способы позволяют изготавливать тонкостенные трубы диаметром 0,5—250 мм и более при толщине стенки 0,1 — 20 мм и выше. Исходным продуктом при этом являются горячекатаные трубы, получаемые прессованием.

Широкое распространение получило производство бесшовных труб из ряда цветных металлов (например, из меди, алюминия и их сплавов) путем прессования и последующего волочения на барабанных и реечных волочильных станах.



1 – неподвижная коническая оправка;
2 – калибр валковых сегментов; 3 - валковые сегменты

Рисунок 18 - Схема прокатки труб на стане холодной прокатки

Наибольшее распространение при производстве холоднокатаных труб диаметром от 16 до 450 мм и толщиной стенки от 0,2 мм и выше получили

двухвалковые станы с периодическим режимом работы клетки. Трубы в данном случае, как это видно из рисунка 18, прокатываются на неподвижной конической оправке 1, установленной в калибре валковых сегментов 2, укрепленных на рабочих валках. Ручьи выполнены переменным радиусом, меняющимся по длине окружности сегмента от радиуса, равного радиусу трубной заготовки (начальный размер), до радиуса готовой трубы (конечный размер). Такие валки устанавливаются в клетки на жесткой раме, совершающей возвратно-поступательное движение по рельсам на катках.

Наряду с рассмотренными раскатными станами раскатку применяют и для получения тонкостенных труб и деталей.

2.2.3.1 Процессы деформирования с локализацией очага деформации

В современном машиностроении имеется тенденция к замене обработки металлов резанием операциями обработки давлением в холодном или горячем состоянии. Наряду с операциями штамповки в машиностроении, как и в металлургии, широко используют различные операции обработки заготовок пластическим деформированием с локализацией очага деформации. Ее используют как для окончательной отделки поверхностей, предварительно подготовленных резанием, так и для формообразования новых поверхностей.

Тонкие материалы, заготовки и детали получают раскаткой (прокаткой) более толстых заготовок. Отличительной особенностью указанных операций от операций штамповки также является локальный характер приложения деформирующего усилия, что позволяет существенно снизить удельное и общее суммарное усилие деформирования.

Процессы с локализацией очага деформации обеспечивают высокую точность и низкую шероховатость поверхности получаемого изделия, что в большинстве случаев позволяет исключить из технологического процесса получения деталей дальнейшую механическую обработку.

Результатом использования указанных процессов является снижение расхода металла и трудоемкости изготовления деталей до 30 %, при этом также происходит деформационное упрочнение поверхностного слоя и это обеспечивается за счет получения напряженно-деформированного состояния поверхностного слоя, в котором возникают, обычно благоприятные, остаточные сжимающие напряжения, что сопровождается упрочнением металла.

О степени упрочнения детали можно судить по результатам измерения твердости поверхностного слоя. Степень упрочнения и величина остаточных напряжений изменяются по глубине упрочненного слоя. В поверхностном слое детали она может колебаться в больших пределах, от нескольких микрон до десятых долей миллиметра.

К операциям обработки пластическим деформированием с локализацией очага деформации относятся: штамповка вальцовкой (прокатка), раскатка, вытяжка, обкатка и накатка.

Штамповка вальцовкой бывает продольной, поперечной и винтовой (см. с. 41).

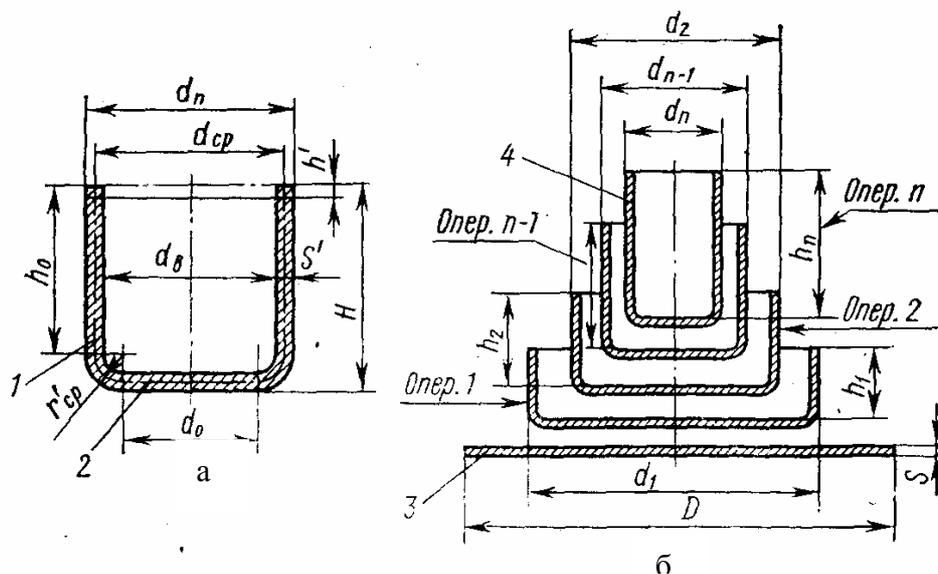
Раскатку применяют для уменьшения толщины стенки полых гильз полученных вытяжкой.

Вытяжку применяют для получения из плоских листовых или полых заготовок, полые детали разнообразной формы не требующие, как правило, дальнейшей обработки, кроме обрезки неровного края. Полученные гильзы могут иметь диаметр (или длину) – от нескольких миллиметров до нескольких метров и толщину стенки – от десятых долей до десятков миллиметров.

Вытяжку осуществляют в специальных штампах, рабочие органы которых: матрица со скругленной рабочей кромкой и пуансон. Если необходимо, то применяют прижимное кольцо. Между пуансоном и матрицей имеется зазор z , в который пуансон втягивает заготовку.

Для изготовления гильз вытяжкой применяют листовой металл, обладающий высокими пластическими свойствами: низкоуглеродистую качественную и конструкционную низколегированную сталь, алюминий и различные его сплавы, медь латунь и другие металлы.

Цилиндрические детали вытяжкой получают в один или несколько переходов (в зависимости от относительной высоты) (рисунок 19).



a - изделие; *б* - последовательность процесса
1- цилиндр; 2 - дно; 3 - заготовка; 4- изделие

Рисунок 19 - Схема последовательности изменения заготовки при вытяжке

Изготовление деталей вытяжкой осуществляется без нагрева заготовки, в холодном состоянии. Исключение – вытяжка толстолистового металла (толщиной свыше 20 мм), когда заготовку нагревают, для того чтобы снизить деформирующее усилие. При вытяжке заготовок из алюминиевых сплавов для повышения степени деформации за одну операцию применяют местный (локальный) электронагрев зоны пластической деформации.

Вытяжкой за одну операцию можно получить относительно неглубокие детали, высота которых не превышает 0,8 диаметра. При вытяжке более высоких деталей растягивающие напряжения, возникающие в стенке, возрастают настолько, что может наступить отрыв дна. В связи с этим процесс вытяжки необходимо разделять на несколько переходов, что уменьшает радиальные растягивающие напряжения в стенках вытягиваемой детали.

При вытяжке внешняя сила, передаваемая пуансоном, приложена к донной части вытягиваемой детали, краевая же ее часть остается свободной, не нагруженной внешними силами.

Способы вытяжки разделены на два основных типа:

- без искусственного уменьшения толщины стенки (вытяжка);
- с искусственным, преднамеренным уменьшением толщины стенки.

Вытяжку с утонением стенки осуществляют с незначительным или существенным изменением диаметра, в том числе комбинированная вытяжка, при которой предварительно вытянутую заготовку раскатывают на оправке

Вытяжка без утонения стенки характеризуется существенным уменьшением диаметра заготовки при приблизительно неизменной толщине стенки вытягиваемой детали. Зазор между пуансоном и матрицей в штампе равен (больше) толщины заготовки ($z \geq s$).

Вытяжка с утонением характеризуется существенным уменьшением толщины стенки при относительно малом уменьшении диаметра заготовки (рисунок 20). При вытяжке с утонением зазор $z < s$.

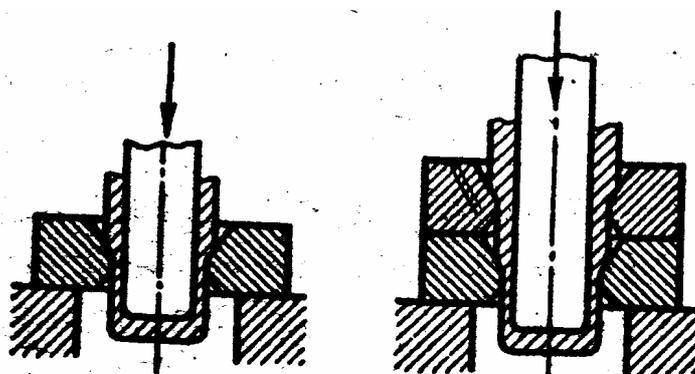


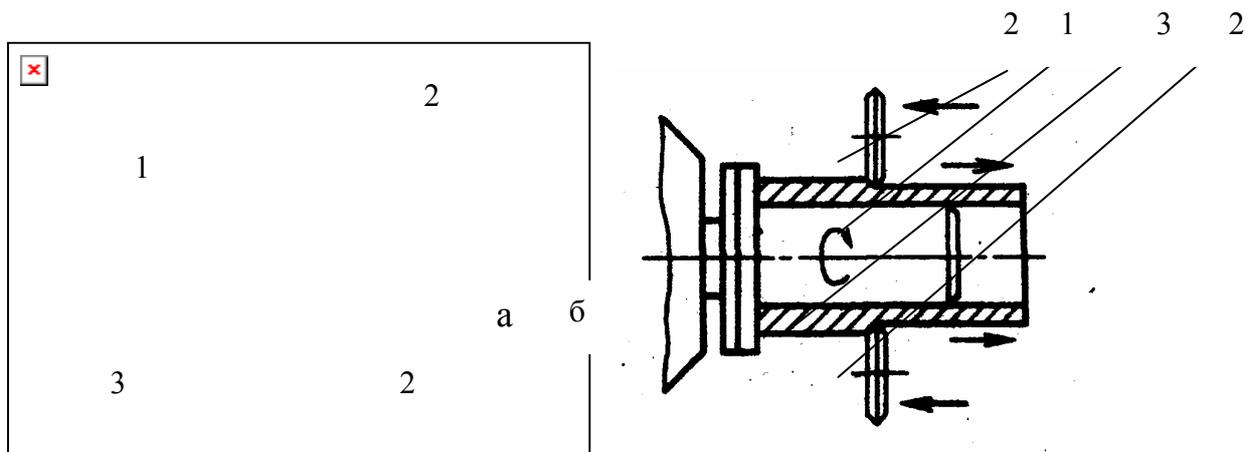
Рисунок 20 - Вытяжка с утонением через одну или несколько матриц

Раскатывание и обкатку применяют для отделки и упрочнения цилиндрических, конических, плоских и фасонных наружных и внутренних поверхностей. Раскатка бывает: с утонением стенки и с уменьшением сечения; с получением полых деталей из листовых заготовок.

Полученные гильзы раскатывают между валками для снижения толщины стенки и получения бесшовных труб (рисунок 21 а).

Таковую же раскатку применяют для получения цилиндрических деталей, у которых толщина дна больше толщины стенок. К ним относятся: артиллерийские гильзы, гильзы стрелкового оружия, металлическая посуда с

толстым дном, тьюбики для пасты и пр. (рисунок 21 б). Для этого гильзу 1 устанавливают на оправку 3 и раскатывают между валками 2.



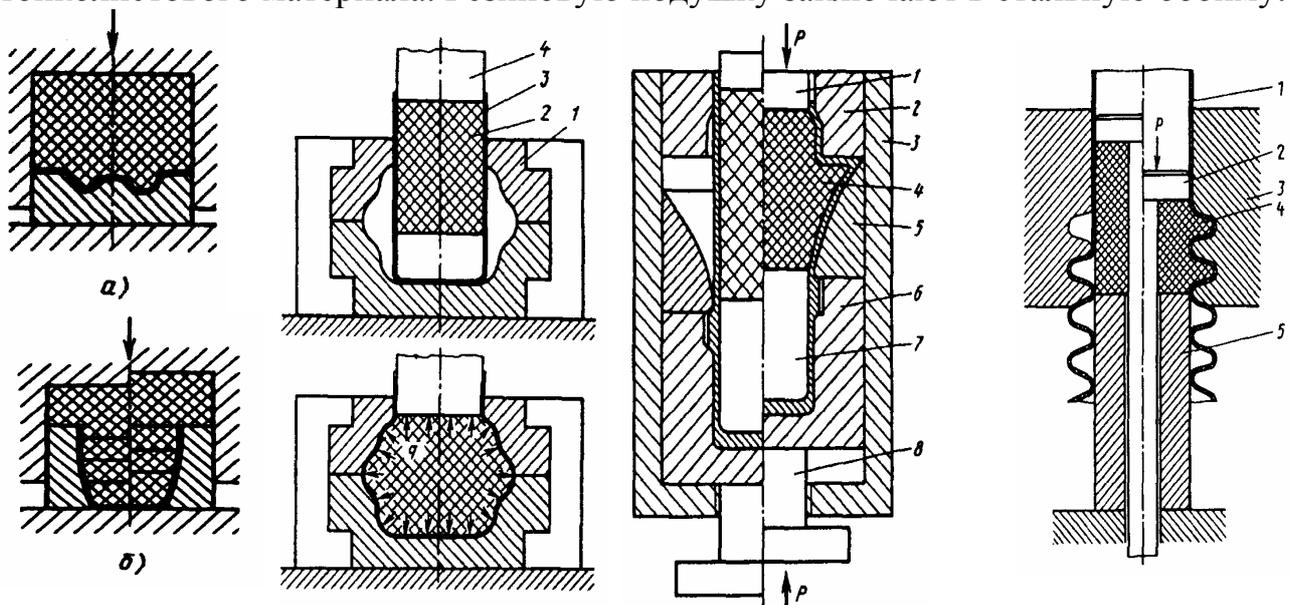
а – бесшовных труб; б – разнотолщинных заготовок
1 – оправка; 2 – ролики; 3 – исходная заготовка

Рисунок 21 – Схема раскатки с утонением стенки при получении труб

2.2.3.2 Вытяжка эластичной средой

Вытяжку эластичной средой (резиной, рисунок 22, 23) выполняют эластичной подушкой (пуансоном) в жесткой матрице или жестким пуансоном в эластичной матрице.

Оба способа применяются для получения полных деталей из тонколистового материала. Резиновую подушку заключают в стальную обойму.



а — первый

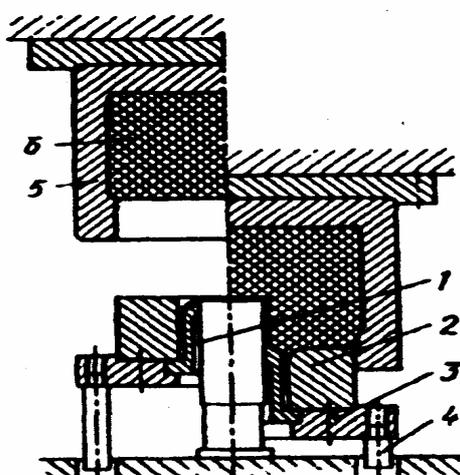
1 – разъемные

1 – верхний пуансон

1 – заготовка;

переход вытяжки; б — последующий переход вытяжки	матрицы; 2 – элас тичный пуансон; 3 – предварительно полученная полая заготовка; 4 – пуансон -толкатель	и матрица 2; 3- обой- ма; 4 – эластичный материал; 5 - нижние разъемные матрицы; 6 –контейнер; 7- вкладыш; 8 -нижний пуансон	2 – пуансон; 3 – разъемные матри цы; 4 – эластич ный материал; 5 – контрпуансон
--	--	--	---

Рисунок 22 -Схемы штампов для формовки резиной пространственных деталей
Для выполнения операции вытяжки также применяют эластичный (резиновый) пуансон, который позволяет осуществлять не только осевую, но и радиальную вытяжку, например, при получении различных деталей, в том числе, гофрированных труб (сильфонов) (рисунок 22).



1 – предварительно вытянутая заготовка; 2 – ограничитель; 3 – упор;
4 – направляющие; 5 – стальная обойма; 6 - резиновая подушка

Рисунок 23 - Схема последующего перехода вытяжки эластичной матрицей

2.2.4 Выдавливание

Наряду со штамповкой вальцовкой гильзы для последующей обработки получают выдавливанием - (прессованием, преимущественно материалом для этого становятся сплавы цветных металлов), которое осуществляют на кузнечно-прессовом оборудовании (КПО), преимущественно на гидравлических прессах. Обработка выдавливанием – это по сути штамповка в закрытом штампе, но при этом в контейнере матрицы имеется выходное отверстие, в которое выдавливается материал. Выдавленный металл представляет собой стержень (цельный или пустотелый) с постоянным сечением. При использовании сложного сечения получают профили как полые, так и сплошные (рисунок 24).

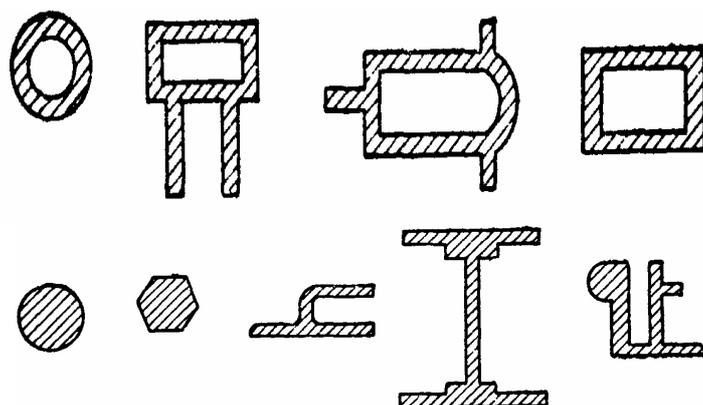


Рисунок 24 - Сечения и вид изделий (из пластмасс и алюминия), получаемых выдавливанием (полые и сплошные сечения)

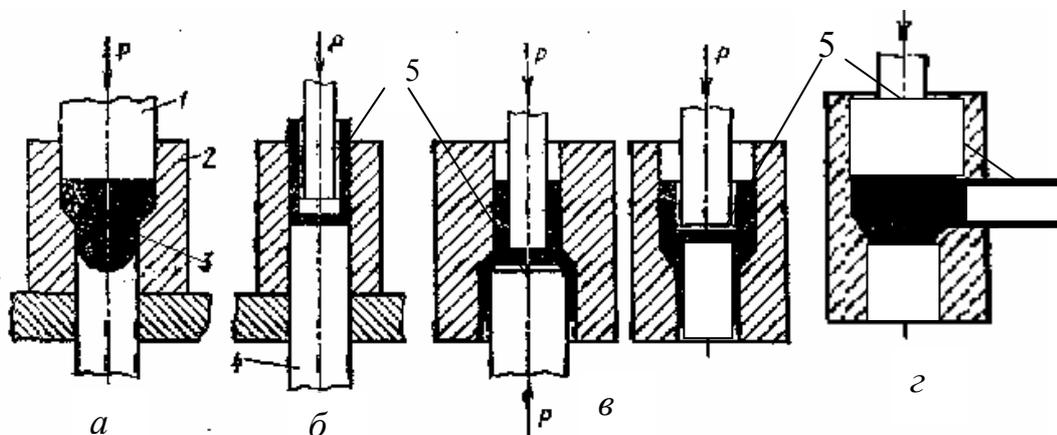
При обработке выдавливанием, которое бывает прямое и обратное, комбинированное и боковое (рисунок 25), выходное отверстие матрицы имеет простое или сложное сечение и в него выдавливается стержень металла, являющийся исходным материалом для различных видов обработки.

Штамповка выдавливанием характеризуется следующими признаками:

- а) высоким качеством получаемого материала;
- б) объем металла в основной полости штампа уменьшается;
- в) малым отходом металла.

При обратном и комбинированном выдавливании часть металла увеличивает общую высоту получаемой гильзы.

Выдавливание осуществляют на гидравлических прессах.



а – прямое; б – обратное; в – комбинированное; г – боковое;
1, 4 – плунжер; 2- контейнер-матрица; 3-деформируемый материал; 5 - гильза

Рисунок 25 - Схемы выдавливания (прессования)

2.2.4.1 Гидравлические прессы

Действие гидравлического прессы основано на ряде физических законов, в частности, на законе Паскаля, устанавливающим, что давление на поверхность жидкости, производимое внешними силами, передается жидкостью одинаково во всех направлениях.

Преимуществом гидравлических прессов является то, что скорость движения плунжера в них может быть различной (максимальная скорость деформирующего инструмента до 0,3 м/с); при этом можно обеспечить плавное или ступенчатое изменение усилия, как и выдержку под действием постоянной или переменной силы. Крупные заготовки обрабатывают на четырехколонных, а более мелкие - на одноколонных прессах. Вид и схема гидравлического пресса приведены на рисунке 26.

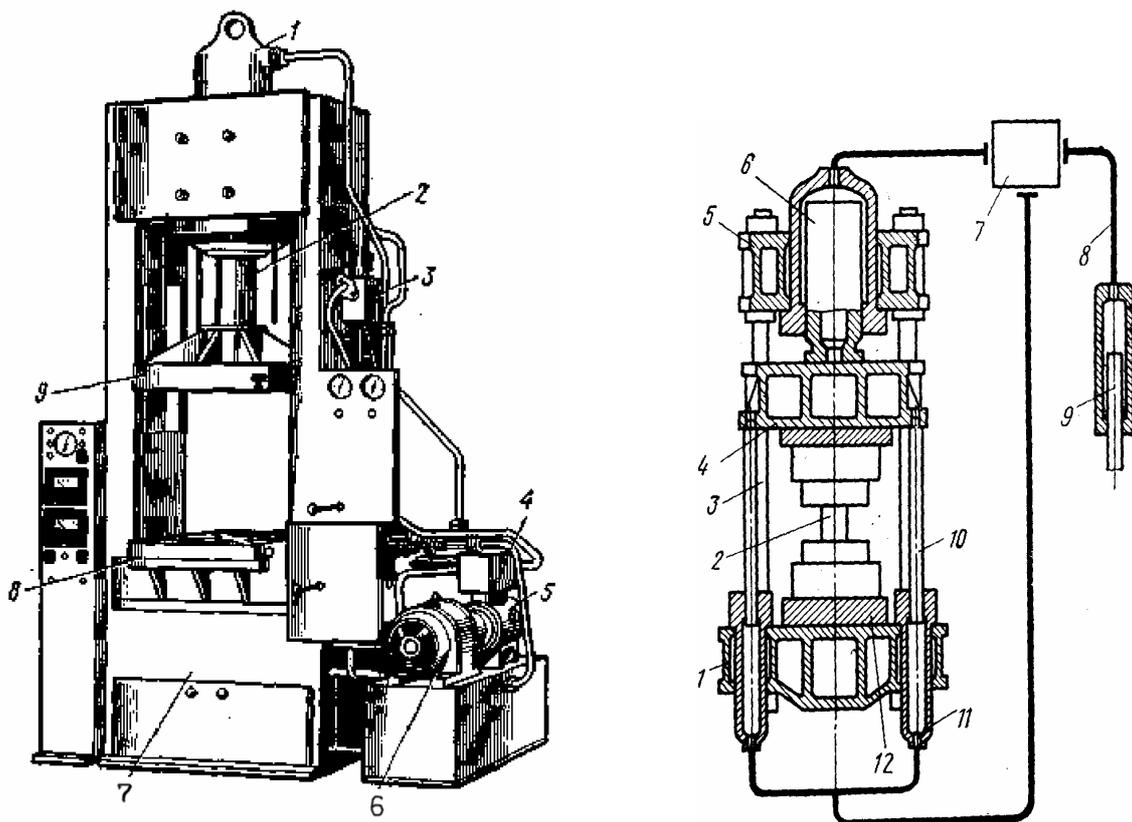
Если поместить в каждый из сообщающихся сосудов разного диаметра по плунжеру, то на основании этого закона, а также из условий равновесия можно определить давление жидкости в системе сообщающихся сосудов, Н/м²:

$$P_1/F_1 = P_2/F_2, \text{ откуда } P_2 = P_1(F_2/F_1),$$

где P_1 и P_2 - усилия, приложенные соответственно к малому и большому плунжерам, Н;

F_1 и F_2 - площади соответственно малого и большого плунжеров, м².

Наиболее слабым звеном в гидравлических прессах является гидропривод.



- 1 - рабочий цилиндр; 2 - плунжер; 3 - колонны; 4, 5 - насосы; 6 - электродвигатель;
7 - станина; 8 - стол; 9 - траверса

для схемы: 1- нижняя неподвижная поперечина; 2 - заготовка; 3 - колонна; 4 - подвижная поперечина; 5 - верхняя неподвижная поперечина; 6 - плунжер рабо-

чего цилиндра; 7 - органы управления; 8 - трубопровод; 9 - плунжер насоса; 10 - возвратный плунжер; 11- возвратный цилиндр; 12 - подвижный стол

Рисунок 26 - Вид и схема гидравлического пресса

Элементы такой принципиальной схемы заложены в устройство любого гидравлического пресса: роль малого плунжера выполняет поршень насоса, подающего жидкость, а роль большого - рабочий плунжер пресса. Усилие, развиваемое прессом, определяют произведением давления жидкости на сумму площадей рабочих плунжеров. Согласно другим законам в замкнутой гидравлической системе перемещение одного плунжера вызывает такое перемещение другого плунжера, что объем жидкости в системе остается постоянным, поскольку жидкости практически несжимаемы.

Если малый плунжер пройдет большое расстояние H_1 , то большой плунжер переместится на меньшее расстояние H_2 , то есть

$$H_1/H_2=F_2/F_1, \text{ откуда } H_1=H_2 (F_2/F_1).$$

Таким образом, в гидравлическом прессе получают выигрыш в силе во столько раз, во сколько раз площадь большого плунжера превышает площадь меньшего, и во сколько раз проигрывают в пути.

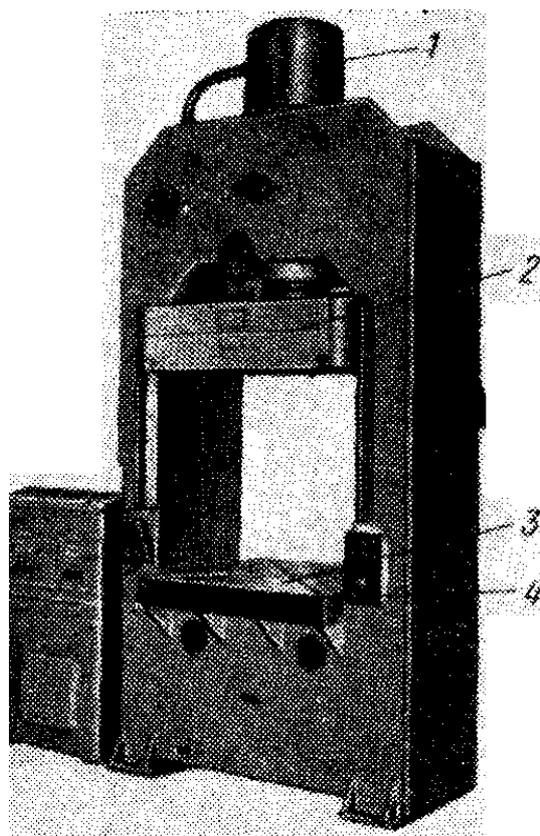
Листоштамповочный гидравлический пресс (рисунок 27) предназначен для выполнения различных операций холодной штамповки: гибки, вытяжки, отбортовки и т. п. Станина двухстоечного типа состоит из стола 1, двух стоек 2 и верхней поперечины 3, стянутых четырьмя стяжными болтами. Привод пресса – индивидуальный, от ротационно-плунжерного насоса производительностью 200 л/мин, приводимого электродвигателем мощностью 75 кВт. Ползун 4 пресса приводится тремя гидроцилиндрами, установленными на верхней поперечине. Ход ползуна 750 мм. В столе пресса установлен гидравлический выталкиватель.

В гидравлическом прессе усилием 2000 кН, схема которого показана на рисунке 26, силовая гидроустановка смонтирована в нижней части пресса. Главный цилиндр 9 жестко закреплен в станине 8 пресса. Ход ползуна 7 с помощью регулировочного устройства 10 может быть установлен в пределах от 30 до 200 мм. Пресс, предназначенный для холодной объемной штамповки, оснащен выталкивателем 6, ход которого от 5 до 60 мм.

Основной особенностью конструкции пресса является устройство для обеспечения движений верхней половины 5 штампа. Электропривод 4 обеспечивает различные виды движений (качаний) верхней половины 5 штампа, закрепленной в чашечной опоре 3. Деформируемую заготовку 2, установленную в нижней половине 1 штампа, как правило, предварительно фосфатируют и обмыливают или покрывают дисульфидом молибдена.

В гидравлическом прессе рабочая жидкость (масло) подается в рабочий цилиндр 1. Под давлением масла перемещается плунжер 2, соединенный с подвижной траверсой 9, которая передвигается в направляющих колоннах 3,

опирающихся на станину 7. Возвратно-поступательное движение плунжер получает от двух насосов: поршневого 4 высокого давления и шестеренного 5 низкого давления. Оба насоса работают от одного электродвигателя 6. Во время работы пресса плунжер с траверсой нажимает на заготовку, установленную на столе 8. В столе и в траверсе имеются пазы для крепления штампов, а в столе, кроме того, есть отверстие для выталкивания заготовок. Цилиндр устройства, выталкивающего обработанные заготовки, расположен в нижней части станины. В прессах усилием 2000 кН силовая гидроустановка смонтирована в нижней части пресса. Главный цилиндр жестко закреплен в станине пресса. Ход ползуна с помощью регулировочного устройства может быть установлен в пределах от 30 до 200 мм. Пресс, предназначенный для листовой и холодной объемной штамповки, оснащен выталкивателем, ход которого от 5 до 60 мм.



1—цилиндр; 2—верхняя плита; 3— стол; 4 — кнопки управления

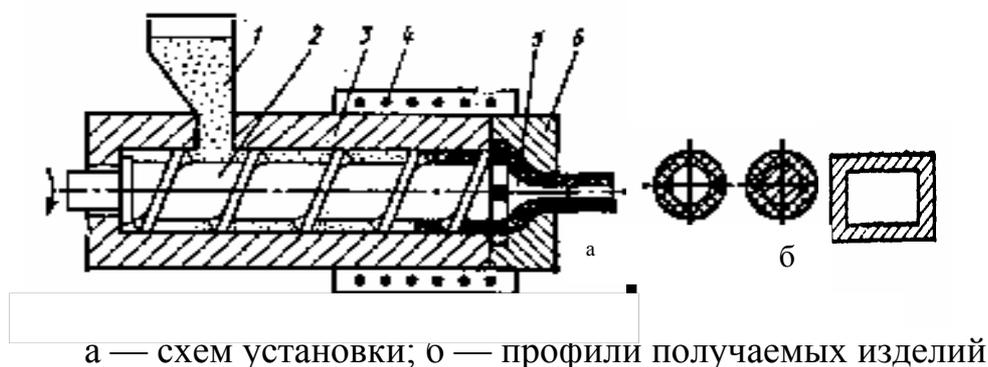
Рисунок 27 - Гидравлический пресс усилием 2500 МН с индивидуальным насосом для штамповки небольших листовых деталей

Станина двухстоечного типа состоит из стола 3, двух стоек и верхней поперечины, стянутых четырьмя стяжными болтами. Привод пресса – индивидуальный, от ротационно-плунжерного насоса производительностью 200 л/мин, приводимого электродвигателем мощностью 75 кВт. Ползун (верхняя плита) 4 пресса приводится гидроцилиндром 1, установленным на

верхней поперечине. Ход ползуна до 750 мм. В столе пресса установлен гидравлический выталкиватель.

2.2.5 Выдавливание неметаллических материалов

Трубы из неметаллических материалов изготавливают выдавливанием. Выдавливание (или экструзия) отличается от других способов переработки термопластов непрерывностью, высокой производительностью процесса и возможностью получения на одном и том же оборудовании большого многообразия деталей (рисунок 28б). Выдавливание осуществляют на специальных червячных машинах (рисунок 28).



1 – бункер; 2 – червяк; 3 - рабочий цилиндр; 4 - нагревательный элемент;
5 - радиальные канавки оправки; 6 - калиброванное отверстие головки

Рисунок 28 - Непрерывное выдавливание

Перерабатываемый материал в виде порошка или гранул из бункера 1 (рисунок 28 а) попадает в рабочий цилиндр 3, где захватывается вращающимся червяком 2. Червяк, имеющий нарезку с изменяющимся шагом и глубиной, продвигает материал, перемешивает и уплотняет его. В результате передачи теплоты от нагревательного элемента 4 и выделения теплоты при трении частиц материала друг о друга и о стенки цилиндра перерабатываемый материал переходит в вязкотекучее состояние и непрерывно выдавливается через калиброванное отверстие головки 6. Расплавленный материал проходит через радиальные канавки оправки 5. Оправку применяют для получения отверстия при выдавливании труб.

Трубы, прутки круглого и фасонного сечения получают прессованием терморективного материала через калиброванное отверстие пресс-формы (рисунок 28 б),

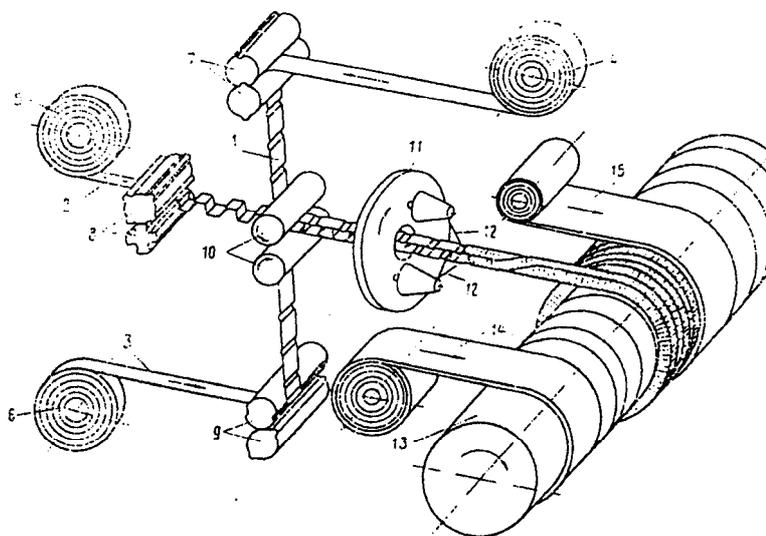
Главное преимущество процесса выдавливания – это получение заготовок различного профиля с высокой точностью размеров, а недостатки – высокое удельное усилие прессования и относительно низкая стойкость штампа.

2.2.6 Изготовления композиционных трубных заготовок

При применении композиционных материалов для изготовления деталей и узлов находят применение различные способы в том числе и способ изготовления трехслойных конструкций с сотовым наполнителем

Сущность способа заключается в том, что скрепленные между собой гофрированные полосы наполнителя оплетают по спирали покрытой соединительным составом арматурой и наматывают плотно прилегающими витками на одну из несущих обшивок.

На рисунке 29 изображена схема изготовления трехслойной цилиндрической конструкции с сотовым наполнителем.



1 – 3 - полосы алюминиевой фольги; 4—6 рулоны; 7 – 9 - гофрирующие механизмы (пары гофрирующих роликов); 10 - контактные ролики сварочного аппарата; 11 - оплеточный механизм; 12 - стеклонить; 13 – технологическая оправка; 14, 15 - внутренний и наружный несущие слои из пропитанной эпоксидным связующим стеклоарматуры

Рисунок 29 – Схема получения трехслойной цилиндрической конструкции с сотовым наполнителем

Полосы 1 - 3 алюминиевой фольги сматывают с рулонов 4 - 6 и подают в гофрирующие механизмы 7 - 9 (пары гофрирующих роликов). Шаг гофров всех полос одинаковый, а высота гофров полос 1 и 3 меньше, чем полосы 2. Затем все полосы подают на контактные ролики 10 сварочного аппарата, где и соединяют сваркой по полкам гофров. Соединенные между собой полосы 1--3 подают на оплеточный механизм 11, с помощью которого их оплетают по спирали стеклонитью 12, пропитанной эпоксидным соединительным составом.

На технологическую оправку 13 наматывают внутренний несущий слой стеклоарматуры 14, пропитанной эпоксидным связующим поверх слоя 14 наматывают наполнитель из плотно прилегающих друг к другу витков

оплетенных полос 1 - 3. Поверх заполнителя наматывают наружный несущий слой 15 из пропитанной эпоксидным связующим стеклоарматуры. Затем связующее отверждают и в процессе термообработки происходит соединение полос 1 - 3 заполнителя между собой и с несущими обшивками 14 и 15.

2.2.7 Изготовления литых труб. Основные сведения о литейном производстве

Литейное производство разделяют на три основных типа: массовое, серийное и единичное.

Массовое производство характеризуется непрерывным выпуском отливок ограниченной номенклатуры большими партиями. Примером могут служить литейные цехи автомобильных, тракторных и других подобных предприятий. Массовое производство позволяет механизировать и автоматизировать технологический процесс в целом и организовать его более экономично.

Серийное производство характеризуется определенной периодичностью выпуска отливок ограниченной или широкой номенклатуры партиями (сериями). Примером является выпуск литых заготовок станкостроительными заводами. При серийном производстве можно выделить сходные группы отливок по габаритным размерам и массе, а также механизировать и автоматизировать отдельные операции. Эти условия являются наиболее благоприятными для внедрения передовой технологии при изготовлении определенной группы отливок.

Единичное производство характеризуется выпуском разнообразных отливок в небольших количествах, а иногда отдельных сложных литых деталей для опытных образцов станков, приборов, машин. В единичном производстве значительный процент технологических операций выполняют вручную, так как различная номенклатура выпускаемых отливок не позволяет механизировать их производство. Примером единичного производства может служить выпуск уникальных корпусов турбин, станин, деталей экскаваторов, мощных прессов и других машин.

2.2.7.1 Способы изготовления отливок

Основными способами изготовления отливок является литье в песчаные формы, по выплавляемым моделям, в оболочковые формы, в кокиль, под давлением и центробежное. Указанными способами можно изготавливать отливки в разовые формы (литье в песчаные формы, по выплавляемым моделям и в оболочковые формы) и в металлические формы (литье в кокиль, под давлением и центробежное).

Существует много вариантов получения литых заготовок, каждый из которых имеет свое назначение и область применения.

Различают следующие виды форм:

а) разовые – служат для получения только одной отливки, после чего их разрушают. Для их изготовления используют песчано-глинистые смеси, в состав которых входит кварцевый песок от 85 до 90 %, огнеупорная глина от 8 до 14 %, вода и связующие (жидкое стекло, искусственные смолы и др.) - остальное. Разовые формы могут быть сырыми, сухими, поверхностно-высушиваемыми и химически твердеющими.

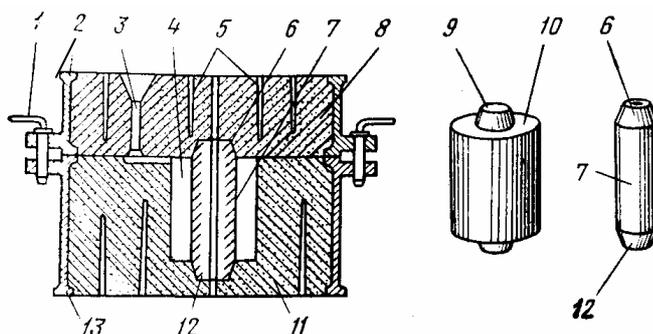
2.2.7.2 Разработка и технология, принципы конструирования литых заготовок

Технология производства отливок в разовых формах складывается из следующих основных процессов:

- изготовление моделей и стержневых ящиков;
- приготовление формовочной и стержневой смеси;
- изготовление форм и стержней;
- сушка форм и стержней;
- расплавление металла и заливка формы;
- выбивки отливок из форм и стержней из отливок.

Разработка технологии состоит из выбора и обоснования материала заготовки (отливки), способа литья, способа изготовления литейной формы, конструирования модели и стержневых ящиков, сушильных плит, литниковой системы, разработки последовательностей технологических операций формовки, сборки форм, заливки их металлом, очистки и обрубки отливок, методов и способов контроля качества литой заготовки.

Литейная форма чаще всего состоит из двух полуформ (рисунок 30).



- 1 – штыри; 2, 13 - металлические рамки (опоки); 3 - литниковая чаша и стояк; 4 - рабочая полость формы; 5 - вентиляционные каналы;
6, 12 - стержневые знаки; 7 - стержень; 8 – верхняя и 11- нижняя полуформы; 9 – выступы на модели для стержневых знаков; 10 – модель

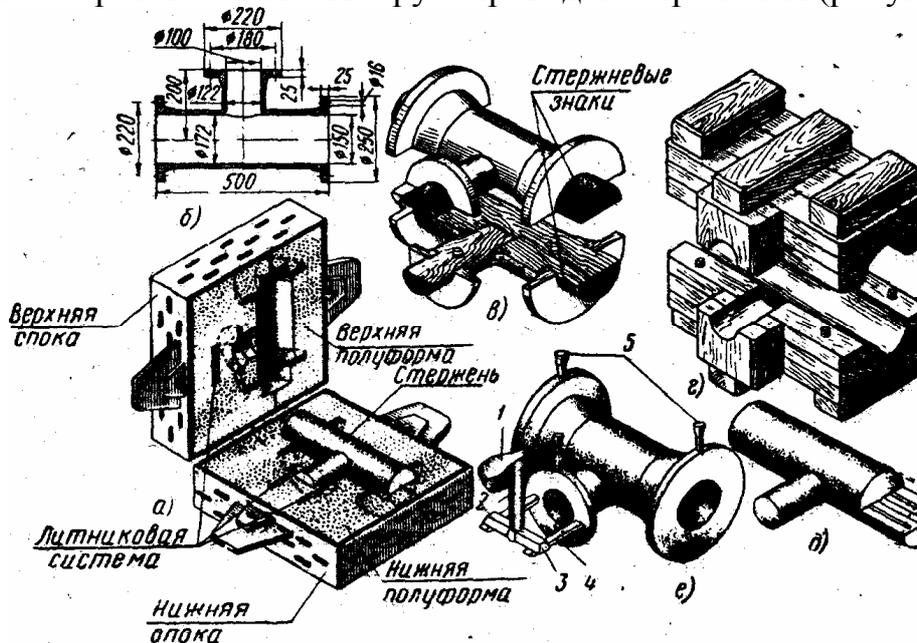
Рисунок 30 – Песчаная разовая форма в сборе

Полуформы верхняя 8 и нижняя 11 изготовлены из песчано-глинистой смеси в металлических рамках 2 и 13 (опоках). В нижней полуформе с помощью модели 10 образована рабочая полость 4 для получения отливки.

Отверстие в отливке образует песчаный стержень 7, который прочно скреплен с формой с помощью стержневых знаков 6 и 12. Выступы 9 на модели предназначены для получения отпечатков стержневых знаков в форме.

Полуформы перед заливкой скрепляют штырями 1 или на верхнюю полуформу устанавливают груз. Для удаления газов, выделяющихся из песчано-глинистой смеси и расплава, при заливке в форму и стержне выполняют вентиляционные каналы 5. Расплав в рабочую полость формы заливают через литниковую систему — совокупность каналов для подвода расплава в полость формы и питания отливки при затвердевании.

Отверстия и полости в литых заготовках образуются с помощью стержней, которые вставляются в форму при её сборке. Конфигурация стержня соответствует конфигурации отверстия, полости. Стержни изготавливаются в стержневых ящиках из стержневой смеси, которая отличается от формовочной смеси повышенной прочностью, газопроницаемостью, противопригарностью. Так получают короткие элементы трубопроводов – тройники (рисунок 31).



- а - раскрытая изготовленная форма (в нижнюю полуформу вложен стержень);
- б - чертеж обработанной детали;
- в - разъемная деревянная модель со стержневыми знаками;
- г - разъемный деревянный стержневой ящик,
- д - стержень из специальной смеси с металлической арматурой,
- е - отлитый тройник с литниковой системой

- 1 - литниковая чаша, 2 - стояк литника, 3 - шлакоуловитель 4 - питатель,
- 5 – выпоры для удаления из формы воздуха и газов при заливке (с затвердевшим в них металлом)

Рисунок 31 – Элементы для формовки и отливка чугунного тройника

Конструкция отливки должна отвечать служебным требованиям детали, технологии ее изготовления, технологии механической обработки и эстетическим требованиям. Внешние контуры литой детали должны

представлять собой сочетание простых и прямолинейных контуров, сочленяемых плавными криволинейными переходами. Необходимо стремиться к уменьшению габаритных размеров и особенно высоты детали, устранению выступающих частей, больших тонких ребер, глубоких впадин и поднутрений, затрудняющих изготовление литейной формы.

Выбор минимально допустимой толщины стенки отливки определяют размеры и сложность отливки, а также литейные свойства сплава,

2.2.7.3 Технологическая характеристика отливок

Существует несколько принципов классификации отливок, в том числе, по методу формовки и по видам форм, по условиям приемки и по классам точности, по марке материала, из которого они изготовлены и т.д.

Среди отливок до 80 % по массе занимают детали, изготавливаемые литьем в песчаные формы. Метод является универсальным применительно к литейным материалам, а также к массе и габаритам отливок. Специальные способы литья значительно повышают стоимость отливок, но позволяют получать отливки повышенного качества с минимальным объемом механической обработки.

Ответственные и особо ответственные отливки испытывают на прочность. При литье в песчаные формы по деревянным моделям и при формовании стержней в деревянных ящиках можно получить точность не выше 3-го класса. Точность повышают, применяя металлические модели.

2.2.7.3.1 Основные правила для проектирования отливок

Конструкция отливки считается технологичной, если она отвечает требованиям литейного производства и техническим условиям изготовления.

К требованиям литейного производства относят: возможность изготовления отливки высокого качества доступными методами и приемами литейной технологии с учетом имеющегося оборудования.

Основные правила проектирования отливки следующие:

- 1) части ответственного назначения располагать в нижней части формы;
- 2) по возможности располагать отливку в одной (нижней) полуформе;
- 3) использовать минимально допустимое число стержней (по возможности не применять их);
- 4) по возможности не крепить стержни в верхней полуформе;
- 5) обеспечить хорошую вентиляцию стержней;
- 6) не допускать наличия жеребеек (приспособления для крепления стержней) в ответственной части отливки;
- 7) прибыли располагать только над массивными частями отливок или около них размещать боковые питающие бобышки;
- 8) не допускать наличия узких болванов (сужений) как в форме, так и в стержнях;
- 9) по возможности объединять заготовки с последующей их разрезкой.

2.2.7.4 Специальные способы литья (изготовление отливок в многократных (металлических) формах)

В литейном производстве широко применяют специальные способы изготовления отливок, имеющие ряд преимуществ по сравнению со способом литья в песчаные формы. К таким особенностям относятся: возможность механизации и автоматизации производственного процесса; улучшение условий труда; увеличение производительности; значительное снижение расходов формовочных материалов (а иногда полное исключение их из процесса литья) и получение отливок с минимальными припусками на механическую обработку.

К специальным видам литья относят литье в оболочные формы, литье по выплавляемым моделям, литье в кокиль, литье под давлением, центробежное, непрерывное и полунепрерывное литье, а также литье в керамические разъемные формы, литье вакуумным всасыванием, литье выжиманием, литье с направленной кристаллизацией, жидкая штамповка.

Изготовление отливок в многократных формах (выдерживающих несколько сот или тысяч раз использования) имеет свои особенности:

- их изготавливают, из металлов обладающих высокой жесткостью и прочностью, с точными размерами, малой шероховатостью и, как правило, сложной конструкцией;
- интенсивность охлаждения отливок в металлических формах в 3-5 раз выше, чем в песчано-глинистых;
- получают отливки с повышенной точностью (с минимальными припусками на механическую обработку);
- сокращается расход металла на литниковую систему;
- сокращаются затраты на приготовление и использование смесей и на завершающие операции;
- трудоемкость снижается на 40-50 %.

2.2.7.4.1 Виды литья в металлические формы

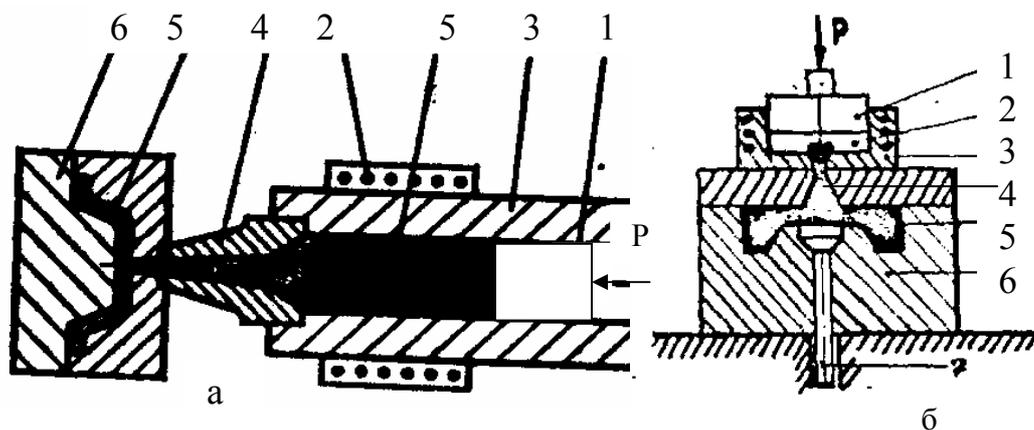
Литье в металлические формы включает в себя литье в кокиль, литье под давлением (высоким и низким), жидкую штамповку (штамповка в период кристаллизации), литье вакуумным всасыванием, литье с направленно-последовательной кристаллизацией, литье выжиманием, центробежное, а также непрерывное и полунепрерывное литье, литье методом жидкой прокатки.

2.2.7.4.1.1 Литье под давлением

Литье под давлением является процессом получения отливок в металлических формах (пресс-формах) при котором заливка расплавленного металла в форму и формирование отливки осуществляются под давлением в

условиях интенсивного отвода теплоты от залитого металла и от затвердевающей отливки к массивной металлической пресс-форме. Литье под давлением подразделено на два класса – литье под высоким (от 50 до 200 МПа) и под низким давлением. Последнее литье конкретизируют в названии

Литье под давлением (высоким) - это такой способ получения отливок в металлических формах, при котором жидкий металл через каналы, соединяющие рабочую полость пресс-формы с камерой прессования машины, поступает из последней в рабочую полость. Она по своим очертаниям соответствуют отливке. Разъем полуформ осуществляется в вертикальной или горизонтальной плоскостях (рисунок 32), а для сложных отливок и в обеих плоскостях. Первый разъем предпочтительнее, так как заготовка выпадает из пресс-формы при ее раскрытии под действием силы тяжести.



а – вертикальный; б - горизонтальный

1 – пуансон (плунжер); 2 - каналы для нагрева или охлаждения; 3 - напорная камера; 4 - литник; 5 – перерабатываемый материал (отливка); б - формообразующая часть формы; 7 – выталкиватель

Рисунок 32 – Схемы разъема форм при литье под давлением

Литье под давлением является высокомеханизированным процессом. Автоматизируют заливку расплавленного металла, очистку рабочих поверхностей пресс-формы, нанесение смазки и т. д. Литье под давлением позволяет получать отливки, максимально приближающиеся по форме, массе и размерам к готовой детали, дает возможность изготавливать сложные тонкостенные отливки с толщиной стенки от 0,8 до 0,6 мм и отверстиями диаметром до 1 мм. Литьем под давлением изготавливают корпуса приборов, декоративные изделия, детали двигателей легковых автомобилей и др.

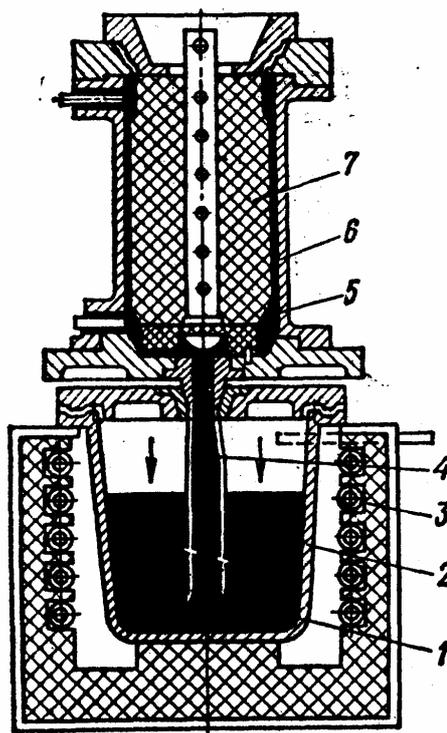
Недостатком этого способа является высокая стоимость пресс-форм, сложность их изготовления, ограниченный срок их службы, опасность появления трещин в отливках

Литье под давлением широко используют не только для получения заготовок из металлов и сплавов, но и для переработки пластмасс.

2.2.7.4.1.2 Литье под низким давлением

Литье под низким давлением применяют для получения крупных тонкостенных корпусных заготовок из легкоплавких сплавов.

Процесс характеризуется простотой и основан на том, что расплав под давлением инертного газа по литнику подается в зазор между формой и стержнем и кристаллизуется в ней (рисунок 33).



1 – расплавленный металл; 2 – плавильный тигель; 3 – электронагреватели; 4 – металлопровод; 5 – рабочая полость; 6 – форма; 7 – стержень

Рисунок 33 - Установка для литья под низким давлением

Расплавленный металл 1 из плавильного тигля 2, который нагревается электронагревателями 3, под давлением $0,01—0,08 \text{ МН/м}^2$ инертного газа или воздуха выжимается по металлопроводу 4 в рабочую полость формы 5, где он кристаллизуется в пространстве между формой 6 и стержнем 7. Стержень может быть из обычной стержневой песчаной смеси. Давление инертного газа должно быть невысоким по той причине, что площадь зеркала расплавленного металла в тигле 2 во много раз больше площади металлопровода 4. Незначительное перемещение металла в тигле вызывает высокий подъем жидкого металла внутри металлопровода и в литейной форме. После кристаллизации отливки давление инертного газа снимается, металл из литника

стекает в тигель, литейная форма раскрывается и из нее извлекают отливку.

2.2.7.4.1.3 Литье намораживанием

Литье намораживанием применяют для изготовления труб с внутренними и наружными ребрами и других сложных профилей из малопластичных сплавов. На поверхность расплавленного металла помещают плиту из огнеупорного материала, в которой имеется отверстие требуемого профиля будущего литого изделия. Внутри отверстия вводят затравку, к которой приваривается металл. При вытягивании затравки со скоростью, не превышающей скорости кристаллизации металла, из отверстия плиты извлекается заготовка соответствующего профиля так как за счет сил поверхностного натяжения на границе жидкость – твердое тело создается небольшое разрежение, а за счет атмосферного давления жидкость втягивается за вытягиваемым твердым телом.

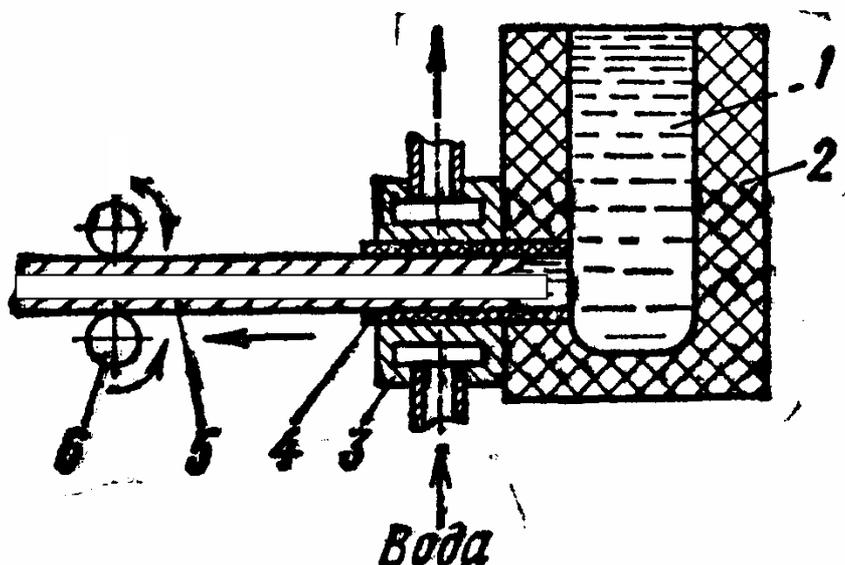
На этом принципе основано производство листового стекла.

Литье непрерывное и полунепрерывное применяют для изготовления различного профиля (круглого, квадратного, прямоугольного, шестигранного и др.) с поперечным размером (диаметром) до 1000 мм из железоуглеродистых и цветных сплавов.

2.2.7.4.1.4 Непрерывное литье

Процесс непрерывного литья заключается в том, что жидкий металл поступает в кристаллизатор и из него отливка непрерывно вытягивается тянущим устройством.

Непрерывное литье осуществляют на установках вертикального или горизонтального типов (рисунок 34).



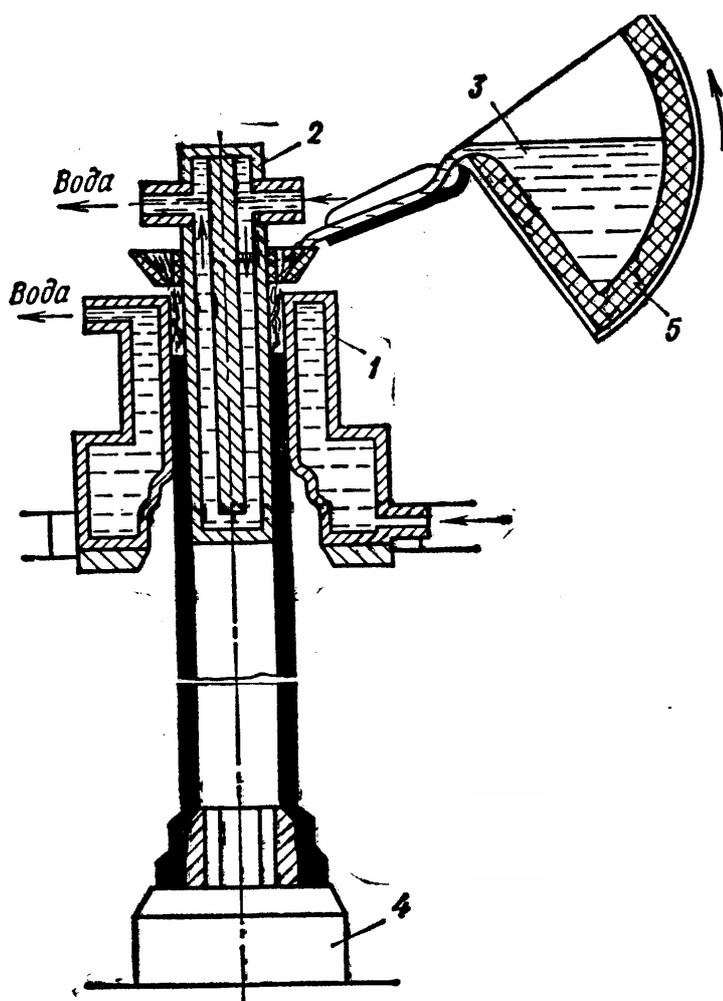
1 – расплав; 2 – металлоприемник; 3 - водо-охлаждаемый кристаллизатор;
4 - графитовая вставка; 5 – заготовка; 6 - тянущее устройство (валки)

Рисунок 34 - Схема установки непрерывного литья

Расплав 1 заливают в металлоприемник 2, откуда под действием гидростатического напора он поступает в водо-охлаждаемый кристаллизатор 3 с графитовой вставкой 4. Применение графита обусловлено тем, что он обладает высокой теплопроводимостью и термостойкостью, достаточной прочностью при высоких температурах и низким коэффициентом теплового расширения, плохо смачивается расплавленным металлом и не требует смазки. Кристаллизатор легко отделяется от металлоприемника, что позволяет быстро переналаживать установку на любой профиль. Из кристаллизатора заготовка 5 непрерывно вытягивается тянущим устройством 6, а кристаллизатор постоянно заполняется жидким металлом. Таким образом, процесс литья может протекать непрерывно. Металлоприемник выполняет роль постояннодействующей прибыли, что способствует получению плотной и качественной заготовки.

2.2.7.4.1.5 Полунепрерывное литье

Полунепрерывным способом получают крупные чугунные трубы на вертикальных установках. Металл заливают в зазор между водоохлаждаемой формой кристаллизатора и стержнем на так называемое «ложное дно», по мере кристаллизации оно (ложное дно) с отливкой медленно (со скоростью от 0,9 до 3,0 мм/мин) опускается. Так получают труба длиной до 10 м. Схема вертикальной установки для полунепрерывного литья показана на рисунке 35.



1 - кристаллизатор (литейная форма); 2 - пустотелый (охлаждаемый водой) стержень; 3 - жидкий сплав; 4 - ложное дно-затравка; 5 – ковш

Рисунок 35 - Схема установки полунепрерывного литья

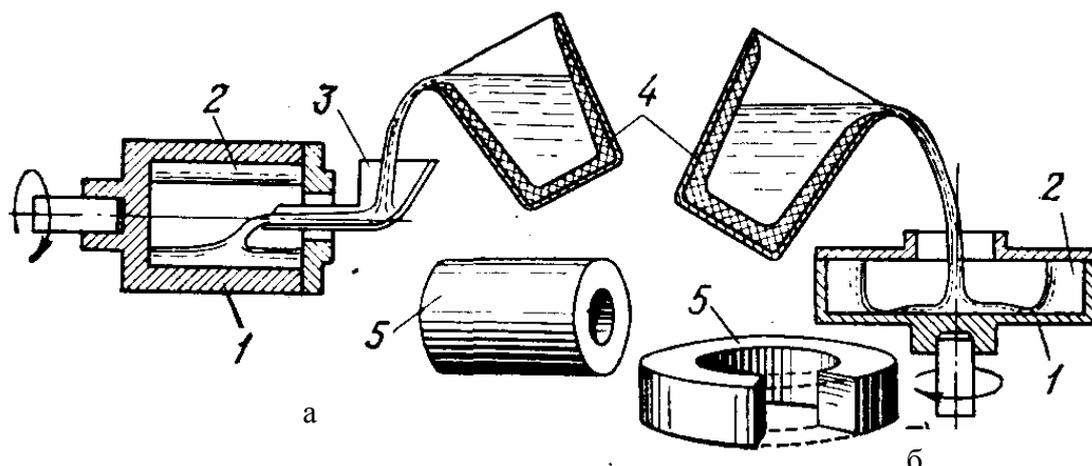
Расплавленный металл при температуре до 1300 °С заливают в пустотелый охлаждаемый водой кристаллизатор 1, выполняющий функции литейной формы, внутрь которого вставлен стержень 2, также пустотелый и охлаждаемый водой. Между внутренней стенкой формы-кристаллизатора 1 и стержнем 2 образуется зазор, в который заливается жидкий сплав 3 из ковша 5. Для начала процесса литья в зазор между формой и стержнем перед заполнением его металлом вводят ложное дно - затравку 4. Затравка соединяется с расплавленным металлом и по мере кристаллизации сплава постепенно со скоростью от 1 до 3 м/мин извлекается из кристаллизатора. Вытягивание затравки и соединившейся с ней отливки осуществляется приводными валками или столом, на котором была закреплена затравка. Диаметр труб достигает 1000 мм, а их длина до 10 м.

2.2.7.4.1.6 Центробежное литье

Центробежным литьем, как правило, получают отливки, представляющие собой тела вращения (штулки, трубы, диски). Расплав, заливаемый во вращающуюся форму, центробежными силами плотно прижимается к

внутренним стенкам формы и воспринимает ее конфигурацию. Формы могут вращаться вокруг горизонтальной, вертикальной и наклонной осей. Наиболее распространены машины с горизонтальной осью вращения. Центробежные силы не только распределяют жидкий металл в форме, но и способствуют перемещению на внутреннюю поверхность отливки более легких, чем сплав, шлаковых и газовых включений. Отливка получается более чистой и плотной.

Для получения втулок применяют машины с вертикальной, а труб - с горизонтальной осью вращения (рисунок 36).



а – с горизонтальной; б – с вертикальной осью вращения
 1 - вращающаяся форма; 2 – расплавленный металл;
 3 – металлоприемник; 4 – ковш; 5 – отливка

Рисунок 36 – Схема центробежного литья на различных машинах

Определенную дозу расплава из ковша 4 заливают во вращающуюся (с частотой от 200 до 1400 об/мин) форму 1 через металлоприемник 3. Под действием центробежных сил металл 2 отбрасывается к стенкам формы. Форма вращается до тех пор, пока расплав не затвердеет, затем отливку 5 извлекают из формы. Перед каждой заливкой внутреннюю полость формы покрывают противопригарной краской или присыпкой. Центробежным способом можно получать биметаллические отливки, заливая в форму разнородные расплавы.

Преимуществом центробежного литья является получение отливок без литниковых систем. Отливки имеют плотную, мелкозернистую структуру

Центробежное литье образует внутри цилиндрическое пространство, ограниченное свободной поверхностью, что не требует использования стержней. Этим способом изготавливаются отливки, имеющие форму тела вращения (преимущественно), следует учитывать, что если ось вращения расположена горизонтально, то металл распределяется равномерно, и толщина стенок отливки одинакова, а если ось вращения вертикальная, то внутренняя поверхность параболическая. Разновидностью центробежного литья является центрифугирование. Им получают мелкие отливки различных конфигураций. Центробежным литьем с горизонтальной осью вращения получают

цилиндрические заготовки массой до 45 т. Этим способом изготавливают чугунные трубы для водопровода и канализации диаметром от 100 до 1000 мм и длиной от 4 до 10 м. На машинах с вертикальной осью вращения получают заготовки небольшой высоты — бандажи, зубчатые обода.

В машинах с вертикальной осью вращения (рисунок 36 б) расплавленный металл из ковша 1 заливают во вращающуюся форму 2 с частотой вращения до 500 об/мин. Растекаясь по дну формы, металл увлекается центробежными силами прижимается к боковой цилиндрической стенке, образуя вокруг нее кольцевой слой 3. Форма вращается до полного затвердевания металла, после чего форму останавливают и из нее извлекают отливку.

2.2.7.4.2 Характеристика специальных видов литья

Общей особенностью специальных видов литья является экономия металла, которая численно выражается в ЛП двумя коэффициентами: коэффициентом выхода годного - процентным отношением массы отливок к массе залитого в форму металла и коэффициентом использования заготовок - отношением массы детали к массе отливки. При специальных видах литья эти коэффициенты выше, чем при литье в обычные песчаные формы (экономия до 15 %). Однако сами специальные виды литья дороже обычного литья, но, учитывая экономию при механической обработке отливок, в целом, стоимость деталей снижается. Однако, рекомендовать тот или иной способ изготовления детали можно лишь после учета технологичности конструкции детали и сопоставления всей совокупности затрат применительно к конкретным условиям производства данной детали.

2.2.7.5.3 Очистка и обрубка отливок

Отливки очищают от остатков форм и от окалины, которая образуется при термообработке. Способы очистки отливок очень разнообразны и их выбор зависит от характера производства, применяемых сплавов и вида литейных форм. Основными видами очистки являются: очистка в галтовочных барабанах; дробеметная очистка (в барабанах непрерывного действия и различных камерах периодического действия); гидроочистка с добавлением песка в жидкость; электрогидравлическая очистка (на основе электрогидравлического эффекта, т.е. энергии гидравлического удара), возникающей при электрическом разряде высокого напряжения в жидкости; ультразвуковая очистка мелких отливок в жидкостной ванне с добавлением абразивного материала; электрохимическая очистка отливок в расплаве солей.

После очистки отливок от формовочной смеси с них обрубывают остатки литниковых систем, заливы металла и заусенцы. Для этого применяют пневматические инструменты, зубила, молотки, кувалды. Окончательную зачистку поверхностей отливок осуществляют шлифовальными кругами.

Отливки, полученные в металлических формах (непрерывное, полунепрерывное и центробежное), что используют при изготовлении труб, не требуют очистки и обрубки.

3 Разрезка труб и проката

3.1 Разрезка металлов

В зависимости от формы и размеров материала заготовок или деталей разрезание при обработке металла осуществляют с помощью механизмов, ручного или механизированного инструмента, обработкой давлением или плавлением: на станках резцами, фрезами или абразивными кругами, ручными и электрическими ножницами, ручными или пневматическими ножовками, труборезами, за счет плавления при пропускании электрического тока или пламенем газовых горелок.

Сущность операции разрезания металла заключается в разделении металла на части под давлением двух движущихся навстречу друг другу клиньев (режущих ножей), зубьев пилы или за счет искры (рисунок 37).

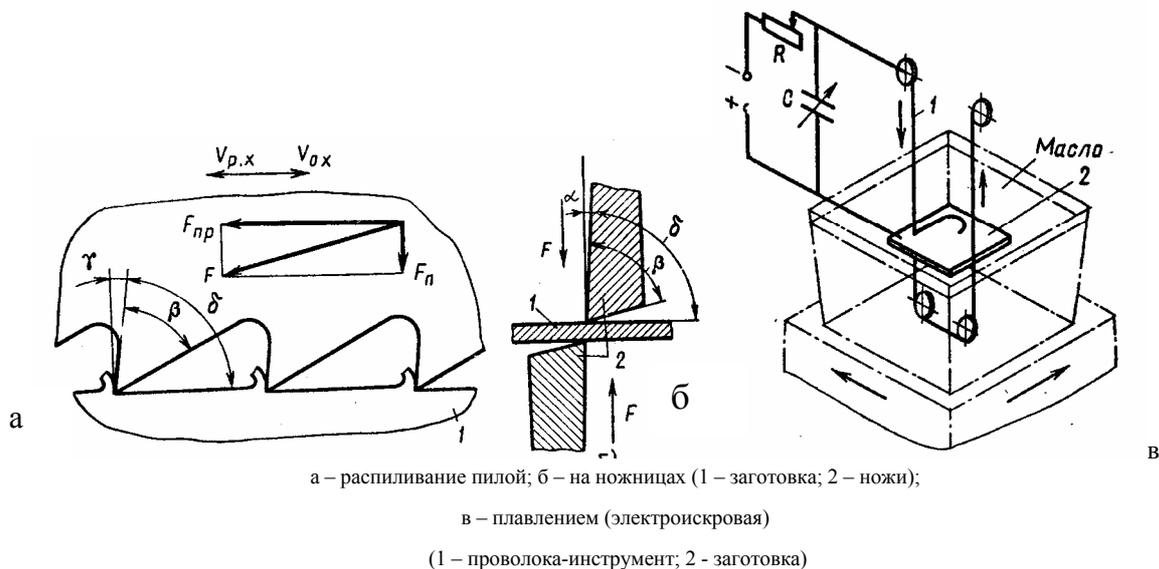


Рисунок 37 - Виды разрезки металлов

Способ получения заготовок из труб или проволоки зависит от профиля исходного материала и требований к качеству среза заготовок. Трубу или проволоку можно разрезать как на специальных ножницах, так и в штампах (на прессах и пресс-автоматах) путем сдвига с зажимом и кручением.

Разрезание заготовок пилами или на токарном одношпиндельном или многошпиндельном станке не экономично (себестоимость по сравнению с разрезанием в штампе повышается в 6 раз). При массовом производстве деталей экономически целесообразно получать заготовки обработкой давлением. Производительность этих процессов достигает нескольких тысяч заготовок в час. Недостатком такого реза является низкое качество торцов.

Разрезку труб на мерные длины при получении на трубопрокатном стане производят на ходу специальным автоматическим разрезным станком.

3.1.1 Разрезка на металлорежущих станках

Существуют классификации по отдельным признакам и по комплексу признаков. В качестве таких признаков принимают технологический метод обработки, назначение, степень автоматизации, число главных рабочих органов, особенности конструкции, точность изготовления, массу и т. д. Классификацию по технологическому методу обработки проводят в соответствии с такими признаками, как вид режущего инструмента, характер обрабатываемых поверхностей и схема обработки. Все станки делят на токарные, сверлильные, шлифовальные, полировальные и доводочные, зубообрабатывающие, фрезерные, строгальные, разрезные, протяжные, резьбообрабатывающие и т. д. Классификация по назначению характеризует степень универсальности станка.

Различают станки универсальные, широкого применения, специализированные и специальные. На универсальных станках выполняют самые разнообразные виды работ, используя заготовки многих наименований. Примерами таких станков являются токарно-винторезные, горизонтально-фрезерные консольные и др. Станки широкого назначения предназначены для выполнения определенных видов работ на заготовках многих наименований (многорезцовые, токарно-отрезные станки и т. д.). Специализированные станки предназначены для обработки заготовок одного наименования, но разных размеров (например, станки для обработки коленчатых валов). Специальные станки выполняют определенный вид работ на одной определенной заготовке.

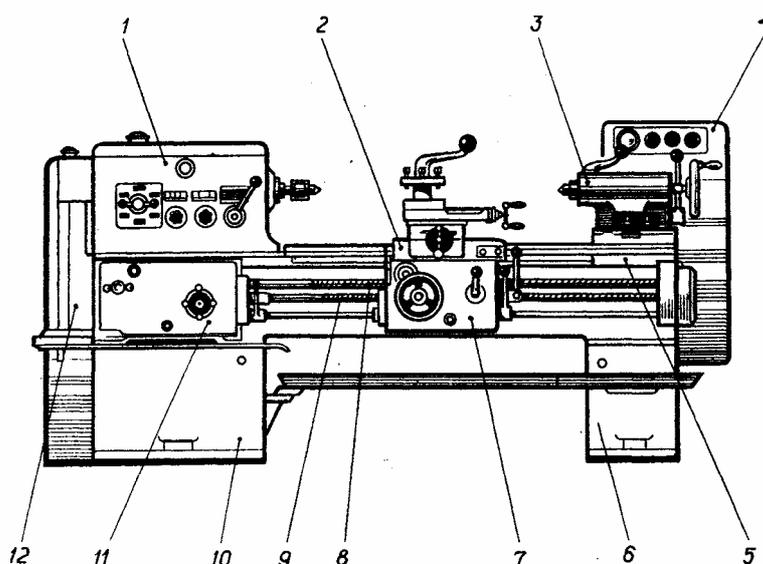
По степени автоматизации различают станки с ручным управлением, полуавтоматы, автоматы и станки с программным управлением. По числу главных рабочих органов станки делят на одношпиндельные, многошпиндельные, одно-суппортные, многосуппортные и т. д. Классификация по конструктивным признакам выделяет станки с существенными конструктивными особенностями (например, вертикальные и горизонтальные токарные полуавтоматы). Классификация по точности устанавливает пять классов станков: Н — нормальной, П — повышенной, В — высокой, А — особо высокой точности и С — особо точные станки.

Классификация по комплексу признаков наиболее полно отражается в общегосударственной Единой системе условных обозначений станков (табл. 2). Она построена по десятичной системе: все металлорежущие станки разбиты на десять групп, каждая группа — на десять типов, а каждый тип — на десять типоразмеров. В группу объединены станки по общности технологического метода обработки или близкие по назначению (например, сверлильные и расточные). Типы станков характеризуют такие признаки, как назначение, степень универсальности, число главных рабочих органов, конструктивные особенности. Внутри типа станки различают по техническим характеристикам.

3.1.1.1 На токарно – винторезных станках

Токарные станки предназначены для обработки валов, втулок, дисков, фланцев и т.д. Станки делят на универсальные и специализированные. Универсальные станки подразделяют на токарно-винторезные и токарные. На токарно-винторезных станках выполняют обработку наружных и внутренних цилиндрических, конических, фасонных и торцевых поверхностей, нарезание наружной и внутренней резьбы, отрезку торцов, прорезку канавок, сверление, зенкерование и развертывание отверстий. На токарных станках выполняют указанные выше операции за исключением нарезания резьбы резцами. На специализированных токарных станках выполняют технологические операции для определенного типа деталей, например, дисков, фланцев, втулок и т.п.

Они предназначены для наружного и внутреннего точения, нарезания правой и левой однозаходной и многозаходной резьбы с нормальным и увеличенным шагом, торцевой резьбы в единичном и мелкосерийном производстве. Вид станка и отрезки заготовки показаны на рисунках 38 и 39.



1 — передняя бабка; 2 — суппорт; 3 — задняя бабка; 4 — электропусковая аппаратура; 5 — станина; 6 и 10 — тумбы; 7 — фартук; 8 — ходовой винт; 9 — ходовой вал; 11 — коробка подач; 12 — гитары сменных шестерен

Рисунок 38 - Вид токарно–винторезного станка 16K20

На станине 1 установлены передняя бабка 3 и коробка подач 2, на направляющих станины 9 –каретка 6 с фартуком 7 и поперечным суппортом 4 с резцедержателем, справа – задняя бабка 5 . В передней бабке размещена коробка скоростей со шпинделем, а на ее панели-органы управления. Продольная и поперечная подача каретки и суппорта осуществляется от механизмов, расположенных в фартуке и получающих движение от ходового

вала 10 при точении или ходового винта 8 при нарезании резьбы. В нижней части станины снабжена корытом для сбора стружки и охлаждающей жидкости.

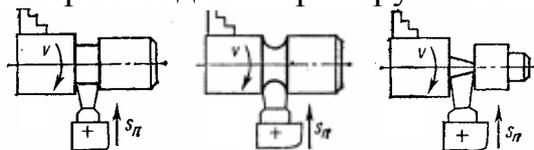
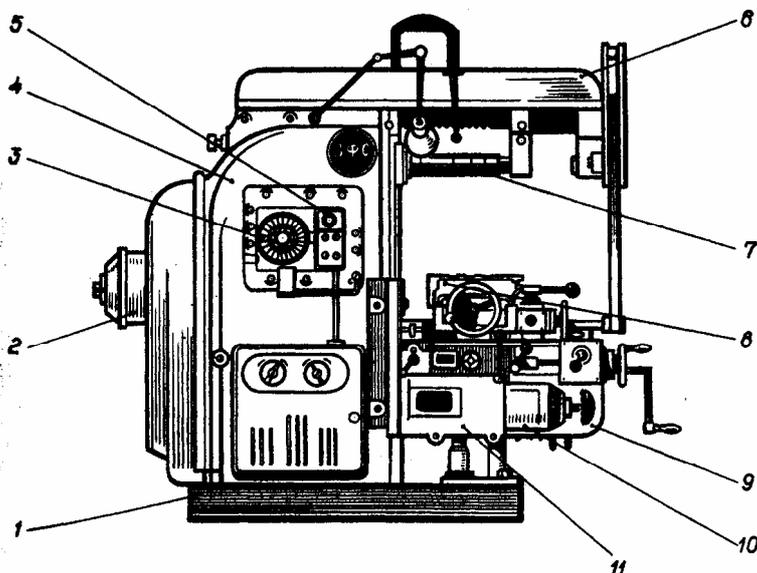


Рисунок 39 – Отрезка заготовки на токарном станке отрезным резцом

3.1.1.2 На горизонтально-фрезерном станке 6Р82Г

Особенностью горизонтально-фрезерного станка 6Р82Г является горизонтальное расположение шпинделя и возможность перемещения стола в трех взаимно перпендикулярных направлениях. Вид станка показан на рисунке 40, а отрезка заготовки – на 41.



1 - рама; 2 - электродвигатель привода шпинделя; 3 - коробка скоростей; 4 - станина; 5 - пусковая панель; 6 - хобот; 7 - шпиндель для крепления дисковой фрезы; 8 - стол; 9 - коробка подач; 10 - панель привода подач; 11- консоль

Рисунок 40 - Горизонтально-фрезерный станок 6Р82Г

На фундаментной плите жестко установлена станина с вертикальными направляющими, по которым перемещается консоль с коробкой подач и механизмом ее переключения. На поперечных направляющих консоли установлены салазки, по продольным направляющим которых перемещается стол. В верхней части станины на направляющих установлен хобот, на котором размещают кронштейны дополнительной опоры шпиндельной оправки.

Техническая характеристика. Рабочая поверхность стола 1250 x 320 мм; наибольшие перемещения стола продольное 800, поперечное 250, вертикальное 380 мм; пределы частот вращения шпинделя от 31,5 до 1600 мин; пределы подач:

продольные и поперечные от 25 до 1250, вертикальные от 8,3 до 416 мм/мин; размеры станка 2305х 1950х 1680 мм; масса 2830 кг.

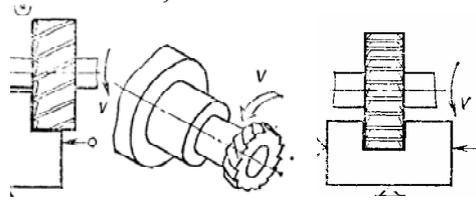


Рисунок 41 – Отрезка заготовки на фрезерном станке дисковыми фрезами

3.1.1.3 Абразивными материалами

Абразивные материалы — это мелкозернистые порошковые вещества (химические соединения элементов), которые используют для изготовления абразивных инструментов (шлифовальных кругов). Зерна абразивных инструментов представляют собой синтетические материалы или природные минералы. В промышленности применяют в основном искусственные абразивные материалы: электрокорунды, карбиды кремния, карбиды бора, оксид хрома, синтетические алмазы, борсилокарбид, славутич, эльбор, гексагонит и др. Из природных минералов применяют алмаз, кварц, корунд, кремний, гранат. К синтетическим материалам относятся нормальный электрокорунд (Э), белый электрокорунд (ЭБ), монокорунд (М), зеленый карбид кремния (КЗ) и черный карбид кремния (КЧ), карбид вора, борсиликокарбид, хромистый электрокорунд (ЭХ), титанистый электрокорунд (ЭТ). Главной особенностью абразивных материалов является их высокая твердость. Естественные абразивные материалы (кварцевый песок, корунд) применяют ограниченно из-за неоднородности свойств. Отрезка заготовок абразивным кругом показана на рисунке 42.

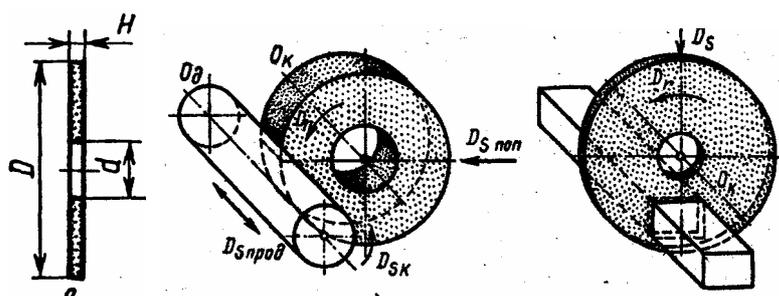
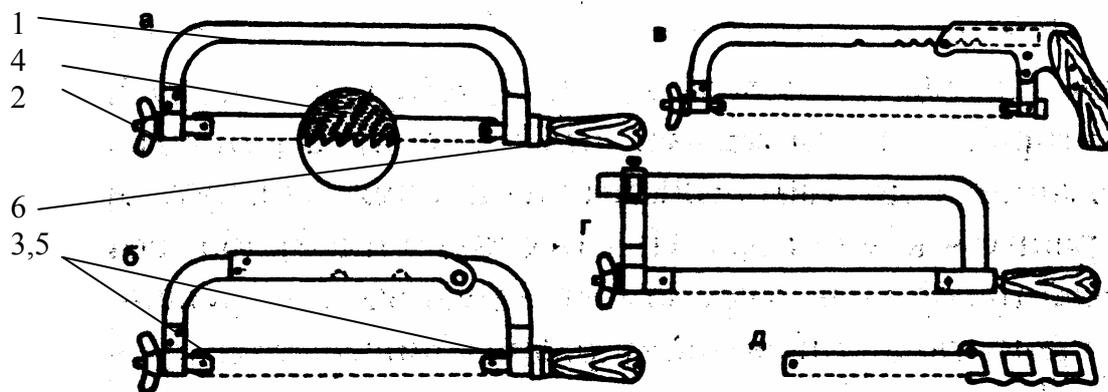


Рисунок 42 - Форма сечения шлифовального дискового круга и отрезка заготовок абразивным кругом

Абразивные материалы имеют высокие твердость, красностойкость от 1800 до 2000 °С и износостойкость. Инструменты из абразивных материалов позволяют обрабатывать детали со скоростью резания от 15 до 100 м/с.

3.1.2 Разрезка пилами

Ручная ножовка (рисунок 43 а) применяется для разрезания сравнительно толстых листов металла и круглого или профильного проката. Ей производят также прорезание шлицев, пазов, обрезку и вырезку заготовок по контуру.



а — цельная; б — раздвижная; в -- усовершенствованной конструкции;
г — с передвижным держателем; д — для мелких работ и работы в стесненных условиях

1 - рамка; 2 - натяжной винт с барашковой гайкой; 3 – головки с прорезьями;
4 - ножовочное полотно; 5 – штифты; 6 - рукоятки

Рисунок 43 - Ручная слесарная ножовка (станок)

Она состоит из рамки 1, натяжного винта с барашковой гайкой 2, рукоятки 6, ножовочного полотна 4, которое вставляется в прорези головок 3 и крепится штифтами 5.

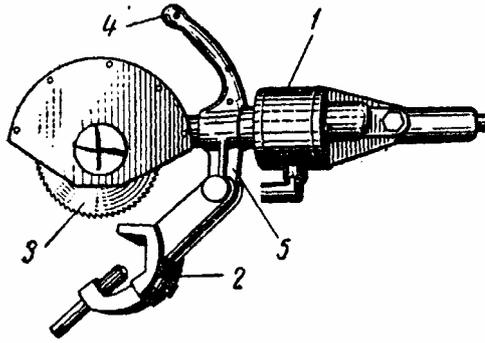
Ножовочные рамки изготовляют двух типов: цельные (для ножовочного полотна одной определенной длины) и раздвижные (можно закреплять ножовочные полотна разной длины).

Ножовочное полотно (режущая часть ножовки) представляет собой тонкую и узкую стальную пластину с зубьями на одном из ребер. Его изготовляют из инструментальной или быстрорежущей стали. Длина наиболее распространенных ножовочных полотен составляет 250 и 300 мм. Каждый зуб полотна имеет форму клина (резца). На нем, как и на резце, различают задний угол α , угол заострения ρ , передний угол γ и угол резания β .

При насечке зубьев учитывают то, что образующаяся стружка должна помещаться между зубьями до их выхода из пропила. В зависимости от твердости разрезаемых материалов углы зуба полотна могут быть: $\gamma =$ от 0 до 12° , $\rho =$ от 43 до 60° и $\alpha =$ от 35 до 40° .

Для разрезания более твердых материалов угол заострения ρ делают больше, для мягких — меньше. Чтобы ширина разреза, сделанного ножовкой, была немного больше толщины полотна, выполняют разводку зубьев. Это предотвращает заклинивание полотна и облегчает работу.

Производительность труда повышается при использовании пневматической (рисунок 44) или механической приводной ножовки (рисунок 45), а также дисковой пилы (рисунок 46).

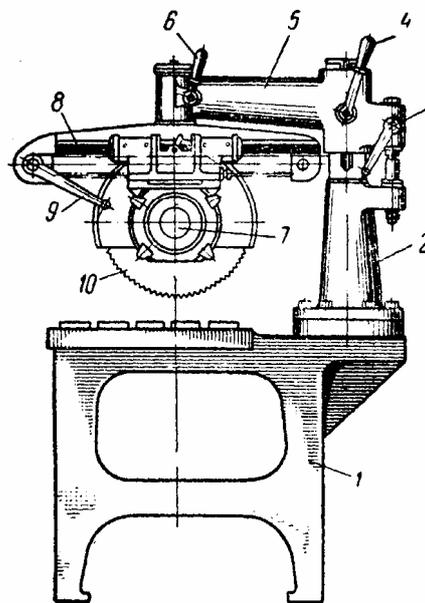


1 – редуктор; 2 - специальный зажим для закрепления трубы; 3 - специальная дисковая фреза; 4 – рукоятка; 5 - хвостовик

Рисунок 44 - Пневматическая пила

Пневматическая пила применяется для разрезки труб непосредственно на месте сборки трубопроводов. Пила имеет редуктор 1, червячное колесо которого смонтировано на одной оси со специальной дисковой фрезой 3. Закрепляется труба специальным зажимом 2, который установлен на хвостовике 5. Зажим крепится шарнирно к рукоятке 4.

Дисковые пилы делятся на универсальные (рисунок 45), маятниковые и пилы трения.

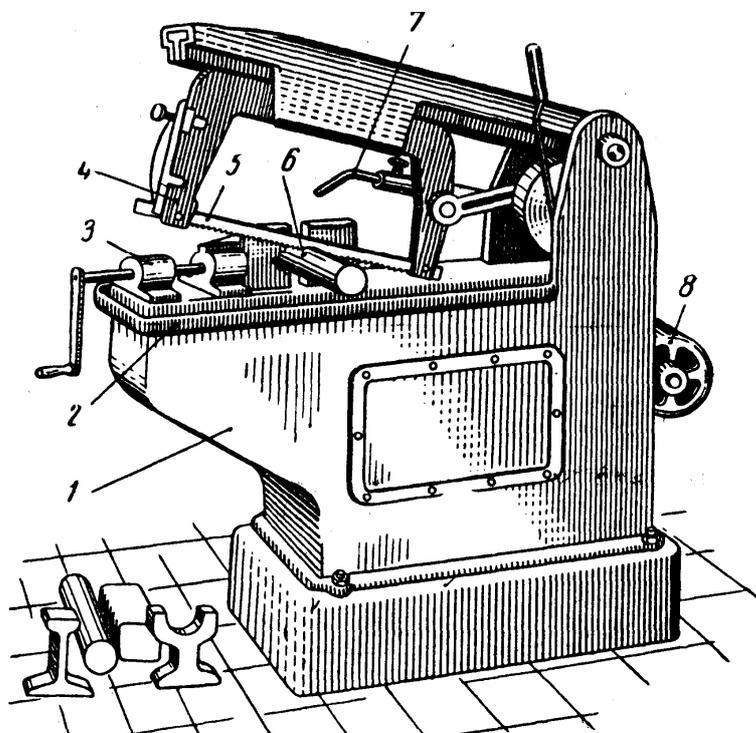


1 - чугунная станина; 2 - вертикальная колонка; 3, 4, 6 и 9 – рукоятки; 5 - поворотный кронштейн; 7 – вал электродвигателя; 8 – направляющие; 10 - режущий диск

Рисунок 45 - Универсальная дисковая пила

Универсальной дисковой пилойрезают профильный металл различных сечений под любым углом, выполняют продольные разрезы, надрезы или вырезы. На станине 1 пилы укреплен вертикальный стол 2 на котором смонтирован поворотный кронштейн 5 с направляющими 8. по направляющим перемещается электродвигатель, на валу 7 которого установлен режущий диск 10. Кронштейн можно поворачивать вокруг колонки и опускать или поднимать на необходимую высоту. Подача электродвигателя и установка режущего диска осуществляется поворотом рукояток 3, 4, 6 и 9 в зависимости от профиля и размера разрезаемого материала.

Механическая приводная ножовка (рисунок 46) работает по принципу возвратно-поступательных перемещений полотна ножовки, как в ручной, но перемещение станка с полотном ножовки осуществляется без применения ручной силы.



- 1 – станина; 2 – стол; 3 - машинные тиски для закрепления заготовки;
 4 - рамка для крепления ножовочного полотна; 5 - ножовочное полотно;
 6 – заготовка; 7 – трубопровод для подачи охлаждающей жидкости ;
 8 - электродвигателя

Рисунок 46 - Механическая приводная ножовка

Для резки профильного проката (прутка, квадрата, уголка, швеллера) и листов, а также пробивки отверстий применяют пресс ножницы.

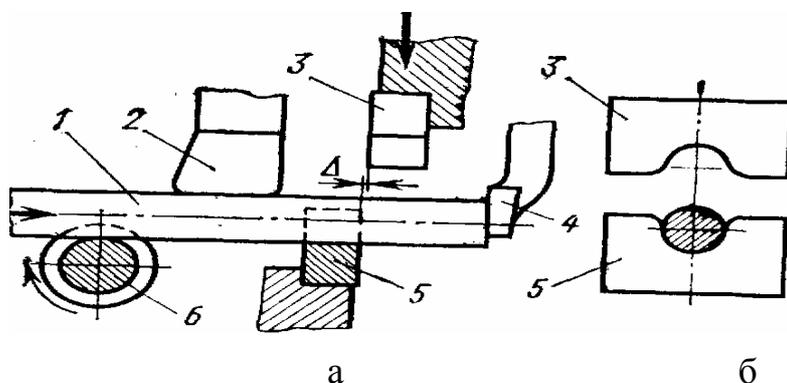
3.1.3 Разделка проката операциями обработки давлением

Известно много способов разделки проката на мерные заготовки, в том числе, такие как газопламенная резка, резка фрезами, резцами и пилами, как на специальном, так и на универсальном оборудовании, плазменная и лазерная резка, электроискровая и анодно-механическая резка и резка на установках взрывного типа, ломка в холодном состоянии.

В отличие от типовых операций ОД пластическим деформированием, разделительные операции основаны на потере устойчивости материала. Протекают эти процессы с нарушением прочностных свойств и представляют собой неравномерный процесс с ярко выраженной локализацией очага деформации. Все схемы резки сдвигом характеризуются искажениями торцов заготовок, разница заключается лишь в величинах искажений и в степени подверженности им различных материалов. Резку сдвигом осуществляют на ножницах, на специальных или универсальных прессах. Существует несколько схем резки сдвигом: свободная резка, во втулках и в штампах. Наиболее распространенным методом получения заготовок из сортового проката является резка сдвигом на пресс-ножницах.

3.1.3.1 Резка проката на ножницах

Разделку проката на мерные заготовки преимущественно осуществляют в заготовительном отделении кузнечно-штамповочных цехов резкой на ножницах. Такая резка обеспечивает малоотходное разделение проката, высокую производительность и большую стойкость сменного инструмента. Схема свободной резки проката сдвигом на ножницах показана на рисунке 47.



1 – прокат; 2 - прижим; 3 - подвижный нож; 4 - упор;
5 - неподвижный нож; 6 – рольганг

Рисунок 47 – Схема свободной разрезки сдвигом на ножницах

Рабочими деталями ножниц являются верхний и нижний ножи, упор, прижим и рольганг. В исходном положении подвижной нож 2 находится над разрезаемым прутком, так что для подачи на отрезку очередной заготовки пруток 5 свободно перемещается между подвижным 2 и неподвижным ножом 4 до упора 3, фиксирующего заданную длину заготовки.

Вид ножниц для разрезки проката показан на рисунке 48, а ножей используемых для разрезки на рисунке 49 и их подразделяют на одно ручьевые и много ручьевые, цельные, составные и со сменными вставками.

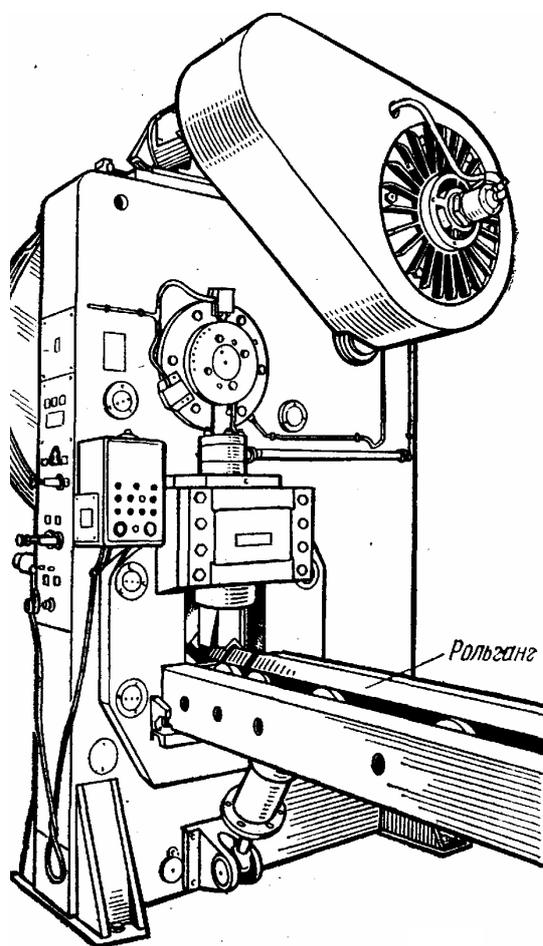
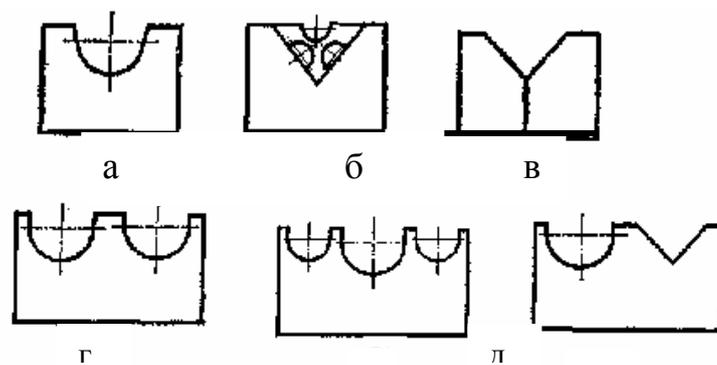


Рисунок 48 – Вид пресс ножниц с рольгангом
для разделки проката на мерные заготовки

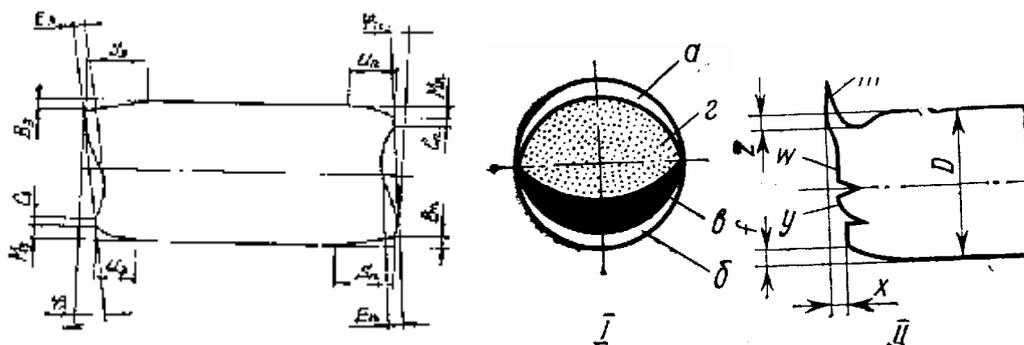


а - целые; б - со сменными вставками; в - составные; г – одинаковые по размерам и форме; д, е - разные по размерам и форме

Рисунок 49 - Виды ножей применяемых при разрезке на ножницах

Так как процесс разрезки является нестационарным, его рассматривают с учетом различных стадий. Сдвиговая разрезка металла происходит в три стадии: упругой деформации, пластической деформации и скола. В момент надавливания на пруток в нем возникают упругие деформации, которые стремятся повернуть и изогнуть его, в результате чего каждый из ножей касается прутка только частью своей поверхности и в этих частях происходит сжатие прутка и внедрение в него ножей. Рабочие кромки ножей соответствуют профилю и размерам сечения разрезаемого прутка. При внедрении в пруток режущих кромок образуются утяжки в зоне врезания ножей. Рабочие поверхности ножей стремятся опрокинуть пруток. Для удержания прутка от опрокидывания на ножницах, со стороны неподвижного ножа на некотором расстоянии от него, устанавливается прижим. Со стороны подвижного ножа противодействия опрокидыванию нет и поэтому, отрезаемая часть отгибается, на заготовке образуется скос и вмятина от ножа.

Когда усилие резания достигает максимума, в местах контакта с режущими кромками ножей возникают скалывающиеся трещины. При достижении максимально возможной, для данной марки стали, величины внедрения ножей, образуются встречные трещины, сначала со стороны нижнего, а затем и верхнего ножей, иногда их называют опережающими трещинами. При нормальной величине зазора нижние и верхние трещины сходятся, образуя сплошную криволинейную поверхность скола (зона в) и заготовка отделяется от прутка.. Скол характеризуется углами $\varphi_{п}$ и $\varphi_{з}$, причем $\varphi_{п} > \varphi_{з}$ из-за того, что на сжатие сверху действуют две силы сила прижима и сила реза. Нарушение величины зазора приводит к браку. На рисунке 50 схематично показаны искажения торцов заготовок, отрезаемых сдвигом



I — при нормальном зазоре, а — зона смятия металла, б — зона утяжки металла, в — зона внедрения ножей и среза металла (блестящий пояс),
 z — зона скола металла от развивающихся трещин

II — дефекты торца заготовки при увеличенном зазоре; вследствие неправильно выполненной разрезки; у — торцовые трещины, скол, вырыв со сколом материала, m — заусенец, f - большая утяжка x — косина среза, превышающая установленную норму, z — большое смятие,

Рисунок 50 - Вид отрезанной заготовки и характерные зоны на торцах отрезанной заготовки

При малом зазоре, образуется козырьки на срезанной поверхности. При штамповке из таких заготовок на поковках образуются складки. Большой зазор вызывает большую утяжку и заусенец. Браком при разрезке также может быть большой скол, вырыв и поперечные трещины по месту скола.

Практикой установлена величина зазора между ножами при разрезке различного проката (таблица 1). Из нее следует, что нормальный зазор должен составлять от 2 до 4 % толщины разрезаемого металла.

Таблица 1 - Величина зазора между ножами при разрезке проката на ножницах

Диаметр круга или сторона квадрата, мм	До 50	51-80	81-100	101-120	121-150
зазор, мм	До 1,0	1-2,5	1,5-2,5	2,5-3,5	3,5-5
%	2	2	2-2,5	2,5-3	3-3,5

Фактический зазор между ножами составляет от 5 до 6 % при разрезке проката диаметром примерно 100 мм.

Усилие отрезки заготовок от прутка определяют по формуле:

$$P = k \cdot F_{cp} \cdot \sigma_{cp} \text{ или } P = 1,4 F_{cp} \cdot \sigma_{cp},$$

где P – усилие, МН,
 k - коэффициент притупления режущих кромок ножей
принимается от 1,0 до 1,7;

$F_{ср}$ - площадь сечения, разрезаемого металла, m^2 ;

$\sigma_{ср}$ - максимальное сопротивление срезу (сопротивление сдвигу) МПа,
принимается от 0,7 до 0,8 предела выносливости обрабатываемого материала.

К недостаткам процесса разрезки на ножницах относят низкую точность и высокую кривизну торца среза. Это снижает коэффициент использования металла (КИМ). Для уменьшения угла скола прутки располагают под углом к ножам от 84° до 87° , а угол заострения режущих кромок ножа (верхнего) уменьшают от 3° до 6° . Но эти мероприятия проще осуществить при разрезке проката во втулках и в штампе.

3.1.3.2 Разрезка во втулках

В отличие от свободной разрезки разрезка во втулках (рисунок 51) характеризуется симметричными относительно плоскости сдвига условиями разрезки. При разрезке во втулках прутки и отрезаемая заготовка не опрокидываются благодаря замкнутым рабочим поверхностям ножей-втулок.

Это значительно улучшает качество торцов отрезанных заготовок: уменьшается скол, практически исключаются торцевые трещины при разрезке в холодном состоянии. Следовательно, с точки зрения качества отрезаемой заготовки, разрезка во втулках имеет преимущества перед свободной разрезкой.

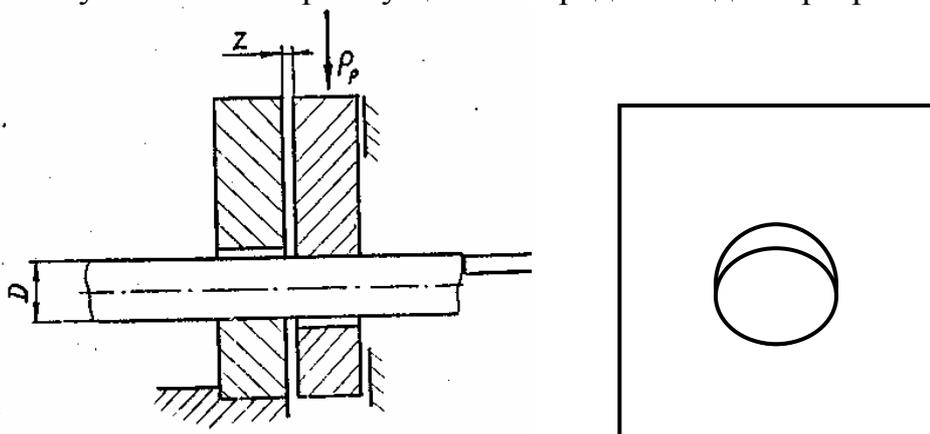


Рисунок 51- Схема разрезки проката во втулках

Однако область применения разрезки во втулках ограничена, главным образом, калиброванным прокатом. Это объясняется тем, что горячекатаный прокат имеет большие отклонения размеров сечения от номинала, поэтому рабочие отверстия во втулках должны быть значительно больше диаметра прутка. Увеличение диаметра прутка приводит к опрокидыванию отрезаемой части и при этом качество заготовок остается практически таким же, как и при свободной разрезке.

Технологические параметры разрезки во втулках как геометрические, так и силовые практически не отличаются от параметров свободной разрезки сдвигом.

3.1.3.3 Разрезка в штампах

Разрезка в штампах обеспечивает повышение точности размеров заготовки и качества реза. При разрезке прутков в штампах используют следующие схемы:

а) разрезка закрепленного прутка с образованием естественного скола в результате образования опережающих сколов;

б) разрезка радиально закрепленного прутка в отрезных штампах;

в) разрезка прутка при осевом сжатии.

Наилучшие результаты получаются при разрезке по последней схеме, так как обеспечивается пластический сдвиг части прутка относительно всего прутка, без образования опережающих сколов.

К недостаткам данного способа кроме сложности осуществления следует отнести повышение энергетических затрат. Перспективность применения сдвигового процесса в том, что он обеспечивает точность заготовки не только по длине, но и по поперечным размерам, то есть, обеспечивает дозирование металла по массе, кроме того, качественная разрезка металла в штампе происходит при относительной длине

$$\frac{L_0}{D_0} = \text{от } 0,5 \text{ до } 0,6$$

и даже до 0,3, в то время как при разрезке на ножницах она составляет $\gt 0,8$.

Усилие прессов при разрезке в штампах определяют аналогично процессу разрезки на ножницах, но вследствие большой скорости прессов их усилие увеличивают от 10 до 20 % и его определяют по формуле:

$$P_p = 1,6 F_{cp} \sigma_{cp} .$$

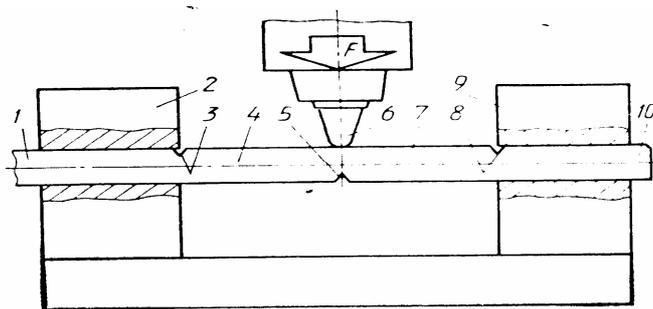
Промежуточное положение между обработкой резанием и давлением занимает ломка заготовок в холодном состоянии и труборедами.

3.1.3.4 Ломка прутков в холодном состоянии

Перед ломкой пруток размечают и надрезают. Скорость распространения трещин при наличии концентраторов напряжения (в надрезанных образцах) достигает 1000 м/с. Это приводит к тому, что предел прочности достигается раньше. Данные свойства металла используют для разделки прутков на мерные заготовки в холодном состоянии.

Усовершенствованная ломка проката осуществляется в штампе, обеспечивающем более раннее зарождение трещин. Это достигается благодаря

жесткой схеме нагрузки, сочетающей изгиб проката с растяжением нанесением надрезов с двух сторон, постоянно чередуя их (рисунок 52).



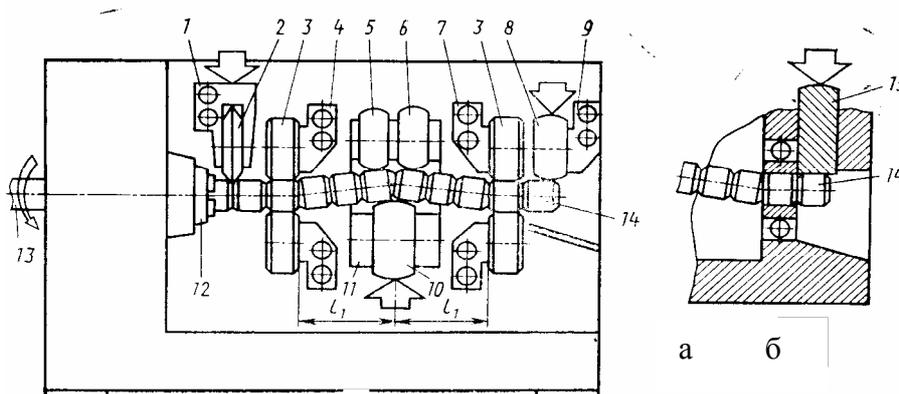
1 - пруток; 2, 9 - зажимные приспособления; 3, 5, 8 - концентраторы напряжений; 4, 7, 10 - заготовки; 6 - ударник

Рисунок 52 - Схема штампа для ломки прутка изгибом с растяжением

Пруток 1 с выполненными в нем концентраторами напряжений 3, 5, 8 закрепляют в двух зажимных приспособлениях 2, 9 и посредством ударника 6 прикладывают нагрузку в области среднего концентратора напряжений 5. При этом в заготовке по месту всех трех надрезов образуются трещины. Растягиваясь под действием приложенной силы, пруток разрушается на заготовки 4, 7 и 10 сначала в области концентратора 5, а затем и у крайних 3, 8.

Надрез прутков самая трудоемкая операция. Длина надреза составляет от 15 до 40 % длины, а его глубина от 3 до 8 % толщины заготовки. Надрезанную заготовку поворачивают на 180° устанавливают на опоры и со стороны противоположной надрезу прикладывают динамическое усилие, приводящее к разлому проката в зоне концентрации напряжения.

Для получения коротких заготовок, методом ломки в холодном состоянии, предложены варианты установки, которая позволяют получать заготовки, длиной до 0,3 диаметра. Процесс получения заготовок включает нанесение кольцевых концентраторов напряжения, пластический ротационный изгиб и окончательное отделение заготовки. Принцип работы вариантов устройства поясняет рисунок 53.



а - отделение заготовки роликом; б - отделение заготовки ножом

1 - механизм выполнения кольцевых концентраторов напряжений; 2 - дисковый нож; 3 - фиксирующие ролики; 4, 7 - опорные приспособления; 5, 6, 10 - правильно изгибающие ролики; 8 - ролик и 9 - механизм отделения заготовки; 11 - механизм изгиба; 12 - цанговый патрон; 13 - вращающийся прут; 14 - полученная заготовка; 15 - нож для сдвига заготовки

Рисунок 53 - Схема установки для получения коротких заготовок ломкой

Способ получения заготовок из труб или проката зависит от профиля исходного материала и требований к качеству среза заготовок. Трубу или прокат можно разрезать как на специальных ножницах, так и в штампах (на прессах и пресс-автоматах) путем сдвига с дифференцированным зажимом и кручением. Заготовки из труб и прутков разрезают также на дисковых пилах и на токарных станках.

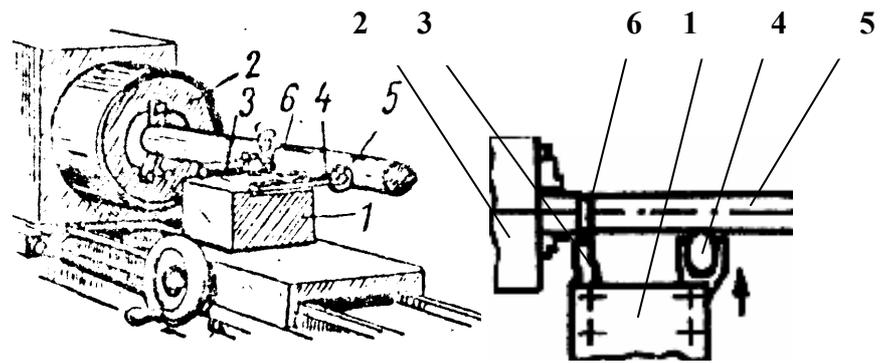
При разрезании во втулочных штампах роль матрицы и пуансона выполняют две втулки, выполненные по профилю трубы или прутка. Регулируя зазор между ножами-втулками, обеспечивают перпендикулярность торца заготовки или прутка, его оси.

Разрезание трубного или пруткового материала сдвигом с дифференцированным зажимом по обе стороны от плоскости реза обеспечивает более высокое качество получаемых заготовок. Усилие зажима прутка и отрезаемой заготовки меняется пропорционально усилию разрезания, что предотвращает искажение профиля заготовки.

Разрезание кручением заключается в проворачивании одной части трубы или прутка относительно другой, зажатой с постоянным усилием и предварительной наметкой места реза.

Разрезание заготовок на дисковой пиле или на токарном одношпиндельном или многошпиндельном станке не экономично (себестоимость по сравнению с разрезанием в штампе повышается в 6 раз).

Разновидностью метода получения заготовок холодной ломкой является их отрезка на токарном станке резцом с дополнительным воздействием рычага. Т.е. совместив операции обработки резания и давления. В резцедержателе токарного станка параллельно резцу (заточенного под углом 60°) устанавливают и зажимают державку с вращающимся стальным роликом. Оба инструмента одинаково отстоят от геометрической оси шпинделя станка (рисунок 54). Резцом прорезают в заготовке треугольную канавку — концентратор напряжения, а ролик давит на ее консольную часть.



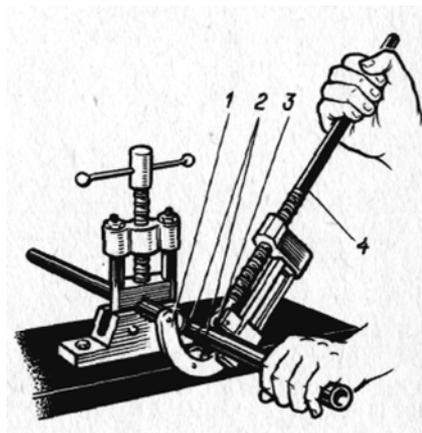
1 – резцедержатель; 2 - патрон токарного станка; 3 – резец;
4 – роликовый упор; 5 – отрезаемая заготовка; 6 - канавка

Рисунок 54 – Схема разрезания катанием

И хотя глубина канавки не превышает десятой доли миллиметра, пруток отламывается за несколько секунд. Таким способом можно разделять не только стальные трубы и прутки (сравнительно хрупкие), но и из достаточно пластичных (медных и из алюминиевых сплавов). Заготовка при этом способе подвергается знакопеременному изгибу, что существенно повышает производительность при разделке проката на мерные заготовки и исключает потери металла. При обычной разрезке в стружку уходит не менее трех миллиметров металла, обусловленных шириной отрезного резца. К тому же плоскость реза получается строго перпендикулярной продольной оси проката. При массовом производстве деталей целесообразно получать заготовки на холодновысадочных автоматах. Кроме разрезания можно осуществлять калибровку заготовок с образованием фасок. Производительность таких пресс-автоматов достигает нескольких тысяч заготовок в час.

3.1.3.5 Разрезание стальных труб труборезами

Разрезание стальных труб сравнительно больших диаметров - операция трудоемкая, поэтому для ее выполнения применяют специальные труборезы (рисунок 55).



1 – скоба; 2 - неподвижные ролики; 3 - подвижный ролик (резец); 4 - рукоятка

Рисунок 55 – Труборез

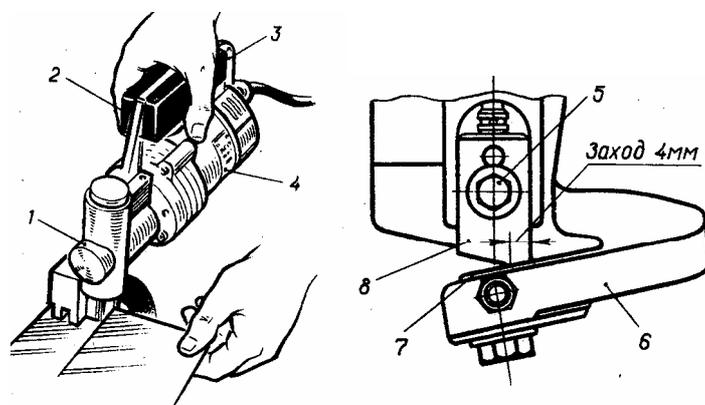
Труборез состоит из скобы 1, двух неподвижных роликов 2, подвижного ролика (резца) 3 и рукоятки 4. Труборез надевают на трубу, закрепленную в тисках или приспособлении, вращением рукоятки придвигают подвижный ролик до соприкосновения с поверхностью трубы. Затем, поворачивая за рукоятку весь труборез вокруг трубы и поджимая воротком подвижный ролик разрезают трубу.

3.2 Разрезка литов

Наряду с разрезкой круглого проката и труб широко используют разрезание листов на полосы и карты, которые затем направляют на получение труб.

Для разрезания листов (стальных толщиной 0,5—1,0 мм и из цветных металлов - до 1,5 мм) применяют ручные ножницы.

Для механизации тяжелого и трудоемкого процесса разрезания листового металла применяют электрические ножницы (рисунок 56).



1 — редуктор; 2 — выключатель; 3 — рукоятка; 4 — электродвигатель;
5 — эксцентрик; 6 — скоба; 7 — нижний нож; 8 — верхний нож

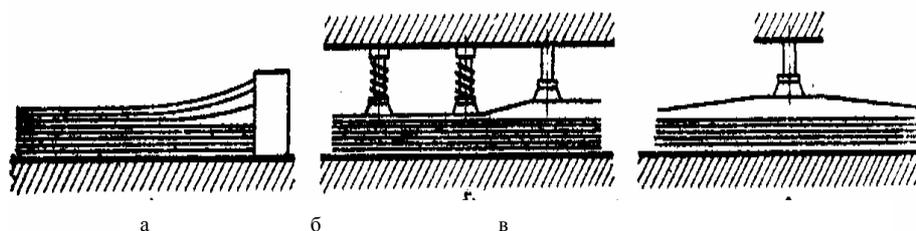
Рисунок 56 - Электрические ножницы

Электрические ножницы состоят из электродвигателя 4, редуктора 1 с эксцентриком 5 и рукоятки 3. Возвратно-поступательное движение от эксцентрика передается верхнему ножу 8. Нижний нож 7 закреплен на скобе.

3.2.1 Разрезание листов на полосы и карты

Разделительные операции листовой штамповки являются одними из

основных и, наряду, с выполнением их в отрезных штампах на прессах в штамповочных цехах разрезание листового материала на полосы или на отдельные заготовки осуществляют на различных ножницах (кривошипных гильотинных и высечных ножницах или многодисковых). В заготовительных отделениях цехов холодной штамповки устанавливают ножницы с параллельными ножами, с наклонными ножами. Для разрезания листы отделяют от стопы одним из указанных ниже способов.



а - электромагнитным распушителем; б – подвижными с укороченной присосками; в - однорядно расположенными присосками

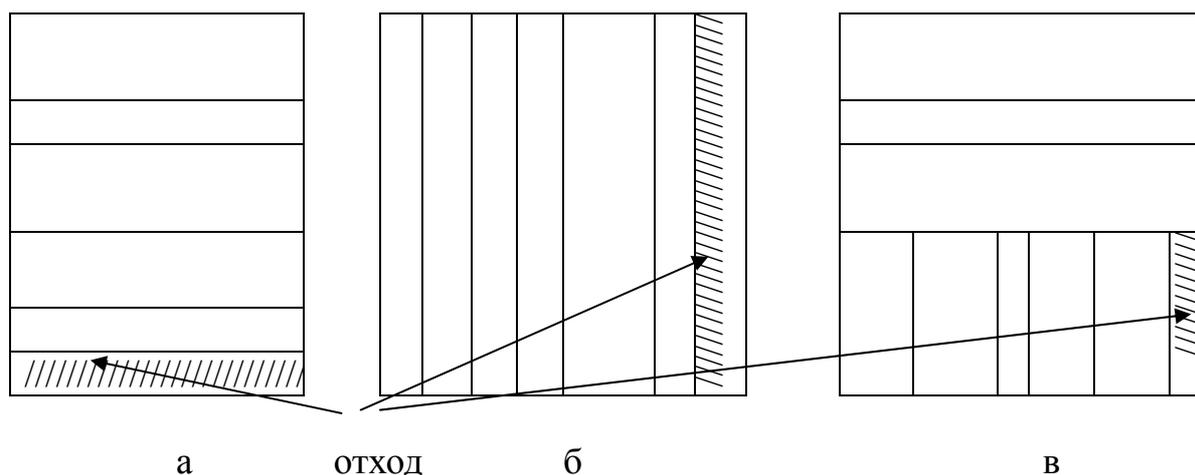
Рисунок 57 - Отделение заготовок от стопы листов

Для отделения одной заготовки из стопы листов (полос), слипающихся из-за наличия слоя смазочного материала, листо- и полосоукладчики оснащают электромагнитными распушителями (рисунок 57 а), которые одноименно намагничивают торцы листов (полос), заставляя их отталкиваться друг от друга, что обеспечивает надежное отделение верхней полосы (листа) от пачки. Кроме того, верхнюю заготовку отделяют от стопы с помощью подвижных и жестко закрепленной укороченной присосок (рисунок 57 б) (при этом конец полосы или листа приподнимается, исключая возможность слипания заготовок), а также с помощью однорядно расположенных присосок (рисунок 57 в).

Чтобы предупредить одновременную подачу двух полос (листов) полосо- и листоукладчики оснащают контролирующими устройствами, автоматически останавливающими пресс, если одновременно подаются две заготовки.

Штамповка из полосы наиболее предпочтительная штамповка в плане автоматической подачи заготовки в зону штампа и уменьшения потерь на переемычки, за счет малоотходного раскроя. Коэффициент использования металла при нем выше, чем при штамповке с отходами и составляет до 90%.

В практике листовой штамповки наибольшее применение нашла штамповка из полос, на которые предварительно разрезают исходный лист полосы (рисунок 58).



а - продольный, б - поперечный, в – смешанный

Рисунок 58 – Виды раскроя листа на полосы

При раскрое листа нужно стремиться к получению целого числа полос. Возможны три вида раскроя листа на полосы: продольный, поперечный, смешанный. Предпочтительным является продольный раскрой увеличивающий производительность труда за счет меньшего количества заливок полос в штамп, однако, в каждом конкретном случае, необходимо выбирать наиболее рациональный раскрой листа путем сравнения нескольких вариантов. Для уменьшения отхода по некратности длины полосы применяют поперечный и комбинированный раскрой листа. При раскрое ленты следует предусматривать с краёв припуск 2-3 мм для удаления смятых при транспортировке торцов.

При смешанном раскрое часть полос располагают вдоль листа, а часть поперек (рисунок 58 в). Смешанный раскрой на полосы выполняют методом наилучшего заполнения короткой стороны листа, при котором ширина отхода между участками листа наименьшая. Иногда, при вырубке крупных деталей экономичнее применять косой раскрой листа на полосы или групповой раскрой. В последнем случае лист раскраивают на полосы разной ширины, из которых затем изготавливают различные детали.

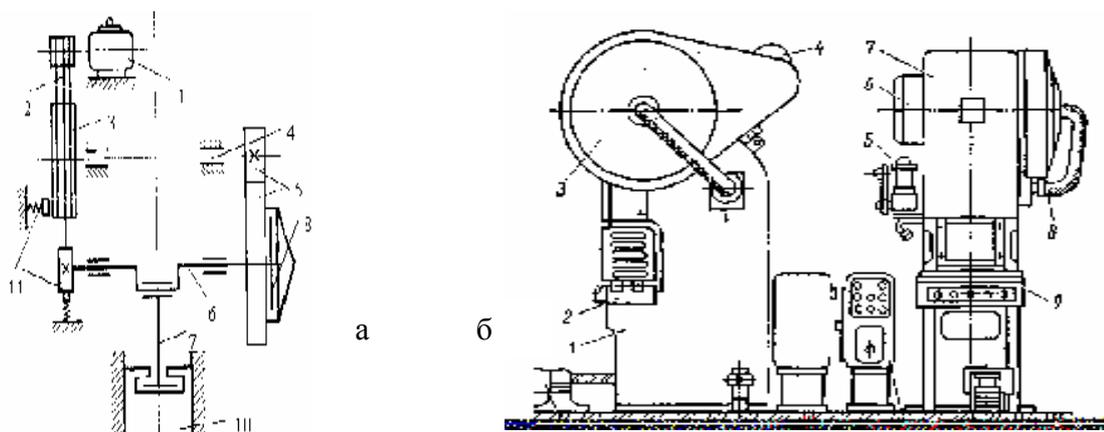
3.2.2 Оборудование для разрезания листового материала

В штамповочных цехах разрезание листового материала осуществляется на ножницах (с параллельными и наклонными ножами), дисковыми ножницами с одной или несколькими парами цилиндрических или дисковых ножей. Для фасонного разрезания в мелкосерийном производстве применяют дисковые ножницы с С-образной станиной. Также используют вибрационные ножницы с числом ходов ползуна от 2000 до 25000 в минуту. Разрезание полос (листов) на штучные заготовки осуществляют в отрезных штампах на прессах.

3.2.2.1 Кривошипные штамповочные прессы

В крупносерийном и массовом производстве все большее предпочтение отдается штамповке на кривошипных штамповочных прессах, как наиболее прогрессивному способу получения заготовок или деталей. Поэтому современные штамповочные цехи машиностроительных заводов оснащены главным образом кривошипными прессами.

Кинематическая схема и общий вид кривошипного пресса показаны на рисунке 59 и их выпускают усилием от 6,3 до 100 МН.



1 – электродвигатель; 2 – клиноременная передача; 3 – маховик; 4 – промежуточный вал; 5 – малая и большая шестерни; 6 – кривошипный вал; 7 – шатун; 8 – муфта; 9 – клин стола; 10 – ползун; 11 – тормоз кривошипа и маховика

1 - станина; 2 - стол; 3 - маховик; 4 – электродвигатель; 5 - насос смазки; 6 – аппарат управления; 7 - ползун; 8 – воздухопровод; 9 - пульт с кнопками включения; 10 - шкаф; 11 - педаль управления

Рисунок 59 - Кинематическая схема и вид кривошипного пресса КД2122Е

От электродвигателя 1 посредством клиноременной передачи 2 вращается маховик 3 и промежуточный вал 4. Посредством малой и большой шестерен 5 и муфты 8 с вала 4 вращение передается на кривошипный вал 6, а посредством шатуна 7 ползун 10 совершает возвратно-поступательное движение. Верхняя (подвижная) часть штампа прикрепляется к ползуну 10, а нижняя (неподвижная) часть штампа – к столу 9 (на схеме не показаны).

Ползун пресса 10 имеет специальное устройство для регулировки расстояния между частями штампами в крайнем нижнем его положении (закрытой высоты). В ползуне и в столе пресса помещаются выталкиватели, приводящиеся в действие от кривошипного вала и служащие для удаления детали из штампа. Включение и выключение кривошипно-шатунного механизма осуществляется пневматической многодисковой фрикционной муфтой 8, а остановка – при помощи тормозов 11.

Применение таких прессов дает следующие преимущества: меньшие фундаменты; более высокий эксплуатационный коэффициент полезного действия; большую (от 30 до 50 %) производительность и точность штамповки (до 0,2 мм); допустима более низкая квалификация штамповщика; большие возможности механизации и автоматизации штамповочных работ и улучшение условий труда рабочих.

Кривошипные прессы, как и любая машина, состоят из ряда узлов, каждый из которых состоит из отдельных деталей. Они имеют массивную сварную или литую станину, так как усилие штамповки передается на нее и для предотвращения деформаций станины она должна быть и массивной и прочной.

Возвратно-поступательное движение ползуну сообщает кривошипно-коленный механизм, состоящий из кривошипно-шатунного и коленно-рычажного механизма и позволяющий при относительно малом крутящем моменте на валу привода получать значительное усилие в конце рабочего хода ползуна. Коленно-рычажный механизм размещается внутри ползуна.

Характерным для кривошипных прессов является то, что движение ползуна подчинено определенному закону – каждому углу поворота кривошипного вала соответствует вполне определенная скорость и положение ползуна по высоте. Следовательно, ползун прессы имеет постоянную величину хода и определенное нижнее и верхнее положение. Это обеспечивает более точные размеры изделия по высоте, чем при штамповке на гидравлическом прессе, но в тоже время штамповку в каждом ручье производят только за один ход ползуна прессы. Прессы характеризуются следующими показателями:

- величиной их номинального усилия в МН; величиной рабочего хода в миллиметрах (мм);
- числом двойных ходов в минуту;
- величиной рабочего усилия второго и третьего ползуна (для прессов двойного и тройного действия);
- размерами стола;
- формой и размерами отверстий в столе и ползуне;
- закрытой и открытой высотой;
- расстоянием между стойками;
- наличием или отсутствием выталкивателей и средств автоматизации;
- габаритными размерами;
- электрической мощностью;
- массой и др.

Данными техническими характеристиками руководствуются при выборе прессы, при решении вопросов о рациональности его использования, при проектировании технологии штамповки и штампов, их вносят в паспорт прессы.

По форме станины прессы подразделяются на открытые одностоечные, открытые двухстоечные с ненаклоняемой станиной, с С - образной наклоняемой станиной на специальных подставках и закрытые двухстоечные.

Управление прессом кнопочное и педальное.

Механический пресс может осуществлять одиночные ходы, толчковые, применяющиеся при наладке штампов, и непрерывные, необходимые при

автоматизации процесса штамповки. Число непрерывных ходов, совершаемое ползуном в минуту, зависит от усилия прессы и колеблется от 90 до 140, уменьшаясь с возрастанием усилия прессы. В шатун снизу ввернут регулировочный винт, шаровая головка которого находится между опорой (подпятником) и вкладышем. Опорой подпятника служит предохранительная шайба, рассчитанная на разрушение при перегрузке прессы.

Кривошипные прессы бывают двойного и тройного действия имеют два ползуна, из которых внутренний перемещается внутри внешнего. Наружный ползун прижимает заготовку и приводится в действие от кривошипного вала с помощью кулачкового или рычажно-кулачкового механизма. Внутренним ползуном осуществляет вытяжку. Он приводится в действие непосредственно кривошипным валом. Конструкция прессы такова, что наружный ползун в нижней мертвой точке останавливается и задерживается до тех пор, пока не будет осуществлена вытяжка.

Прессы тройного действия обычно имеют три ползуна: два верхних (наружный и внутренний) и один нижний, располагающийся внутри стола. Кроме того, такие прессы могут иметь два верхних ползуна и подвижный стол. Верхние ползуны работают так же, как и у прессы двойного действия. Нижний ползун перемещается в направлении, противоположном направлению движения верхних ползунов, и осуществляет дополнительную вытяжку или формовку. У прессы с открытой станиной доступ в штамповое пространство с трех сторон.

Принцип кривошипного прессы заложен и в конструкцию ножниц для разрезания проката или листового материала.

3.2.2.2 Ножницы с параллельными или наклонными ножами

Ножницы с параллельными ножами используют для разрезания тонких металлических листов с повышенными требованиями к точности и качеству поверхности среза, а также неметаллических материалов. При работе на таких ножницах лист разрезают сразу по всей его ширине.

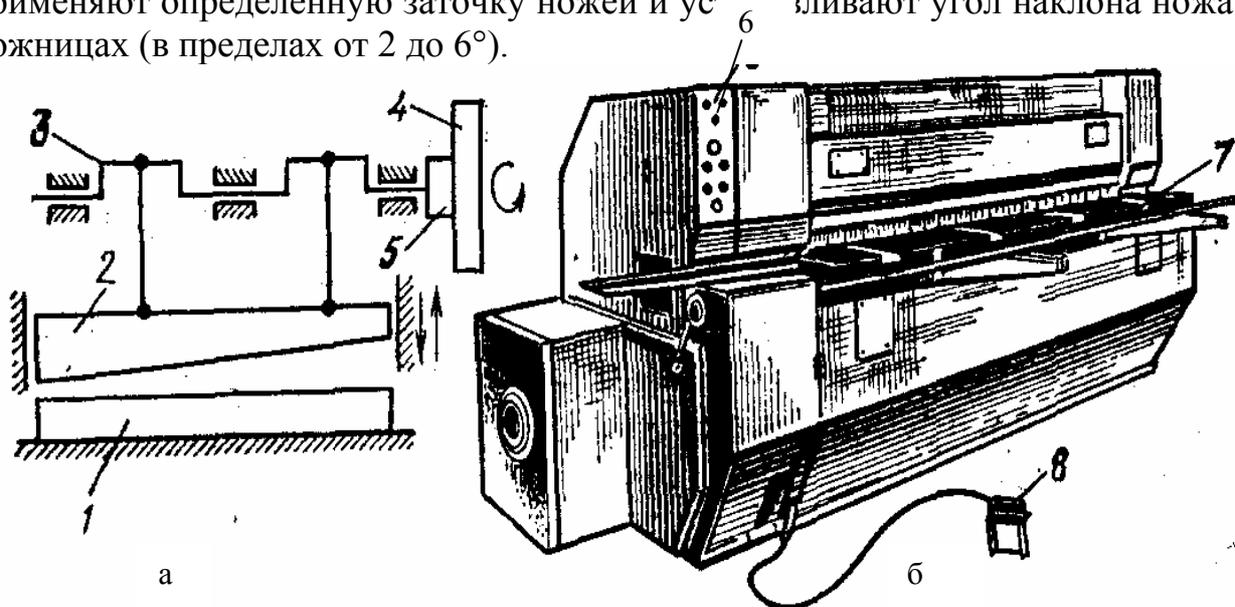
Более широкое применение находят кривошипные ножницы с наклонным ножом, которые служат для холодного разрезания листа толщиной от 0,5 до 30 мм и более при длине реза до нескольких метров (рисунок 60). На таких ножницах лист разрезают не по всей его ширине одновременно, а только на отдельном участке. Это в несколько раз уменьшает усилие, необходимым для разрезания того же материала на ножницах с параллельными ножами.

Для получения необходимой формы и размеров полос и заготовок применяют передние, задние, боковые упоры и упоры-угольники.

Для устранения прогиба длинных заготовок при разрезании применяют поддерживающие устройства. Ножи для ножниц изготавливают цельными или составными. Цельные ножи изготавливают из стали У8А, У10А, Х12, Х12Ф и др. а у составных режущую вставку делают из сталей 6ХС или Х12Ф1, а остальную часть — из стали 45 или 50.

Режущие вставки крепят к корпусу ножа винтами или заклепками.

В зависимости от вида разрезаемого материала и особенно его твердости применяют определенную заточку ножей и увеличивают угол наклона ножа в ножницах (в пределах от 2 до 6°).



а – кинематическая схема; б – общий вид

1 - нижний неподвижный и 2 - верхний подвижный нож;
 3 - двухкривошипный вал; 4 – маховик; 5 – муфта; 6 – пульт
 управления; 7 – стол; 8 – педаль

Рисунок 60 - Листовые (гильотинные) кривошипные ножницы
 с наклонным ножом

Двухкривошипный вал 3 листовых ножниц с маховиком 4 вращается электродвигателем при помощи клиноременной и зубчатой передач. Разрезаемый лист кладут на стол 7, к которому он прижимается прижимом, и разрезают ножами — верхним подвижным 2 и нижним неподвижным 1. Прижим приводится в действие рычажно-кулачковым устройством. Кривошипный механизм ножниц включается муфтой 5. Управляют ножницами с пульта 6 или педалью 8.

Для резки листового, сортового и профильного металла и арматурной проволоки также применяют рычажные ножницы. Один нож расположен горизонтально и неподвижно, второй связан с системой рычагов. Небольшие ножницы приводятся в движение вручную, более крупные — электродвигателем через кривошипный механизм.

Особенно большое распространение в силу своей универсальности получили рычажные ножницы с открытым зевом — аллигаторные (рисунок 60в) показаны со снятым кожухом зубчатой передачи).

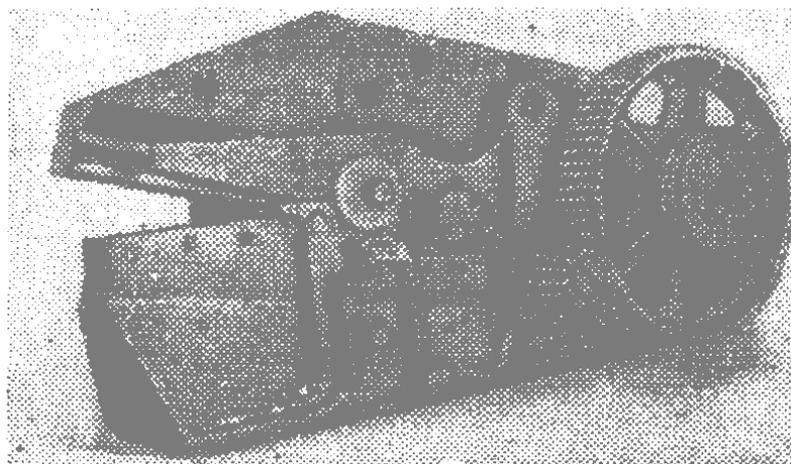


Рисунок 60 в - Аллигаторные ножницы модели Н 315

Ножницы бывают стационарными или передвижными (на тележках) и состоят из станины с нижним неподвижным ножом, кривошипного механизма с горизонтально расположенным приводом, шестеренчатой передачи с маховиком, подвижной челюсти и муфты включения. Пуск ножниц и остановку осуществляют педалью, причем система управления предусматривает работу на одиночных и непрерывных последовательных ходах. Максимальный угол **реза** обычно не превышает 13° . Число ходов аллигаторных ножниц от 15 до 40 в минуту. На наиболее крупных из них можно разрезать круглый металл диаметром до 125 мм, квадратный со стороной до 110 мм.

3.2.2.2.1 Комбинированные пресс-ножницы

Комбинированные пресс-ножницы применяются для резания листового, полосового, сортового, фасонного проката. В зависимости от типоразмера ножниц разрезку осуществляют ножами, закрепленными в станине (один) или в ползуне (другой), причем ползун совершает качательное или возвратно-поступательное движение. При разрезке качающимся ползуном наблюдается искажение фасонного профиля проката, поэтому требуется тщательная наладка с учетом разности скоростей крайних точек ножа.

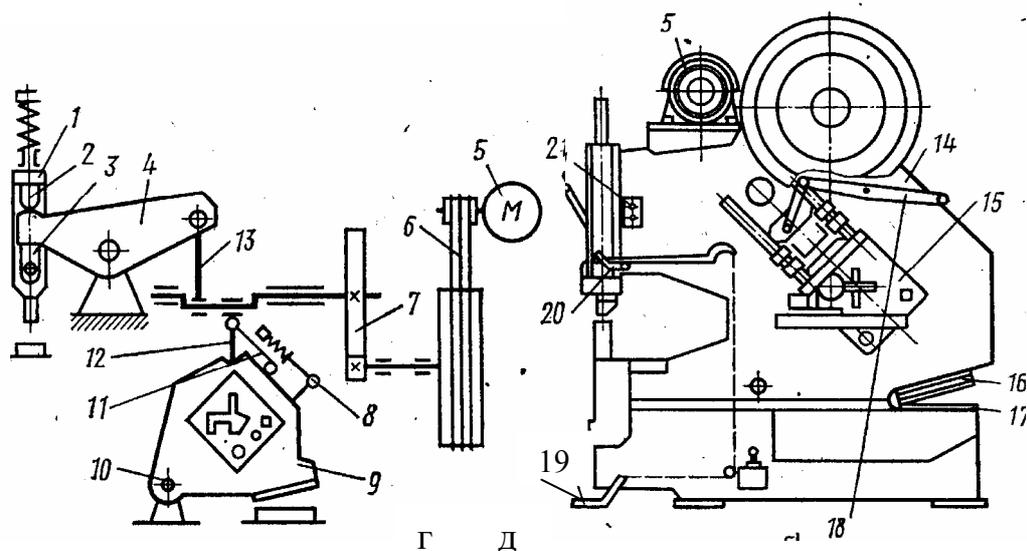
Комбинированные ножницы (рисунок 42б) позволяют выполнять несколько технологических операций: разрезку прутка, разрезку листа, пробивку отверстий. Они особенно выгодны в небольших заготовительных цехах, где позволяют сократить число необходимого оборудования, выполняя разнообразные операции. В настоящее время комбинированные ножницы комплектуют электродвигателем мощностью до 22 кВт. Разрезка листового материала качающимся ползуном происходит со скольжением ножа по разрезаемому материалу, что улучшает качество реза, но при этом уменьшает стойкость режущих кромок ножей. Усилие резания фасонного проката всегда направлено под углом 45° относительно основания станины. Этот угол выбран для удобства обслуживания. Основным параметром при определении производительности ножниц и скорости резания служит число **ходов** ползуна в

минуту и составляет от 22 до 45. На ножницах можно резать листы толщиной до 32 мм, круглый металл диаметром до 85, а квадратный сечением 75 x 75 мм.

Разрезка всех видов проката должна производиться при обязательном применении прижимных устройств, расположенных со стороны подвижных ножей, чтобы избежать опрокидывание заготовки. При разрезке сортового и листового проката употребляют винтовые (регулируемые) прижимы.

На многих моделях комбинированных прессножниц кроме основных узлов устанавливают дополнительные, например, для пробивки отверстий и для зарубок в полках фасонного проката. Кинематическая схема и вид комбинированных прессножниц модели НБ633 показана на рисунке 60 г, д конструкция с возвратно-поступательным ползуном улучшает качество реза.

Для указанных ножниц предусмотрены съемные комплекты подвижных и неподвижных ножей совместно с плитами. Пресс - ножницы поставляются заводом-изготовителем в собранном виде с нормальным режущим инструментом. Для разрезки двутаврового профиля и швеллера предусмотрены специальные ножи. К специальным приспособлениям относятся также задние упоры для разрезки сортового, и листового материала. Электроаппаратура поставляется в отдельном шкафу, который при монтаже укрепляется на колонне (или стене), удаленной от пресс-ножниц не более чем на 3 м.



г - кинематическая схема; д - вид спереди

- 1 – шток; 2 – собачка; 3 – пуансон; 4 - качающийся балансир; 5 – электродвигатель; 6 - клиноремная и зубчатая 7 передачи; 8 – пружина; 9 – ползун; 10 – ось; 11 – тяга; 12, 13 – шатуны; 14 – станина; 15 – амбразура; 16 – подвижный и 17 неподвижный нож; 18, 20 - рычаг управления; 19 – педаль; 21 - кнопочная станция «Пуск—Стоп»

Рисунок 60 - Комбинированные прессножницы

От электродвигателя 5 через клиноременную 6 и зубчатую 7 передачи вращательное движение передается коленчатому валу, с которым связаны шатуны 12 и 13. Шатун 12 воздействует на ползун 9, имеющий качательное движение на оси 10. Ползун возвращается в верхнее положение пружиной 8, а в случае его заклинивания в нижнем положении срабатывает тяга 11.

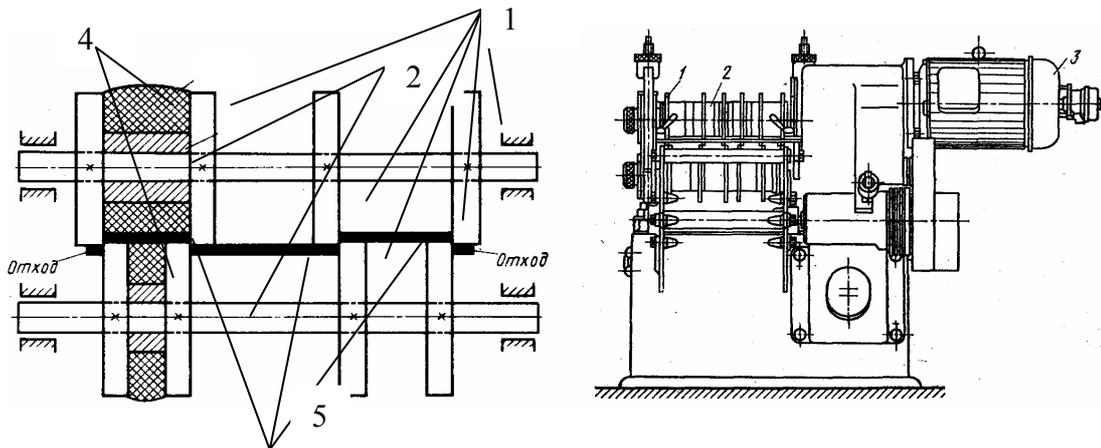
Передача к узлу для пробивки отверстий осуществляется от коленчатого вала через шатун 13 и качающийся балансир 4. Шток 1 включается посредством собачки 2 и давит на ползун 3. Сечение штока прямоугольной формы, и движется шток в чугунном корпусе. Станина 14 выполнена сварной из листовой стали. Между основными листами помещаются ползун 9 и качающийся балансир 4. Спереди станины сделана амбразура 15, через которую устанавливаются подвижные и неподвижные ножи. Для разрезки листового материала к станине крепится неподвижный нож 17, а подвижный 16 закрепляется в нижней части ползуна 9. Включение и выключение ползуна осуществляют рычагом 18, причем включение может быть произведено только в крайнем верхнем положении. После каждого **реза** ползун автоматически выключается рычажной системой. Для включения ножниц на непрерывную работу имеется упор - крючок, замыкающий рычаг управления 18. Узел для пробивки, отверстий может управляться педалью 19 или рычагом 20. На станине установлена кнопочная станция «Пуск—Стоп» 21, с помощью которой включается или отключается электродвигатель 5.

3.2.2.3 Дисковые ножницы

На дисковых ножницах листовой металл режется при помощи вращающихся стальных дисков. По числу ножей (дисков) различают однодисковые, парнодисковые и многодисковые ножницы и их применяют для разрезания широкой рулонной ленты на узкие (рисунок 61).

У дисковых ножниц используют конические ножи, вращаемые электродвигателем с помощью клиноременной и зубчатой передач, у высечных — наклонные линейные ножи, один из которых неподвижен, а другой совершает возвратно-поступательное движение и приводится в действие эксцентриковым механизмом. В однодисковых ножницах второй нож делают в виде неподвижной полосы.

Ножи сами втягивают разрезаемую ленту. Последняя разматывается с одной катушки, и после разрезания наматывается на несколько других, число которых соответствует числу получаемых лент.



1 - цилиндрические дисковые ножи; 2 – параллельные валы; 3 – электродвигатель; 4 – эластичные тянущие валки; 5 – разрезанные полосы

Рисунок 61 - Схема отрезки и общий вид многодисковых ножниц с цилиндрическими ножами

Цилиндрические дисковые ножи 1 устанавливают на параллельных валах 2. Эти валы вращаются электродвигателем 3 с помощью клиноременной и зубчатой передач.

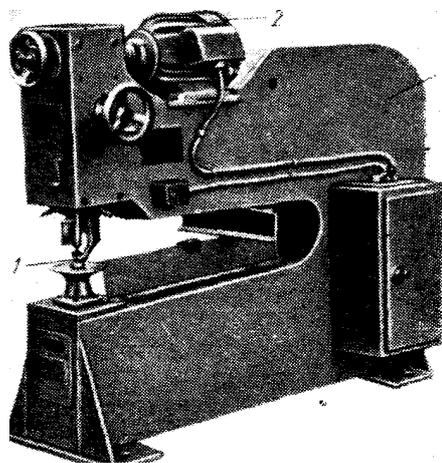
Парнодисковые ножницы оснащают ножами трех типов:

- с параллельным расположением осей;
- с одним наклонным ножом;

- с двумя наклонными ножами. На двухдисковых ножницах при помощи специальных приспособлений и инструмента можно выполнять гибку и отбортовку листов, а на высечных ножницах — отбортовку и рифление

3.2.2.4 Высечные ножницы

Для прямого и фасонного разрезания листа в единичном производстве применяют дисковые и высечные (рисунок 62) ножницы.



1- режущее устройство (линейные ножи); 2 – электродвигатель; 3 – станина

Рисунок 62 - Общий вид высечных ножниц Н-535

Такие ножницы имеют С-образную станину, в которой установлены режущие устройства и их применяют для разрезания листов толщиной до 30 мм со скоростью до 20 м/мин. Ножницы с наклонным расположением верхнего и нижнего ножей применяют для разрезки криволинейных заготовок с малым радиусом.

Работа на парнодисковых ножницах ведется по разметке вручную или с применением различных приспособлений.

Многодисковые ножницы применяют в массовом производстве главным образом для разрезания тонколистового материала. Эти ножницы при продольном разрезании обеспечивают более высокую производительность по сравнению с кривошипными ножницами.

Расстояние между ножами устанавливают при помощи мерных колец. Ножи дисковых ножниц изготавливают из тех же материалов, что и ножи кривошипных листовых ножниц.

Вибрационные ножницы с числом ходов от 2000 до 25000 в минуту и амплитудой колебания ножа до 3 мм применяют для разрезания криволинейных заготовок по разметке или шаблонам с малым радиусом (до 15 мм) при толщине материала до 10 мм.

Разрезание полос на штучные заготовки осуществляют в отрезных штампах на прессах.

3.2.3 Операции листовой штамповки

Листовая штамповка – способ изготовления плоских и объемных тонкостенных изделий из листов, полос или лент с помощью штампов, на прессах или без их применения (штамповка без прессов). Листовая штамповка характеризуется высокой производительностью, стабильностью качества и точности изделий, а также большой экономией металла, низкой себестоимостью изготавливаемых изделий и возможностью полной автоматизации. Листовая штамповка бывает тонколистовой холодной (преимущественно) и толстолистовой горячей, причем последняя чаще бывает с локализацией зоны нагрева. Схемы и определения разделительных операций показаны на рисунках 63 и 64.

Листовая штамповка - это такие операции ОМД, при которых толщина металла практически не изменяется и она позволяет получать из листового материала объемные детали, как правило, не требующие доработки.

Все операции листовой штамповки делятся на две группы: разделительные и формоизменяющие.

3.2.3.1 Разделительные операции

К разделительным операциям листовой штамповки относят: отрезку, разрезку, обрезку, вырезку, надрезку, вырубку, пробивку, зачистку и

калибровку и др. Они показаны на рисунках 63 и 65, но основными разделительными операциями являются операции вырубki и пробивки. При разделительных операциях происходит полное (отрезка, разрезка) или частичное (надрезка, просечка) отделение металла от исходной заготовки. Результатом выполнения этих операций являются получение готовых деталей или заготовок, используемых для последующей обработки.

Термин и его определение

Отрезка — полное отделение части заготовки по незамкнутому контуру путем сдвига

Разрезка — разделение заготовки на части по незамкнутому контуру путем сдвига (с отходом и без отхода)

Вырубка — полное отделение заготовки или изделия от исходной заготовки по замкнутому контуру путем сдвига (отделенная часть — изделие)

Надрезка — неполное отделение части заготовки путем сдвига

Проколка — образование в заготовке отверстия без удаления металла в отход

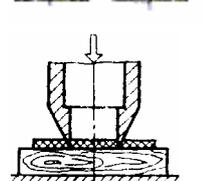
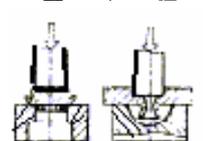
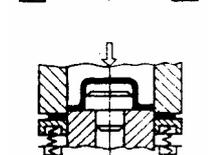
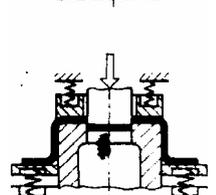
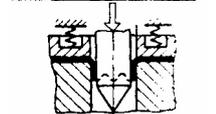
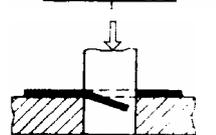
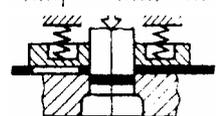
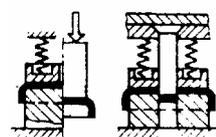
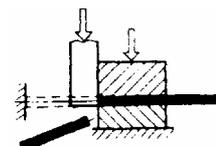
Пробивка — образование отверстия или паза путем сдвига с удалением отделенной части металла в отход

Обрезка — удаление излишков металла (припусков, фланцев) путем сдвига

Зачистка — удаление технологических припусков с помощью штампа с образованием стружки. Обеспечивает повышение точности размеров и уменьшение шероховатости штамповочной заготовки

Высечка — полное отделение заготовки или изделия по замкнутому контуру путем внедрения инструмента в материал исходной заготовки

Схема операции



Просечка в штампе — образование отверстия в заготовке путем внедрения в нее инструмента с удалением части материала в отход

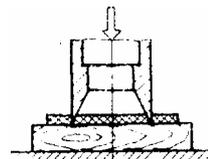


Рисунок 63 - Схемы разделительных операций и их определения

По технологии протекания процесса разделительные операции бывают:

- 1) со значительной шириной отделяемого металла (более двойной толщины) - разрезка, вырубка, пробивка, вырезка, надрезка и др.;
- 2) с небольшой шириной отделяемого металла (менее 0,5 толщины) - зачистка, калибровка.

Механизмы разделения в этих случаях различны.

Первая группа операций применяется для разделения листов и лент с целью получения деталей или заготовок для последующей штамповки.

При вырубке и пробивке происходит отделение металла по замкнутому контуру и при вырубке отделенная часть - является деталью, при пробивке - отходом.

Вторую группу операций осуществляют с целью отделки - повышения качества деталей и она включает зачистку и калибровку, которые применяются для тех же целей, что и чистовая вырубка и пробивка, т.е. достижения перпендикулярности поверхности среза плоскости листа, низкой шероховатости ($R_a =$ от 2,5 до 0,32 мкм), точности 8 - 9 квалитета. Зачистка (калибровка) производится на ранее полученных вырубкой (пробивкой) заготовках, в которых после правки с обрабатываемой поверхности снимают небольшой слой материала - припуск.

Зачистка выполняется по наружному или внутреннему контуру заготовки. Минимальная величина припуска на зачистку равна зазору между пуансоном и матрицей при вырубке или пробивке. Зачистку применяют для деталей с периметром до 300 мм и толщиной до 10 мм. Зачистка выполняется за один проход для деталей толщиной менее 5 мм с плавным очертанием наружного контура. Многократную зачистку применяют для деталей толщиной более 5 мм и для деталей со сложной конфигурацией наружного контура независимо от толщины. Качество зачистки зависит от величины припуска и распределения его по периметру, а при многократной зачистке от распределения по переходам.

Механизм протекания разделительных операций первой группы одинаков. Процесс деформирования как резания протекает в три этапа:

- упругая и начало пластической деформации;
- пластическая деформация, сопровождающаяся врезанием ножей в материал заготовки, которая распространяется на величину до 0,7 толщины;
- разделение металла путем скола, происходящее после исчерпания пластической деформации.

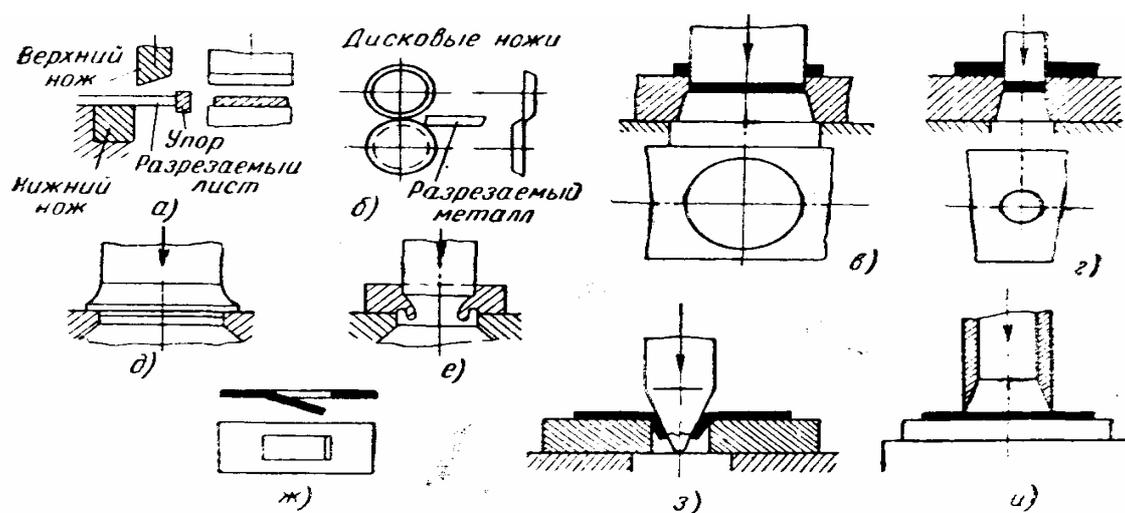
3.2. 3.1.1 Вырубка - пробивка

4, 5, 11, 12 – крепежные винты; 6 – вырубной пуансон; 7 – пуансоно-держатель;
8, 15 – направляющие втулки; 9 – верхняя плита; 10 – упорная плита; 13 –
хвостовик; 14, 19 – штифты; 17 – съемник; 18 – упор

Рисунок 64 – Общий вид вырубного штампа

3.2.3.1.2 Особенности вырубки и пробивки неметаллических материалов

Основное отличие слоистых и волокнистых пластиков от металлов заключается в том, что они состоят из слоев наполнителя (в виде бумаги, ткани и пр.) и слоев скрепляющей их фенолформальдегидной смолы. Несмотря на то, что прессование гетинакса происходит при удельном усилии от 110 до 160 МПа и температуре до 160 °С, структура его неоднородна, она пронизана микротрещинами, которые при воздействии усилий на заготовку становятся очагами концентрации напряжений в зоне деформации.



а - разрезка прямолинейными ножами; б - разрезка дисковыми ножами; в - вырубка; г - пробивка; д - зачистка внешнего контура; е - зачистка внутреннего контура; ж - надрезка; з - проколка; и - просечка

Рисунок 65 - Разделительные операции

Для деталей, изготавливаемых из слоистых материалов, эта концентрация напряжений опасна в связи с возможным появлением трещин в процессе штамповки. Поэтому слоистые и волокнистые пластики, особенно гетинаксы, штампуют при соблюдении ряда условий, к числу которых относятся:

- малая скорость деформирования (при числе ходов пресса не более 50 в минуту);
- предварительное сжатие заготовки в штампе между матрицей и съёмником силой

$$Q = qLs,$$

где L – периметр контура вырубки, мм;

s – толщина материала, мм ;

q – давление прижима, МПа, (при $s \leq 1$ мм $q =$ от 6 до 10 МПа, при $s =$ от 2 до 3 мм принимают $q =$ от 15 до 20 МПа);

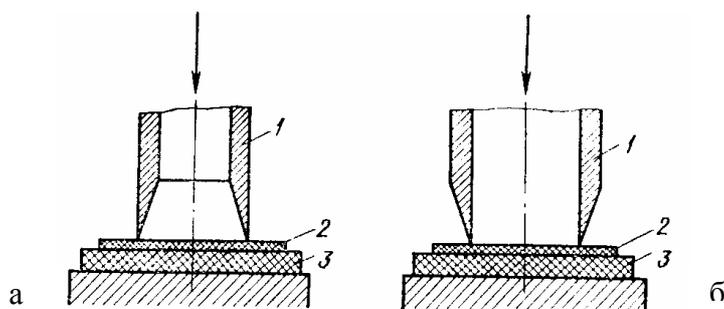
- применение предварительной пробивки отверстия, имеющего диаметр меньше номинального с последующей пробивкой в размер;
- нагрев слоистых пластиков при толщине листа свыше 2 мм до температуры 120 °С для повышения качества поверхности разделения и уменьшения сопротивления сдвигу.

Нагрев может осуществляться в электропечах и термостатах, инфракрасными лампами, между горячими плитами, в кипящей воде и пр.

Предварительную пробивку отверстий диаметром меньше номинального выполняют ступенчатым пуансоном. Диаметр первой ступени пуансона D_B составляет 0,7 – 0,8 номинального диаметра отверстия D_n , высота ступени h_B = от 0,8 до 0,9 толщины штампуемого листа.

Первая ступень пуансона предварительно пробивает отверстие диаметром D_B , при этом в результате скола поверхность разделения получается неровной. Вторая ступень пуансона, по существу, зачищает полученную поверхность разделения и одновременно снимает концентрацию напряжений, возникшую при появлении скалывающихся трещин в начальный период пробивки. Применение ступенчатых пуансонов (первая ступень которых носит название "предразрушающих выступов") позволяет улучшать качество кромок отверстий, получаемых пробивкой в хрупких неметаллических материалах.

При штамповке гетинакса и текстолита зазор между пуансоном и матрицей принимается значительно меньшим, чем при штамповке металлов (до 4 % от толщины материалов), а перемычка между контурами вырубаемых деталей – примерно на 50 % больше, чем при вырубке малоуглеродистой листовой стали. Указанное является следствием уже отмеченных особенностей слоистых пластиков, в частности их хрупкости.



a—пробивка; *б*—вырубка

1—просечной пуансон, 2— материал, 3 — подкладка

Рисунок 66 - Просечка неметаллических материалов

3.3 Разрезка металла плавлением

Наряду с механической разрезкой металла, как режущим инструментом, так и разделительными операциями штамповки, широкое применение для толстого материала, находит разрезка плавлением. Такая разрезка, как и сварка,

выполняется различными способами и на различном оборудовании.

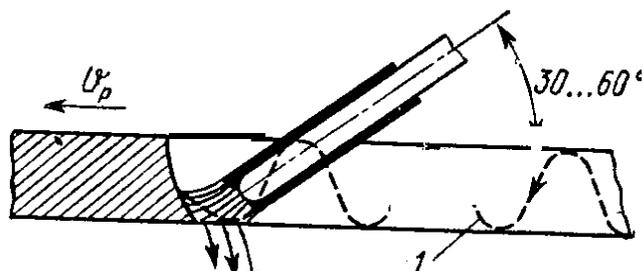
3.3.1 Дуговая резка

Дуговая резка основана на использовании теплоты электрической дуги для расплавления металла по линии разреза. Удаление расплавленного металла осуществляется под действием гравитационных сил и направленного движения газов, которое обеспечивается горячей дугой и расположением электрода. Наибольшее применение получили следующие способы дуговой резки: ручная дуговая резка плавящимся и неплавящимся электродами; воздушно-дуговая резка; кислородно-дуговая резка; резка сжатой дугой (плазменная). Ручная дуговая резка покрытым плавящимся электродом в плоскости разреза показана на рисунке 67.

Ее можно производить переменным и постоянным током и применяют для заготовок из сталей, чугуна и цветных металлов.

Ручную дуговую резку угольным неплавящимся электродом, как правило, выполняют на постоянном токе прямой полярности.

Разрезка угольными и графитовыми электродами, как и резка покрытыми электродами, характеризуется низкой производительностью и невысоким качеством реза, полученного при разделении заготовки на части.



1 – направление перемещения электрода

Рисунок 67 - Схема дуговой резки электродом

При воздушно-дуговой резке металл расплавляется дугой неплавящегося угольного или графитового электрода и удаляется струей сжатого воздуха. Резку выполняют на постоянном токе обратной полярности или переменном токе. Применяют ее для поверхностной обработки металла, а также для выполнения разделительных операций - пробивки отверстий, разделки кромок.

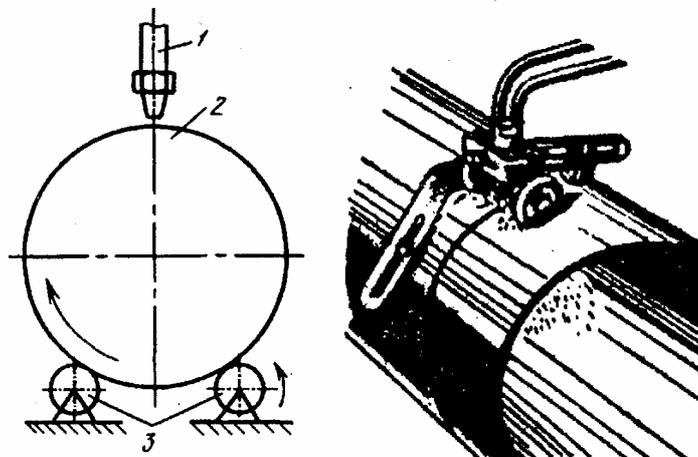
Процесс ведут специальными резаками, рассчитанными на длительную работу.

3.3.2 Ручная и машинная плазменная резка

Плазменная резка бывает ручная и машинная. Этот способ резки основан на расплавлении металла в зоне разреза и выдувании его потоком сжатой дуги. В качестве плазмообразующих газов используют азот, водород, аргоно-водородные, аргоно-азотные и азотно-водородные смеси.

Основными преимуществами плазменной резки, обеспечивающими ее широкое применение в промышленности, являются высокая производи-

тельность и хорошее качество реза. Для резки используют плазменные горелки прямого или косвенного действия, аналогичные сварочным. Применяют плазменную резку для разделки низкоуглеродистой стали, алюминия и других материалов.



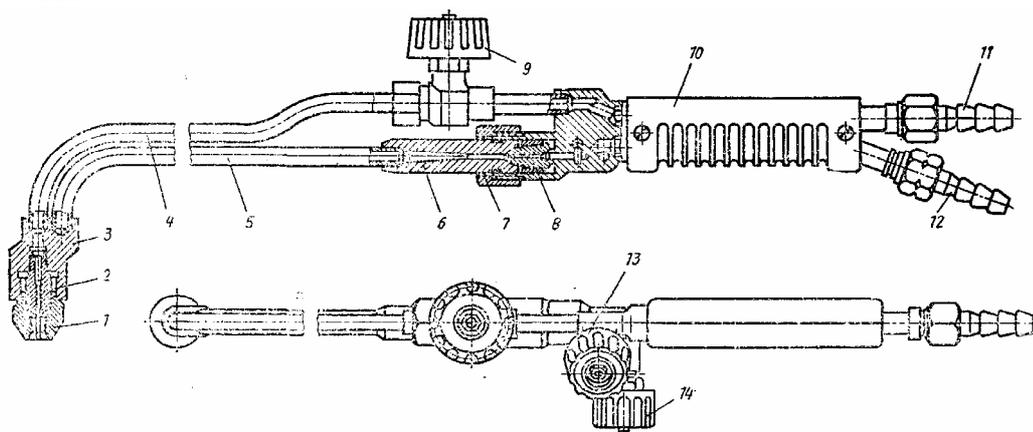
1 — резак; 2 — труба; 3 — опорные ролики

Рисунок 68 - Схема роликового стенда для резки трубы и вид резки

3.3.3 Кислородная резка

Кислородная резка - это горение разогретого металла в кислороде и выдувание расплавленного металла. Хорошо режутся стали с низким содержанием углерода.

Для резки металла используют резак - разновидность горелки. Отличие резака от горелки - дополнительный канал, выходящий на наконечник, по которому обеспечивается подача дополнительного кислорода в зону резки.



1,2 – мундштуки; 3 – головка; 4 - трубка для подачи режущего кислорода; 5 - трубка для подачи горючей смеси; 6 - смесительная камера; 7 – накладная гайка; 8 – инжектор; 9, 13 - вентили кислорода; 10 – ствол; 11, 12 – ниппели; 14 – вентиль ацетилена или горючего газа

Рисунок 69 - Резак РЗП-01

Кислородно-ацетиленовая смесь на выходе из горелки обеспечивает разогрев зоны газа, а затем по центральному каналу подают кислород для горения металла. Резаки позволяют резать металл толщиной до 300 мм.

Для чугунов, цветных металлов и сплавов обычная разрезка кислородом не подходит, и режут их кислородно-флюсовой разрезкой.

3.3.3.1 Кислородно-флюсовая (химическая) разрезка

Кислородно-флюсовая (химическая) разрезка разработана для высокохромистых и хромоникелевых сталей толщиной до 500 мм, серого чугуна толщиной до 300 мм, меди толщиной до 50 мм и латуни толщиной до 150 мм. Сущность кислородно-флюсовой разрезки состоит в том, что одновременно с режущим кислородом в зону разрезки вводят порошкообразные вещества, которые способствуют расплавлению или механическому удалению образующихся тугоплавких окислов из зоны реза. В зависимости от состава этих порошков (флюсов) возможен различный характер процесса разрезки. Так, при подаче в зону разрезки металлических порошков процесс их горения сопровождается повышением температуры пламени и увеличением жидкотекучести шлака, что облегчает его удаление из зоны реза.

При применении в качестве флюса кварцевого песка образующиеся пленки окислов на поверхности реза разрушаются мощной струей частиц песка. При этом сгоревший металл и расплавленный песок, образуют жидкотекучий шлак, легко удаляемый из зоны реза.

3.3.3.2 Разрезка под водой

Разрезка под водой имеет большое значение при производстве различных судоремонтных, строительных и аварийно-спасательных работах. Этот вид разрезки получил развитие благодаря исследованиям академика К.К. Хренова.

Различают подводную разрезку дуговую (стальным или угольным электродом), газокислородную и электрокислородную. Независимо от применяемого способа разрезка происходит в газовой среде, которая создается искусственно или возникает естественно в процессе разрезки.

Наиболее простей и удобный по технике выполнения — способ подводной разрезки стальным электродом. В этом случае применяют стержни из проволоки Св-08 диаметром от 5 до 8 мм и длиной до 700 мм. Для обеспечения устойчивого горения дуги электроды имеют покрытие, состоящее из мела и железного сурика или других компонентов. Кроме того, покрытие электрода пропитывают различными влагозащитными веществами против растворения и разрушения его в воде.

Весьма эффективна подводная разрезка бензорезом, работающим по принципу распыления. В этом случае жидкий бензин распыляется кислородом, образуя устойчивое подогревательное пламя, а его продукты сгорания (окись углерода и углекислый газ) создают газовый пузырь. Применение подводных

бензорезов повышает надежность процесса и упрощает конструкцию установок.

3.3.4 Поверхностная кислородная резка

Поверхностную кислородную резку применяют для снятия большого количества металла или удаления поверхностных дефектов литья и проката. Используемые для этого специальные ручные или машинные резаки отличаются увеличенным сечением каналов для выхода подогревательной смеси и режущего кислорода. При выполнении поверхностной резки угол наклона оси режущего мундштука по отношению к обрабатываемой поверхности изделия не превышает 30° ; поэтому сквозного прожигания не происходит, а образуется лишь канавка с плавными очертаниями. Количество удаляемого при этом металла может достигать до 4—4,5 кг/мин.

Разрезка кислородным копьём — процесс прожигания металла или породы струей кислорода, подаваемого к месту реза по стальной трубе (копью) небольшого диаметра. При прожигании отверстий в стальную трубку, конец которой предварительно нагревают пламенем газовой горелки, подают кислород, в результате чего происходит воспламенение конца трубки. Одновременно подогревают место для отверстия. Затем горящий конец копия приближают вплотную к изделию, и происходит резка, т. е. «прошивка» отверстия. Резка копьём находит применение при пробивке леток доменных и сталеплавильных печей, обработке крупных металлических отливок, разделке металлического лома, пробивке отверстий в толстых металлических или бетонных заготовках перед началом разделительной резки.

3.3.5 Лазерная резка

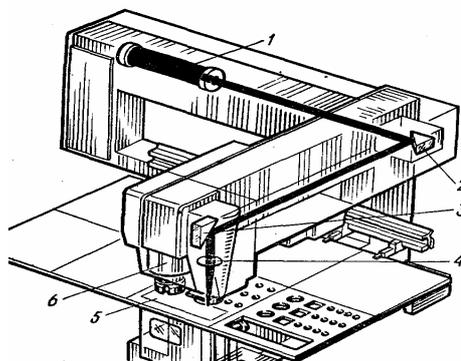
Благодаря высокой концентрации мощности в световом луче, а также целому ряду его специфических свойств, в последние годы он широко и эффективно используется в различных областях науки и техники.

Мощные лазеры применяются в технологических процессах обработки различных материалов. С их помощью производится сварка, закалка, резка и сверление различных материалов без возникновения в них механических напряжений и с очень большой точностью. Лазерами обрабатываются материалы практически любой твердости: металлы, рубины, алмазы и т. д.

Особенностями лазерной технологии является высокая плотность потока излучения в зоне обработки; короткое время импульса; локальность воздействия излучения; малая зона термического влияния; бесконтактный ввод энергии в зону обработки и возможность ведения технологического процесса в любой прозрачной среде (вакуум, газ, жидкость, твердое тело), через прозрачные окна технологических камер, оболочки приборов и т. д.

Кроме лазерных сварки ее применяют для сверления и резки металлов и хрупких материалов (стекло, керамика) методом управляемого термического раскалывания. Таким способом в настоящее время осуществляется технология изготовления микроминиатюрной радиоаппаратуры, интегральных схем полупроводниковых приборов и др.

В условиях единичного и мелкосерийного производства для разрезания листового материала и пробивки небольших отверстий могут быть использованы лазерные установки. Схема пресса, оснащенного такой установкой, показана на рисунке 70.



1 – резонатор; 2, 3 – зеркала; 4 - фокусирующая линза;
5 - поверхности листа; 6 - штамповочная головка

Рисунок 70 - Схема пресса с установкой для лазерной резки

Лазерный луч образуется в резонаторе 1 при возбуждении электрическим разрядом лазерного газа CO_2 . За пределами резонатора лазерный луч поворачивается с помощью зеркал 2 и 3 и фокусируется линзой 4 на поверхности листа 5. Сфокусированный лазерный луч расплавляет металл: расплавленный металл выдувается из линии реза и отсасывается вниз. Лазерная головка жестко закреплена в станине пресса, стол которого вместе с закрепленной на нем заготовкой может перемещаться автоматически по заранее записанной программе

Кроме лазерной установки пресс оснащен штамповочной головкой 6, в которую из магазина пресса автоматически устанавливаются сменные пакеты. Что позволяет штамповать различные листовые детали сложной формы.

Наряду с разделительными операциями в листовой штамповке широко распространены формоизменяющие операции. В трубном производстве из этих операций важное место занимает гибка и правка.

3.4 Гибка труб

При гибке наружная сторона трубы вытягивается, а внутренняя сжимается. Для каждой трубы, в зависимости от ее диаметра и материала, должен быть установлен минимально допустимый радиус изгиба. Радиус закругления при гибке труб берется не меньше трех диаметров трубы.

Тонкостенные трубы небольших диаметров вокруг цилиндра выбранного размера гнутся без особых затруднений и заметных изменений формы сечения. В других случаях трубу перед гибкой нагревают и длина нагреваемой части зависит от угла изгиба и диаметра трубы. Если трубу изгибают под углом 90° , то нагревают участок, равный шести диаметрам трубы; если гнут под углом 60° , то нагревают участок, равный четырем диаметрам трубы; если под углом

45° — трем диаметрам и т. д.

Для предупреждения смятия, выпучивания и появления трещин при гибке трубу через воронку наполняют мелким сухим просеянным через сито песком, так как наличие крупных камешков может привести к продавливанию стенки трубы. При засыпке трубы песком перед гибкой в торце одной из пробок необходимо сделать отверстие для выхода газов, иначе может разорвать трубу. При гибке труб в горячем состоянии их следует поддерживать только в рукавицах во избежание ожогов рук.

Перед проведением формоизменяющих операций необходимо знать свойства материала заготовки.

Основные свойства материала определяют механическими и технологическими методами испытаний.

3.4.1 Механические испытания свойств

Механические свойства характеризуют способность материала сопротивляться деформации и разрушению при воздействии внешних сил. Они зависят от рода материала, его обработки, внутреннего строения, формы изделия и ряда других факторов. Их определяют путем испытания образцов.

Из механических испытаний наибольшее распространение получили следующие виды: на растяжение, на ударный изгиб и ударную вязкость, на выносливость, на твердость, на жаропрочность.

Воздействуя на деталь, внешние нагрузки изменяют ее форму, то есть - деформируют. Поэтому важным свойством материалов является прочность при данном виде нагружения

Если к детали приложены сравнительно небольшие силы, под действием которых атомы в кристаллической решетке смещаются на расстояния меньше межатомных, то после прекращения действия внешней силы деталь принимает свою первоначальную форму, то есть атомы возвращаются в устойчивое положение, и деформация исчезает. Свойство материалов принимать первоначальную форму после прекращения действия внешних сил называется упругостью, а деформация, исчезающая после снятия нагрузки, получила название упругой.

Если к заготовке приложены большие усилия, под действием которых атомы в кристаллической решетке сместятся на расстояния больше межатомных, тогда они занимают новое устойчивое положение, соответствующее положению атомов соседнего ряда. После прекращения действия приложенной силы деформация не исчезает, и заготовка остается деформированной. Такая деформация называется пластической.

Способность материала деформироваться под действием внешних нагрузок, не разрушаясь и сохранять измененную форму после прекращения действия усилий, называется пластичностью. Таким образом, пластичность это - возможность металла изменять форму или деформироваться, без нарушения целостности, при обработке давлением, причем, пластичность металла не

только свойство материала, сколько его состояние, зависящее от многих факторов, основными из которых являются:

- химический состав (чистые металлы обладают большей пластичностью, а примеси снижают ее из-за образующихся дислокаций);
- температура деформации (при горячей штамповке сопротивление деформированию уменьшается от 10 до 15 раз, следовательно, пластичность материала повышается во столько же раз);
- степень и скорость деформации (с их повышением пластичность снижается);
- напряженно-деформированное состояние материала (при всестороннем сжатии пластичность существенно повышается и в таком состоянии даже хрупкий материал, такой как дуралюмин марки Д 16, приобретает пластичность).

Оценка качества металла при исследовании его на пластичность производится по состоянию поверхности, после проведения тех или иных испытаний. Испытания бывают: *статические, циклические, динамические*.

Статические испытания – это испытания на растяжение, характеризуют упругость и пластичность и определяют пределы пропорциональности (упругости). Характеризуются они диаграммой растяжения.

Наибольшее напряжение, до которого материал следует закону Гука, (пропорционально удлиняется) называется пределом пропорциональности (σ_p).

Величина предела пропорциональности зависит от той степени точности, с которой начальный участок диаграммы можно рассматривать как прямую. Упругие свойства материала сохраняются до напряжения, называемого пределом упругости (σ_y) - наибольшего напряжения, до которого материал не получает остаточных деформаций.

Следующей характеристикой является предел текучести - напряжение, при котором происходит рост деформации без заметного увеличения нагрузки. В тех случаях, когда на диаграмме отсутствует явно выраженная площадка текучести, за предел текучести принимается условно величина напряжения, при котором остаточная деформация $\varepsilon_{ост} = 0,002$ или 0,2 % в некоторых случаях устанавливается предел $\varepsilon_{ост} = 0,5$ %.

Предел текучести легко поддается определению и является одной из основных механических характеристик материала.

При испытании на растяжение определяется еще одна характеристика материала — удлинение при разрыве δ , %.

Удлинение при разрыве представляет собой величину средней остаточной деформации, которая образуется к моменту разрыва на определенной стандартной длине образца. Удлинение при разрыве будет следующим:

$$\delta\% = \frac{\Delta l_0}{l_0} 100$$

Пластичные и хрупкие материалы ведут себя по-разному.

Большое влияние на проявление свойств пластичности и хрупкости оказывает время нагружения и температурное воздействие. При быстром

нагрузении более резко проявляется свойство хрупкости, а при длительном воздействии нагрузок — свойство пластичности.

Испытание образцов на растяжение и сжатие дает объективную оценку свойств материала. В производстве, однако, для оперативного контроля над качеством изготавливаемых деталей этот метод испытания представляет в ряде случаев значительные неудобства. Поэтому на практике часто прибегают к сравнительной оценке свойств материала при помощи пробы на твердость.

Под твердостью понимается способность материала противодействовать механическому проникновению в него посторонних тел. и показатель твердости связан с показателями прочности и пластичности и зависит от конкретных условий ведения, испытания.

Ползучесть – способность металла изменять, хотя и медленно, форму и размеры под действием сравнительно небольшой нагрузки и температуры.

Испытание на ползучесть также относится к статическим испытаниям. Их проводят в печи, нагружая образцы, и строят график «удлинение-время». По испытаниям определяют предел ползучести.

Пределом ползучести называется напряжение, при котором пластическая деформация за заданный промежуток времени достигает заданной величины.

Для определения предела ползучести необходимо задать интервал времени (который определяется сроком службы детали) и интервал допустимых деформаций (который определяется условиями эксплуатации детали). Предел длительной прочности и предел ползучести сильно зависят от температуры. С увеличением температуры они уменьшаются.

Усталостным разрушением называют явление разрушения металлов под действием повторных или знакопеременных напряжений, причем усталостное разрушение может наступить при значении напряжения меньше предела прочности и даже текучести. Сопротивление усталости называют выносливостью. Усталость наступает при превышении предела выносливости.

Среди различных типов статических нагрузок особое место занимают периодически изменяющиеся, или *циклические*, нагрузки. Вопросы прочности материалов в условиях таких нагрузок связываются с понятиями выносливости или усталости материала.

К оценке динамических нагрузок существуют два подхода. С одной стороны, нагрузка считается быстро изменяющейся, если она вызывает заметные скорости частиц деформируемого тела, причем настолько большие, что суммарная кинетическая энергия движущихся масс составляет уже значительную долю от общей работы внешних сил. С другой стороны, скорость изменения нагрузки может быть связана со скоростью протекания пластических деформаций. Нагрузка может рассматриваться, как быстро изменяющаяся, если за время нагружения тела пластические деформации не успевают образоваться полностью. Это заметно сказывается на характере наблюдаемых зависимостей между деформациями и напряжениями.

Первый критерий в оценке быстро изменяющихся нагрузок используется в основном при анализе вопросов колебаний упругих тел, второй — при

изучении механических свойств материалов в связи с процессами быстрого деформирования. Поскольку при быстром нагружении образование пластических деформаций не успевает полностью завершиться, материал с увеличением скорости деформации становится более хрупким и величина δ уменьшается. Последним из трех рассматриваемых видов нагрузок являются весьма быстро изменяющиеся во времени нагрузки. Скорость их изменения настолько велика, что работа внешних сил почти полностью переходит в кинетическую энергию движущихся частиц тела, а энергия упругих и пластических деформаций оказывается сравнительно малой.

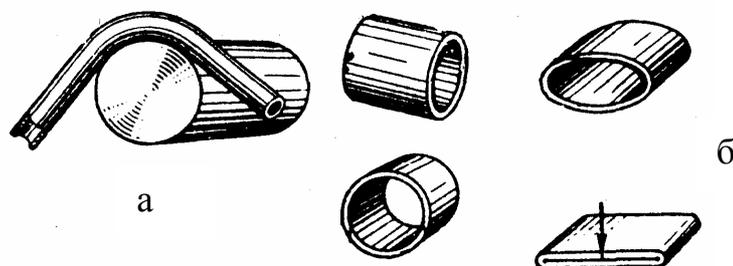
Весьма быстро изменяющиеся нагрузки возникают при ударе тел, Испытания на ударную вязкость – наиболее применяемое испытание из всех *динамических*, позволяет определить степень сопротивления материала разрушению при ударной нагрузке, испытания проводят на специальной установке.

3.4.2 Технологические испытания свойств

К технологическим испытаниям относят такие испытания, с помощью которых выявляют возможность применения той или иной технологии обработки рассматриваемого материала. К таким испытаниям относят выявление литейных свойств, способности обработки резанием и давлением, а также сварки.

Для обработки давлением, к чему относится и гибка труб, основными свойствами являются: проба на загиб, проба на сплющивание, проба на навивание и проба на перегиб. И эти испытания проводят в соответствии с техническими условиями ТУ 14-3Р-55 -2001 /25/.

Проба труб на загиб применяется для определения способности образца трубы загибаться без повреждений. Испытание состоит в том, что заполненную сухим чистым речным песком трубу изгибают вокруг оправки на угол 90° . После загиба (рисунок 71а) труба не должна иметь надрывов, трещин, отслоений и других дефектов. Диаметр оправки определяется техническими требованиями.



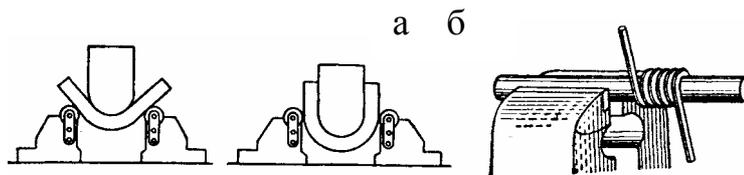
а - на загиб труб; б - на сплющивание труб

Рисунок 71 - Технологические пробы

Проба труб на сплющивание (рисунок 71б) позволяет определить

качества труб по их свойству сплющиваться без повреждений под давлением прессы, молота или от ударов молотка до предела, установленного техническими условиями. Длина образца выбирается равной диаметру трубы. В зависимости от технических условий испытание может производиться в холодном и горячем состояниях. Признаком того, что образец выдержал испытание, служит отсутствие в нем после сплющивания трещин или надрывов.

Проба на навивание позволяет определить способность проволоки диаметром до 6 мм принимать заданную форму. Кусок проволоки (рисунок 72 б) навивают на круглый стержень (оправку) 5—10 витками.



а - на загиб; б - на навивание

Рисунок 72 - Технологические пробы

Качество проволоки определяется способностью выдерживать без повреждений навивание и развивание в холодном состоянии, плотно прилегающими витками на стержень. Чем пластичнее проволока, тем плотнее будет ее прилегание к стержню.

Проба на перегиб служит для определения способности металла выдерживать повторный загиб и разгиб и применяется при испытании качества полосового и листового материала длиной 100—150 мм, шириной до 20 мм и толщиной до 5 мм, а также проволоки и прутков диаметром от 0,8 до 7 мм.

Проба проводится только в холодном состоянии. Проба состоит в загибе и разгибе образца в плоскости, перпендикулярной к линии взаимного касания губок прибора, в котором образец зажимается в вертикальном положении.

Загиб образца производится попеременно в правую и левую сторону на 90° с равномерной скоростью не более 60 перегибов в минуту до определенного числа перегибов, указанного в технических условиях.

Проба на перегиб имеет важное значение для оценки способности к деформированию проволоки, при испытании которой на разрыв невозможно определить это свойство.

Гибка труб в горячем состоянии. При горячей гибке с наполнителем трубу отжигают, размечают, а затем один конец закрывают деревянной или металлической пробкой. Слабая набивка приводит к сплющиванию трубы в месте изгиба, поэтому песок необходимо уплотнять обстукиванием трубы снизу до верха. После заполнения песком второй конец трубы нужно забить деревянной пробкой, у которой должны быть отверстия или канавки для выхода газов, образующихся при нагреве.

Иногда в качестве наполнителя применяют воду, которую в трубе

замораживают, и гибку производят в холодном состоянии.

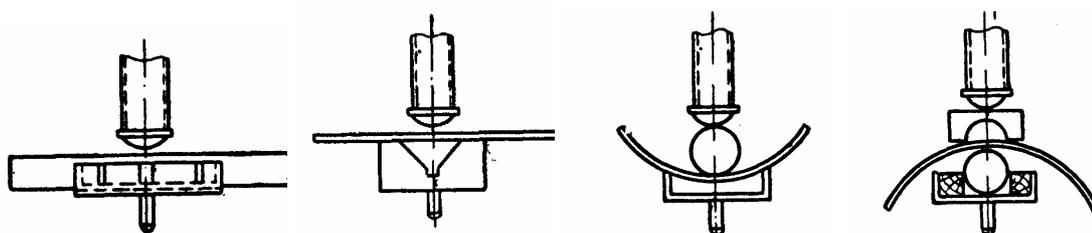


Рисунок 73 - Приемы гибки труб на прессе

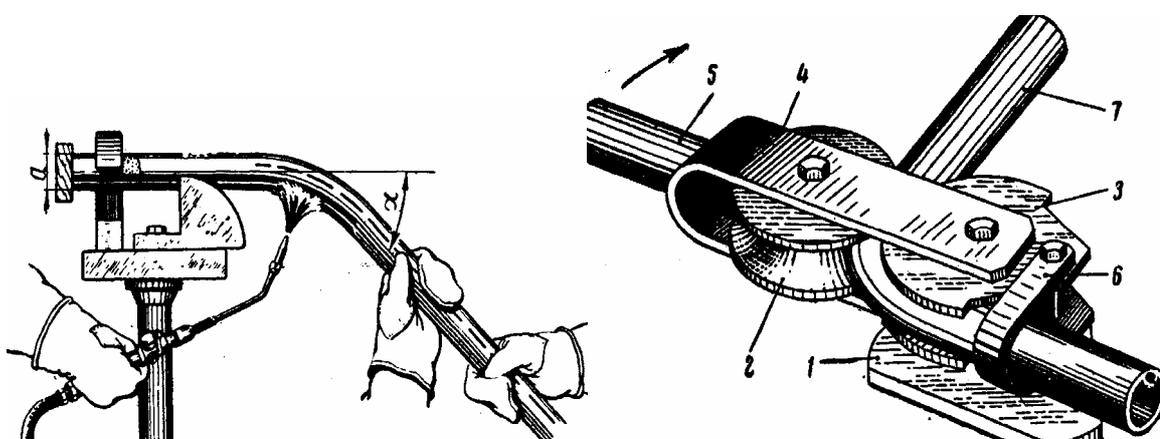
Тонкостенные трубы диаметром 30 мм и больше с малым радиусом изгиба гнут в нагретом состоянии с наполнителями (рисунок 74 а).

Выполняется эта операция по заранее заготовленным шаблонам.

В процессе гибки трубу проверяют по изготовленному из проволоки шаблону.

Трубы нагревают паяльными лампами в горнах или пламенем: газовых горелок до вишнево-красного цвета на длине, равной двум диаметрам. Топливом в горнах может быть древесный уголь и дрова. Лучшим топливом является древесный уголь, который не содержит вредных примесей и дает более равномерный нагрев. Трубы рекомендуется гнуть с одного нагрева, так как повторный нагрев ухудшает качество металла.

При нагреве следует обращать особое внимание на прогрев песка. Нельзя допускать излишнего перегрева отдельных участков; в случае перегрева трубу охлаждают водой. От достаточно нагретой части трубы отскакивает окалина. После нагрева трубу изгибают по шаблону или копируют вручную. По окончании гибки, выколачивают или выжигают пробки и высыпают песок. Плохое неплотное заполнение трубы, недостаточный прогрев перед гибкой приводит к образованию складок или разрыва. Гибка труб диаметром больше 10 мм требует применения специальных приспособлений и до диаметра 30 мм изгибают в приспособлении (рисунок 74 б)



а — в вручную, б — в приспособлении

1 — станина; 2 — подвижный ролик; 3 — ролик-шаблон;
4 — скоба; 5 — рукоятка; 6 — хомутик

Рисунок 74 – Виды гибки труб

Наименьший радиус изгиба определяется радиусом подвижного ролика 2. Изгибаемую трубу 1 вставляют концом в хомут, пропускают между роликами, надевают обрезок трубы и поворотом рукоятки загибают трубу.

Сварные трубы со швом вдоль образующей нужно располагать при гибке так, чтобы шов был сбоку и снаружи, иначе он может разойтись.

Гибка медных и латунных труб. Подлежащие гибке в холодном состоянии медные или латунные трубы заполняют расплавленной канифолью. Порядок гибки аналогичен описанному ранее. Канифоль после гибки следует выплавлять, начиная с концов трубы, нагрев середины трубы, наполненной канифолью разрывает трубу.

Медные трубы, подлежащие гибке в холодном состоянии, нужно отжечь при 600—700 °С и охладить в воде. Наполнитель при гибке медных труб в холодном состоянии — канифоль, а в нагретом — песок.

Латунные трубы, подлежащие гибке в холодном состоянии предварительно отжигают при 600—700 °С и охлаждают на воздухе. Наполнители те же, что и при гибке медных труб.

Дюралюминиевые трубы перед гибкой отжигают при 350—400 °С и охлаждают на воздухе.

При массовом изготовлении деталей из труб применяют механизацию гибки труб (ручные трубогибочные приспособления и рычажные трубогибы), а для гибки труб больших диаметров (диаметром до 350 мм) — специальные трубогибочные станки и прессы.

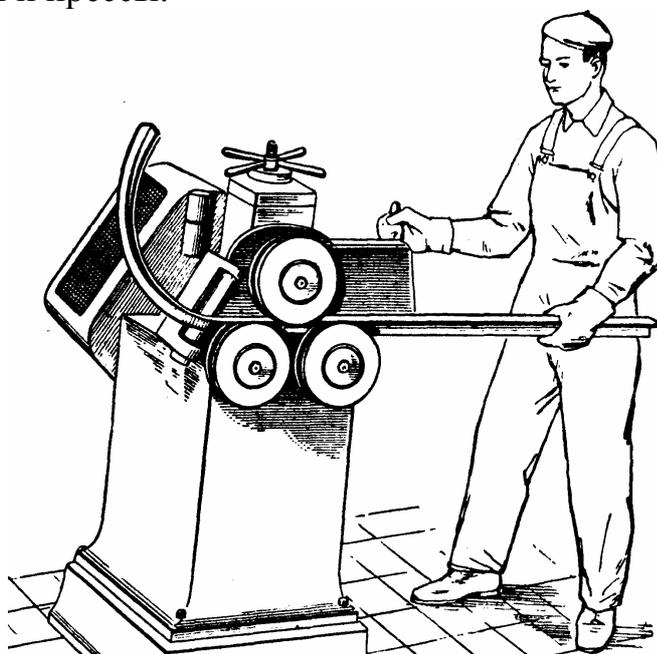


Рисунок 75 - Гибка труб на трехроликовом станке

В последнее время широко используются новые способы гибки труб— гибка с растяжением заготовки и гибка с нагревом токами высокой частоты.

Первый способ заключается в том, что заготовку подвергают

растягивающим напряжениям, превышающим предел текучести металла, а затем в растянутом состоянии гнут. Этот процесс осуществляется на гибочно-растяжных машинах с поворотным столом. Гнутые этим способом детали имеют высокую прочность и значительно меньший вес. Этот способ применяют при гибке труб для самолетов, автомашин, морских и речных судов и др.

При гибке труб с нагревом токами высокой частоты нагрев, гибка и охлаждение происходят непрерывно и последовательно в специальной высокочастотной установке типа трубогибочных станков. Установка допускает гибку труб диаметром от 95 до 300 мм. Она состоит из двух частей:

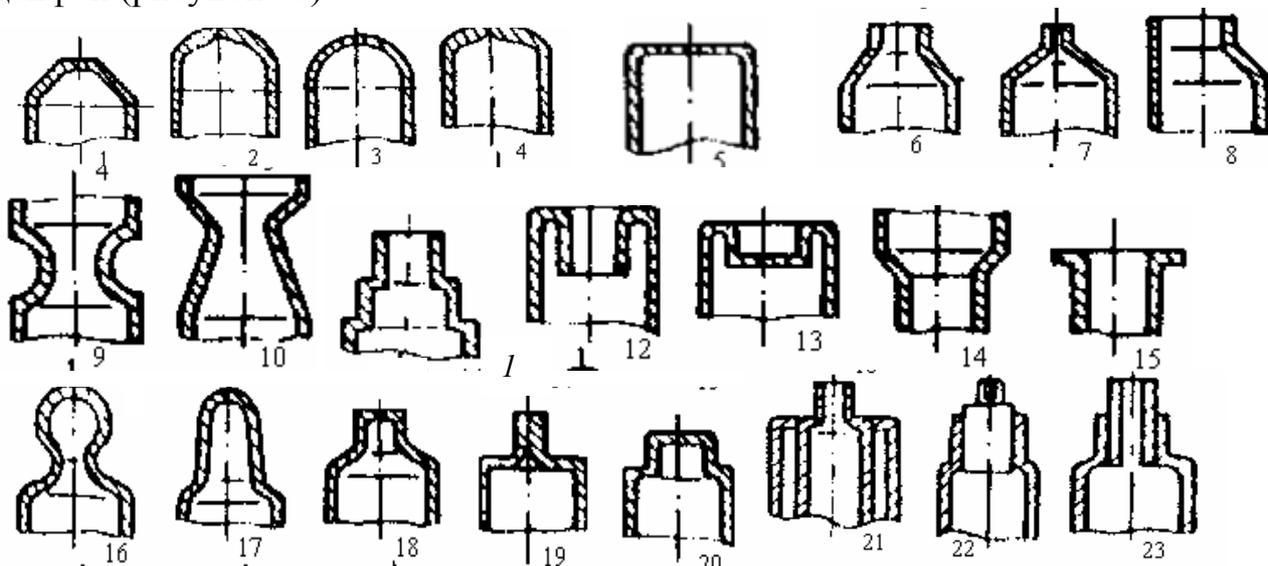
механической и электрической; механическая часть представляет собой станок для гибки труб, а электрическая состоит из электрооборудования и высокочастотной установки.

Указанный способ имеет ряд преимуществ: обеспечивается меньшая овальность в месте изгиба трубы, высокая производительность (4—5 раз выше других способов), процесс механизирован.

Правильно изогнутыми считаются трубы, не имеющие вмятин и складок.

3.4.3 Формоизменения трубных заготовок

Раскатку с уменьшением сечения используют для получения полых деталей переменного сечения. Получаемые раскаткой изделия весьма разнообразны по форме, а именно, горловины цилиндрические и эксцентриковые; диффузоры и конфузоры; детали с шаровой пятой (шток гидроцилиндра) и сферическими днищами; «рубашка» на трубе и со вставной цапфой (рисунок 76).



1 - 4, 17 - герметичные сферические, эллипсоидные и параболические днища; 5, 18, 20 - плоские и ступенчатые днища; 6 - 8, 11, 15 - горловины цилиндрические, эксцентриковые и сливы трубопроводов; 9, 10, 14- диффузоры и конфузоры; 12, 13 - детали с внутренним выворотом; 16 - детали с шаровой пятой (шток гидроцилиндра); 19 - цапфы на роликах; 21 - «рубашка» на трубе; 22, 23 - деталь со вставной цапфой

Рисунок 76 – Детали, получаемые из труб способом торцовой раскатки

Таким же способом могут быть получены детали пневматических или гидравлических цилиндров, полые штоки с шаровой пятой, крышки амортизаторов, экраны и переходники для теплообменных аппаратов; стержни со специфической или конусной концевкой; трубчатые анкеры и металлоконструкции; ступенчатые валы, втулки и многое другое

Заготовками для выполнения таких процессов раскатки являются трубы или отходы трубного производства, причем диапазон заготовок по диаметрам D от 20 до 630 мм, по толщине стенки S от 0,8 до 34 мм, по длине L - без ограничения. Отношение S / D допустимо от 0,02 до 0,1

Раскатку с получения полых деталей из листовых заготовок (радиальную вытяжку) также применяют для получения полых деталей из листовых заготовок. Схема раскатки показана на рисунке 77, а детали получаемые раскаткой – на рисунке 78. Инструментом для проведения операций локальной деформации являются ролики, шарики, алмазные выглаживатели и стержни из инструментальной стали со сглаженным торцом. Инструмент постепенно перемещается относительно заготовки (преимущественно, вращающейся), перемещая тем самым и пятно контакта (локальный очаг деформации).

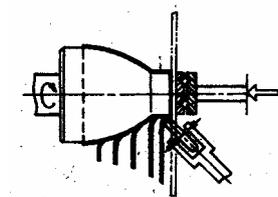


Рисунок 77 – Схема раскатки

По завершению обработки вся поверхность оказывается пластически деформированной, что позволяет не только перераспределить металл (зачастую в значительных объемах), но и сгладить микронеровности (убирать микровыступы и заполнять микровпадины). Схема работы обкатника показана на рисунке 79.

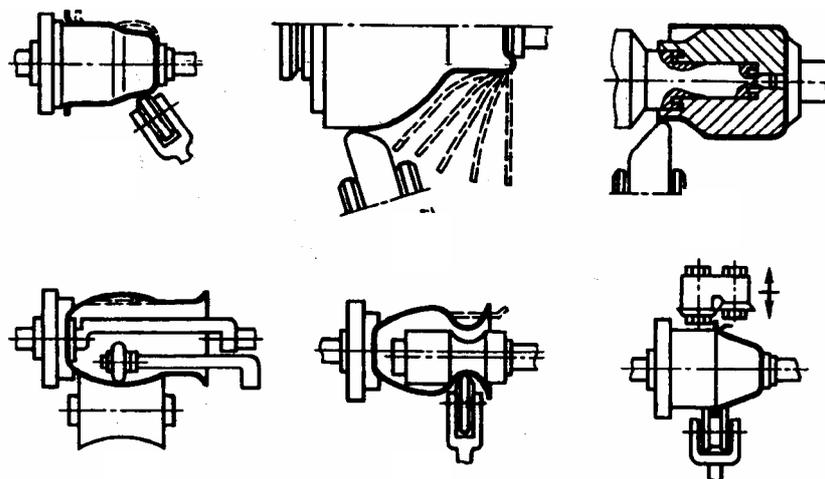
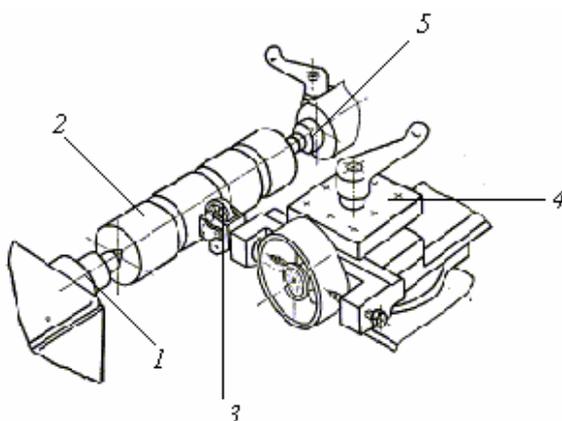


Рисунок 78 – Возможные детали и схемы их получения раскаткой



1 – патрон станка; 2 – заготовка; 3 – роликовый обкатник;
4 – резцедержатель; 5 – центр

Рисунок 79 – Схема работы обкатника

Формоизменение заготовок при раскатке проводят на высокопроизводительных автоматах, или на токарном станке по схеме, аналогичной для обкатки роликом, но при этом обкатной ролик можно заменить стержнем из инструментальной стали (резец с затупленной наплавкой из твердого сплава).

Невысокая стоимость необходимой оснастки, при ее большой стойкости обеспечивает эффективное использование процессов прокатки, раскатки и накатки, как в мелкосерийном, так и в крупносерийном производстве.

При трении, в месте контакта заготовки с инструментом, заготовка локально разогревается в зоне обработки и, тем самым, теряет прочность лишь там, где это необходимо.

3.4.4 Виды и причины брака при гибке и правке

При правке основными видами брака являются вмятины, следы от бойка молотка, забоины на обработанной поверхности от ребер молотка. Указанные виды брака являются следствием неправильного нанесения ударов, применения молотка, на бойках которого имеются забоины и выщербины.

При гибке металла брак чаще всего проявляется в косых загибах и механических повреждениях обработанной поверхности как результат неправильной разметки или закрепления детали в тисках выше или ниже разметочной линии, а также неправильности нанесения ударов.

4 Соединение технологических трубопроводов

Соединения труб и деталей трубопроводов между собой являются самыми ответственными элементами технологических трубопроводов, от качества которых зависит их герметичность, надежность в эксплуатации. Кроме того, конструкция соединения должна обеспечивать удобство и быстроту сборки, экономичность, хорошие гидравлические характеристики.

По функциональному назначению различают два вида соединений технологических трубопроводов: неразъемные (сваркой, используемые в основном, и склеиванием) и разъемные (на фланцах или резьбовых деталях).

4.1 Разъемные соединения

Резьбовые и фланцевые соединения допускаются только в местах установки отключающих устройств, регуляторов давления, контрольно-измерительных приборов и другой арматуры. Резьбовые соединения допускаются также при монтаже газопроводов низкого давления внутри здания. Все вновь сооруженные и капитально отремонтированные газопроводы испытывают на прочность и плотность.

4.1.1 Фланцевые соединения

Разъемные соединения промышленных технологических трубопроводов металлических материалов выполняются в основном на фланцах. Для этих соединений применяют стальные фланцы (рисунок 80), а на трубопроводах из полимерных материалов и полимерные.

Надежность соединений обеспечивается: правильным выбором их конструкции и способом выполнения, высоким качеством труб, соединительных деталей, присадочных и вспомогательных материалов; современным техническим оборудованием и набором приспособлений для сборки и сварки; высокой квалификацией монтажников; изготовлением узлов трубопроводов в условиях трубозаготовительных мастерских; контролем качества сборочно-сварочных работ, а также соблюдением правил эксплуатации трубопроводов.

Наряду с фланцами приваренными к трубам применяют трубы с расширенным торцом.

4.1.1.1 Пластическая обработка с локальным деформированием

Формообразование фасонных поверхностей в холодном состоянии методом накатки имеет свои преимущества, главными из которых являются

очень высокая производительность, низкая стоимость обработки и высокое качество обработанных деталей. Отличительной особенностью операций раскатки от операций штамповки является локальный характер приложения деформирующего усилия, что позволяет существенно снизить удельное и общее суммарное усилие деформирования.

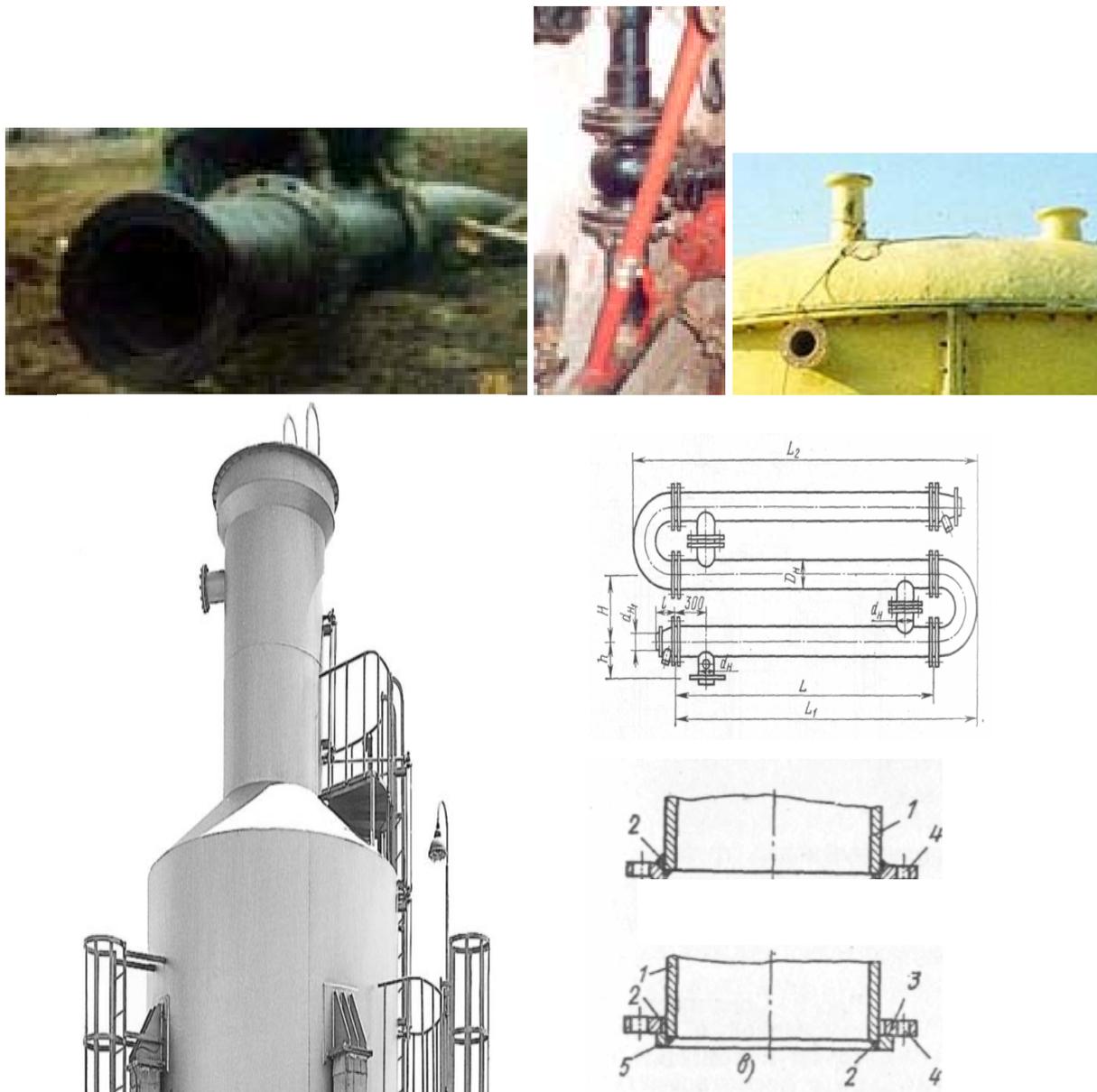


Рисунок 80 – Виды фланцевых соединений

Торцевая раскатка. Формоизменение заготовок при раскатке проводят на токарном станке или на высокопроизводительных автоматах.

Процесс обеспечивает высокую точность и низкую шероховатость получаемого изделия, что в большинстве случаев позволяет исключить из процесса дальнейшую механическую обработку.

Результатом использования процессов раскатки является снижение расхода металла и трудоемкости изготовления деталей до 30 %. Невысокая

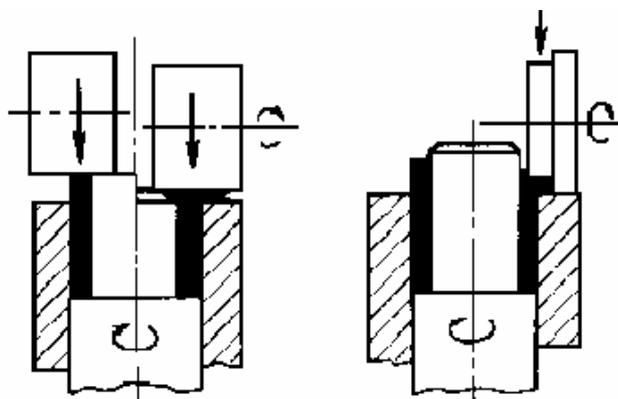
стоимость необходимой оснастки при большой ее стойкости обеспечивает эффективное использование процессов, как в мелкосерийном, так и в крупносерийном производстве.

Получаемые раскаткой изделия весьма разнообразны и, в том числе, баллоны и ресиверы для сжатых и сжиженных газов, резервуары и крышки амортизаторов, детали пневмо- и гидроцилиндров, в том числе полые штоки с шаровой пятой, экраны и переходники для теплообменных аппаратов, стержни со специфической или конусной оконцовкой, ступенчатые валы, трубчатые металлоконструкции, втулки и многое другое (рисунок 76).

Материалом заготовок для деформирования является углеродистая, среднеуглеродистая, инструментальная сталь, а также некоторые марки легированной стали, цветные металлы и их сплавы и полимеры, а заготовками для выполнения процессов раскатки являются трубы или отходы трубного производства, причем диапазон заготовок по диаметру D от 20 до 630 мм, а по толщине стенки S от 0,8 до 34 мм. Отношение S/D допустимо от 0,02 до 0,1 длина L используемых заготовок без ограничения. Экономия материала и снижение трудоемкости при такой технологии очевидны.

Причем, торцовую раскатку можно проводить на установках как без внутренней оправки (рисунок 81), так и с ней (рисунок 82).

Одной из самых эффективных областей рассматриваемого процесса является получение утолщений на торцах трубы (рисунок 81) и получение деталей с наружными буртами.



а – без утонения; б – с утонением стенки

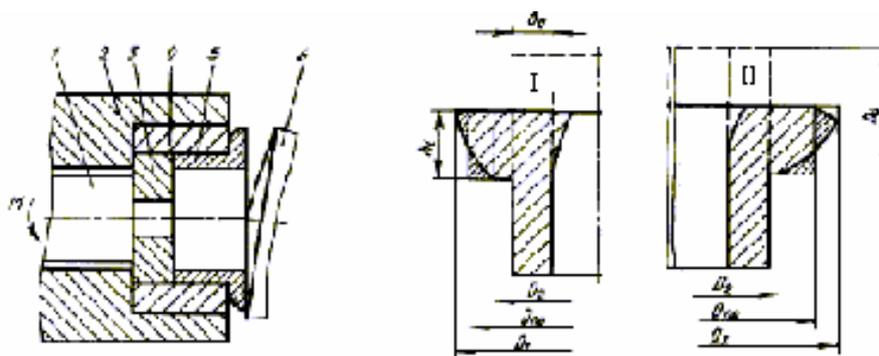
Рисунок 81 - Схемы торцевой раскатки с внутренней оправкой

На качество получаемого изделия заготовки имеет большое значение характер перераспределения металла. При этом может иметь место:

- высадка раскаткой – наблюдается двустороннее течение металла в зоне контакта раскатного валка с заготовкой. В данном случае наблюдается плавное увеличение кривизны выпуклой свободной поверхности, образующегося бурта на протяжении всей операции формообразования. Процесс сопровождается уменьшением внутреннего диаметра заготовки (рисунок 82 б-1);

- образование бурта раскаткой – когда в начальной стадии раскатки у заготовки происходит преимущественное течение слоев металла

контактирующих с валком, что приводит к вывороту этой части заготовки и к образованию острой кромки на периферийной части торцевой поверхности



бурта (рисунок 82 б-II).

а - схема раскатки; б - форма буртов, полученных в результате высадки и отбортовки.

I - высадка; II - отбортовка.

1 - выталкиватель; 2 - шпиндель; 3 - подпятник; 4 - матрица; 5 - заготовка; 6 - деформирующий валок

Рисунок а б сатка наружного бурта

Торцовая раскатка, как с утонением стенки получаемой детали, так и без нее, может проводиться с внутренней оправкой (рисунок 82).

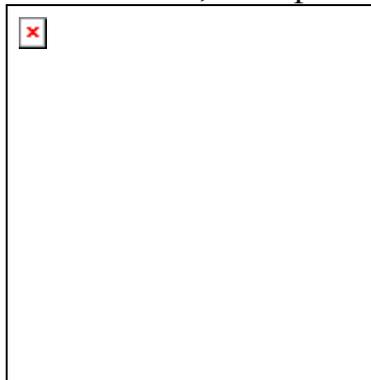
При трении в зоне обработки в месте контакта с инструментом заготовка локально разогревается, что приводит к потере прочности материала. Причем прочность теряется лишь там, где это необходимо, в локальной зоне обработки.

Простая форма фланца используется при отбортовке концов труб при давлениях до 0,25 МПа. Однако отбортовка и соответствующая конструкция фланцевого соединения обладают малой длительной прочностью ввиду концентрации напряжений в зоне перегиба и опасности разрушения в этой зоне.

Приварные фланцы на неметаллических трубопроводах не получили широкого распространения из-за невысокой прочности неметаллических фланцев и сложности приварки их к трубам и деталям в условиях монтажной площадки. Преимущество получили соединения со свободно вращающимися фланцами и накладными гайками. Они обеспечивают необходимую затяжку и удобны при монтаже. Достоинствами такого соединения являются: разгрузка трубопровода от осевых температурных напряжений, высокая производительность сборки, возможность ведения работ при низких температурах окружающего воздуха и в сырую погоду, возможность ведения работ персоналом, не имеющим высокой квалификации. В то же время, в связи со спецификой компенсационного соединения, их использование требует повышенных затрат на установку опор, воспринимающих осевые усилия в трубопроводе.

4.1.2 Резьбовые соединения

К соединениям труб с помощью накидной гайки относятся разнообразные конструкции, выполняемые с помощью пластмассовых и металлических деталей. Для труб малых диаметров эти соединения более компактны, а в ряде случаев и экономичнее, чем фланцевые соединения.



1 — труба пластмассовая; 2 — втулка буртовая; 3 — накидная гайка;
4 - уплотнительная прокладка; 5— муфта

Рисунок 83 — Соединение полимерных труб между собой накидной гайкой

Соединения труб из ПВХ с раструбами под уплотнительное кольцо (компенсационное соединение) весьма просты по конструкции и обеспечивают надежную работу трубопровода до 0,6 МПа. Раструбы получают пластической обработкой с локальным деформированием.

4.1.2.1 Характеристика резьбы

Резьба — это винтовая канавка, выполненная на наружной или внутренней цилиндрической поверхности. Резьба бывает наружная или внутренняя и характеризуется следующими параметрами:

- профиль резьбы - сечение витка плоскостью, проходящей через ось цилиндра, на котором нарезана резьба;
- нитка (виток) - часть резьбы, образуемая при одном полном обороте;
- угол профиля резьбы - угол, заключенный между боковыми сторонами профиля резьбы;
- впадина профиля - участок, соединяющий боковые стороны канавки;
- шаг резьбы - расстояние между двумя одноименными точками соседних витков, измеренное параллельно оси резьбы.

По профилю резьба бывает цилиндрическая треугольная, коническая треугольная, прямоугольная, трапецеидальная, упорная и круглая.

В машиностроении распространены три системы треугольной резьбы: метрическая, дюймовая и трубная.

Метрическая резьба имеет угол профиля 60 градусов, характеризуется шагом и диаметром, которые выражены в метрической системе мер - миллиметрах.

Дюймовая резьба имеет угол профиля равный 55 градусам, наружный диаметр измеряется в дюймах (1 дюйм равен 25,4 мм), шаг характеризуется числом ниток на 1 дюйм, применяется редко.

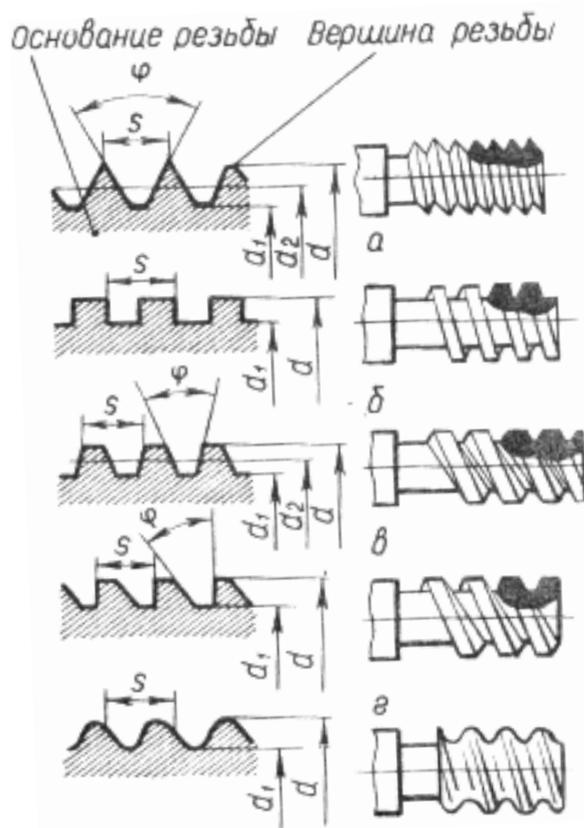
Трубная резьба имеет профиль дюймовой резьбы и характеризуется числом ниток, приходящихся на 1 дюйм, применяется для соединения труб.

При нарезании резьбы различают четную резьбу, шаг которой кратен шагу ходового винта и нечетную. При нарезании четной резьбы можно выключать разъемную гайку в суппорте после каждого прохода и быстро возвращать суппорт в исходное положение вручную, не останавливая станок. При последующем проходе резец автоматически попадает во впадину резьбы, здесь отвод резца в исходное положение связан с реверсированием подачи и вращения шпинделя станка.

На детали, закрепленной в патроне токарно-винторезного станка, наружная резьба может быть выполнена плашками, а резьба в отверстиях - метчиками которые предварительно закрепляют в воротках.

Резьбы бывают однозаходные, образованные одной винтовой линией (ниткой), или многозаходные, образованные двумя и более нитками. Многозаходную резьбу нарезают так же, как и однозаходную, только после получения одной винтовой нитки деталь поворачивают с помощью делительного приспособления на определенный угол, зависящий от числа заходов. По направлению винтовой линии резьбы подразделяют на правые и левые. Виды резьбы показаны на рисунке 84.

Для нарезания резьбы важно знать основные ее элементы: шаг, наружный, средний и внутренний диаметры и форму профиля резьбы.



а – треугольная; б – прямоугольная;
в – трапецеидальная; г – упорная; д - круглая

Рисунок 84 - Элементы и виды резьбы по профилю

В зависимости от системы размеров резьбы делятся на метрические, дюймовые, трубные и др.

В метрической резьбе угол треугольного профиля равен 60° , наружный, средний и внутренний диаметры и шаг резьбы выражаются в миллиметрах.

Пример обозначения: M20X -1,5 (первое число—наружный диаметр, второе—шаг).

В дюймовой резьбе угол треугольного профиля равен 55° , диаметр резьбы выражают в дюймах, а шаг – числом ниток на один дюйм.

Трубная резьба отличается от дюймовой тем, что ее исходным размером является не наружный диаметр резьбы, а диаметр отверстия трубы, на наружной поверхности которой нарезана резьба. Пример обозначения: труб. 3/4" (цифры — внутренний диаметр трубы в дюймах).

Нарезание резьбы производится на сверлильных и специальных резьбонарезных станках, а также вручную.

При ручной обработке металлов внутреннюю резьбу нарезают метчиками, а наружную — плашками.

Трубная резьба имеет профиль дюймовой резьбы и характеризуется числом ниток, приходящихся на 1 дюйм, применяется для соединения труб.

4.1.2.2 Нарезание резьбы

Приемы нарезания резьбы, и особенно применяемый при этом режущий инструмент, во многом зависят от вида и профиля резьбы.

4.1.2.2.1 Нарезание резьбы на токарно-винторезных станках

На токарно-винторезных станках резьбу нарезают с помощью метчиков, плашек, резьбовых резцов и других инструментов. Форма режущих лезвий резцов определяется профилем и размерами поперечного сечения резьбы. Резьбовой резец устанавливают на станке в резцедержателе по шаблону, затем настраивают станок.

Нарезание резьбы относится к числу наиболее точных работ, выполняемых на токарно-винторезных станках. При этом осуществляется два согласованных между собой движения: вращение детали и продольная подача суппорта с резцом от ходового винта. Подачу устанавливают в зависимости от шага резьбы переключением рукояток коробки подач.

Станки чаще всего снабжаются набором сменных зубчатых колес с числом зубьев, делящимся на 5 (от 20 до 120). В наборе зубчатых колес есть колесо с числом зубьев 127, применяемое при нарезании на станках дюймовой резьбы. Современные токарно-винторезные станки имеют четыре сменных зубчатых колеса, при их различных зацеплениях в сочетании с использованием коробки подач позволяют нарезать резьбу в широком диапазоне шагов.

На токарно-винторезных станках полный профиль резьбы нарезают резцом за несколько проходов. После каждого прохода резец может быть установлен на определенную глубину резания двумя способами: перемещением перпендикулярно к оси детали и параллельно его режущей кромке.

Перемещение резца на глубину резания от 0,02 до 0,05 мм перпендикулярно к оси обрабатываемой детали позволяет получить качественную поверхность резьбы. Применяют этот способ при нарезании резьбы с шагом до 2 мм.

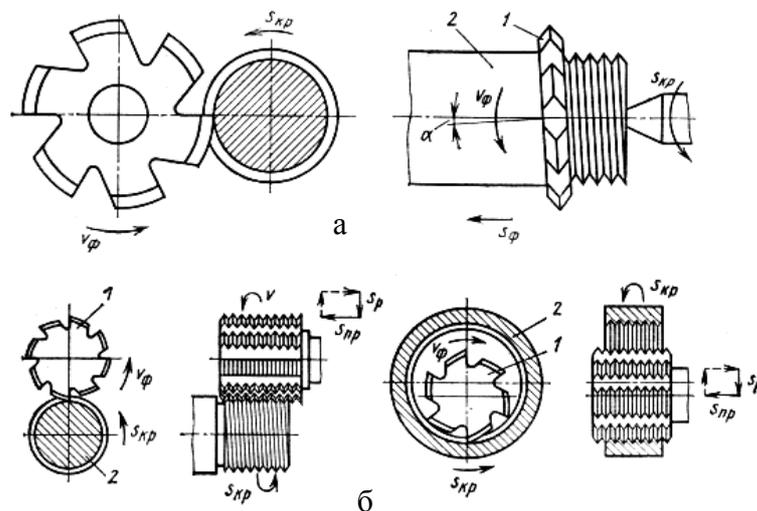
Перемещение резца на глубину резания от 0,1 до 0,2 мм параллельно правой режущей кромке дает возможность нарезать резьбу с шагом свыше 2 мм. При этом левая сторона впадины резьбы получается чистой, а правая - шероховатой, требующей дополнительной обработки.

Перемещение резца осуществляется при помощи верхних салазок суппорта, которые должны быть повернуты на угол, равный половине угла S при вершине в плане.

Перемещение резца с положительным передним углом на глубину резания параллельно правой режущей кромке позволяет применять глубину резания от 0,3 до 0,5 мм, но шероховатость поверхностей профиля резьбы при этом получается высокая. Поэтому данный способ можно использовать лишь для предварительного (чернового) нарезания крупной резьбы.

4.1.2.2 На резьбофрезерных станках

Резьбовые соединения широко применяют для неподвижных и подвижных соединений. Резьбу на деталях нарезают на токарных станках резьбонарезными инструментами (метчиками, плашками, резьбонарезными головками и др.), на токарно-винторезных — резьбовыми резцами, на специальных станках — дисковыми гребенчатыми резьбовыми фрезами (рисунок 85), накатыванием роликами или плоскими плашками и др.



а – дисковой; б - гребенчатой
1 – фреза; 2 - заготовка

Рисунок 85 – Схемы фрезерование резьбы различными фрезами

Обработку резьбы различного шага, профиля и длины на ходовых винтах на резьбофрезерных станках производят дисковыми резьбовыми фрезами. Для этого ось вращения фрезы 1 устанавливают к оси вращения заготовки 2 под углом α , равным углу подъема винтовой линии нарезаемой резьбы, и сообщают фрезе главное вращательное движение со скоростью резания V и продольную подачу S вдоль оси заготовки, которую вращают с круговой подачей.

Для нарезания на резьбофрезерных станках короткой наружной и внутренней резьбы применяют гребенчатые дисковые фрезы, выполненные в виде набора дисковых резьбовых фрез. Минимальная длина гребенчатой фрезы на 2—3 шага превышает длину фрезеруемой резьбы. При обработке ось вращения гребенчатой фрезы 1 располагают параллельно оси вращения заготовки 2, и вращающуюся со скоростью резания V_{ϕ} фрезу подводят к вращающейся со скоростью круговой подачи заготовки V и осуществляют врезание на глубину резьбы с радиальной подачей при одновременной продольной подаче фрезы на шаг нарезаемой резьбы. После нарезания фрезу быстро отводят и возвращают в исходное положение. Нарезание резьбы выполняют за 1,5 оборота заготовки.

4.1.2.2.3 Ручное нарезание внутренней резьбы

Метчики по назначению делятся на ручные, машинно-ручные и машинные, а в зависимости от профиля нарезаемой резьбы — на три типа: для метрической, дюймовой и трубной резьб.

Метчик (рисунок 86) состоит из двух основных частей: рабочей части и хвостовика. Рабочая часть представляет собой винт с несколькими продольными канавками и служит для непосредственного нарезания резьбы. Рабочая часть, в свою очередь, состоит из заборной (режущей) и направляющей (калибрующей) частей. Заборная (режущая) часть производит основную работу при нарезании резьбы и изготавливается обычно в виде конуса. Калибрующая (направляющая) часть, как видно из самого названия, направляет метчик и калибрует отверстие.

Продольные канавки служат для образования режущих перьев с режущими кромками и размещения стружки в процессе нарезания резьбы.

Хвостовик метчика служит для закрепления его в патроне или в воротке во время работы.

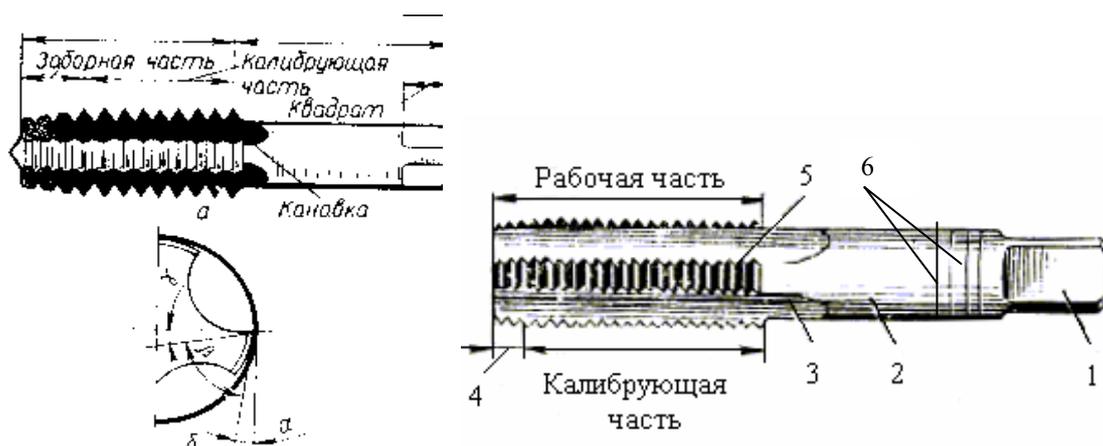
Для нарезания резьбы определенного размера ручные (слесарные) метчики выполняют обычно в комплекте из трех штук. Первым и вторым метчиками нарезают резьбу предварительно, а третьим придают ей окончательный размер и форму. Номер каждого метчика комплекта отмечен числом рисок на хвостовой части. Существуют комплекты из двух метчиков: предварительного (чернового) и чистового.

Изготавливают метчики из углеродистой, легированной или быстрорежущей стали.

При нарезании резьбы метчиком важно правильно выбрать диаметр сверла для получения отверстия под резьбу. Диаметр отверстия должен быть несколько больше внутреннего диаметра резьбы, так как материал при нарезании будет частично выдавливаться по направлению к оси отверстия. Размеры отверстия под резьбу выбирают по таблицам.

Для нарезания внутренней резьбы метчиком вначале готовят отверстие под резьбу, причем сверло берут несколько большего диаметра, чем диаметр резьбы. Если же диаметр отверстия точно соответствует внутреннему диаметру резьбы, то материал, выдавливаемый при нарезании, давит на зубья метчика, из-за большого трения они нагреваются и к ним прилипают частицы металла. В результате резьба получается с рваными гребешками (нитками) и, кроме того, возможна поломка метчика. Вместе с тем нельзя делать отверстия под резьбу и слишком большого диаметра, так как в этом случае резьба получится неполной.

Полученное отверстие под резьбу зенкуют на глубину 1 - 1,5 мм конической зенковкой с углом 90° .



- а — основные части; б — режущее перо (о — задний угол; у — угол заострения);
 1 - квадрат; 2 - хвостовик; 3 - канавка; 4 - режущая часть;
 5 - нитка (виток) резьбы; 6 - круговые риски

Рисунок 86 – Метчик

После подготовки отверстия подбирают комплект метчиков в соответствии с размером резьбы. Рабочую часть первого (чернового) метчика смазывают маслом и вставляют его заборной частью в отверстие так, чтобы ось метчика совпала с осью отверстия. Затем на хвостовик метчика надевают вороток. Прижимая левой рукой вороток к метчику, правой вращают вороток по ходу (направлению) резьбы до тех пор, пока метчик не врежется на несколько ниток и не займет устойчивого положения. После этого вороток берут за рукоятки обеими руками и вращают, перехватывая через каждые пол оборота. Для облегчения работы и получения чистой резьбы вороток вращают вначале на один-два оборота вперед, затем на поло борота назад и т. д. Благодаря такому возвратно-вращательному движению метчика стружка ломается, получается короткой (дробленой), а процесс резания значительно облегчается. Закончив нарезание, вращением воротка в обратную сторону метчик вывертывают из отверстия. Аналогичными приемами окончательно нарезают резьбу вторым (чистовым) метчиком, а если комплект метчиков состоит из трех штук, то вторым и третьим (чистовым) метчиками.

При нарезании резьбы в глухих отверстиях, в мягких и вязких металлах (медь, алюминий, бронза и др.) метчик необходимо периодически вывертывать из отверстия и очищать канавки от стружки. Глухое отверстие под резьбу нужно сверлить на глубину, несколько большую, чем длина нарезаемой части, с таким расчетом, чтобы рабочая часть метчика немного выходила за пределы нарезаемой части. Если такого запаса не будет, то резьба получится неполной.

В процессе нарезания надо следить, чтобы не было перекоса метчика. Особенно осторожно надо нарезать резьбу в мелких и глухих отверстиях. Качество резьбы проверяют калибром-пробкой или соответствующим болтом.

Техника нарезания внутренней резьбы. Просверленное отверстие, в котором нарезают резьбу метчиком, должно быть обработано зенкером или же

проточено. При нарезании резьбы материал частично «выдавливается», поэтому диаметр сверла должен быть несколько больше, чем внутренний диаметр резьбы. Изменение величины отверстия при нарезании резьбы у твердых и хрупких металлов меньше, чем у мягких и вязких металлов.

4.1.2.2.4 Ручное нарезание наружной резьбы

При выборе диаметра стержня под наружную резьбу руководствуются теми же соображениями, что и при выборе отверстия под внутреннюю. Резьбу хорошего качества можно получить в том случае, если диаметр стержня будет несколько меньше наружного диаметра нарезаемой резьбы. Если диаметр стержня сделать значительно меньше требуемого, то резьба получится неполной; если же диаметр будет больше, то плашка или не будет навинчиваться на стержень, или во время нарезания ее зубья от перегрузки сломаются. Диаметр стержня под резьбу выбирают по таблицам.

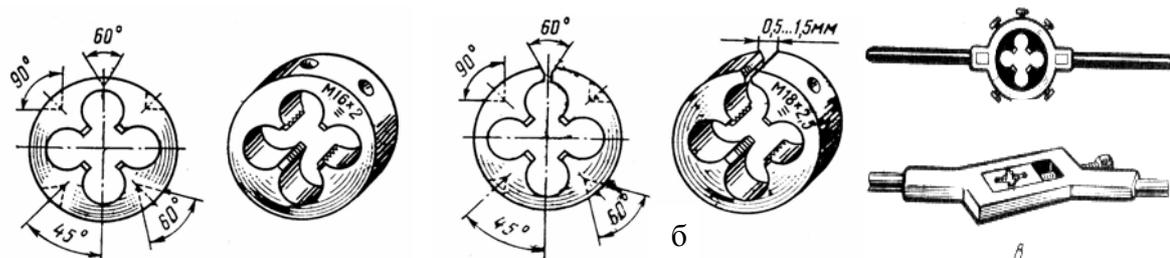
Для нарезания наружной резьбы применяют плашки (рисунок 87) нескольких видов: круглые, квадратные, шестигранные и раздвижные призматические. Круглую плашку закрепляют в воротке (плашкодержателе), а раздвижную призматическую - в рамке клуппа.

Перед нарезанием резьбы у стержня и в отверстии необходимо снять фаски. Рабочие части инструмента и заготовки необходимо смазать. В качестве смазочных веществ применяют эмульсию, керосин, машинное масло.

Метчик надо вставить в отверстие и по угольнику проверить его соосность с обрабатываемой поверхностью. Плашку следует наложить на нарезаемый конец стержня так, чтобы плоскость плашки была перпендикулярна к оси стержня, а клеймо находилось внизу.

Плашки, служащие для нарезания наружной резьбы, в зависимости от конструкции подразделяются на круглые и призматические (раздвижные).

Круглая плашка (рисунок 87а) представляет собой цельное или разрезанное кольцо с резьбой на внутренней поверхности и канавками, которые служат для образования режущих кромок и выхода стружки. Диаметр разрезных плашек можно регулировать в небольших пределах. Это позволяет восстанавливать их размер после изнашивания и удлинять срок службы, плашек. Круглые плашки при нарезании резьбы закрепляют в специальном воротке - плашкодержателе (рисунок 87 в).

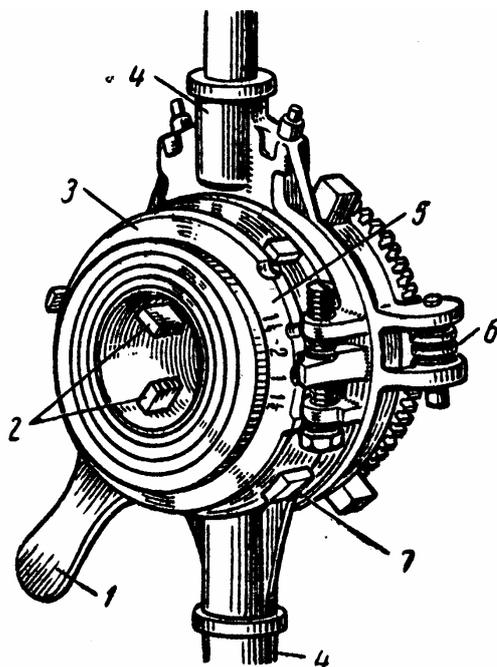


а – цельная; б – разрезная; в – воротки для круглой и раздвижной

Рисунок 87 - Круглые плашки и воротки

Призматические (раздвижные) плашки (рисунок 87в) в отличие от круглых состоят из двух половинок, называемых полу плашками. На каждой из них указаны размеры резьбы и цифра 1 или 2 для правильного закрепления в специальном приспособлении (клубпе). Угловые канавки (пазы) на наружных сторонах полу плашек служат для установки их в соответствующие выступы клубпа. Изготавливают плашки из тех же материалов, что и метчики.

Раздвижные (призматические) вставки изготавливают комплектами по 4–5 пар в каждом; каждую пару вставляют в клубп. Раздвижные плашки изготавливают для трубной (клубп) резьбы от $\frac{1}{2}$ до 3". Клубп для закрепления раздвижных (трубных) плашек показан на рисунок 88.



1 – рукоятки; 2 - четыре резьбовые плашки; 3 – корпус;
4 – рукоятки; 5 – шкала; 6 – червяк; 7 – планшайба

Рисунок 88 – Клубп для нарезания трубной резьбы

В корпус 3 вставлены четыре резьбовые плашки 2 (гребенки), сближающиеся или раздвигающиеся при повороте планшайбы 7 с помощью рукоятки 1. Установка плашек на нужный диаметр производится по шкале 5 вращением червяка 6. При работе клубп держат за рукоятки 4.

При нарезании наружной резьбы также важно определить диаметр стержня под резьбу, так как и в этом случае происходит некоторое выдавливание металла и увеличение наружного диаметра образовавшейся резьбы по сравнению с диаметром стержня. Диаметр под резьбу выбирают по специальным таблицам. При нарезании резьбы плашкой вручную заготовку закрепляют в тисках так, чтобы выступающий над уровнем губок тисков конец стержня был на 20—25 мм больше длины нарезаемой части.

При вращении метчика и плашки необходимо делать один или два оборота в рабочем направлении и пол-оборота в обратную сторону для

дробления стружки и предупреждения заедания инструмента.

4.2 Неразъемные соединения

Неразъемные соединения по технологии выполнения разделяются на сварные (паяные) и клеевые. По конструкции шва сварные и клеевые соединения разделяются на стыковые и раструбные, являющиеся разновидностью нахлесточных соединений. Стыковые соединения обеспечивают более благоприятные распределения напряжений в шве, однако площадь шва при этом определяется толщиной стенки трубы. В раструбных соединениях площадь сварки или склейки может многократно превышать площадь поперечного сечения конструкции. Достоинством раструбных сварных и клеевых соединений по сравнению со стыковыми, помимо увеличения площади соединяемых поверхностей, является также повышенная стойкость к изгибающим усилиям, которые, как правило, возникают в процессе монтажа и эксплуатации.

Соединения труб и деталей трубопроводов между собой являются самыми ответственными элементами технологических трубопроводов, от качества которых зависит их герметичность, надежность в эксплуатации. Кроме того, конструкция соединения должна обеспечивать удобство и быстроту сборки, экономичность, хорошие гидравлические характеристики.

Надежность соединений обеспечивается: правильным выбором их конструкции и способом выполнения, высоким качеством труб, соединительных деталей, присадочных и вспомогательных материалов; современным техническим оборудованием и набором приспособлений для сборки и сварки; высокой квалификацией монтажников; изготовлением узлов трубопроводов в условиях трубозаготовительных мастерских; контролем качества сборочно-сварочных работ, а также соблюдением правил эксплуатации трубопроводов.

4.2.1 Сварка

Сваркой называют технологический процесс получения неразъемных соединений из металлов, сплавов и других однородных или разнородных материалов в результате образования атомно-молекулярных связей между частицами соединяемых заготовок.

Сварка - это один из наиболее распространенных технологических процессов, включающий в себя, помимо собственно сварки, наплавку, пайку, напыление, склеивание и некоторые другие операции. С помощью сварки можно соединить между собой детали из различных металлов и сплавов, керамических материалов, пластмассы. От степени развития сварки во многом зависит уровень технологии в машиностроении, приборостроении, строительстве и других областях хозяйства. Сварочная технология позволяет надежно соединять детали любой толщины и конфигурации.

В качестве исходных заготовок для изготовления сварных конструкций применяют различную продукцию объемной и листовой штамповки, отливки и различные виды проката. Сварная конструкция может иметь очень сложную форму при относительно простой и нетрудоемкой технологии ее изготовления. В производстве используют большое число разновидностей сварочных процессов. В зависимости от агрегатного состояния металла в месте соединения во время сварки их подразделяют на способы сварки плавлением, при которых соединение получают расплавлением соединяемых поверхностей, способы сварки давлением, осуществляемые с приложением давления в холодном или в подогретом состоянии, и термомеханическую сварку, включающую одновременное действие плавления и давления на металл.

4.2.1.1 Технология изготовления сварных заготовок

Принципиальная технология изготовления сварных заготовок предусматривает:

- разбивку получаемой конструкции на отдельные элементы;
- эскизную проработку специальных приспособлений и оснастки;
- расчеты режимов сварки и основных сварочных операций;
- расчеты ожидаемых сварных деформаций;
- сравнительный технико-экономический анализ вариантов технологии.

При выборе сортамента материала для изготовления элементов сварных конструкций предпочтение необходимо отдавать прокату, гнутым и штампованным профилям, тонким листу и трубам и их сочетаниям, при этом необходимо стремиться к минимальным числу типоразмеров и толщине свариваемых элементов.

При изготовлении сложных заготовок рационален комбинированный метод, при котором заготовку расчлняют на отдельные простые части, которые изготавливают прогрессивными методами с последующим свариванием или пайкой этих элементов в единую конструкцию (заготовку). При этом рекомендуется получать элементы заготовки одним методом, но

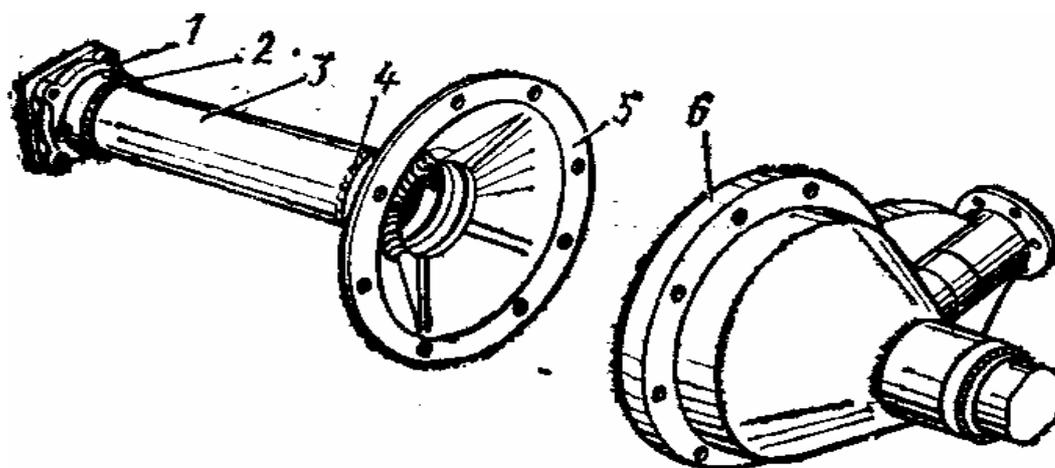
допускается и сочетание методов для получения элементов заготовки.

Для получения сварных заготовок применяют практически все виды сварки (под флюсом, дуговую, контактную, в среде защитного газа, электрошлаковую, электронным лучом, лазерную, плазменную, ультразвуковую и т.д.), что вызвано широкой номенклатурой марок и толщиной заготовок для сварных изделий.

При производстве сварных заготовок материал выбирают не только исходя из конструктивных и эксплуатационных соображений, но и его свариваемости, т.е. с учетом возможности обеспечения хорошей сварки.

В определенных случаях требования условий работы и экономической целесообразности определяют соединение в единой конструкции деталей, выполненных из материалов с различными рабочими характеристиками.

В качестве составных частей свариваемой конструкции могут быть применены заготовки, полученные методами литья, прокатки, штамповки и т.д. Примером такой конструкции может быть корпус заднего моста автомобиля (рисунок 89). Причем для соединения элементов применяют различные виды сварки, например точечную электроконтактную, плавлением, а для некоторых деталей применяют комбинацию различных методов сварки (использование контактной стыковой и электродуговой сварки).



- 1 – корпус подшипника полуосей; 2 – шов контактной стыковой сварки;
3 – кожух; 4 - шов электродуговой сварки; 5 – крышка корпуса
дифференциала; 6 – корпус дифференциала заднего моста

Рисунок 89 – Представители штамповарных деталей
(корпус заднего моста автомобиля)

В данной конструкции корпус 6 и крышка 5 корпуса дифференциала выполнены методом литья, кожух 3 - методом прокатки, а корпус подшипника полуосей 1 – методом штамповки. Всю конструкцию воедино собирают методами контактной стыковой (шов 2) и электродуговой (шов 4) сварки. Выпадение из технологического комплекса хотя бы одного из примененных

методов формообразования неизбежно приведет к усложнению технологии и удорожанию продукции.

Следует предусматривать возможность свободного доступа ко всем швам не только в процессе проведения сварки, но и для последующего контроля.

При производстве сварных заготовок вследствие действия температур происходит изменение формы и размеров заготовки (сварочные деформации), которые снижают точность заготовки и требуют назначения больших припусков на механическую обработку. Также надо учитывать то, что сварочные напряжения, возникающие в околошовном пространстве, могут снижать работоспособность сварочных конструкций в условиях работы при динамических нагрузках или при низких температурах. Для борьбы с этим явлением используют высокотемпературный отпуск при температурах от 550 до 680 °С в течение нескольких часов.

Выбранный метод сварки должен обеспечивать, помимо необходимых прочностных и эксплуатационных свойств конструкции, минимальную ее деформацию в процессе сварки, что зависит от жесткости конструкции, режима сварки и толщины соединяемых элементов. Увеличенные деформации приводят к необходимости больших припусков на обработку резанием.

Уменьшить величину сварочных деформаций можно путем использования тех или иных приемов, основными из которых являются:

- определенная последовательность наложения швов;
- постановка дополнительных ребер жесткости;
- прочное закрепление свариваемых заготовок;
- предварительная деформация с обратным знаком и другие приемы, усложняющие и удорожающие процесс сварки.

При последующей обработке резанием сварных конструкций с большим уровнем собственных напряжений следует учитывать, что снятие слоя металла приводит к нарушению взаимно уравновешенного поля напряжений в конструкции, в результате чего после снятия с закрепляющих приспособлений конструкция может самопроизвольно деформироваться. Чтобы избежать дополнительных деформаций в процессе обработки элементов сварной конструкции резанием, рекомендуется предварительно снять или уменьшить собственные напряжения соответствующей термической обработкой.

Современное состояние прокатного и сварочного производств позволяет применять более прогрессивные методы изготовления крупных труб, а именно заменить литые заготовки штампованными. Это позволяет существенно сократить не только расход металла на выпуск детали (до 40 %), но также снизить ее механическую обработку (до 90 %).

Применение комплексной технологии требует достаточно высокого уровня развития каждого из способов формообразования, позволяющих получать отдельные заготовки высокого качества из нужных материалов. Например, корпус, получаемый литьем, должен быть изготовлен из стали, обладающей хорошей свариваемостью. Штампованные детали желательно выполнять из материалов того же состава, что и литые, обеспечивая тем самым достаточно простой процесс сварки однородных материалов. При необходимости

соединения в единой конструкции деталей, выполненных из разнородных материалов, существенно усложняет процесс сварки. Комплексная технология предусматривает необходимость увязки стыковых сопряжений по размерам и толщине. При сварке заготовок большой толщины для получения полного провара по всему сечению необходимо обрабатывать соединяемые кромки.

4.2.1.2 Классификация и характеристика способов и видов сварки

Процесс установления неразъемных соединений посредством установки межатомарных связей между соединяемыми частями при их местном (общем) нагреве или пластическом деформировании, а также при совместном действии того и другого, согласно ГОСТ 2601-84, называется сваркой.

Классификация видов сварки по физическим признакам приведена на рисунке 90, а по технологическим признакам на рисунке 91.

КЛАССЫ СВАРКИ

Т Е Р М И Ч Е С К И Е	Дуговая	ТЕРМО- МЕХАНИЧЕСКИЕ	Трением	М Е Х А Н И Ч Е С К И Е
	Электрошлаковая			
	Плазменная	Контактная	Холодная	
	Электронно-лучевая	Газопрессовая	Ультразвуковая	
	Газовая	Кузнечная	Взрывом	
	Термитная	Диффузионная		
	Литейная	Индукционная		
Лазерная	Автовакуумная			

Рисунок 90 – Классификация видов сварки по физическим признакам

ВИДЫ СВАРКИ ПО ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРИЗНАКАМ

ПО СПОСОБУ ЗАЩИТЫ	В воздухе	ПО НЕПРЕРЫВНОСТИ ПРОЦЕССА	Ручные	ПО СТЕПЕНИ МЕХАНИЗАЦИИ
	В вакууме			
	Под флюсом		Механизированные	
	По флюсу	Непрерывные	Автоматизированные	
	В защитном газе	Прерывистые	Автоматические	
	С комбинированной защитой			

Рисунок 91 – Классификация видов сварки по технологическим признакам

Каждый из технологических видов сварки различается: по роду тока и

полярности (дуговая сварка); по режиму -мягкий и жесткий (контактная сварка).

Для осуществления сварки необходимо выполнение двух условий: во-первых, сблизить соединяемые поверхности на расстояние, соизмеримое с параметрами кристаллической решетки, во-вторых, обеспечить определенную минимальную избыточную энергию атомам на соединяемых поверхностях, так как переход из одного устойчивого состояния в другое возможен только путем преодоления энергетического барьера, т.е. необходимо повышение потенциальной энергии поверхностного слоя кристалла. Следовательно, для соединения двух поверхностей требуется извне тепловая или механическая энергия, превышающая граничную. При этом следует иметь в виду, что внутри кристалла каждый атом находится под действием симметрично направленных сил, а на поверхности атом неуравновешен из-за отсутствия связей внешней стороны, что вызывает повышение потенциальной энергии поверхностного кристалла.

В реальных условиях сближению поверхностей на расстояние, соизмеримое с параметрами решетки, препятствует следующее:

- 1) любые поверхности контактируют только в отдельных точках, т.к. нельзя получить идеально ровную поверхность на уровне атомов;
- 2) поверхности покрыты загрязнениями (оксидными и органическими пленками), толщина которых на несколько порядков превышает межатомное расстояние.

Следовательно, к прежним условиям сваривания (сближения и повышения энергетического потенциала) добавляется условие необходимой очистки поверхностей от инородных атомов. При невыполнении хотя бы одного из условий качественное сварное соединение получить нельзя.

Для выполнения отмеченных условий, и в том числе для сближения соединяемых поверхностей, на них производят тепловое или механическое воздействие.

4.2.1.3 Свариваемость металлов и сплавов

Свариваемостью металла называют совокупность его технологических свойств, определяющих способность обеспечить при принятом технологическом процессе экономичное, надежное в эксплуатации сварное соединение. Соединение считают качественным, или равнопрочным, если его механические свойства близки к характеристикам основного металла и в нем отсутствуют поры, шлаковые включения, раковины. Кроме того, в некоторых случаях соединение должно иметь такие же химические и физические свойства, как и основной металл.

Свариваемость — это сложная характеристика, определяемая не только свойствами свариваемого металла, но и выбором технологического процесса, режимом сварки, свойствами применяемых сварочных материалов. Поэтому нет единого вида испытания на свариваемость, а следует применять несколько видов для определения различных характеристик. Число и вид испытаний

обусловлены свойствами материала, назначением конструкции и условиями ее работы. Чаще всего признаком плохой свариваемости является наличие в сварном соединении отдельных дефектов. Дефектом является существенная разница свойств основного металла сварного шва и зоны термического влияния. При сварке заготовок из углеродистых и легированных сталей твердость зоны термического влияния возрастает, в то время как пластические свойства значительно снижаются, что повышает хрупкость.

Свариваемость – свойство металла или сочетания металлов образовывать при установленной технологии сварки соединение, отвечающее требованиям, обусловленным конструкцией и эксплуатацией изделия.

Свариваемость материалов оценивают степенью соответствия заданных свойств полученного сварного соединения одноименным свойствам основного металла и склонностью сварного соединения к образованию сварочных дефектов (трещин, пор, шлаковых включений и др.).

По свариваемости все материалы разделяются на хорошо, удовлетворительно и плохо сваривающиеся, а многие разнородные материалы, как и металлы с неметаллами, не вступают во взаимодействие друг с другом и относятся к числу практически несваривающихся.

Свариваемость материалов в основном определяется свойствами и типом кристаллической структуры, возникающими при сварке в сварном соединении.

При сварке однородных металлов и сплавов в месте соединения, как правило, образуется структура, идентичная или близкая к структуре соединяемых заготовок. Такому случаю соответствует хорошая свариваемость материалов. Хорошо свариваются металлы с одинаковой кристаллической решеткой, образующие твердые растворы. Свариваемость сталей зависит от содержания в них углерода и легирующих добавок. Оценка свариваемости проводят по эквиваленту углерода ($C_{эkv}$), определяемому из соотношения:

$$C_{эkv} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr}{5} + \frac{V}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{Ni}{15} + \frac{Cu}{13} + \frac{P}{2}$$

где - C , Mn и другие буквы обозначают содержание соответствующих элементов в стали в процентах (в сотых долях процента для углерода);

цифры в знаменателях – коэффициенты, полученные экспериментально.

Стали, содержащие более 0,7 % C , плохо свариваются. Легированные стали, кроме тех, которые легированы никелем, свариваются хуже, чем углеродистые.

При сварке разнородных материалов, в зависимости от различия их физико-химических свойств, в месте соединения образуется твердый раствор с решеткой одного из материалов либо химическое или интерметаллидное соединение с решеткой, резко отличающейся от свойств соединяемых материалов. Такие материалы относятся к удовлетворительно сваривающимся.

Если при сварке в сварном соединении образуются хрупкие и твердые структурные составляющие, то в условиях действия сварочных напряжений возможно возникновение трещин как в самом шве, так и в околошовной зоне.

Такие материалы относятся к категории плохо свариваемых металлов. Чугуны характеризуются плохой свариваемостью обычными наиболее распространенными методами дуговой или газовой сварки.

Некоторые металлы совершенно не свариваются (например, Cu - Pв).

Свариваемость металлов — это их способность образовывать при сварке качественные соединения без трещин, пор и других дефектов. Причем не все металлы способны образовывать хорошие соединения в воздушной среде, и для соединения плохо свариваемых металлов применяют более сложные технологии подготовки (например, подогрев) или специальные виды сварки (например, сварку в вакууме).

После сварки для некоторых сварных соединений проводят термическую обработку либо обработку давлением шва или зоны термического влияния.

4.2.1.4 Металлургические процессы при сварке

В перегретой сварочной ванне протекает ряд металлургических процессов: испарение или окисление (выгорание) некоторых легирующих элементов, например, углерода, марганца, кремния, хрома и др., и насыщение расплавленного металла кислородом, азотом и водородом из окружающего воздуха. В результате возможно изменение состава сварного шва по сравнению с электродным и основным металлом, а также понижение его механических свойств, особенно вследствие насыщения шва кислородом. Для обеспечения заданного состава и свойств шва в покрытия вводят легирующие элементы и раскислители.

Кристаллизация сварочного шва начинается от границ оплавленного металла и протекает путем роста столбчатых кристаллитов к центру шва. При этом оси кристаллита, как правило, остаются перпендикулярными к поверхности движущейся сварочной ванны, в результате чего кристаллиты изгибаются и вытягиваются в направлении сварки. Вследствие дендритной ликвации примеси располагаются по границам кристаллитов, где они могут образовывать легкоплавкие эвтектики и неметаллические включения. Это снижает механические свойства шва и в отдельных случаях может быть причиной образования горячих трещин.

Особенности металлургических процессов, протекающих при сварке, заключаются в следующем:

- в малом объеме расплавленного металла сварного шва;
- в высокой температуре зоны сварки;
- в непродолжительном нахождении металла в расплавленном состоянии;
- в активном взаимодействии расплавленного металла с составляющими воздуха окружающей среды;
- в быстром отводе тепла от расплавленного металла в прилегающие зоны.

При сварке также происходит выделение газов, испарение расплавленного металла и его разбрызгивание, окисление и потеря полезных примесей, а также насыщение металла газами и оксидами, что приводит к ухудшению механических свойств металла шва.

4.2.1.5 Напряжения и деформации в металле шва

В процессе сварки в металле в зоне шва возникают внутренние напряжения, что приводит к изменению формы и размеров сварного соединения, называемому деформациями. Причинами такого поведения металла являются неравномерный нагрев, тепловая усадка металла шва, его структурное изменение, а также причиной дефектов может служить неправильный расчет сварной конструкции, плохая квалификация сварщика, нарушение геометрических размеров швов и т.д.

Сварочные напряжения могут вызывать появление трещин, особенно при сварке как малопластичных, так и склонных к закалке металлов (высокоуглеродистые стали и чугуны). Для уменьшения сварочных напряжений и деформаций существенное значение имеют правильный порядок наложения швов и применение термической обработки после сварки (отжиг, нормализация).

4.2.1.5.1 Предотвращение возникновения напряжений

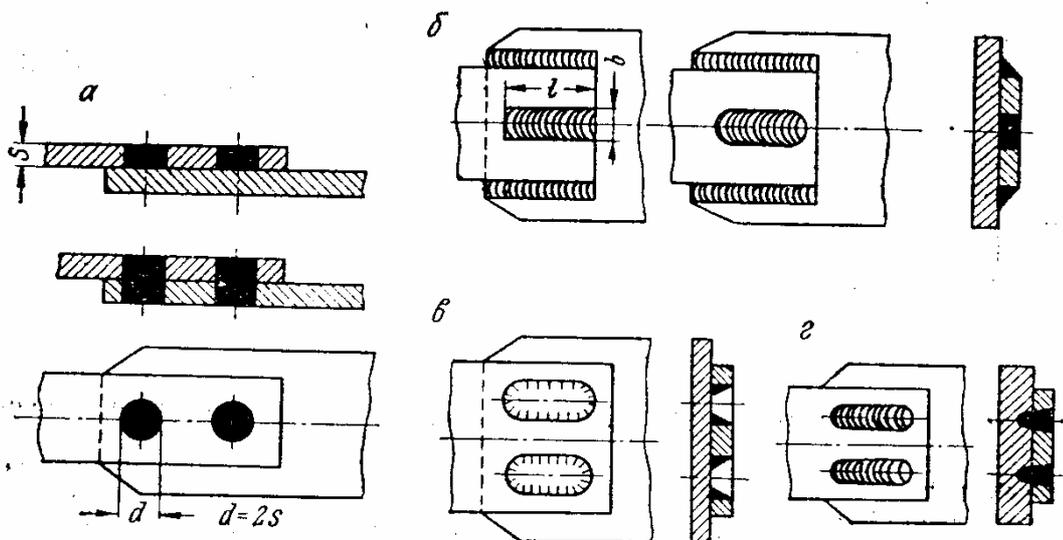
В процессе сварки и наплавки в изделии появляются значительные внутренние напряжения, которые приводят к его короблению, а иногда и к разрушению. К мерам, принимаемым для предотвращения возникновения напряжений или снятия их с целью уменьшения деформации изделия, относятся следующие:

- предварительный подогрев от 200 до 400 °С;
- проведение сварки или наплавки с погружением изделия в воду;
- ведение процесса при жестком закреплении изделия в специальном приспособлении;
- предварительный изгиб изделия в направлении, обратном изгибу;
- высокотемпературный отпуск после сварки (наплавки), нагрев до 680 °С.

4.2.1.6 Основные виды сварных соединений и классификация швов

В зависимости от взаимного расположения деталей сварные соединения подразделяют на односторонние и двусторонние; стыковые, торцевые, угловые, тавровые и внахлестку, которые, в свою очередь, подразделяют на прорезные, с накладками, пробочные (рисунок 92).

Стыковые швы имеют преимущество перед другими швами по прочности и технико-экономическим показателям. При этом стремятся обеспечить минимальную суммарную длину сварных швов и массу наплавленного металла.

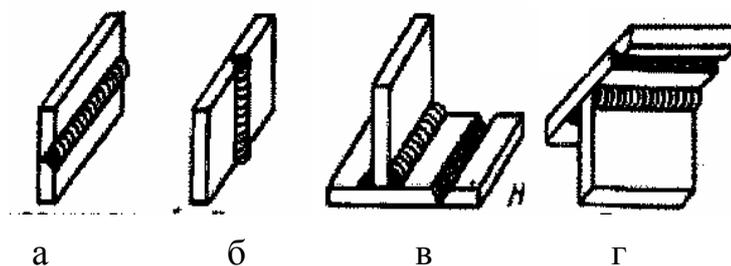


а, в – пробочные; б – прорезные; г - проплавные

Рисунок 92 - Виды соединений внахлестку

Существует несколько видов классификаций швов.

В зависимости от расположения соединяемых деталей в пространстве различают следующие швы: нижний, горизонтальный, вертикальный, потолочный (рисунок 93).



а - горизонтальные; б - вертикальные; в - нижние; г - потолочные.

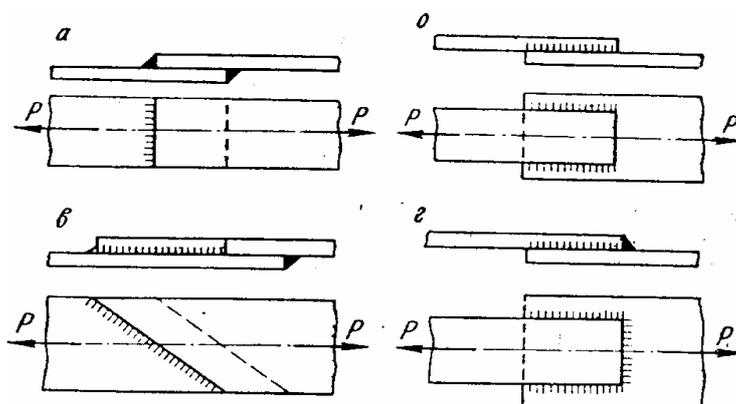
Рисунок 93 - Виды сварных швов

Шов бывает сплошной и прерывистый, причем прерывистый шов бывает шахматный и цепной (рисунок 94).



Рисунок 94 - Виды прерывистых швов
(шахматные и односторонние, цепочные)

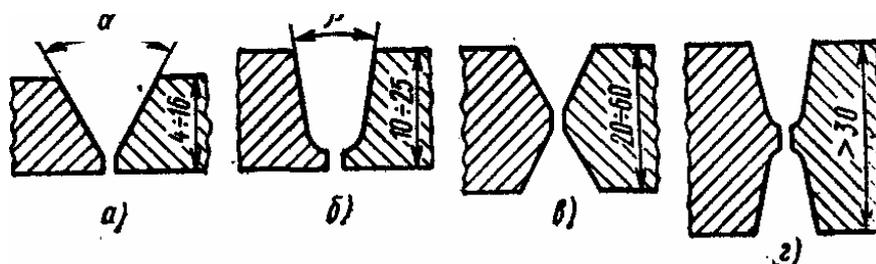
Швы внахлестку по отношению к действующему усилию подразделяют на фланговые, лобовые, комбинированные (рисунок 95).



а – лобовые; б – фланговые; в – косые; г - комбинированные

Рисунок 95 - Виды швов при соединении внахлестку

Стыковые швы подразделяют на отбортовочные с разделкой кромок и без разделки кромок. Причем разделка кромок бывает односторонняя V и U образная; двусторонняя X и М – образная (рисунок 96).



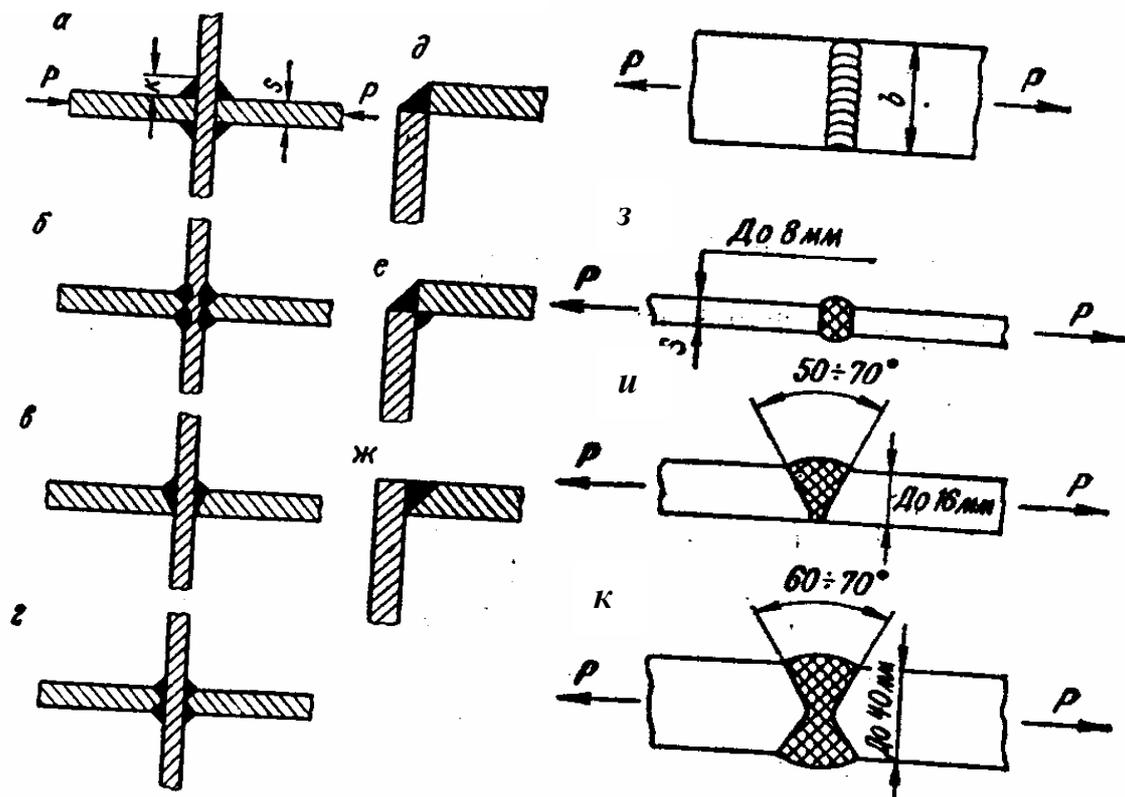
а) – V-образные; б) – U-образные; в) – X-образные; г) – М-образные

Рисунок 96 - Виды разделки кромок при соответствующей толщине материала

Виды подготовки кромок зависят от состояния металла, его толщины, способа сварки, а также от технологических особенностей сварки. Основные элементы подготовки кромок — угол разделки кромок, величины притупления и зазора. Угол разделки и зазор призваны для обеспечения провара всего сечения, а притупление исключает сквозное проплавление — прожог.

Стыковые швы имеют преимущества перед другими швами по прочности и технико-экономическим показателям.

Виды различных сварных швов (стыковых, торцевых, угловых) показаны на рисунке 97.



а – двусторонние без разделки кромок; б - двусторонние с разделкой одной кромки; в - односторонние с разделкой кромки; г - двусторонние с разделкой двух кромок; д – односторонний без разделки кромок; е - двусторонние без разделки кромок; ж - односторонний с разделкой кромки; з - без разделки кромок; и – с односторонней разделкой кромок; к – с двусторонней разделкой кромок

Рисунок 97 - Виды торцевых (а-г), угловых (д-ж) и стыковых (з-к) сварных швов

Все швы подразделяют на однопроводные и многопроводные (однослойные и многослойные).

По технологии выполнения швы подразделяются на три вида: нормальные, выпуклые (усиленные), вогнутые (ослабленные) (рисунок 98).



Рисунок 98 - Виды швов по качеству исполнения

4.2.1.7 Выбор режима сварки

Под режимом сварки понимают совокупность параметров, обеспечивающих устойчивое протекание сварочного процесса и получение сварных швов с заданными физико-механическими свойствами. Выбор режима сварки в первую очередь зависит от вида и способа сварки. Различают основные и дополнительные параметры. К основным параметрам режима ручной дуговой сварки относят тип, марку и диаметр покрытого электрода, силу, род и полярность тока, а к дополнительным — состав и толщину покрытия электрода, начальную температуру основного металла, положения в пространстве электрода и заготовок в процессе сварки, скорость сварки и величину поперечного колебания торца электрода. Диаметр покрытого электрода выбирают в зависимости от толщины и химического состава заготовок, марки электрода, формы разделки кромок и других факторов.

4.2 Термические виды сварки (сварка плавлением)

Наиболее распространенными при производстве труб и трубопроводов способами сварки являются термические, проводимые с плавлением металла в зоне соединения, а среди них главенствуют дуговая и газовая сварка, а также из термомеханических видов – контактная сварка.

При сварке плавлением силы межатомарного взаимодействия возникают между материалами двух свариваемых заготовок, находящихся в месте соединения в жидком состоянии. Для получения неразъемного соединения кромки свариваемых заготовок расплавляются с помощью мощного источника теплоты; расплавленный металл образует общую сварочную ванну, смачивающую оставшуюся твердой поверхность соединяемых элементов. При этом происходит смешивание расплавленного металла соединяемых заготовок и установление межмолекулярных связей. В процессе плавления устраняются все неровности поверхностей, органические пленки, адсорбированные газы, окислы и другие загрязнения, мешающие сближению атомов.

По мере удаления источника нагрева жидкий металл остывает, начинается процесс кристаллизации с образованием сварного шва, соединяющего заготовки в единое целое. Кристаллизация начинается от частично оплавленных зерен основного металла и заканчивается обычно в центре шва, где происходит встреча двух фронтов кристаллизации, начинающихся от кромок свариваемых заготовок.

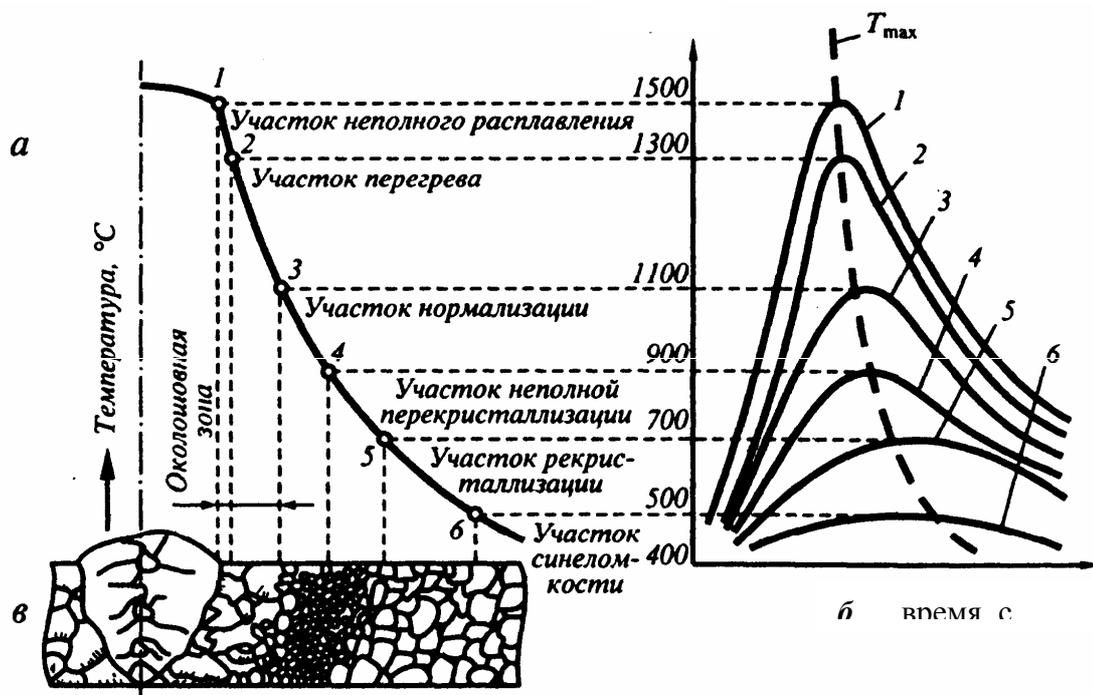
Сварку можно осуществлять расплавлением не только кромок свариваемых заготовок, но дополнительно к этому расплавлением присадочного металла.

В зависимости от типа выбранного источника теплоты сварку плавлением можно подразделять на разновидности, название которых указывает на тип примененного источника энергии, например, электродуговая сварка, электронно-лучевая сварка плавлением, ацетиленокислородная и др.

Металл сварного шва, полученный при сварке плавлением, по своей структуре и химическому составу существенно отличается от металла свариваемых заготовок, так как в процессе расплавления в сварочной ванне происходят металлургические процессы: испарение и окисление некоторых элементов, поглощение газов, легирование, диффузия и др. Полученный в процессе сварки плавлением сварной шов имеет литую структуру.

Основной металл заготовок, прилегающий к сварному шву, в процессе сварки нагревается до значительных температур, в результате чего в нем происходят структурные изменения — укрупнение зерен, выделение новых фаз, появление новых структур типа закалочных.

Зону основного металла, прилегающего к сварному шву, в которой происходят структурные изменения, вызываемые нагревом при сварке, называют зоной термического влияния (ЗТВ). Сварной шов, ЗТВ и основной металл называют сварным соединением (рисунок 99).



а - распределение максимальной температуры;
 б - термические циклы точек ЗТВ; в - структурные участки ЗТВ

Рисунок 99 - Структура зоны термического влияния при сварке плавлением низкоуглеродистой стали

Механические, антикоррозионные, магнитные и другие свойства сварного соединения могут существенно отличаться от свойств основного металла. При сварке стремятся к получению равнопрочного соединения, т. е. равенству всех его показателей с показателями основного металла. К сварке плавлением относится и наплавка металлов, широко применяемая как при изготовлении новых конструкций, так и при ремонтных работах.

4.2.1 Электрическая сварка

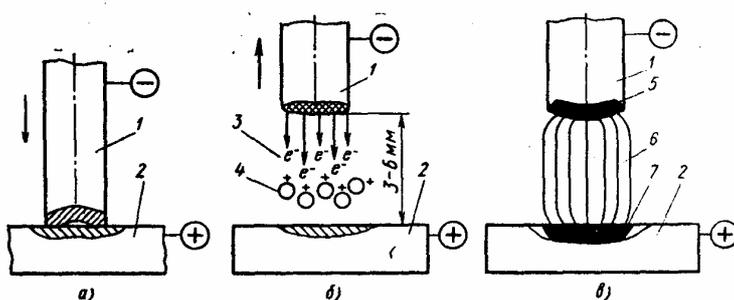
Одним из направлений использования электрической энергии с момента ее промышленного получения явилось ее применение для плавления металлов, в том числе для обеспечения соединения деталей путем сварки. Большинство способов сварки основано на применении электрической энергии, и основными из них являются дуговая, плазменная, лазерная, контактная, индукционная, ультразвуковая и др.

Процесс перевода электрической энергии в тепловую для расплавления металла был открыт русским академиком В.В. Петровым в 1802 году и используется с того времени, а с 1888 года осуществляется сварка металлическими плавящимися электродами, причем с электродом в зону сварки вносится и присадочный материал.

4.2.1.1 Электрическая дуга

Дуга – мощный стабильный разряд электричества в ионизированной атмосфере газов и паров металла. Ионизация дугового промежутка происходит во время зажигания дуги и непрерывно поддерживается в процессе ее горения. Процесс зажигания дуги в большинстве случаев включает в себя три этапа:

- короткое замыкание электрода на заготовку;
- отвод электрода на расстояние от 3 до 6 мм;
- возникновение устойчивого дугового разряда (рисунок 100).



а) - короткое замыкание электрода на заготовку; б) - отвод электрода на расстояние до 6 мм; в) - возникновение устойчивого дугового разряда

1 –электрод; 2 – заготовка; 3 – электроны; 4 – ионы;

5 - катодное пятно; 6 – столб дуги; 7 – анодное пятно

Рисунок 100 – Схема процесса зажигания электрической дуги

Короткое замыкание выполняется для разогрева торца электрода и заготовки в зоне контакта с электродом. После отвода электрода с его разогретого торца (катода) под действием электрического поля начинается термоэлектронная эмиссия электронов. Столкновение быстро движущихся по направлению к аноду электронов с молекулами газов и паров металла приводит к их ионизации. По мере разогрева столба дуги и повышения кинетической энергии атомов и молекул внутри столба происходит его дополнительная ионизация за счет соударения ионов и молекул. Отдельные атомы также ионизируются в результате поглощения энергии, выделяемой при соударении других частиц. В результате этого дуговой промежуток становится электропроводным и через него начинается разряд электричества. Процесс зажигания дуги заканчивается возникновением устойчивого дугового разряда.

При ручной дуговой сварке (рисунок 102) возбуждение дуги, ее поддержание, опускание электрода по мере его плавления и перемещение электрода вдоль свариваемых заготовок осуществляет сварщик. Возможно зажигание электрической дуги и без короткого замыкания с отводом электрода, но с помощью высокочастотного электрического разряда через дуговой промежуток, обеспечивающего его первоначальную ионизацию. Для этого в сварочную цепь на короткое время подключают источник высокочастотного переменного тока высокого напряжения (осциллятор). Этот способ применяют для зажигания дуги при сварке неплавящимся электродом.

Температура столба дуги зависит от материала электрода и состава газов в дуге, а температура катодного и анодного пятен приближается к температуре кипения металла электродов. В зависимости от параметров сварки температура столба дуги может достигать 7800°C .

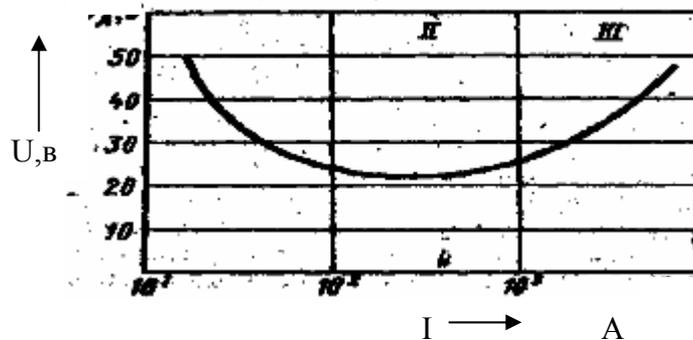
При горении электрической дуги в ее анодной области, как правило, выделяется значительно больше тепловой энергии, чем в катодной, из-за передачи электронами кинетической энергии. Однако не вся мощность дуги полностью расходуется на нагрев и плавление электрода и основного металла. Часть энергии теряется в результате теплоотдачи в окружающую среду, а часть мощности дуги расходуется на нагрев заготовки. Используемая энергия называется эффективной тепловой мощностью сварочной дуги.

Дуга представляет собой мощный электрический разряд в сильно ионизированной среде, который сопровождается выделением большого количества теплоты и света. Через дугу замыкается вторичная цепь от источника тока, и она является основным потребителем электрической энергии и ее преобразователем в тепловую. Для стабильного горения дуги необходима взаимосвязь параметров U и I . Мощность дуги определяется по формуле:

$$P_d=UI$$

Однако не вся мощность дуги полностью расходуется на нагрев и плавление электрода и основного металла, часть ее теряется в результате теплоотдачи в окружающую среду. Часть мощности дуги, расходуемая на нагрев заготовки, называется эффективной тепловой мощностью сварочной дуги. Источники тока для сварочной дуги должны иметь специальную внешнюю характеристику. Внешней характеристикой источника называется зависимость напряжения на его выходных клеммах от тока в электрической цепи. Внешние характеристики могут быть следующих основных видов: падающая, полого падающая, жесткая и возрастающая. Источник тока выбирают в зависимости от вольтамперной характеристики дуги, соответствующей принятому способу сварки. Электрические свойства дуги описываются статической вольтамперной характеристикой, представляющей собой зависимость между напряжением током дуги в состоянии устойчивого горения (рисунок 101).

Характеристика состоит из трех участков: I – характеристика падающая, II – жесткая, III – возрастающая. Самое широкое применение нашла дуга с жесткой и возрастающей характеристикой. Дуга с падающей характеристикой малоустойчива и имеет ограниченное применение. В последнем случае для поддержания горения дуги необходимо постоянное включение в сварочную цепь осциллятора.



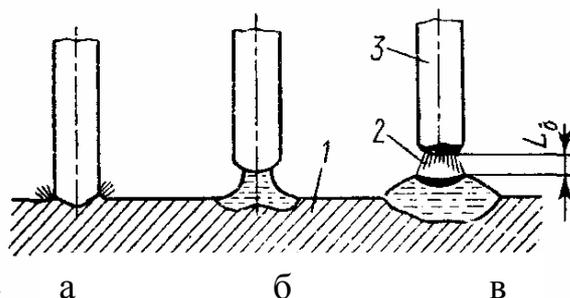
I - нестабильный (при разогреве пространства дуги); II - жесткий (при ручной сварке); III - статический (возрастание тока и напряжения при автоматической сварке)

Рисунок 101 – Статическая вольтамперная характеристика дуги и режимы ее работы

При нормальных условиях между электродом и изделием находятся неионизированные молекулы воздуха, и электрический ток через них не протекает, но после зажигания дуги это пространство заполняется ионами, и через это пространство течет ток, обеспечивающий горение дуги и преобразование энергии. Для питания дуги с жесткой характеристикой

применяют источники с падающей или полого падающей внешней характеристикой (ручная дуговая сварка, автоматическая сварка под флюсом, сварка в защитных газах неплавящимся электродом).

Источники сварочного тока с падающей характеристикой необходимы для облегчения зажигания дуги за счет повышенного напряжения холостого хода, обеспечения устойчивого горения дуги и практически постоянной проплавляющей способности дуги, так как колебания ее длины и напряжения, особенно значительные при ручной сварке (рисунок 103) не приводят к значительным изменениям сварочного тока, а также для ограничения тока короткого замыкания, чтобы не допустить перегрева токопроводящих проводов и источников тока.



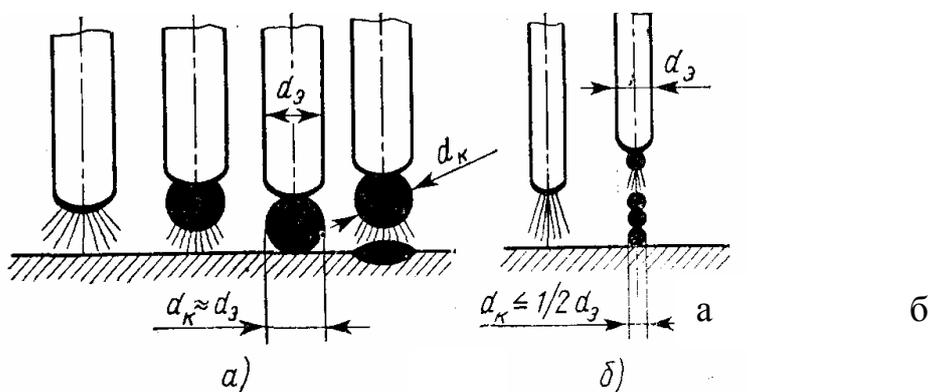
а – короткое замыкание; б – образование перемычки; в – возникновение дуги
1 - металл; 2 – электрическая дуга; 3 – электрод; L_d – длина дуги

Рисунок 102 - Схема образования и длины дуги

Для обеспечения устойчивости горения дуги с возрастающей характеристикой применяют источники сварочного тока с жесткой или возрастающей характеристикой (сварка в защитных газах плавящимся электродом и автоматическая сварка под флюсом током повышенной плотности).

Для питания сварочной дуги применяют источники переменного тока (сварочные трансформаторы) и источники постоянного тока (сварочные выпрямители и генераторы). Источники переменного тока более распространены, так как обладают рядом технико-экономических преимуществ. Сварочные трансформаторы проще в эксплуатации, значительно долговечнее и обладают более высоким коэффициентом полезного действия (КПД), чем выпрямители и генераторы постоянного тока. Однако в некоторых случаях (сварка на малых токах покрытыми электродами и под флюсом) при питании переменным током дуга горит неустойчиво, так как через каждые 0.01 с напряжение и ток дуги проходят через нулевые значения, что приводит к временной деионизации дугового промежутка. Постоянный ток предпочтителен в технологическом отношении, и при его применении повышается устойчивость горения дуги, улучшаются условия сварки в различных пространственных положениях, появляется возможность вести сварку на прямой и обратной полярностях и т.д. Применение полярности

позволяет проводить сварку сварочными материалами с тугоплавкими покрытиями и флюсами, вследствие большого тепловыделения в анодной области дуги. Каждому участку характеристики дуги соответствует определенный характер переноса расплавленного электродного металла в сварочную ванну: I и II – крупнокапельные, III – мелкокапельный или струйный (рисунок 103).



а – крупнокапельный; б – мелкокапельный или струйный

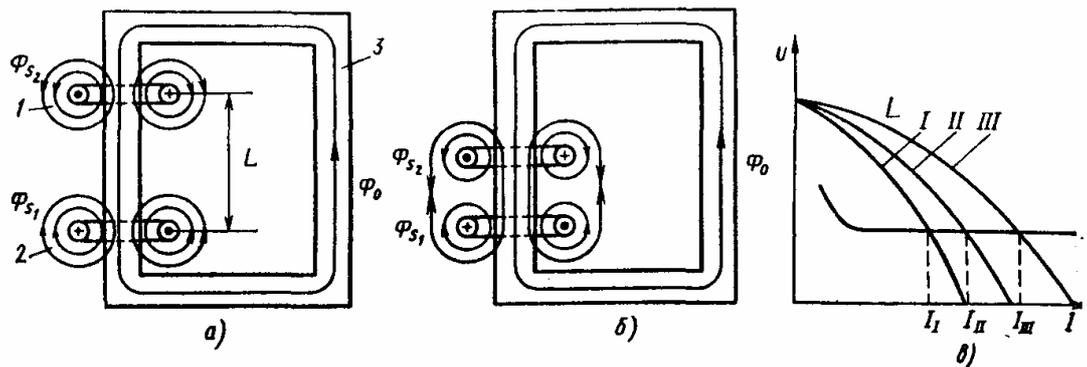
Рисунок 103 - Характер переноса расплавленного электродного металла в сварочную ванну

Источники тока для сварочной дуги должны иметь специальную внешнюю характеристику, и их выбирают в зависимости от вольтамперной характеристики дуги, соответствующей принятому способу сварки.

Для плавного регулирования сварочного тока изменяют расстояние между обмотками трансформатора. При сближении обмоток происходит частичное взаимное уничтожение противоположно направленных потоков рассеяния, что уменьшает индуктивное сопротивление вторичной обмотки и увеличивает сварочный ток. Минимальный сварочный ток соответствует наибольшему расстоянию между обмотками и максимальному рассеиванию.

Режим горения дуги определяется точкой пересечения характеристик дуги и источника тока (рисунок 104).

Режим холостого хода характеризуется повышенным напряжением (до 80 В). Короткое замыкание характеризуется малым напряжением, стремящимся к нулю, и повышенным, но ограниченным током.



а – положение обмоток при малой силе тока; б – то же при большой силе тока; в – внешние характеристики сварочных трансформаторов

I, II, III – соответствующие вольтамперные характеристики дуги

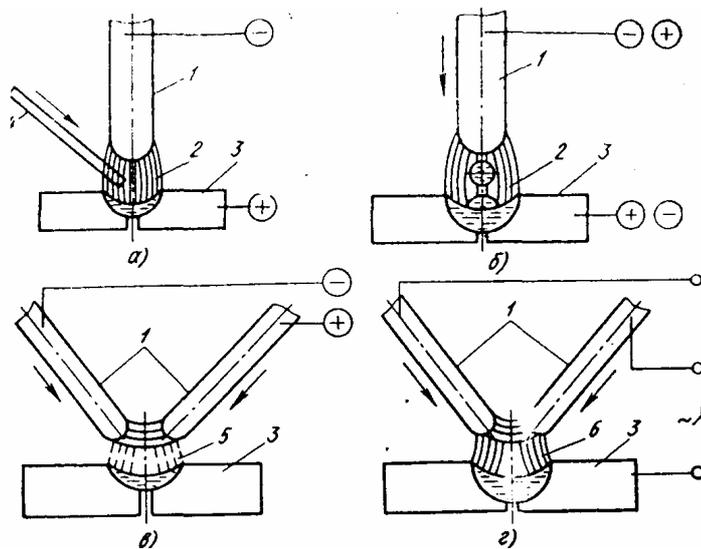
Рисунок 104 – Схема регулирования тока сварочными трансформаторами типов ТС и ТД

4.2.1.2 Дуговая сварка и ее схемы

Процесс соединения металлических элементов, при котором в качестве источника теплоты используют электрическую дугу, называют дуговой сваркой. Она бывает ручной, механизированной и автоматической.

В зависимости от материала, числа электродов и способа включения электрода и заготовки в цепь электрического тока различают следующие способы дуговой сварки: сварка неплавящимся электродом дугой прямого действия; сварка плавящимся (металлическим) электродом дугой прямого действия с одновременным плавлением основного металла и электрода; сварка косвенной дугой, горящей между двумя, как правило, неплавящимися электродами; сварка трехфазной дугой, при которой дуга горит между электродами и основным металлом (рисунок 105).

Сварка неплавящимся (графитным или вольфрамовым) электродом 1 дугой прямого действия 2 (рисунок 105а) характеризуется тем, что соединение выполняется путем плавления только основного металла 3 или (и) с применением присадочного металла 4.



а – сварка дугой с неплавящимся электродом; б - сварка дугой на постоянном токе с плавящимся электродом (прямая или обратная полярность);

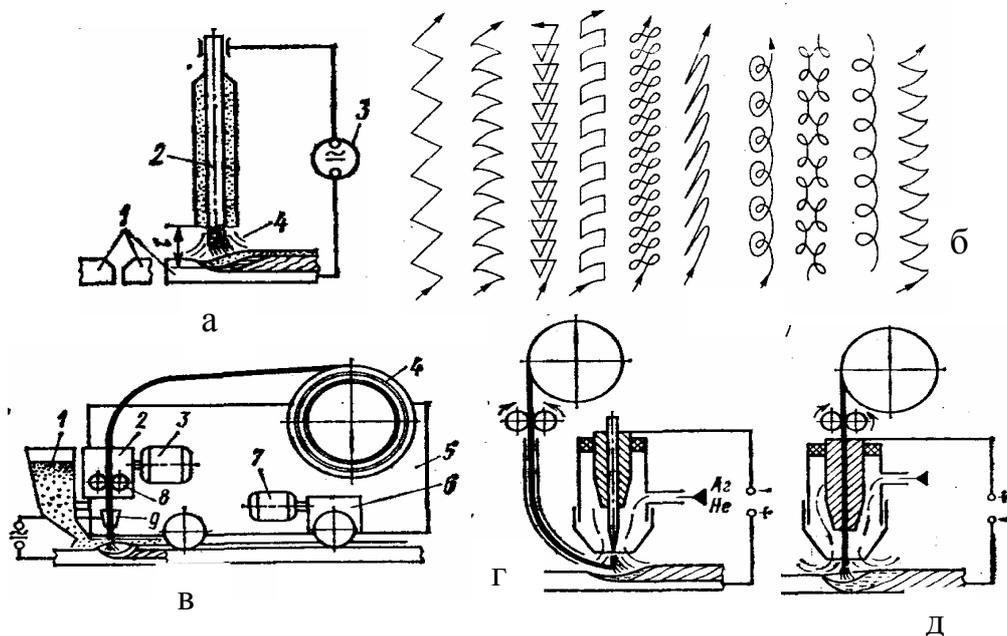
в - сварка дугой на постоянном токе с двумя неплавящимися электродами;

г - сварка дугой на трехфазном переменном токе с неплавящимися электродами

1 – электрод; 2 – столб дуги; 3 – свариваемые детали; 4 – присадочный металл; 5 – тепловое излучение от горячей дуги; 6 – двойная дуга между электродами и свариваемыми деталями

Рисунок 105 – Схемы дуговой сварки

Сварка плавящимся (металлическим) электродом 1 дугой прямого действия 2 (рисунок 105б) характеризуется одновременным плавлением основного металла 3 и электрода, который пополняет жидким металлом сварочную ванну



а — ручной; б - перемещения электрода при ручной сварке;
в — автоматической под флюсом; г – неплавящимся электродом с
присадочным материалом в среде защитных газов;
д - плавящимся электродом в среде защитных газов

Рисунок 106 - Схемы дуговых способов сварки плавлением и траектория движения конца электрода при наплавке при ручной дуговой сварке

Сварка косвенной дугой 5 (рисунок 105в), горячей, как правило, между двумя неплавящимися электродами 1 характеризуется тем, что основной металл 3 нагревается и расплавляется теплом столба дуги.

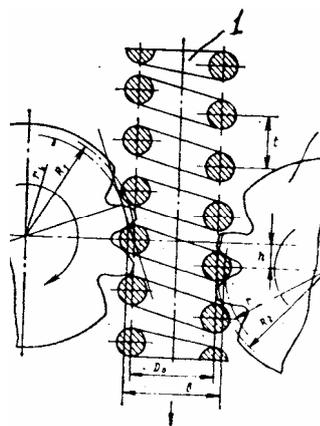
Сварка трехфазной дугой 6 (рисунок 105г) характеризуется тем, что дуга горит между электродами 1, а также между электродами и основным металлом.

Питание дуги осуществляется постоянным или переменным током. При применении постоянного тока различают сварку на прямой и обратной полярностях. В первом случае электрод подключают к отрицательному полюсу (и он катод), во втором – к положительному (и он анод).

При ручной электродуговой сварке для сложного перемещения электрода (рисунок 106б) проблем не возникает, сварщик манипулирует концом электрода в зависимости от ширины зазора, и все получается отлично. Сварочному же автомату необходимо специальное колебательное устройство, что усложняет механизм подачи электродной проволоки. Усложняется и сама сварка: приходится от слоя к слою увеличивать амплитуду колебаний.

Для обеспечения перемещения электрической дуги по ширине сварного шва разработан способ по [15], что позволяет заменить поперечные колебания электрода, которые необходимо создавать специальным механизмом.

Обычный (без колебательного устройства) механизм подачи электродной проволоки весьма прост. Это миниатюрный электродвигатель с редуктором, направляющий ролик с канавкой и подающий ролик с насечкой. Вращаясь, подающий ролик проталкивает электродную проволоку в сварочную ванну. При автоматической сварке ролики заменили шестеренками с модулем, соответствующим диаметру электродной проволоки. Проволоку же предварительно превращают в цилиндрическую пружину (рисунок 106е). Сварочная дуга будет бегать по кругу, соответствующему диаметру пружины.



1 - спираль из электродной проволоки; 2 - подающие шестеренки

Рисунок 106 е - Схема подачи спиральной электродной проволоки

Автоматическая сварка со стабильной подачей спирального электрода обеспечивается тем, что оси подающих шестеренок смещены относительно друг друга на определенное расстояние которое должно быть таким, чтобы их зубья, последовательно входя в зацепление с витками спирали, подавали ее в вниз в сварочную ванну.

Такая сварка позволяет соединять толстостенные изделия не в У-образную, а в щелевую разделку кромок (дуга, гуляя по кругу, будет оплавливать обе вертикальные стенки разделки), и наплавленного металла потребуется по крайней мере раза в полтора меньше.

Различные способы дуговой сварки классифицируют также по способам защиты дуги и расплавленного металла и степени механизации процесса (рисунок 106).

Температура столба дуги зависит от материала электрода и состава газов в дуге, а температура катодного и анодного пятен приближается к температуре кипения металла электродов. Для дуги, при горении стального электрода, покрытого обмазкой, температура катодного и анодного пятен составляет, соответственно ~ 3000 и ~ 6000 К.

4.2.2.1.2 Технология ручной сварки

Для обеспечения хорошего шва необходимо выполнение технологии сварки, которая предусматривает следующее: металл должен быть очищен от посторонних примесей и ржавчины; должен выдерживаться режим сварки, который включает в себя диаметр электрода, силу тока, его род и полярность, а также положение электрода в пространстве, состав и толщину покрытия, температуру основного металла и т.д. Марку электрода и его толщину в зависимости от свариваемого металла подбирают по таблицам, составленным на основании опытных данных.

При толщине деталей из стали до 6 мм их сваривают по зазору без разделки кромок заготовки. При большой толщине металла выполняют одностороннюю или двустороннюю разделку кромок под углом 60° .

Разделка необходима для обеспечения полного провара по толщине. Металл толщиной свыше 10 мм сваривают многослойным швом. Ручная сварка удобна при выполнении коротких и криволинейных швов в любых пространственных положениях – нижнем, вертикальном, горизонтальном, потолочном, при наложении швов в труднодоступных местах, а также при монтажных работах и сварке конструкций сложной формы. Ручная сварка обеспечивает хорошее качество сварных швов, но она обладает более низкой производительностью. Производительность процесса в основном определяется сварочным током. Однако ток при ручной сварке покрытыми электродами ограничен, так как повышение тока сверх рекомендованного значения приводит к разогреву стержня электрода, отслаиванию покрытия, сильному разбрызгиванию и угару расплавленного металла.

Силу тока ориентировочно принимают из выражения:

$$I_{св} = k d_{эл},$$

где k - коэффициент, зависящий от марки стали;

$d_{эл}$ – диаметр электрода.

Напряжение при сварке меняется мало и зависит от длины дуги, которая бывает нормальная (короткая дуга длиной до 6 мм, горит устойчиво), и длинная (более 6 мм, горит неустойчиво).

Перемещение электродов возможно в трех направлениях: вниз - вверх, в направлении сварки и поперек шва. Правильная совокупность движений электрода обеспечивает получение качественного шва.

Скорость сварки должна обеспечивать шов шириной $1,5d_{эл}$ с плавным переходом наплавленного металла в шов и в поверхность изделия.

4.2.1.4 Оборудование и принадлежности для ручной дуговой сварки

Ручную дуговую сварку осуществляют на посту, который включает стол сварщика, источник питания сварочной дуги, гибкие сварочные провода, электрододержатель, сварочный щиток или маску со светофильтром.

Источник питания (понижающий трансформатор при работе на токе промышленной частоты) должен обеспечить хорошее зажигание дуги и ее стабильное горение. Каждый источник питания сварочной дуги рассчитывается на номинальное напряжение U и ток I .

В целях повышения безопасности работы сварщика максимальное напряжение $U = 80$ В для источника переменного тока и $U = 90$ В для источника постоянного тока. Ток короткого замыкания трансформатора должен превышать сварочный ток в два раза.

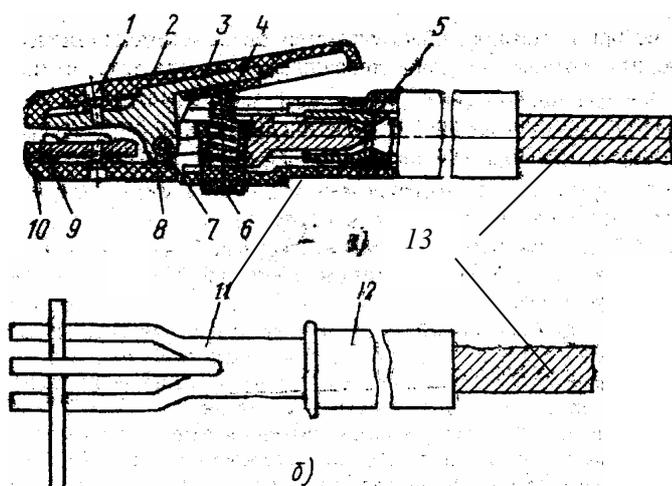
Основными элементами для дуговой сварки являются покрытый электрод, свариваемая заготовка и столб дуги между ними. Температура в дуге

преимущественно 3000 °С (но может достигать до 7800 °С), а на электроде и свариваемых элементах от 2200 до 2800 °С.

Для питания сварочной дуги применяют переменный ток промышленной частоты, при этом стабильность горения дуги нарушается из-за нарушения процесса ионизации (при смене полюсов происходит деионизация паров и газов). Для устранения этого недостатка применяют постоянный ток или ток высокой частоты.

Сварочные трансформаторы — источники питания дуги переменным током. Имеют регулируемое индуктивное сопротивление, бывают различной конструкции и марок, например, ТСК-500 (трансформатор сварочный с компенсирующим конденсатором — сила тока 500 А). Причем ток преимущественно регулируемый от 60 до 500 А, рабочее напряжение холостого хода от 60 до 80 В. Для преобразования тока в высокочастотный (от 150 до 450 Гц) используют осцилляторы с рабочим напряжением от 2 до 5 кВ, однако их мощность 150 Вт, и они не опасны для человека. С их использованием дуга загорается без касания электродом изделия.

Для зажима электрода и подвода к нему тока в процессе ручной сварки используют электрододержатели (рисунок 107).



а - пассатижный (ЭД-3104У1); б - вилочный

- 1 – винт; 2, 10 - верхняя и нижняя накладки; 3 – рычаг; 4, 9 – пружины;
5 – гайка; 6,8 – втулки; 7 – ось; 11 – токоподвод; 12 – рукоятка;
13 – изолированный токопровод

Рисунок 107 - Электрододержатели для ручной дуговой сварки

Для преобразования переменного тока в постоянный используют преобразователи (генераторы постоянного тока) или выпрямители, в том числе и полупроводниковые. Последние более экономичны, удобны в эксплуатации и бесшумны. Также используют мобильные сварочные агрегаты с бензиновыми или дизельными двигателями (АСБ-300, АСД-300).

При сварке постоянным током на деталь подают плюс (анод). При таком

подключении выделяется больше тепла, и это (прямую полярность) используют в технологии при сварке толстых заготовок, а для тонких заготовок используют обратную полярность (+ на электрод), заготовка является катодом.

Высокая концентрация теплоты в дуге и ее высокая температура позволяют почти мгновенно расплавить небольшие объемы металла электрода и изделия и тем самым обеспечить единую ванну и, естественно, сварной шов. Примерно 75 - 80 % подводимой энергии отводится на нагрев изделия и электрода, а 20 % теряется в окружающую среду.

В зависимости от силы тока сечение провода во вторичной цепи и подводимых к электрододержателю различное - от 25 до 70 мм².

Для защиты глаз и кожи лица от лучей и брызг сварочной дуги используют щитки и шлемы, имеющие светофильтры, не пропускающие ультрафиолетовые и инфракрасные лучи.

4.2.1.5 Электроды для дуговой сварки

Электроды для ручной сварки представляют собой стержни с нанесенными на них покрытиями. Стержень изготавливают из сварочной проволоки повышенного качества. Стандарт на стальную сварочную проволоку предусматривает 77 марок проволоки диаметром от 0,2 до 12 мм. Сварочную проволоку всех марок в зависимости от состава разделяют на три группы: низкоуглеродистую, легированную и высоколегированную.

Электроды классифицируют по назначению и виду покрытия. По назначению их подразделяют на пять классов: для сварки углеродистых и низколегированных конструкционных сталей с $\sigma_{\text{в}} \leq 600$ МПа, легированных конструкционных сталей $\sigma_{\text{в}} \geq 600$ МПа, легированных жаропрочных сталей, высоколегированных сталей с особыми свойствами и для наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами.

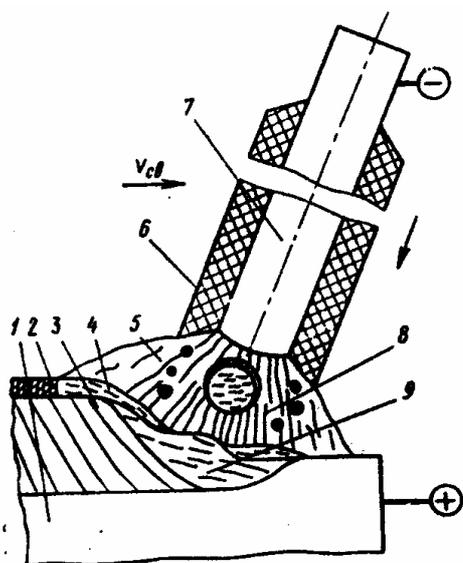
По виду покрытия электроды делят на электроды с кислым, рутиловым, основным и целлюлозным покрытием.

Используют одну из двух основных групп электродов: плавящиеся и неплавящиеся. Последние бывают вольфрамовые и графитовые, причем для электродов этого типа принимают размеры: диаметр - от 4 до 18 мм, длина - от 250 до 780 мм. Плавящиеся электроды бывают стальные, чугунные, медные, алюминиевые и др., причем преимущественно используют первые. Металлические электроды делают из электродной проволоки диаметром от 0,6 до 12 мм и длиной от 150 до 450 мм.

Металлические электроды подразделяют на голые (которые в ручной сварке не применяют) и с покрытием (рисунок 108). Покрытие служит для повышения устойчивости горения дуги, защиты наплавляемого металла от насыщения газами и для легирования металла сварного шва.

В соответствии со стандартами электроды выпускаются разного назначения и имеют разные покрытия, в том числе марки У - для углеродистых, Л - легированных, Т - легированных теплоустойчивых сталей. Для сварки и наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами

используют специальные электроды типов Э- с указанием марки стали.



1 – основной металл; 2 – застывший шлак; 3 – застывший наплавленный металл; 4 – жидкий шлак; 5 – капли расплавленного шлака; 6 – обмазка металлического электрода; 7 – металлический стержень электрода; 8 – столб дуги и капли расплавленного присадочного металла; 9 – ванна расплавленного металла

Рисунок 108 - Схема процесса сварки металлическим покрытым электродом на постоянном токе прямой полярностью

Электроды подразделяют на типы, обозначаемые буквой Э и последующей цифрой, указывающей предел прочности металла шва, выполненного данным электродом. Например: Э-42, Э-55- Э-125 и т. д. Электроды каждого типа могут иметь несколько марок, определяющих систему легирования металла шва.

Величина сварочного тока, $A_{св} = 40d$,

где d — диаметр электрода, мм.

На практике чаще всего применяют электроды диаметром от 2 до 6 мм. Чем больше толщина свариваемого металла, тем больше должен быть диаметр электрода.

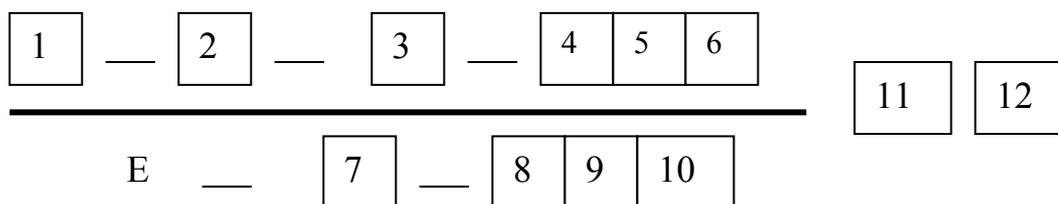
Электроды подразделяют и по толщине покрытия. С тонким покрытием обозначают М ($D/d=1,2$), С - со средним и D - с толстым ($D/d=1,8$), Г - с особо толстым покрытием.

Электроды подразделяются и по видам покрытия. А - кислое, Б - основное, П - прочие. В состав покрытия входит и порошок железа, если его больше 20 %, то букву Ж вводят в маркировку электрода.

Электроды подразделяют и по допустимому пространственному положению при сварке (условно разделены на 10 классов). Верхние торцы

электродов окрашивают разной краской в зависимости от назначения.

В условном обозначении для каждой марки электродов должны быть указаны следующие параметры (рисунок 109).



1 - тип; 2 – марка; 3 - диаметр (мм); 4 - назначение; 5 - толщина покрытия (мм); 6 - группа (по качеству); E - электрод; 7 - характеристика наплавленного металла и металла шва; 8 - вид покрытия; 9 - допустимые пространственные положения сварки или наплавки; 10 - род и полярность тока, номинальное напряжение холостого хода (В); 11 – стандарт; 12 — стандарт или ТУ на типы электродов

Рисунок 109 - Структура условного обозначения электродов

Примеры условного обозначения электродов для сварки показаны ниже.

Э – 46А УОНИ - 13 / 45 - 4,0УД2,

Е43 2(5)-Б1О

где - Э46А—тип электрода;

Э—электрод для дуговой сварки;

46-минимальный гарантированный предел прочности шва, кгс/мм² (4,6 Па);

А—гарантированная повышенная пластичность шва;

УОНИ-13/45— марка электрода;

4,0—диаметр, мм;

У—для сварки углеродистых и низколегированных сталей;

Д2— с толстым покрытием 2-й группы качества;

Е—электрод

43 2(5) - установленная стандартом группа индексов, указывающих характеристики наплавленного металла и металла шва;

43— временное сопротивление разрыву — не менее 43 кгс/мм²(4,3 Па);

2 — относительное удлинение—не менее 22 %;

5—ударная вязкость— не менее 34,5 Дж/см² при температуре – 40 °С);

Б—основное покрытие;

1 — для сварки во всех пространственных положениях;

О—для сварки на постоянном токе обратной полярности.

При автоматической дуговой сварке под флюсом, сварке плавящимися электродами в среде защитных газов используют сварочную проволоку. Ее также используют и как присадочный материал при дуговой сварке неплавящимся электродом и газовой сварке.

В качестве электродов в этом случае применяют прутки из сварочной

проволоки, покрытые специальным составом. В покрытия электрода вводят элементы, способствующие стабилизации дуги и осуществляющие защиту расплавленного металла от вредного воздействия окружающей среды, раскислению и легированию металла шва. По назначению электроды бывают: для сварки конструкционных углеродистых, низколегированных и легированных сталей, а также цветных металлов и сплавов и для наплавочных работ. Основным требованием, предъявляемым к электродам, является обеспечение необходимой прочности и нужного структурного состава металла шва.

Ручную дуговую сварку широко применяют в машиностроении при сварке заготовок из сталей и цветных металлов, благодаря своей универсальности и возможности вести процесс во всех пространственных положениях: нижнем, вертикальном, потолочном.

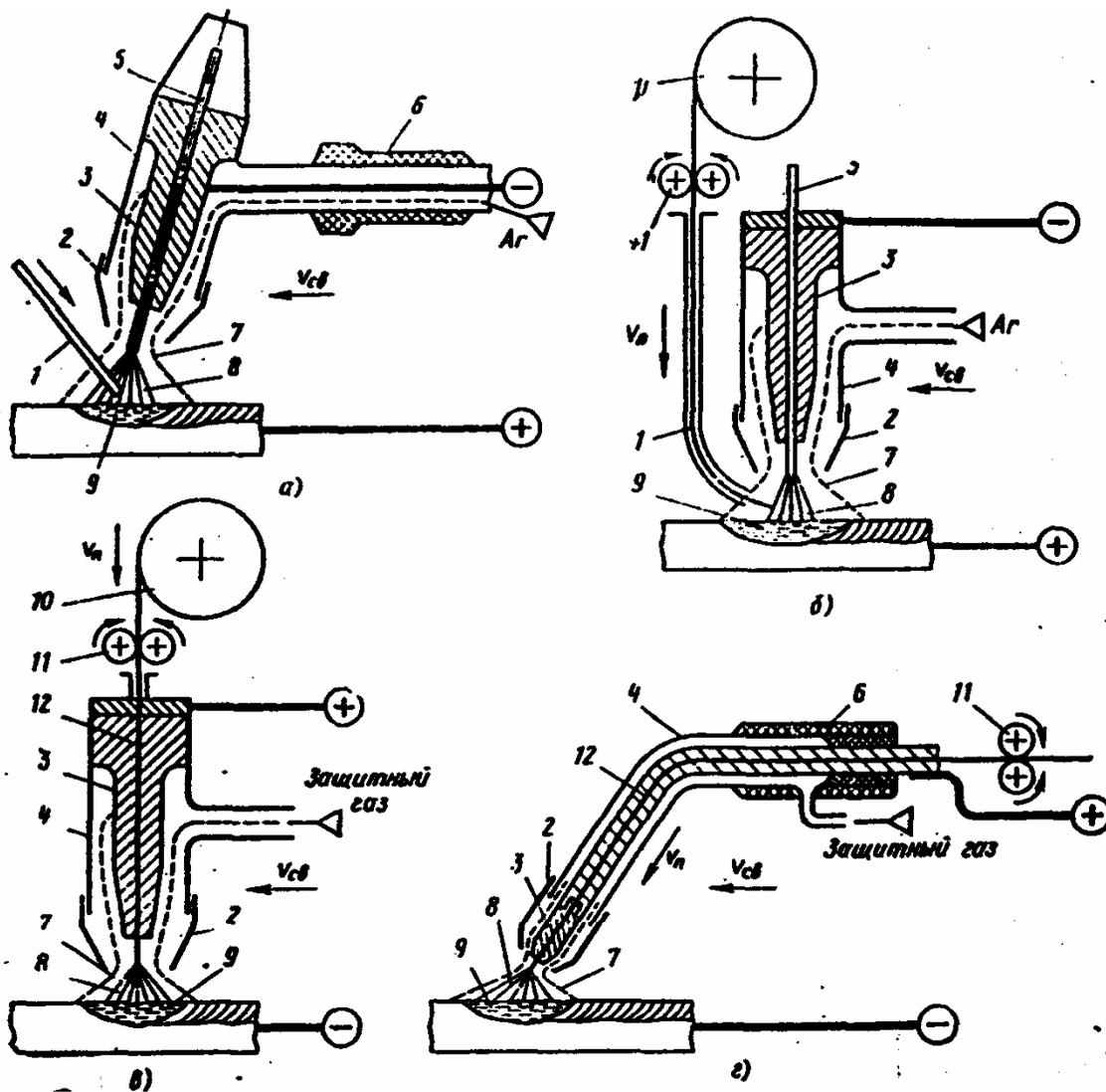
Основные недостатки этого способа — малая производительность и необходимость высокой квалификации оператора.

4.2.2 Сварка в защитном газе

При сварке в защитных газах в зону сварочной дуги подается инертный либо нейтральный газ, достаточно надежно защищающий расплавленный и остывающий металл сварного шва от контакта с окружающей атмосферой. В качестве защитных газов наибольшее применение получили инертные газы — аргон и гелий - и более дешевый углекислый газ. Иногда применяют смеси двух и более газов. При сварке с защитой инертными газами различают сварку неплавящимся и плавящимся электродом. Сварку неплавящимся вольфрамовым электродом можно проводить либо без применения присадочного материала, либо с присадочным прутком, как правило, для заготовок толщиной свыше 3 мм (рисунок 110а). В качестве присадки применяют проволоку, по химическому составу близкую к составу свариваемого металла.

Диаметр проволоки зависит от толщины свариваемых заготовок и колеблется от 0,5 до 3 мм. Защитный газ к месту сварки доставляют в баллонах под давлением $1,56 \cdot 10^7$ Па. Для снижения давления применяют газовые редукторы. Расход газа обычно составляет от 5 до 15 л/мин.

Сварку плавящимся электродом обычно применяют для заготовок толщиной более 8 мм (рисунок 110г).



а – неплавящимся электродом; б - неплавящимся электродом с автоматической подачей присадочного материала; в,г – плавящимся электродом; а, б – прямая полярность; в, г – обратная полярность

1 – присадочный пруток или проволока; 2 – сопло; 3 - токоподводящий мундштук; 4 – корпус горелки; 5 – неплавящийся вольфрамовый электрод;
 6 – рукоять горелки; 7 – атмосфера защитного газа; 8 – сварочная дуга; 9 – ванна расплавленного металла; 10 – кассета с проволокой; 11 – механизм подачи; 12 – плавящийся металлический электрод (сварочная проволока)

Рисунок 110 - Виды сварки в защитных газах

Применение при относительно малых сечениях электродов больших сварочных токов резко увеличивает проплавляющую способность дуги, а также производительность процесса.

Разновидностью сварки в среде инертных газов является сварка в

контролируемой атмосфере. Детали помещают в специальные камеры, из которых откачивают воздух, а затем заполняют аргоном. Сварку выполняют вручную или с помощью автомата с дистанционным управлением. Для сварки крупногабаритных заготовок применяют камеры объемом до 450 м³, внутри которых работает сварщик, снабженный специальной системой дыхания.

Сварка в среде инертных газов является относительно дорогим процессом, и ее применяют в основном для сварки заготовок из цветных металлов и низколегированных сталей. При сварке используют плавящийся электрод диаметром от 0,8 до 2 мм. В состав электродной проволоки вводят дополнительно *Mn* и *Si*, которые вступают в реакцию с кислородом, выделяющимся при разложении углекислого газа в области дугового разряда, и связывают его в оксиды. Сварку в среде защитных газов, как правило, осуществляют на автоматах и полуавтоматах с использованием постоянного тока. Исключение составляют аргонодуговая сварка заготовок из алюминия и его сплавов, при которой рекомендуют применять переменный ток.

Преимущества этой сварки:

- высокая степень защиты металла от кислорода;
- отсутствие флюса и защиты от шлака;
- чистая поверхность без шлаков и оксидов;
- сварку проводят во всех положениях;
- визуальное наблюдение за процессом;
- большой диапазон толщины свариваемого металла - от 0,5 до 100мм;
- высокая производительность и степень автоматизации;
- относительно низкая стоимость процесса при сварке в среде углекислого газа.

Аргоновая сварка и сварка в среде углекислого газа являются наиболее распространенными способами сварки в среде защитных газов.

При сварке в защитном газе электрод, зона дуги и сварочная ванна защищены струей защитного газа.

В качестве защитных газов применяют инертные газы (аргон и гелий) и активные газы (углекислый газ, азот, водород и др.), иногда – смеси двух или более газов. В нашей стране наиболее распространено применение аргона и углекислого газа.

Области применения сварки в защитных газах охватывают широкий круг материалов и изделий (узлы летательных аппаратов, элементы атомных установок, корпус и трубопроводы химических аппаратов и т.п.).

Сварку неплавящимся электродом ведут на постоянном токе прямой полярности. В этом случае дуга легко зажигается и горит устойчиво при напряжении от 10 до 15 В. При обратной полярности возрастает напряжение дуги, уменьшается устойчивость ее горения и снижается стойкость электрода. Эти особенности дуги обратной полярности делают ее непригодной для непосредственного применения в сварочном процессе. Однако дуга обратной полярности обладает одним важным технологическим свойством: при ее действии с поверхности свариваемого металла удаляются оксиды. Одно из объяснений этого явления заключается в том, что поверхность металла

бомбардируется тяжелыми положительными ионами аргона, которые механически разрушают пленку оксида. Процесс удаления оксидов также известен как катодное распыление. Указанные свойства дуги обратной полярности используют при сварке алюминия, магния и их сплавов, применяя для питания дуги переменный ток.

При сварке неплавящимся электродом на переменном токе сочетаются преимущества дуги на прямой и обратной полярностях. Однако асимметрия электрических свойств дуги, обусловленная ее меньшей электрической проводимостью при обратной полярности по сравнению с прямой, приводит к ряду нежелательных явлений.

В результате выпрямляющей способности дуги появляется постоянная составляющая тока прямой полярности. В этих условиях дуга горит неустойчиво, ухудшается очистка поверхности сварочной ванны от тугоплавких оксидов и нарушается процесс формирования шва. Процесс характеризуется повышенной производительностью, по сравнению с ручной дуговой сваркой; относительно низкой стоимостью при сварке в CO_2 .

Устойчивость горения дуги обеспечивается постоянством тока и процессом формирования шва на обеих полярностях тока.

В соответствии с необходимостью применения высоких плотностей тока для сварки плавящимся электродом используют проволоку малого диаметра (от 0,6 до 3 мм) и большую скорость ее подачи. Такой режим сварки обеспечивается только механизированной подачей проволоки в зону сварки. Сварку выполняют на постоянном токе обратной полярности. В данном случае электрические свойства дуги в значительной степени определяются наличием ионизированных атомов металла электрода в столбе дуги. Поэтому дуга обратной полярности горит устойчиво и обеспечивает нормальное формирование шва; в то же время ей соответствуют повышенная скорость расплавления проволоки и производительность процесса сварки.

Сварка в среде защитных газов, в зависимости от степени механизации процессов подачи присадочной или сварочной проволоки и перемещения сварочной горелки, может быть ручной, полуавтоматической и автоматической.

4.2.3 Автоматическая дуговая сварка под флюсом

Автоматическую сварку под флюсом применяют в серийном и массовом производствах для выполнения длинных прямолинейных и кольцевых швов в нижнем положении на металле толщиной от 2 до 100 мм.

Сварочным флюсом называют неметаллический материал, расплав которого (шлак) необходим для выполнения сварки и улучшения качества шва.

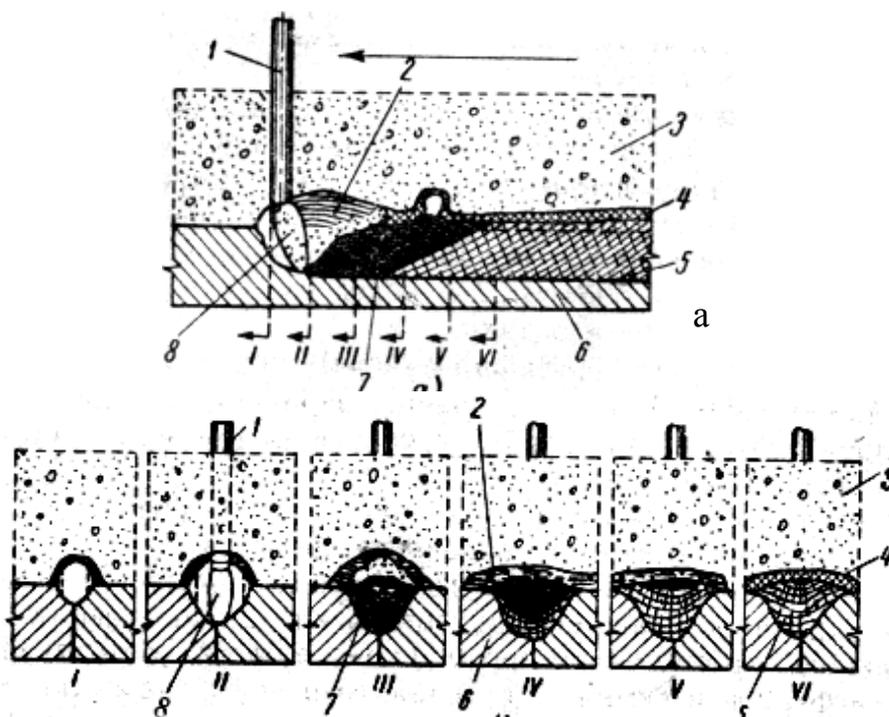
Флюс - зернистое вещество, при плавлении образующее корку на ванне, имеет следующее назначение: защита металла от кислорода и азота, легирование наплавляемого металла, устойчивое горение, замедление процесса кристаллизации металла, обеспечение высоких механических свойств металла; формирование шва; снижение потери тепла в окружающую среду,

образование легкоотделяемых шлаков.

Флюсы бывают оксидные, солевые и солеоксидные. Первые применяют для углеродистых и низколегированных сталей, солевые - для средне- и высоколегированных сталей.

По способу изготовления флюсы бывают плавленные и неплавные, (керамические). Плавные флюсы получают плавлением исходных материалов. Флюсы служат для изоляции сварочной ванны от воздуха, обеспечения устойчивого горения дуги, формирования поверхности шва и получения заданного состава и свойств наплавленного металла. Флюсы классифицируют по назначению, химическому составу и способу изготовления. По назначению они разделяются на флюсы для сварки низкоуглеродистых и низколегированных сталей, легированных и высоколегированных сталей.

Защита расплавленного металла от воздействия воздуха осуществляется порошкообразным флюсом, ссыпаемым из бункера непосредственно перед дугой. В состав флюса входят элементы, обеспечивающие стабильность дуги, а также процессы легирования, раскисления и формирования металла шва. Флюсы, расплавляясь, создают шлаковый купол над зоной сварочной дуги, препятствующий проникновению воздуха (рисунок 111).



a — продольный разрез шва; *б* поперечные разрезы

1 - электрод; 2 - пузырь из жидкого флюса; 3 - флюс, оставшийся нерасплавленным; 4 - спекшийся флюс; 5 - затвердевший металл шва; 6 - свариваемый металл, 7 - жидкий расплавленный металл, 8 - электрическая дуга

Рисунок 111 – Схема автоматической наплавки под слоем флюса

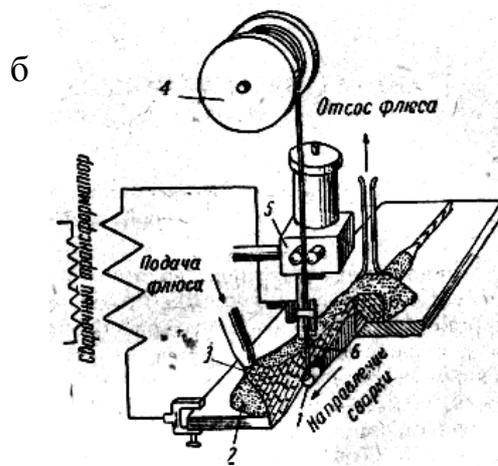
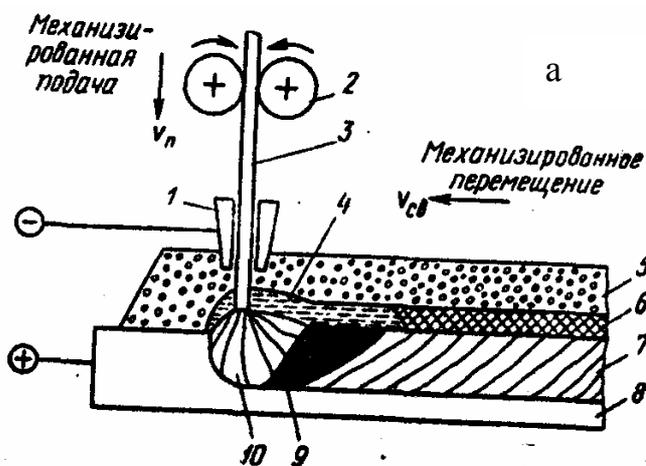
После химико-металлургического воздействия в дуговом пространстве и сварочной ванне флюсы образуют на поверхности шлаковую корку, в которую выводятся из расплавленного металла шва окислы, сера, фосфор и газы.

Под флюсом сваривают стали различных классов. Для автоматической дуговой сварки под флюсом используют непокрытую электродную проволоку и флюс для защиты дуги и сварочной ванны от кислорода воздуха. Подача и перемещение электродной проволоки механизированы.

В процессе автоматической сварки под флюсом дуга горит между проволокой и основным металлом. Столб дуги и металлическая ванна жидкого металла со всех сторон плотно закрыты слоем флюса толщиной от 30 до 50мм. Часть флюса расплавляется, в результате чего вокруг дуги образуется газовая полость, а на поверхности расплавленного металла – ванна жидкого шлака. Для сварки под флюсом характерно глубокое проплавление основного металла.

Процессе автоматической сварки под слоем флюса показан на рисунке 112.

Действие мощной дуги и весьма быстрое движение электрода вдоль заготовки обуславливает оттеснение расплавленного металла в сторону, противоположную направлению сварки. По мере поступательного движения электрода происходит затвердевание металлической и шлаковой ванн с образованием сварного шва, покрытого твердой шлаковой коркой.



1 – токоподвод; 2 – механизм подачи электрода (сварочной проволоки 3); 4 – ванна жидкого шлака; 5 – флюс;

6 – твердая шлаковая корка; 7 – сварной шов; 8 – основной металл; 9 – ванна жидкого металла; 10 - дуга

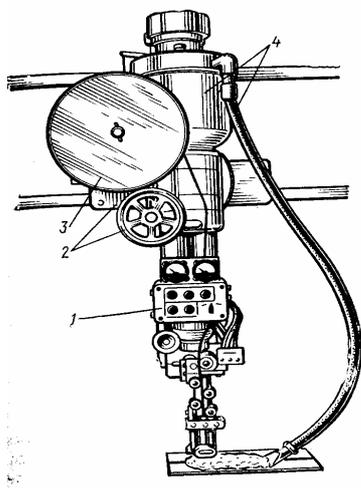
1 - электрическая дуга; 2 – флюс на свариваемом металле; 3 - сопло; 4 – бухта проволоки; 5 - сварочная головка; 6 – электрод (проволока)

Рисунок 112 – Схемы процесса автоматической дуговой сварки

под флюсом на постоянном (а) и переменном (б) токе

Дуга 10 горит между проволокой 3 и основным металлом 8. Столб дуги и металлическая ванна жидкого металла 9 со всех сторон плотно закрыты слоем флюса 5 толщиной 30-50мм. Часть флюса расплавляется, в результате чего вокруг дуги образуется газовая полость, а на поверхности расплавленного металла - ванна жидкого шлака 4. По мере поступательного движения электрода происходит затвердевание металлической и шлаковой ванн с образованием сварного шва 7, покрытого твердой шлаковой коркой 6. Проволоку подают в дугу и перемещают ее вдоль шва с помощью механизмов подачи 2 и перемещения. Ток к электроду поступает через токоподвод 1.

Дуговую сварку под флюсами выполняют сварочными автоматами: подвесными сварочными агрегатами (рисунок 113) или самоходными тракторами (рисунок 114), перемещающимися непосредственно по изделию.



1 – сварочная головка; 2 – ходовой механизм; 3 – катушка с электродной проволокой; 4 – система подачи флюса и удаления его нерасплавившейся части

Рисунок 113 – Подвесной автомат для дуговой сварки под флюсом

Назначение сварочных автоматов – подача электродной проволоки в дугу и поддержание постоянного режима сварки в течение всего процесса.

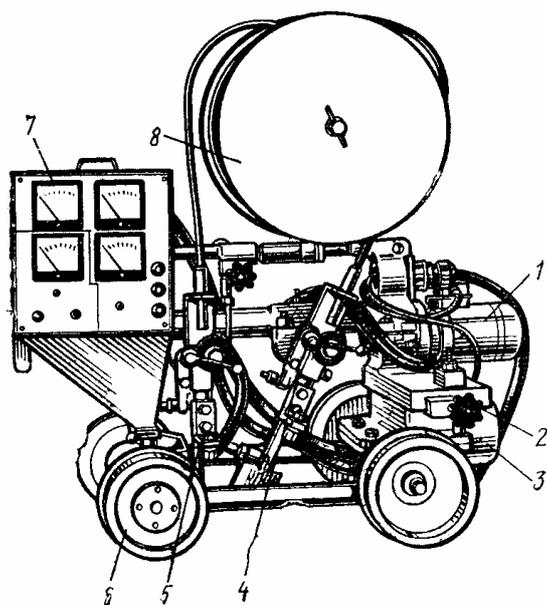
Автоматическую сварку следует производить проволокой, приближающейся по своему химическому составу к свариваемому металлу. Стандартами предусмотрен выпуск проволоки 77 марок для сварки сталей, проволоки 30 марок для наплавочных работ и проволоки 14 марок для сварки алюминия и его сплавов.

Флюс из бункера подается на свариваемые кромки. Ток через мундштук подводится к электроду, при этом используется ток большой силы. При автоматической сварке процессы зажигания дуги, подачи электрода в дугу и перемещения его вдоль направления сварки осуществляются механически.

Автоматическая сварка под флюсом имеет следующие преимущества

перед ручной дуговой сваркой:

- 1) производительность в 5 - 10 раз выше из-за того, что процесс сварки непрерывный и сила тока до 2000 А;
- 2) высокое качество сварного шва, т.к. шлак защищает ванну от кислорода и азота воздуха;
- 3) экономия электроэнергии за счет экономичного ее использования, по сравнению с ручной сваркой;
- 4) экономия металла электродов (нет концевых отходов электродов);
- 5) уменьшение себестоимости 1м сварного шва;
- 6) улучшение условий труда.



1 – привод; 2 – суппорт; 3 – тележка; 4 – правильный механизм; 5 – мундштук; 6 – шасси; 7 – пульт-бункер; 8 – кассета для электродной проволоки

Рисунок 114 – Трактор ТС 58 для дуговой сварки под флюсом

Применение в качестве электрода непокрытой проволоки позволяет приблизить токоподвод на расстояние до 50 мм от дуги и тем самым устранить опасный разогрев электрода при большой силе тока. Плотная флюсовая защита сварочной ванны предотвращает разбрызгивание и угар расплавленного металла, а увеличение силы тока позволяет сваривать металл большой толщины (до 20 мм) за один проход без разделки кромок.

Повышение качества сварных швов обусловлено получением более высоких механических свойств наплавленного металла благодаря надежной защите сварочной ванны флюсом, интенсивному раскислению и легированию ее, вследствие увеличения объема жидкого шлака, сравнительно медленного охлаждения шва под флюсом и твердой шлаковой коркой; улучшением формы и поверхности сварного шва и постоянством его размеров по всей длине, вследствие регулирования режима сварки, механизированной подачи и перемещения электродной проволоки и дуги.

Скорость сварки задается скоростью перемещения каретки.

Автоматическую сварку под флюсом целесообразно применять в нижнем положении для непрерывных швов большой протяженности, и ее широко применяют при изготовлении труб, котлов, резервуаров для хранения жидкостей и газов, корпусов судов, мостовых балок и др. изделий. Применение ее для коротких швов либо швов сложной траектории экономически невыгодно. Для швов, расположенных вертикально, автоматическая сварка под флюсом неприменима. Разновидностью дуговой сварки под флюсом является полуавтоматическая сварка. В этом процессе подача электрода осуществляется механически, а перемещение его по направлению сварки — вручную. Способ рекомендуют для сварки коротких криволинейных швов в нижнем положении.

4.2.5 Лучевые способы сварки плавлением

Светолучевая обработка является разновидностью электрофизической обработки материалов.

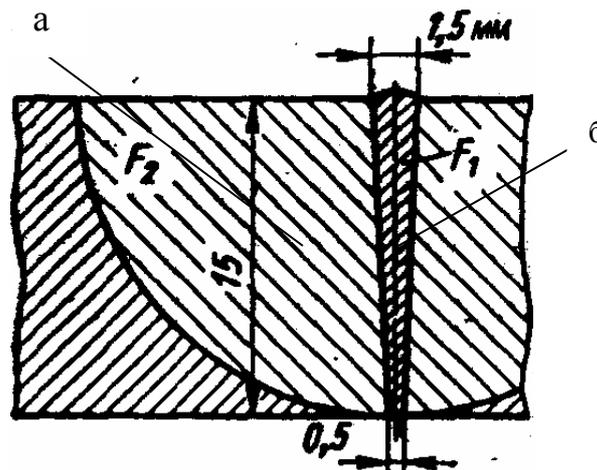
Благодаря высокой концентрации мощности в световом луче, а также целому ряду его специфических свойств, в последние годы он широко и эффективно используется в различных областях науки и техники.

Мощные световые потоки применяются в технологических процессах обработки различных материалов. С их помощью производится сварка, закалка, резка и сверление различных материалов без возникновения в них механических напряжений и с очень большой точностью.

В большинстве технологических процессов используется термическое действие света, вызываемое его поглощением в обрабатываемом материале. Для увеличения плотности потока излучения и локализации зоны обработки применяются различные оптические системы, а лазерами обрабатываются материалы практически любой твердости: металлы, рубины, алмазы и т. д.

Виды сечения шва при различной сварке показаны на рисунке 115. Для лучевых способов сварки является характерным так называемое «ножевое, кинжальное» проплавление, т. е. форма шва, при которой отношение глубины шва к ширине (Н/Б) нередко достигает 20 : 1 и более (рисунок 115 б).

В современных установках для сварки, сверления, резки и фрезерования электронный луч фиксируется на площади диаметром менее 0,00001 м, что позволяет получить большую удельную мощность. При использовании обычных сварочных источников теплоты (дуги, газового пламени) металл нагревают и плавят за счет распространения теплоты от поверхности в глубину, при этом формы зоны расплавления в сечении приближаются к полукругу. При сварке лучом теплота выделяется непосредственно в самом металле f_1 , причем наиболее интенсивно на некоторой глубине под его поверхностью.



а - полукруглое при дуговой сварке; б – «кинжальное» при электронно-лучевой (лазерной)

Рисунок 115 - Виды сечения проплавления при различной сварке

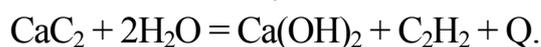
4.2.6 Газовая сварка

Для сваривания тонколистового материала, цветных металлов и сплавов, для резки заготовок из тонкого металла, для сваривания труб, для ремонтных работ и в сельскохозяйственных мастерских широкое применение нашли газовая сварка и резка. Газовой сваркой можно сваривать почти все металлы и сплавы, применяемые в технике. Газовая сварка - это сварка плавлением, при которой кромки соединяемых частей нагреваются в пламени от сжигания газов, сжигаемых на выходе их из горелки. В качестве горючих газов можно также применять природные газы, водород, пары бензина и керосина, нефтяные газы и др. Перечисленные горючие газы могут быть использованы главным образом для кислородной резки, не требующей высокой температуры пламени. Для газовой сварки в качестве горючих газов используют ацетилен и водород, но наиболее применяемый ацетилен из-за простоты его получения, большой теплоты сгорания, по сравнению с другими горючими газами, и высокой температуры пламени (3200 °С).

4.2.6.1 Ацетиленовая сварка

Ацетилен (C₂H₂) — горючий газ с низшей теплотой сгорания 54 кДж/м³. Его получают в специальных аппаратах — газогенераторах — при взаимодействии воды с карбидом кальция.

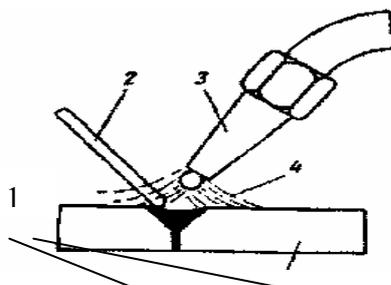
Карбид кальция выплавляют в электропечах путем плавления оксида кальция с коксом. Карбид кальция бывает темно-серого или коричневого цвета. Он гигроскопичен, притягивает воду из воздуха, бурно реагирует с водой, выделяя ацетилен и тепло по реакции:



Хранят карбид в закрытых металлических бочках из кровельного железа. При разложении 1 кг карбида кальция образуется до 0,3 м³ ацетилена.

Ацетилен - бесцветный газ, легче воздуха, с резким чесночным запахом. Смесь ацетилена с воздухом или кислородом взрывоопасна при избыточном давлении свыше 0,175 МПа, хорошо растворяется в ацетоне (в одном объеме ацетона растворяется 23 объема ацетилена при давлении 0,15 МПа. Последнее свойство используют для безопасного хранения ацетилена в баллонах. Длительное вдыхание ацетилена вызывает тошноту и отравление.

При сварке место соединения нагревают до расплавления высокотемпературным газовым пламенем. При нагреве газосварочным пламенем кромки свариваемых заготовок расплавляются, а зазор между ними заполняется присадочным металлом, который вводят в пламя горелки извне (рисунок 116).



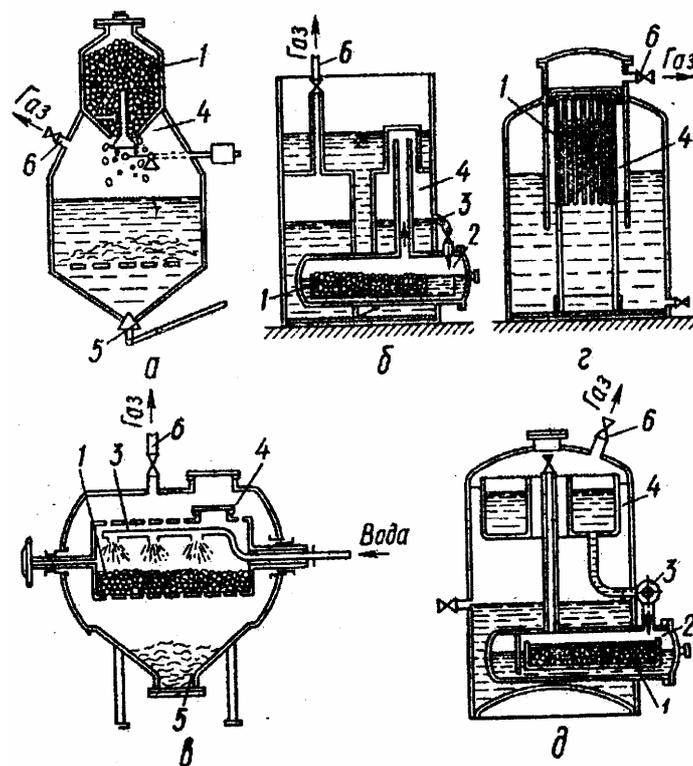
1 - свариваемые заготовки; 2 - присадочный металл;
3 - наконечник горелки; 4 - пламя горелки

Рисунок 116 – Схема газовой сварки

Ацетиленовые генераторы могут быть различных систем и размеров, их различают по следующим признакам:

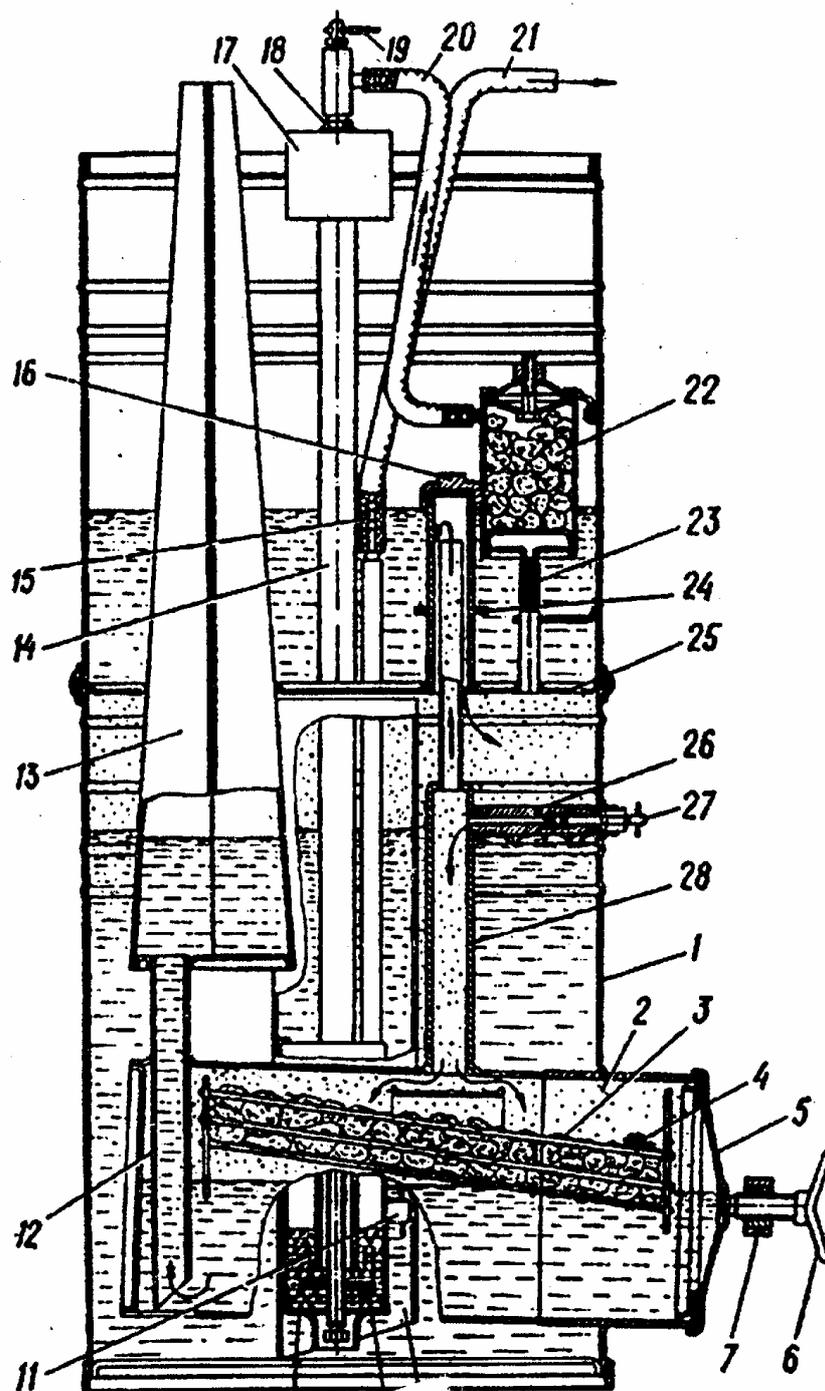
- по способу взаимодействия воды и карбида кальция (рисунок 117);
- по давлению выходящего газа;
- по производительности.

Наиболее простая конструкция у генератора системы «вода на карбид», при которой воду периодически подают на карбид, насыпанный в открытую сверху корзинку (рисунок 118). Корзинку помещают в горизонтальную цилиндрическую реторту, герметически закрывающуюся снаружи.



а — «карбид в воду», б — «вода на карбид», в — «сухого разложения»,
 г, д — комбинированная система «вода на карбид» и «вытеснения»;
 1 — бункер или барабан с карбидом кальция, 2 — реторта, 3 — система подачи
 воды, 4 — газосборник, 5 — спуск ила, 6 — отбор газа

Рисунок 117 - Схемы и устройство ацетиленовых генераторов



1 - корпус ацетиленового генератора; 2 - реторта загрузочная; 3 - корзина с окном 4; 5 - крышка с рычагом 6 и специальной гайкой 7; 8 - циркуляционная труба; 9 - корпус затвора; 10 - резиновая прокладка; 11 - контрольный кран; 12 - труба; 13 - камера; 14 - водяной затвор; 15 - ниппель; 16 - пробка; 17 - верхняя обечайка 19 - вентиль; 20, 21, 23 - шланг; 22 - осушитель; 24 - шланг уровня; 25 - горизонтальная перегородка; 26 - отведение; 27 - вентиль; 28 - газоотводящая труба

Рисунок 118 - Устройство ацетиленового генератора низкого давления производительностью 1,25 м³/ч

При засорении горелки либо при ее перегреве возникает обратный удар, т.е. ацетилен вспыхивает в рукаве. Обратный удар возникает, когда скорость истечения газов становится меньше скорости их горения. Практически обратный удар происходит при перегреве горелки или засорении сопла и центрального отверстия инжектора. Поэтому для предотвращения проникновения искры в генератор и предотвращения условий общего взрыва в генераторе используют водяной затвор низкого давления. Его принцип работы: газ барботирует через воду и идет к горелке, а при хлопке (взрыве под водой) водяная пробка перекрывает доступ искры в генератор. Предохранители бывают низкого и среднего давления.

Ацетиленовые генераторы взрывоопасны и нуждаются в специальном обслуживании, поэтому при работе одного-двух сварочных постов и в полевых условиях целесообразно использовать баллонный ацетилен.

Ацетиленовые баллоны окрашивают в белый цвет и делают на них красной краской надпись «Ацетилен». Их конструкция аналогична конструкции кислородных баллонов. Давление ацетилена в баллоне 1,5 МПа. В баллоне находятся пористая масса (активированный уголь) и ацетон. Растворение ацетилена в ацетоне позволяет поместить в малом объеме большое количество ацетилена. Растворенный в ацетоне ацетилен пропитывает пористую массу и становится безопасным.

4.2.6.2 Водородная сварка

Применение водорода при сварке, резке и пайке металлов чрезвычайно заманчиво, так как при разложении 1 см^3 воды образуется 800 см^3 газа, тепло которого при его сжигании может быть использовано для расплавления металла. В пользу водорода как универсального энергоносителя выступают многие обстоятельства, и в том числе:

- 1) водород широко используется в современной химии, металлургии, металлообработке;
- 2) сырьем для получения водорода может быть вода;
- 3) при сжигании водорода практически не образуются вредные вещества; что снижает затраты по защите окружающей среды;
- 4) полученное топливо сравнительно легко транспортировать.

Сдерживающим фактором широкого применения водорода в сварочном производстве является отсутствие простой и надежной конструкции генератора водорода. Общеизвестна опасность взрыва горючих газов при их хранении, и чем больше объем хранимых газов, тем опаснее последствия взрывов.

Относительно дешевый и доступный источник горючего газа - вода, электролизом ее можно разделять по известной реакции на водород и кислород непосредственно перед использованием.

На решение данной проблемы направлены многие разработки, в том числе и работа, выполненная доцентом кафедры материаловедения и технологии материалов ОГУ, к.т.н. Юршевым В.И.

Как было сказано выше, при электролизе воды образуется избыточное

количество кислорода, сварочный шов при работе с таким соотношением газов будет сильно окисляться. Поэтому в конструкции электролизера необходимо к водяному затвору добавить барботер. В барботере производится насыщение горючей смеси парами углеводородов. В качестве последних рекомендуется использовать бензин, ацетон, метиловый спирт и т.д.

Барботер работает следующим образом. Газообразный водород и кислород поступают в барботер. В зависимости от положения вентиля горелки будут определяться режимы работы горелки и характер пламени. Если будет закрыт нижний по схеме вентиль, а верхний открыт - пламя кислородное.

При сжигании же смеси газов и паров получена возможность регулировать характер пламени от окислительного до восстановительного и науглероживающего. Добавки углеводородов связывают избыточный кислород, полученный при электролизе, позволяют в широких пределах регулировать свойства и параметры пламени.

В качестве горелки удобно использовать выпускаемые промышленностью горелки малой мощности «Малютка», «Звездочка» с соответствующим подключением двух шлангов - кислород и водород, вместо ацетилена. Возможно также использование безинжекторных горелок типа ГС-1.

При резке металлов рекомендуется работать без добавок - на кислородно-водородном пламени. На этом же пламени можно проводить все виды пайки твердыми и мягкими припоями. Температура пламени достигает 3000 °С, и для «смягчения пламени» при пайке или стеклотрувных работах рекомендуется снизить рабочее давление в реакторе и обогатить пламя углеводородами.

Длину факела можно настраивать от язычка, почти незаметного невооруженным глазом, до пламени в несколько сантиметров. Диаметр факела лежит в пределах от 0,5 до 12 мм. Смена наконечников горелки и регулировка длины факела не влияют на рабочую температуру.

4.2.6.3 Технология газовой сварки

При сварке место соединения нагревают до плавления газовым высокотемпературным пламенем (рисунок 116). При нагреве газосварочным пламенем кромки свариваемых заготовок расплавляются, а зазор между ними заполняется присадочным металлом, который вводят в пламя горелки извне. Газовое пламя получают при сгорании горючего газа в атмосфере технически чистого кислорода.

При газовой сварке материал нагревается более плавно, чем при дуговой; это и определяет основные области ее применения:

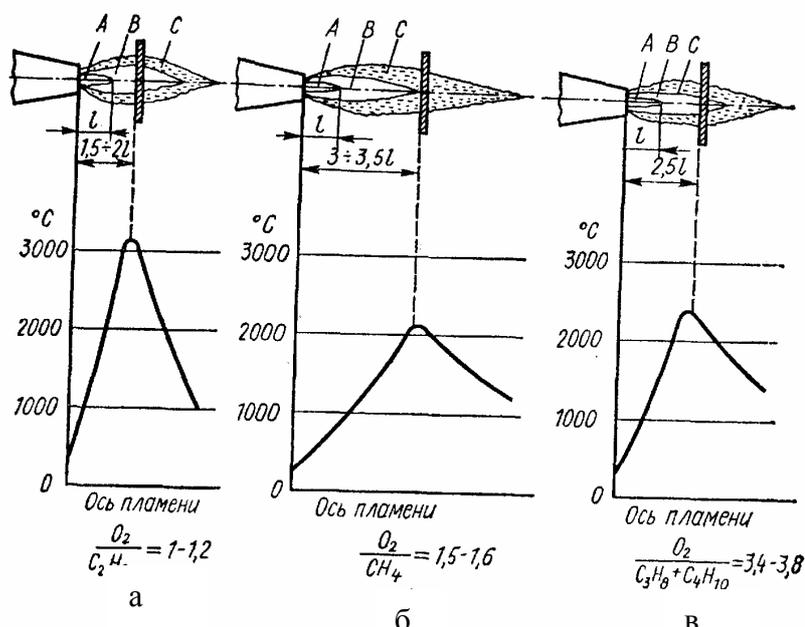
- для сварки металлов малой толщины от 0,2 до 3 мм;
- легкоплавких цветных металлов и сплавов;
- для металлов и сплавов, требующих постепенного нагрева и охлаждения, например инструментальных сталей, чугуна, латуны;
- для пайки и наплавочных работ;
- для подварки дефектов в чугунных и бронзовых отливках.

При увеличении толщины металла производительность газовой сварки резко снижается. При этом за счет медленного нагрева свариваемые изделия значительно деформируются. Это ограничивает применение газовой сварки.

На качество шва влияет правильный подбор наконечника, нужное соотношение кислорода и ацетилена, правильный способ перемещения горелки и присадочного материала.

В зависимости от соотношения кислорода и ацетилена, подаваемых в горелку, получают следующие виды сварочного пламени (состоящего из зоны ядра, восстановительной зоны и факела): нормальное, окислительное, науглероживающее (рисунок 119).

Газы с кислородом смешивают в определенных пропорциях. В зависимости от используемого газа сварочное пламя бывает: ацетилено-кислородное, метанокислородное и пропанокислородное. На рисунке 119 показано строение газосварочного пламени и распределение температур по оси.



а – ацетилено-кислородное; б – метанокислородное; в – пропанокислородное;

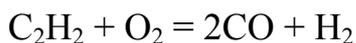
А — ядро; В — зона неполного сгорания; С — зона полного сгорания

l - длина ядра

Рисунок 119 - Зоны сварочного пламени

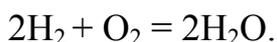
Пламя состоит из трех зон: ядра пламени А, средней (сварочной) зоны В, факела пламени С (l – длина). В зоне А происходит постепенный нагрев газовой смеси, поступающей из мундштука, до температуры ее воспламенения.

В зоне В – первая стадия горения ацетилена за счет кислорода, поступающего из баллона, по реакции:



Зона В, обладающая восстановительными свойствами и имеющая самую высокую температуру, называется сварочной или рабочей зоной.

В зоне С (факеле) протекает вторая стадия горения ацетилена за счет атмосферного кислорода по реакциям:



Углекислый газ и пары воды при высоких температурах окисляют металл, поэтому эту зону называют окислительной. Газосварочное пламя называется нормальным, когда соотношение газов $\text{O}_2/\text{C}_2\text{H}_2$ равно 1. Газосварочное пламя называется окислительным, когда соотношение газов $\text{O}_2/\text{C}_2\text{H}_2 > 1$. Оно приобретает голубоватый оттенок и имеет заостренную форму ядра. Такое пламя обладает окислительными свойствами и может быть использовано только при сварке латуни. В этом случае избыточный кислород образует с цинком, содержащимся в латуни, тугоплавкие оксиды, пленка которых препятствует дальнейшему испарению цинка.

При увеличении содержания ацетилена ($\text{O}_2/\text{C}_2\text{H}_2 < 1$) пламя становится коптящим, удлиняется и имеет красноватый оттенок. Такое пламя называют науглероживающим и применяют для сварки чугуна и цветных металлов, так как в этом случае компенсируется выгорание углерода и восстанавливаются оксиды цветных металлов.

Нормальное пламя обеспечивается при соотношении $\text{C}_2\text{H}_2/\text{O}_2 = 1/(1,1 \text{ до } 1,3)$. При этом в ядре пламени исходные продукты начинают вступать в реакцию, образуя восстановительную зону, в которой содержатся продукты неполного сгорания ацетилена (CO и H_2). В восстановительной зоне самая высокая температура (до 3200°C) на расстоянии от 3 до 6 мм от конца ядра. Факел — зона полного сгорания за восстановительной зоной и состоит из углекислого газа.

Окислительное пламя получают при подаче в горелку кислорода в отношении к ацетилену от 1,3 до 1,6. Пламя укороченное с заостренным ядром. Применяют для сварки латуней и пайки твердым припоем.

Науглероживающее пламя получают при нехватке кислорода (отношении 0,95), т.е. избытке ацетилена. На ядре пламени виден зеленый венчик, а при большом недостатке кислорода пламя коптит. Применяют при сварке чугуна и наплавке твердым сплавом.

При сварке пламя горелки направляют так, чтобы свариваемые кромки находились в восстановительной зоне, но не касаясь ядра пламени. Скорость

нагрева регулируют углом наклона мундштука горелки к поверхности металла - чем больше угол, тем выше скорость нагрева. Различают левый и правый способы сварки. При левом способе горелку перемещают справа налево, а присадочный материал располагают перед пламенем, при правом – наоборот. Таким способом рекомендуется сваривать металл толщиной больше 6 мм.

Кроме основных компонентов, для газовой сварки используют присадочный металл и флюсы. Присадочный металл применяют для дополнения в сварочную ванну к расплавленному металлу. Он бывает в виде проволоки (преимущественно), прутков, полосок материала того же или близкого состава, что и свариваемый металл. Для сварки сталей в качестве присадочного материала применяют стальную сварочную проволоку.

Флюсы — неметаллические материалы, расплавы которых необходимы для улучшения качества сварки. Пленка флюса (он легче расплава) покрывает металл шва на поверхности, защищая его от окисления. В качестве флюсов используют буру, борную кислоту и другие вещества. Состав флюса выбирается в зависимости от состава свариваемого металла. При сварке углеродистых сталей флюсы не применяются. Флюсы также применяют для легирования сварного шва, а при кислородной резке - для обеспечения процесса резки.

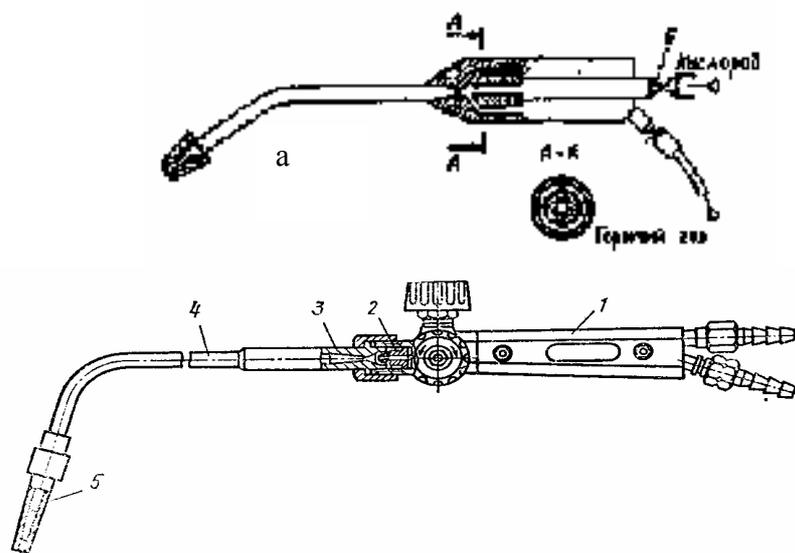
Для газовой сварки сталей присадочную проволоку выбирают в зависимости от состава сплава свариваемого металла. Для сварки чугуна применяют специальные литые стержни, для наплавки износостойких покрытий – литые стержни из твердых сплавов. Для сварки цветных металлов и некоторых специальных сплавов используют флюсы, которые могут быть в виде порошков и паст; для сварки меди и ее сплавов – кислые флюсы (буру, буру с борной кислотой); для сварки алюминиевых сплавов – безкислородные флюсы на основе фтористых, хлористых солей лития, калия, натрия и кальция. Роль флюса состоит в растворении оксидов и образовании шлаков, легко всплывающих на поверхность сварочной ванны. Во флюсы можно вводить элементы, раскисляющие и регулирующие наплавленный металл.

Для сварки латуни применяют газофлюсовую сварку с дозированной подачей в сварочную ванну газового флюса, представляющего собой эфир борной кислоты (BOCH_8), который подают в ацетиленовый канал сварочной горелки, где он сгорает в пламени и образует борный ангидрид, связывающий оксид цинка. В результате образуется слой шлака, препятствующий дальнейшему выгоранию цинка.

Сварочный пост для газовой сварки содержит стол сварщика, ацетиленовый генератор (устройство, в котором из карбида кальция получают ацетилен), баллон с кислородом, кислородный и ацетиленовый (если он из баллона) редукторы, сварочную горелку и резак, резиновые рукава (кислородные шланги) и вспомогательный инструмент (щетki, зубило, молоток).

4.2.6.4 Газосварочное оборудование

Газосварочные горелки используют для образования пламени. Сварочные горелки подразделяются по способу подачи газа и кислорода в смесительную камеру (инжекторные и безинжекторные), по применяемому горючему (ацетиленовые, водородные и для газов заменителей), по назначению (универсальные и специализированные). В промышленности наиболее распространены газосварочные инжекторные горелки (рисунок 120), используемые для образования газосварочного пламени. Они безопасны и работают на низком и среднем давлениях. Горелки этого типа имеют сменные наконечники с различными диаметрами выходных отверстий инжектора и мундштука, что позволяет регулировать мощность ацетиленокислородного пламени. Обычно горелки имеют семь номеров сменных наконечников.



1 — ствол с регулировочными вентилями; 2 — инжектор;
3 — смесительная камера; 4 — наконечник; 5 — мундштук

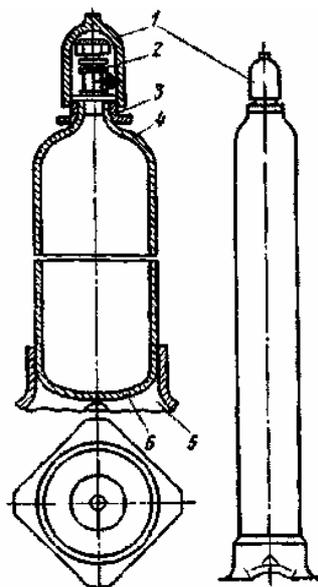
Рисунок 120 - Схема (а) и вид газосварочной инжекторной горелки

В инжекторной горелке кислород под давлением от 0,1 до 0,4 МПа через регулировочный вентиль и трубку подается к инжектору 2. Выходя с большой скоростью из узкого канала инжекторного конуса, кислород создает значительное разрежение в камере 3 и засасывает горючий газ, поступающий через вентиль в ацетиленовые каналы горелки. В камере смешения 3 образуется горючая смесь, которая поступает по наконечнику 4 к мундштуку 5, на выходе из которого при сгорании образуется сварочное пламя.

Кислород, используемый для сварочных работ, поставляется к месту потребления в стальных баллонах под давлением 15 МПа. Баллоны окрашены в голубой цвет с черной надписью «Кислород».

Баллоны должны соответствовать аппаратам, работающим под давлением. Для снижения давления газа на выходе из баллона и поддержания постоянной величины рабочего давления применяют газовые редукторы. Кислородные редукторы понижают давление от 15 до 0,1 МПа, а ацетиленовые

- от 1,6 до 0,02 МПа. Редукторы, применяемые в сварочной технике, обычно имеют два манометра, один из которых измеряет давление газа до входа в редуктор, второй – на выходе из него. Редукторы для различных газов отличаются лишь устройством присоединительной части, которая соответствует устройству вентиля соответствующего баллона. Корпус редуктора окрашивают в определенный цвет, например в голубой для кислорода, в белый для ацетилена и т.д. К сварочной горелке кислород от редуктора подают через специальные резиновые шланги. Редукторы и рукава также должны соответствовать особым требованиям.



1 - защитный колпак; 2 - запорный вентиль; 3 – кольцо;
4 – горловина; 5 - башмак; 6 – днище

Рисунок 121 - Схема газового баллона

Кислородный баллон (рисунок 121) представляет собой стальной цилиндр со сферическим днищем 6 и горловиной 4 для крепления запорного вентиля 2. На нижнюю часть баллона насаживают башмак 5, позволяющий ставить баллон вертикально. На горловине имеется кольцо 3 с резьбой для навертывания защитного колпака 1. Средняя жидкостная вместимость баллона - 40 дм³. При давлении 15 МПа он вмещает ~6000 дм³ кислорода. Баллоны должны соответствовать аппаратам, работающим под давлением.

4.2.3 Термомеханический класс сварки

4.2.3.1 Контактная сварка

Контактная сварка относится к видам сварки с кратковременным нагревом места соединения без оплавления или с оплавлением и осадкой разогретых заготовок. Характерная особенность этих процессов – пластическая деформация, в ходе которой формируется сварное соединение.

Сущность получения неразъемного сварного соединения двух металлических заготовок в твердом состоянии состоит в сближении идеально чистых соединяемых поверхностей на расстояния (от 2 до 4) 10^{-6} м, при которых возникают межатомарные силы притяжения. При достижении таких расстояний возможен процесс образования металлических связей, т. е. появление коллективных электродов двух соединяемых поверхностей и их взаимодействие с положительно заряженными ионами кристаллических решеток.

Строение и состояние реальной поверхности соединяемых заготовок характеризуется наличием большого количества дефектов, неровностей и загрязнений (рисунок 122). Поверхность любого, даже тщательно отполированного твердого тела всегда волниста, шероховата и имеет множество выступов микроскопической величины, высота каждого из которых, однако, на несколько порядков больше, чем расстояния, необходимые для возникновения сил межатомарного взаимодействия.

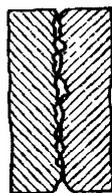


Рисунок 122 - Схема контактных поверхностей свариваемых деталей

Вследствие наличия неровностей и выступов действительная поверхность металла во много раз превышает наши представления о ее величине, составленные на основании измерений обычными методами. Кроме того, наружную поверхность металла характеризует наличие некомпенсированных металлических связей и большое количество дефектов кристаллического строения, что способствует ее активному взаимодействию с внешней средой и приводит к быстрому окислению и осаждению на поверхности жидкости и газов. Практически после любой обработки поверхность мгновенно покрывается тонкой пленкой окислов, а также слоем адсорбированных молекул воды и жировых веществ. Толщина этого слоя составляет 100—200 молекул, и удалить его полностью не удается, так как этому препятствует возникшая между слоем и поверхностью электрическая связь. Следовательно, даже если создать идеально плоские соединяемые поверхности, при их сближении соединение не может возникнуть из-за слоя окислов и масляных пленок.

Место соединения разогревается проходящим по металлу электрическим током, причем максимальное количество теплоты выделяется в месте сварочного контакта (рисунок 122).

Количество выделяемой теплоты определяется законом Джоуля – Ленца:

$$Q = I^2 R t,$$

где Q – количество теплоты, выделяемое в сварочном контуре, Дж;

R - полное электрическое сопротивление сварочного контура, Ом;

I - сварочный ток, А;

t – время протекания тока, с.

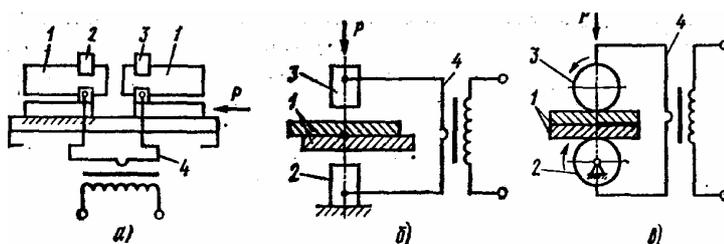
Полное электрическое сопротивление сварочного контура R состоит из электросопротивлений выступающих концов L свариваемых заготовок $R_{\text{заг}}$, сварочного контакта R_k и электросопротивления между электродами и заготовками $R_{\text{эл}}$, т. е.

$$R = R_{\text{заг}} + R_k + R_{\text{эл}}.$$

Сопротивление контакта R_k имеет наибольшее значение, так как из-за неровностей поверхности стыка даже после тщательной обработки заготовки соприкасаются только в отдельных точках (рисунок 122). В связи с этим действительное сечение металла, через которое проходит ток, резко уменьшается. Кроме того, на поверхности свариваемого металла имеются пленки оксидов и загрязнения с малой электропроводимостью, которые также увеличивают электрическое сопротивление контакта. В результате в точках контакта металл нагревается до термопластического состояния или до оплавления. При непрерывном сдавливании нагретых заготовок образуются новые точки соприкосновения, пока не произойдет полное сближение до межатомных расстояний, т.е. сварка поверхностей.

Контактную сварку классифицируют по типу сварного соединения, определяющего вид сварочной машины (рисунки 123, 124) и по роду питающего тока.

По типу сварного соединения различают сварку стыковую, точечную и шовную.



а — стыковая; б — точечная; в — шовная

1 – свариваемые заготовки; 2 – неподвижный и 3 – подвижный контакты;
4 – вторичная обмотка трансформатора

Рисунок 123 - Схемы контактной сварки

По роду тока различают сварку переменным током, главным образом однофазным частотой 50 Гц; импульсом постоянного тока, когда в первичной обмотке сварочного трансформатора ток постепенно возрастает и во вторичной обмотке индуцируется нарастающий импульс сварочного тока, и аккумулированной энергией.

Контактная электрическая сварка, при которой подготавливают соединяемые поверхности проходящим электрическим током и затем их сдавливают,

является одним из самых распространенных способов сварки давлением. Сварку производят на машинах, состоящих из источника тока, прерывателя тока и механизмов зажатия заготовок и давления. В качестве источника тока в контактных машинах применяют понижающий трансформатор. Его вторичная обмотка состоит всего из одного витка, либо набранного из медной фольги, либо литого полога, охлаждаемого водой. Большой коэффициент трансформации обеспечивает вторичное рабочее напряжение от 1,5 до 12 В и величины проходящих токов от 10000 до 500 тысяч ампер. Прерыватель тока электромагнитного или электронного типа служит для регулирования времени пропускания тока через нагреваемое сечение. Механизмы зажатия заготовок и давления механического, пневматического или гидравлического типа служат для закрепления свариваемых заготовок и их сдавливания после нагрева.

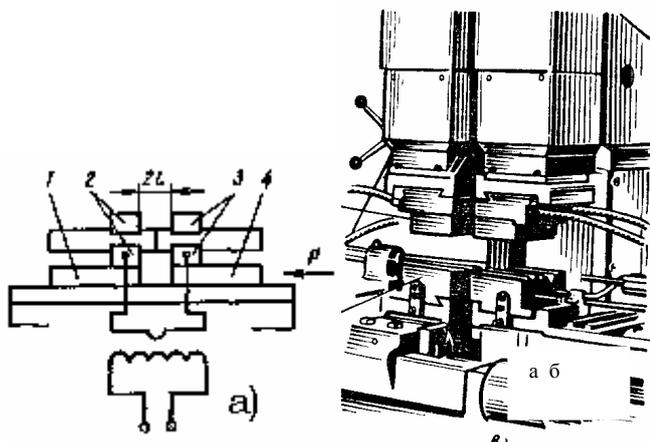
Для первого способа - детали сжимают, пропускают ток и при приближении к температуре плавления ток отключают, заготовку сжимают сильнее. При сварке оплавлением детали приближают до небольшого касания, после начала оплавления их сжимают. Недостаток стыковой сварки — образование грата.

Шовная контактная сварка аналогична точечной, но в отличие от нее шов сплошной или прерывистый. Образуется вращающимися роликами между сжимаемыми листами. При сплошном шве образуется герметичный объем. Точечная сварка применяется для соединения листовых заготовок в точках толщиной до 6 мм.

4.2.3.1.1 Стыковая сварка

Стыковую контактную сварку (рисунок 123а, 124, 125) применяют для соединения встык деталей типа стержней, толстостенных труб, рельсов и т.п. Это разновидность контактной сварки, при которой заготовки свариваются по всей поверхности соприкосновения. Свариваемые заготовки плотно зажимаются в неподвижном и подвижном токоподводах, подключенных к вторичной обмотке сварочного трансформатора.

Для обеспечения плотного электрического контакта свариваемые поверхности заготовки закрепляются стыковой машиной, приводятся в соприкосновение и сжимаются. Затем включается ток.



1-неподвижная плита; 2, 3-зажим; 4-подвижная плита (Р- усилие сжатия)

Рисунок 124 - Схема (а) и вид машины стыковой сварки

Стыковую сварку с разогревом стыка до пластического состояния и последующей осадкой называют сваркой сопротивлением, а при разогреве торцов заготовок до оплавления и последующей осадкой – сваркой оплавлением. Для правильного формирования сварного соединения (рисунок 125) необходимо, чтобы процесс протекал в определенной последовательности.

Недостатками стыковой сварки являются ограниченность технологических возможностей, так как она предназначена для сваривания деталей одинаковой толщины, и низкое качество стыка.

При выполнении стыковой сварки в единую конструкцию элементов с разной толщиной стенок наблюдается снижение качества стыка из-за недогрева заготовки с большей толщиной стенки или перегрева заготовки с меньшей толщиной стенки.

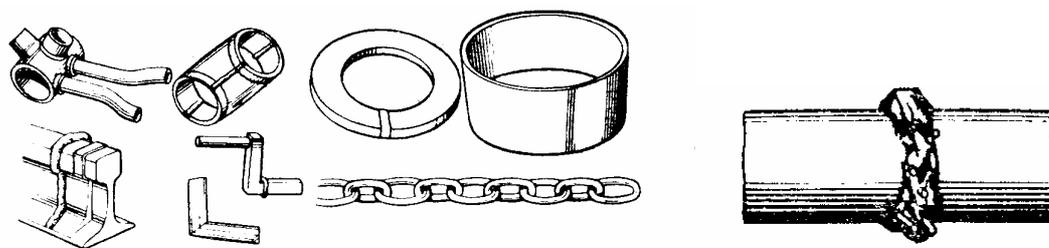


Рисунок 125 - Вид деталей сварного стыкового соединения

Для обеспечения возможности качественной стыковой сварки разнотолщинных деталей нами разработан способ контактной стыковой сварки оплавлением [16].

Сущность изобретения заключается в том, что детали зажимают в контактах, сводят их до образования электрического контакта, пропускают через них электрический ток и при оплавлении кромок осуществляют осадку.

При этом в процессе оплавления, по крайней мере, одну из свариваемых деталей поворачивают вокруг продольной оси на угол от 90 до 360°.

При сварке деталей с существенным различием толщины стенок более толстостенную деталь перед оплавлением предварительно подогревают пропусканием по ней электрического тока до температуры от 0,5 до 0,8 температуры плавления, а затем процесс ведут с относительным вращением деталей, как указано выше.

Индукционная высокочастотная сварка рассмотрена в разделе 2 «Производство труб» (см. с. 50).

4.2.4 Соединения пайкой

Во многих случаях применение пайки и склеивания приводит к значительному повышению производительности труда, снижению веса и стоимости конструкций.

Эффективность применения паяных, клееных и штамповочных операций (так же, как и сварных) соединений, их прочность и другие качественные характеристики в значительной степени определяются качеством технологического процесса: правильным подбором типа припоя или клея, температурным режимом, очисткой поверхностей стыка, их защитой от окисления и пр. Соединение образуется в результате химических связей материала деталей и присадочного материала, называемого припоем. Температура плавления припоя (например, олова) ниже температуры плавления материала деталей, поэтому в процессе пайки детали остаются твердыми. При пайке расплавленный припой растекается по нагретым поверхностям стыка деталей. Поверхности деталей обезжиривают, очищают от оксидов и прочих посторонних частиц. Без этого нельзя обеспечить хорошую смачиваемость поверхностей припоем и заполнение зазора в стыке.

4.4 Сварка труб из полимерных материалов

4.4.1 Классификация способов сварки

Сварка труб и деталей трубопроводов из термопластов — основная операция при изготовлении и монтаже трубопроводов. Целью сварки пластмассовых труб является получение неразъемного соединения, равнопрочного основному материалу. На рисунке 126 приведены основные способы сварки термопластов, применяемых в настоящее время при изготовлении узлов трубопроводов и их монтаже. В зависимости от способа и условий сварки, материала и применяемого оборудования сварной шов отличается по свойствам от материала стенок труб, так как процессы получения труб и сварного шва не идентичны по технологии их производства.

Сварка труб из термопластичных материалов



Рисунок 126 – Схема способов сварки труб из термопластичных материалов

В основу классификации способов сварки положен принцип термического воздействия на свариваемые детали. Поэтому коротко рассмотрим физико-химические основы сварки полимерных материалов.

В основе механизма образования сварного шва лежит процесс реализации межмолекулярных сил путем нагрева соединяемых поверхностей и создания контакта между ними. В зависимости от метода получения пластмассовых труб и деталей, подлежащих сварке (экструзия, прессование, отливка, штамповка), в их поверхностных слоях происходят процессы, приводящие к значительным изменениям физических и химических свойств по сравнению с этими свойствами внутренних слоев. Наружные и внутренние слои стенок труб отличаются по плотности, степени кристалличности и ряду других физико-

химических свойств, что оказывает определенное влияние на качество сварного соединения. Существенные изменения происходят на поверхности кромок труб под воздействием нагрева. Нагреваемая поверхность интенсивнее окисляется, вследствие деструкции полимера на ней могут образовываться газовые поры. При нагреве отмечается неупорядоченная деформация нагретой поверхности. Таким образом, макромолекулярные слои поверхностей полимерных деталей, подлежащих сварке, экранированы окисными пленками (ингредиентами), которые препятствуют их сближению и взаимодействию, т. е. сварке.

Количественными показателями свариваемости термопластов являются ширина температурного интервала текучести и минимальная вязкость в этом температурном интервале.

По свариваемости различают четыре группы термопластов:

1-я группа — хорошо сваривающиеся термопласты, температурный интервал вязкотекучего состояния которых более $50\text{ }^{\circ}\text{C}$, минимальная вязкость менее 10^3 П , градиент снижения вязкости более $100\text{ П}/10\text{ }^{\circ}\text{C}$;

2-я группа — удовлетворительно сваривающиеся термопласты, у которых температурный интервал вязкости не более $50\text{ }^{\circ}\text{C}$, вязкость расплава не выше 10^5 П , градиент не менее $50/10\text{ }^{\circ}\text{C}$;

3-я группа — ограниченно сваривающиеся термопласты, у которых температурный интервал вязкотекучести не более $50\text{ }^{\circ}\text{C}$, энергия активации вязкого течения меньше, чем энергия химических связей макромолекул, вязкость расплава выше 10^7 П ;

4-я группа — трудно сваривающиеся термопласты, у которых энергия активации вязкого течения выше энергии химических связей.

Как показала практика сварки полимеров, качество сварного соединения определяют: температура нагрева T_n , время нагрева t_n , давление P_{oc} первоначального контакта деталей с нагревателем (при сварке нагретым инструментом) или деталей между собой (при высокочастотной, ультразвуковой сварке или сварке трением).

После достижения необходимой глубины проплавления, т. е. перевода слоя определенной толщины на кромках труб в текучее состояние, производится их осадка под давлением P_{oc} на заданную величину D_{oc} . При осадке происходит частичное вытеснение расплава из зоны сварного стыка в грат. В процессе стыковой сварки осадка идет до тех пор, пока давление, прикладываемое к свариваемым трубам, не уравнивается с напряжением сдвига вытесняемого в грат расплава. Для удаления из зоны контакта ингредиента необходимо обеспечить вытеснение расплава из центральных зон сварного стыка (из середины стыкуемых кромок труб). Для этого требуется при данной вязкости расплава и давлении иметь определенный объем расплава, т. е. определенную глубину проплавления H_o . Это и является центральной задачей при определении режима сварки пластмассовых труб.

Глубина проплавления H_o , необходимая для обеспечения удаления ингредиентов, препятствующих взаимодействию макромолекул, зависит от вида свариваемого материала (его вязкости в интервале текучести),

геометрических размеров сопрягаемых кромок и способа сварки. Для данного материала и данных заготовок необходимая минимальная глубина проплавления зависит от толщины экранирующего поверхностного слоя и величины газовой прослойки, заземляемой между свариваемыми кромками. Наибольшая глубина проплавления требуется при сварке нагретым газом и инструментом, наименьшая — при сварке трением и ультразвуковой сварке. Она регулируется путем изменения основных параметров сварки.

Вследствие неравномерности температурного поля, различной скорости снижения температуры при остывании стыка и структурных изменений в сварном шве после сварки возникают остаточные напряжения. Максимальные значения напряжений к концу сварки в шве достигают предела текучести материала. Однако вследствие релаксационных процессов в течение 5 (10) часов остаточные напряжения снижаются до 30 % предела текучести.

При остывании стыка происходит усадка шва и образуется впадина — шейка. Величина деформации зависит от способа сварки, материала и его теплофизических свойств, геометрических размеров шва и параметров режима сварки. Как правило, использование способов и режимов сварки с большим тепловложением ведет к возникновению больших деформаций. Снижения величины деформации можно добиться за счет уменьшения глубины проплавления, уменьшения величины грата, снижения мощности теплоисточника и времени его воздействия на свариваемые кромки. Иногда практикуется термомеханическая обработка и механическая обработка (удаление грата).

Таким образом, качество сварного соединения труб и деталей зависит от:

- качества исходного материала заготовки (однородности материала);
- качества подготовки под сварку;
- технологии сварки (выбор способа сварки и режимов сварки);
- послесварочных операций (термо- и механической обработки).

В практике строительства пластмассовых трубопроводов наиболее широкое распространение в зависимости от условий производства работ получили следующие способы сварки:

- нагретым инструментом (контактная);
- нагретым газом с применением присадочного материала;
- закладным нагревательным элементом - проволокой на муфтах;
- экструзионная;
- излучением;
- растворителями.

Выбор того или иного способа сварки осуществляется монтажной организацией в зависимости от требований, предъявляемых к сварным стыкам монтируемого трубопровода, условий выполнения сварочных работ, а также от технической оснащенности и наличия сварочного оборудования.

4.4.2 Основные типы и конструктивные элементы сварных соединений

Соединения труб и деталей трубопроводов между собой являются самыми ответственными элементами технологических трубопроводов, от качества которых зависит их герметичность, надежность в эксплуатации. Кроме того, конструкция соединения должна обеспечивать удобство и быстроту сборки, экономичность, хорошие гидравлические характеристики.

Надежность соединений обеспечивается: правильным выбором их конструкции и способом выполнения, высоким качеством труб, соединительных деталей, присадочных и вспомогательных материалов; современным техническим оборудованием и набором приспособлений для сборки и сварки; высокой квалификацией монтажников; изготовлением узлов трубопроводов в условиях трубнозаготовительных мастерских; контролем качества сборочно-сварочных работ, а также соблюдением правил эксплуатации трубопроводов.

По функциональному назначению различают два вида соединений технологических трубопроводов: неразъемные (сваркой и склейкой) и разъемные (на фланцах или резьбовых деталях).

Неразъемные соединения по технологии выполнения разделяются на сварные и клеевые. По конструкции шва сварные и клеевые соединения разделяются на стыковые и раструбные, являющиеся разновидностью нахлесточных соединений. Стыковые соединения обеспечивают более благоприятные распределения напряжений в шве, однако площадь шва при этом определяется толщиной стенки трубы. В раструбных соединениях площадь сварки или склейки может многократно превышать площадь поперечного сечения конструкции. Достоинством раструбных сварных и клеевых соединений по сравнению со стыковыми, помимо увеличения площади соединяемых поверхностей, является также повышенная стойкость к изгибающим усилиям, которые, как правило, возникают в процессе монтажа и эксплуатации.

Неразъемные соединения труб и деталей из ПНД и ПП с D_n 40 мм и выше и толщиной стенки более 3 мм выполняют контактной сваркой встык. Трубы из ПВХ с D_n от 16 до 140 мм и толщиной стенки от 3 до 12 мм должны соединяться с помощью литых деталей заводского изготовления контактной сваркой в раструб и раструбно-стыковой сваркой.

Неразъемные соединения трубопроводов из ПНД, ПВХ и ПП с помощью раструбов, отформованных на концах труб, применяют, как правило, при изготовлении и монтаже трубопроводов D_n до 160 мм, однако допускается применение этих соединений и для труб D_n до 225 мм.

Для безнапорных трубопроводов в некоторых случаях допускается использование сварки нагретым газом и экструзионной сварки. По сравнению с нагретым газом экструзионная сварка обеспечивает высокую производительность технологического процесса и повышенную прочность швов, которые возрастают при увеличении толщины стенки трубы. Для труб из ПВХ неразъемные соединения лучше всего выполнять при помощи склеивания. Такие соединения применяются на трубопроводах D_n от 16 до 225 мм при наличии литых деталей с раструбом или возможности формования раструбов.

Сварку нагретым инструментом в раструб и экструзионную сварку, предусматривающих определенный перегрев полимерного материала, для труб из ПВХ применять не рекомендуется. Применение сварки для некоторых типовых размеров труб из ПВХ лимитируется также малой толщиной стенки, приблизительно вдвое меньшей, чем для эквивалентных труб из ПНД.

Применение других видов сварки (излучением, трением и др.) должно решаться в каждом конкретном случае в зависимости от прочностных требований к соединению, условий производства работ на объекте, технической оснащенности монтажной организации и т. д.

Разъемные соединения технологических трубопроводов из неметаллических материалов выполняются в основном на фланцах. Для этих соединений применяют стальные фланцы, а на трубопроводах из винилпласта, кроме того, и винилпластовые. Приварные фланцы на неметаллических трубопроводах не получили широкого распространения из-за невысокой прочности неметаллических фланцев и сложности приварки их к трубам и деталям в условиях монтажной площадки. Преимущество соединений со свободно вращающимися фланцами в том, что они обеспечивают необходимую затяжку болтов и удобны при монтаже.

Простая форма фланца используется при отбортовке концов труб при давлениях до 0,25 МПа. Однако отбортовка и соответствующая конструкция фланцевого соединения обладают малой длительной прочностью ввиду концентрации напряжений в зоне перегиба и опасности разрушения в этой зоне.

Соединения на втулках с утолщенными буртами, приваренных встык к трубе или детали, или на утолщенных буртах, отформованных непосредственно на концах труб, применяют для трубопроводов из ПНД, ПВД и ПП при давлении до 1 МПа.

Соединения на втулках с утолщенными буртами, соединяемых в раструб с концами труб из ПВД сваркой, а труб из ПВХ склеиванием, также рассчитаны на давление до 1 МПа.

К соединениям труб с помощью накидной гайки относятся разнообразные конструкции, выполняемые с помощью пластмассовых и металлических деталей. Для труб малых диаметров эти соединения более компактны, а в ряде случаев и экономичнее, чем фланцевые соединения.

Соединения труб из ПВХ с раструбами под уплотнительное кольцо (компенсационное соединение) весьма просты по конструкции и обеспечивают надежную работу трубопровода до 0,6 МПа. Достоинствами такого соединения являются: разгрузка трубопровода от осевых температурных напряжений, высокая производительность сборки, возможность ведения работ при низких температурах окружающего воздуха и в сырую погоду, возможность ведения работ персоналом, не имеющим высокой квалификации. В то же время, в связи со спецификой компенсационного соединения, их использование требует повышенных затрат на установку опор, воспринимающих осевые усилия в трубопроводе.

4.4.3 Сварка нагретым газом

Сварку нагретым газом, как правило, выполняют с применением присадочного материала, который по свойствам соответствует основному свариваемому материалу.

Присадочные прутки выбирают в соответствии с требованиями нормативно-технических документов на производство сварочных работ. Лучшее качество сварного соединения получают при применении присадочного материала с пластификаторами. Диаметр прутка подбирается в зависимости от толщины свариваемого материала, геометрии сварного шва, скорости сварки и требуемой прочности соединения. С увеличением диаметра прутка сокращается время, необходимое для заполнения разделки, и увеличивается прочность сварного соединения. Однако применение прутков диаметром более 5 мм нежелательно, так как обеспечить их равномерный прогрев не представляется возможным.

Обычно корень шва заполняют прутком 2 мм, при толщине свариваемого материала менее 4 мм шов заполняют прутком диаметром 3 мм, а при толщине материала более 4 мм — прутком диаметром 4 мм.

Для сварки используют прутки сварочные из непластифицированного поливинилхлорида или прутки сварочные из полиолефинов, изготавливаемые из того же материала, что и свариваемые трубы. Прутки выпускают в виде тонких стержней простого (круглого) и сложного (двойного) профилей. Прутки простого профиля выпускают диаметром от 2 до 4 мм, длиной 500 мм, сложного - 3х6 мм, длиной 1500 мм.

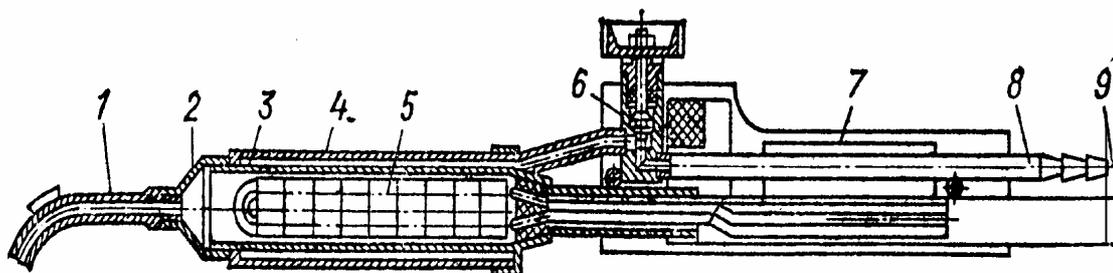
В качестве газа-теплоносителя применяется сжатый воздух, очищенный от влаги и масла, газовоздушная смесь продуктов сгорания пропан-бутана, а также инертные газы — азот, аргон и др. Инертные газы используются для сварки ответственных конструкций из полиолефинов и пентапласта с повышенными требованиями к прочности швов.

Сварка пластмасс различных конструкций трубопроводных систем нагретым газом производится вручную с использованием электрических или газовых горелок, обеспечивающих нагрев газа-теплоносителя и поддержание заданной температуры. В электрических горелках газ-теплоноситель нагревается за счет контакта с электроспиралью мощностью от 300 до 800 Вт при напряжении 36 В. Температура газа-теплоносителя регулируется изменением сопротивления цепи (реостатом) и скорости подачи газа в горелку (регулирующим краном). Из отечественных горелок широкое применение нашла горелка марки ГЭП-2 ВНИИавтогенмаша, мощностью 750 Вт, напряжением питания 36 В, массой 0,75 кг при расходе газа-теплоносителя до 7 м³/ч и давлении не более 0,5 МПа.

4.4.3.1 Особенности работы с электрическими горелками

Первоначально открывают вентиль подачи газа-теплоносителя, затем включают электропитание нагревательного элемента. Через 5 мин после

включения для обеспечения требуемой температуры газа-теплоносителя производят дорегулировку его расхода. При расходе газа-теплоносителя $3 \text{ м}^3/\text{ч}$ температура на выходе из наконечника горелки составляет порядка $600 \text{ }^\circ\text{C}$, при расходе $5 \text{ м}^3/\text{ч}$ - $380 \text{ }^\circ\text{C}$ и при расходе $7 \text{ м}^3/\text{ч}$ - $250 \text{ }^\circ\text{C}$. После окончания сварки необходимо вначале выключить электропитание нагревательной спирали, а затем, когда температура выходящего из наконечника газа-теплоносителя снизится до температуры окружающего воздуха, перекрывают вентиль. Нарушение этой последовательности включения и выключения электрической горелки приводит к преждевременному перегоранию электронагревательной спирали. При работе в труднодоступных местах хорошо зарекомендовали себя электрогорелки, у которых корпус с электронагревательным элементом и рукоятка расположены соосно. Для этой цели строительно-монтажная лаборатория треста «Востокметаллургмонтаж» разработала горелку ГСП-280 (рисунок 127) мощностью 600 Вт при напряжении питания 36 В, массой 0,5 кг при расходе газа-теплоносителя от 2 до 6 $\text{м}^3/\text{ч}$. Горелка комплектуется специальным источником питания весом 27 кг.



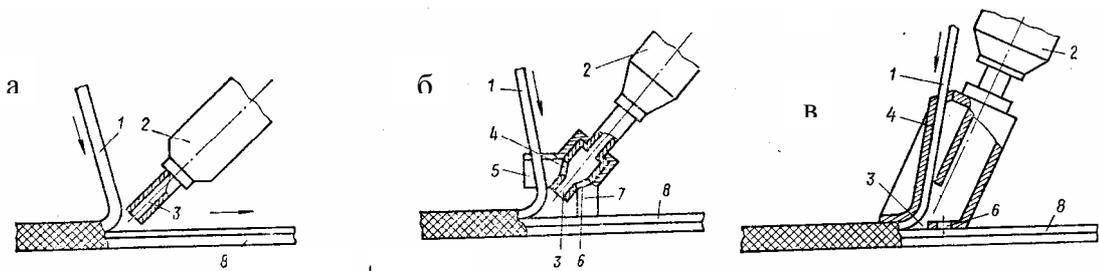
1 — наконечник; 2 — втулка переходная; 3 — корпус; 4 — кожух;
5 — нагревательный элемент; 6 - узел регулировки расхода газа-теплоносителя; 7 — рукоятка; 8 — штуцер; 9 — кабель питания

Рисунок 127 - Горелка для сварки пластмасс ГСП-280

В зависимости от применяемых наконечников горелок ручную сварку выполняют в обычном и скоростном режимах, что в настоящее время широко практикуется зарубежными фирмами.

При обычной сварке используют трубчатые наконечники (рисунок 128а), направляя струю газа-теплоносителя веерообразным движением на основной материал и присадочный пруток.

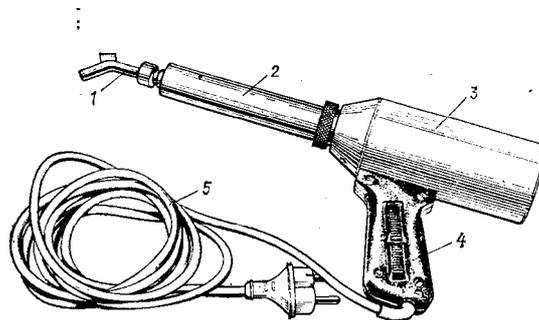
Скоростную сварку выполняют с использованием специальных наконечников, снабженных каналами для предварительного подогрева прутка и основного материала, при этом пруток может укладываться в шов вручную (рисунок 128а, б) или механически при помощи прижимных губок или роликов наконечников (рисунок 128в).



а - трубчатых; б - с каналами; в - с прижимными губками
 1 — присадочный пруток; 2 — сварочная горелка; 3 — выходной канал наконечника; 4 — направляющая для прутка; 5 — канал предварительного подогрева прутка; 6 — канал предварительного подогрева заготовок; 7 — направляющий клин; 8 — свариваемые заготовки

Рисунок 128 - Сварка с использованием различных наконечников горелок

В зарубежной практике строительства пластмассовых трубопроводов для сварки нагретым газом широко применяют электрические горелки со встроенными малогабаритными компрессорами для подачи воздуха в зону сварки. Имеются опытные образцы таких отечественных горелок. Несмотря на увеличение массы такой горелки, они (рисунок 129) очень удобны в работе.



1 - наконечник; 2 - нагревательный элемент; 3 - компрессор;
 4 - рукоятка; 5 - кабель питания

Рисунок 129 - Электрическая горелка со встроенным компрессором

При этом отпадает необходимость комплектовать пост сварки отдельным компрессором или баллонами со сжатым газом, что позволяет повысить производительность и снизить трудоемкость монтажа, особенно при работе на высотных отметках, повысить маневренность сварщика благодаря наличию одного энергетического источника. Время на подготовку сварщика к работе сокращается в 4 раза и не зависит от внешних факторов (обслуживание компрессора, перетаскивание шлангов).

Для сварки полимеров применяются также газовые горелки прямого и косвенного действия. В горелках косвенного действия газом-теплоносителем является воздух или инертный газ, который нагревается в змеевике,

расположенном внутри корпуса горелки, пламенем горючего газа (пропан-бутана или природного газа). К таким горелкам относится, например, горелка ГТК-1-67, в которой воздух нагревается пламенем пропан-бутана или природного газа, подаваемого под давлением от 0,005 до 0,1 МПа при расходе горючего газа 0,36 м³/ч. Расход газа-теплоносителя составляет 0,12 м³/ч при давлении до 0,2 МПа. Масса горелки 0,85 кг.

Из горелок прямого действия наиболее распространена горелка марки ГТП-1-66, которая при давлении пропан-бутана или природного газа до 0,1 МПа и воздуха - 0,5 МПа обеспечивает скорость сварки порядка 25 м/ч. При этом расход пропан-бутана составляет до 0,04 м³/ч природного газа — от 0,03 до 0,11 м³/ч. Горелки снабжаются комплектами съемных наконечников, применяемых в зависимости от профиля сварного соединения.

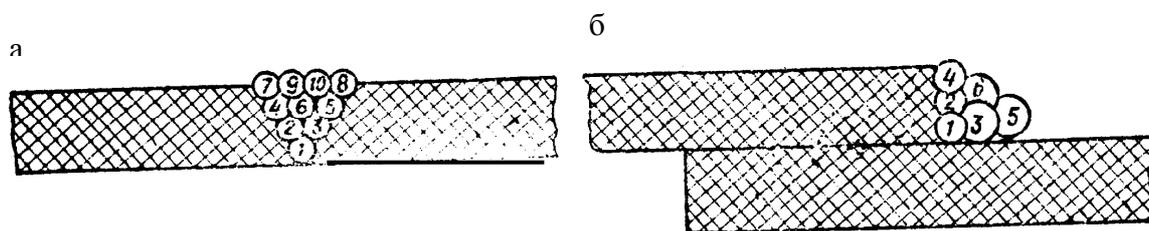
4.4.3.2 Приемы прутковой сварки

До начала сварки конец прутка зачищают и обрезают под углом примерно 40°, а сам пруток зачищают наждачной бумагой для увеличения шероховатости его поверхности. Благодаря этому ускоряется процесс сварки и повышается прочность стыка. Затем конец прутка нагревается и укладывается в основание шва.

Этот вид сварки применяется для соединения элементов безнапорных трубопроводов из жестких термопластов.

Соединение труб бывает стыковым и раструбным. Стыковое соединение более рационально, его прочность при растягивающих нагрузках выше, чем раструбного, так как последнее имеет меньшую площадь сечения углового шва и более неравномерное распределение напряжения. При изгибающих нагрузках предпочтительнее раструбное соединение.

Для уменьшения и равномерного распределения сварочных напряжений в шве присадочный материал при сварке укладывают в шов в определенной последовательности (рисунок 130).



а — стыковой; б — нахлесточный

Рисунок 130 - Последовательность укладки прутков в сварной шов

Каждый последующий валик укладывают после естественного охлаждения предыдущего до температуры 30 °С. При выполнении раструбного соединения угловой шов по периметру трубы должен иметь катет, равный толщине стенки раструба. Зачистка выступающих над поверхностью деталей валиков шва не требуется.

Качество сварных соединений, выполняемых нагретым газом (прутковой сваркой), находится в прямой зависимости от подготовки деталей к сварке, положения горелки в процессе сварки, угла наклона прутка при подаче его в шов, температур, расхода и давления газа-теплоносителя, скорости и давления газа-теплоносителя, расстояния от наконечника горелки до свариваемых поверхностей, усилия вдавливания размягченного прутка, диаметра прутка и отверстия наконечника горелки, а также от профессиональной подготовки сварщика и соблюдения им технологических приемов и режимов сварки.

4.4.4 Контактная сварка

В последние годы наиболее широкое распространение при монтаже технологических систем трубопроводов из полимерных материалов получила контактная сварка (сварка нагретым инструментом).

Процесс контактной сварки состоит в том, что подготовленные концы труб и деталей, разогретые до вязкотекучего состояния, соединяются друг с другом при небольшом давлении, и в результате двусторонней диффузии получается прочное сварное соединение.

Контактная сварка выполняется встык и враструб. Кроме того, контактной сваркой выполняют раструбно-стыковые соединения, являющиеся комбинацией раструбных и стыковых соединений.

Контактная сварка встык - наиболее экономичный способ соединения, она менее трудоемка, чем сварка в раструб, при этом один и тот же нагревательный инструмент может быть использован для оплавления концов труб различного диаметра. К недостаткам контактной сварки встык относятся необходимость точного совмещения торцов соединяемых труб, а также образование внутри стыка наплывов материала труб - грата, который ухудшает гидравлические характеристики трубопровода.

Основные преимущества сварки в раструб - простота выполнения, так как самоцентрирование конца трубы в раструбе позволяет отказаться от применения специальных центрирующих и торцующих устройств, и пониженные по сравнению со сваркой встык требования к допускам на размеры концов труб, так как избыточный слой материала снимается нагревательным инструментом.

Контактная сварка встык применяется для соединения труб и деталей диаметром 40 мм и выше, с толщиной стенки более 3 мм. При стыковой сварке нагретым инструментом выполняют следующие операции: установку и центровку труб в зажимном центрирующем приспособлении; торцовку концов труб; введение нагревательного инструмента и оплавление торцов труб; технологическую паузу - удаление нагревательного инструмента и сопряжение свариваемых поверхностей; осадку - соединение оплавленных концов под необходимым давлением и охлаждение стыка; освобождение сваренных труб или деталей из зажимов и снятие их со станка или приспособления.

В связи с тем, что сварной шов образуется из основного материала соединяемых труб, к качеству подготовки торцов труб под сварку предъявляются особые требования:

- соединяемые торцы должны быть строго перпендикулярны оси трубы;
- зазоры между торцами труб, подготовленных к сварке, не должны превышать следующих величин: при наружном диаметре труб до 110 мм - 0,5 мм; до 225 мм - 0,6 мм; до 315 мм - 0,8 мм и св. 315 мм - не более 1 мм.

При сварке труб из поливинилхлорида необходимо стремиться обеспечить подгонку торцов без зазора. Кроме того, смещение соединяемых концов труб, зажатых в сварочном устройстве, по наружному периметру торцов труб не должно превышать 10 % номинальной толщины их стенки, но оно должно быть не более 1,2 мм.

Вылет концов труб из зажимов сварочных устройств должен быть не менее 20 мм. Рабочая зона нагревательного инструмента должна выступать за контуры свариваемых поверхностей не менее чем на 15 мм.

Оплавление торцов свариваемых заготовок производится в два этапа. Время подъема давления осадки до заданного уровня P_0 должно быть до 10 с для труб с толщиной стенок от 3 до 30 мм. Охлаждение сварного шва производят в естественных условиях под давлением осадки в течение заданного времени. При температуре воздуха свыше 25 °С время охлаждения необходимо увеличить на 25 %. При сварке труб из полимерных материалов необходимо избегать возможность пережога материала.

Для пластмассовых трубопроводов технологического назначения и трубопроводов самотечной канализации стыковую сварку с применением плоских нагревательных инструментов допускается проводить за один этап— (0,075 ± 0,02) МПа; из ПВД - (0,05 ± 0,025) МПа; из ПВХ - (0,1 ± 0,02) МПа. Длительность стадии оплавления в зависимости от толщины стенки трубы и материала следует принимать по специальным таблицам (от 45 до 190 с). Давление при осадке должно быть для труб из ПНД и ПП - (0,2 ± 0,05) МПа, из ПВД - (0,1 ± 0,025) МПа и из ПВХ - (0,5 ± 0,05) МПа.

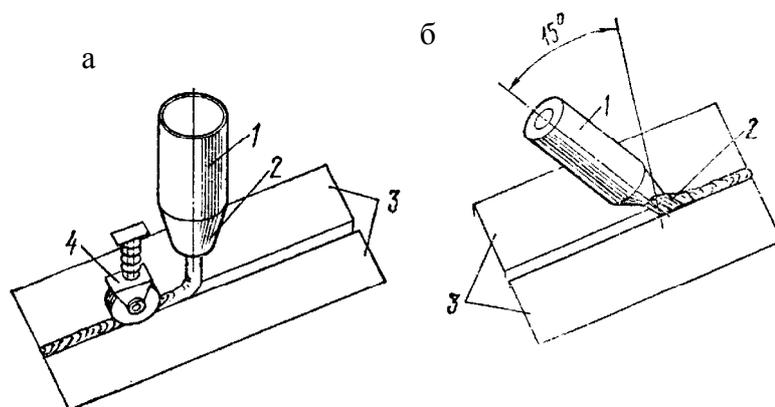
4.4.5 Сварка экструдированной присадкой

Этот способ сварки называют так потому, что для сварки используют поступающий из экструдера присадочный материал (экструдат) в термопластичном состоянии. Сущность сварки термопластов состоит в том, что расплавленный материал, выходящий из экструдера или другого устройства, непрерывно плавно под определенным давлением подается в разделку (зазор) между соединяемыми поверхностями, нагревает их до температуры сварки и, сплавляясь с ним, образует сварной шов. Этот метод высокопроизводителен, обладает широкими технологическими возможностями и позволяет получать высококачественные сварные соединения.

Сварка экструдированной присадкой близка к процессу сварки пластмасс газовым теплоносителем с применением присадочного прутка, а также к сварке металлов плавящимся электродом. Во всех этих случаях сварное соединение образуется за счет сплавления присадочного материала с кромками соединяемых деталей. Различие между сваркой металлов и пластмасс заключается в том, что металл переходит в жидкую фазу, а полимер остается в

вязкотекучем состоянии. Поэтому для получения плотного контакта расплавленного присадочного материала с кромками свариваемых деталей необходимо создавать давление. Разработаны и внедрены различные способы сварки полимерных материалов экструдированной присадкой.

Способ сварки, при котором расплавленный присадочный материал непрерывно поступает в зону соединения из мундштука экструдера, который находится на некотором расстоянии от поверхности свариваемого изделия (рисунок 131а), называют бесконтактной экструзионной сваркой или просто экструзионной. В этом случае для обеспечения плотного контакта присадочного материала с соединяемыми поверхностями применяют специальные прижимные устройства.



а — экструзионная сварка; б — контактно-экструзионная сварка
1 — экструдер; 2 — мундштук экструдера; 3 — свариваемые детали;
4 — прижимный ролик

Рисунок 131 - Схема сварки пластмасс экструдированной присадкой

Экструзионную сварку широко применяют для соединения полимерных пленок и пленочных армированных материалов. Преимуществом сварки пленок данным способом является то, что исключается возможность утолщения материала в зоне шва, которое наблюдается при других методах.

Наиболее широкое применение в практике сварки как листовых, так и пленочных термопластов нашла контактно-экструзионная сварка (рисунок 131). При этом способе разогретый мундштук экструдера, имеющего форму разделки кромок, вводят в разделку шва до контакта с кромками и перемещают по стыку под углом до 15° к вертикали, одновременно заполняя разделку расплавленной присадкой. Такой способ позволяет максимально снизить потери теплоты в окружающую среду и дополнительно обеспечить нагрев кромок шва за счет теплопередачи от мундштука экструдера, температура которого близка к температуре выходящего из него расплава.

Соединяемые поверхности материала перед нагревом их мундштуком экструдера можно предварительно подогреть горячим газом. Этот способ назван контактно-экструзионной сваркой с предварительным подогревом.

Разновидностью способов сварки пластмасс экструдированной присадкой является сварка литьем под давлением. При этом способе расплав подается в зону соединения из литейной машины периодически. Сварку осуществляют в специальной форме, которая имеет каналы, расположенные по линии разреза. По этим каналам продавливается расплав, который, передавая часть теплоты кромкам деталей, расплавляет и соединяет их по линии разреза. Таким способом соединяют заранее отштампованные детали. Данный способ обладает высокой производительностью, его применяют при сварке изделий в труднодоступных местах по поверхностям сложной конфигурации, когда сварка другими способами невозможна.

Сварку экструдированной присадкой осуществляют для выполнения стыковых, угловых, тавровых и нахлесточных соединений. Конструктивные элементы подготовленных кромок и выполненных швов регламентированы ГОСТ 16310—80 и определяются толщиной материала, нагрузкой, действующей на сварную конструкцию, и доступностью к месту сварки.

Сварку стыковых соединений осуществляют без разделки кромок, с односторонней У-образной разделкой кромок и двусторонним Х-образным скосом кромок. Сварку стыковых соединений без разделки кромок выполняют при сборке конструкций из материалов толщиной до 3 мм и только контактно-экструзионным способом, так как в этом случае разделку шва осуществляют мундштуком экструдера в процессе сварки.

Прочность сварных соединений, полученных с помощью экструзионной и контактно-экструзионной сварки, зависит от угла разделки кромок шва. Как показала практика, максимальная прочность стыковых сварных соединений с У-образной разделкой кромок достигается при углах разделки кромок от 70 до 90°, а с Х-образной разделкой — от 70 до 80°. При оптимальных углах разделки кромок соединения с Х-образной разделкой имеют более высокую прочность и требуют меньшего расхода присадочного материала. Поэтому при сварке встык конструкций из листового материала толщиной св. 8 мм, в случае доступности подхода к шву с двух сторон, предпочтительна Х-образная разделка кромок.

Угловые и тавровые соединения можно выполнять без разделки кромок. Однако скос увеличивает прочность сварного соединения. При сварке угловых и тавровых соединений между кромками необходимо устанавливать зазор от 1,5 до 2 мм. При сварке с зазором расплавленная присадка под воздействием сварочного давления заполняет разделку на всю глубину, обеспечивая равномерное проплавление на все сечение шва. Сварка без зазора из-за высокой вязкости расплава приводит к непроплавлению корня шва, образованию раковин, которые снижают прочность и герметичность соединения.

Если при наличии зазора трудно обеспечить стабильное проплавление корня шва по всей его длине, то в этом случае соединения выполняют с подваркой корня шва с обратной стороны. В случае если обратная сторона недоступна, применяют подкладки, которые могут быть съемными или остающимися. Сварка с подкладками имеет ряд преимуществ — сварка ведется с одной стороны шва и ее можно осуществлять на форсированных режимах, что приводит к повышению производительности труда. Как правило, подкладки

изготавливают из материалов с малой теплопроводностью — из полимерных материалов, керамики, металлов с покрытием из полимерных материалов.

При двусторонней X-образной разделке перед сваркой второго шва производится зачистка корня уже выполненного шва, во всех случаях удаляется только наплавленный присадочный материал, врезание в основной материал не допускается. При сварке стыковых и угловых соединений число проходов определяется толщиной свариваемого материала и производительностью экструдера. При толщине стенки изделия до 6 мм указанные соединения можно выполнить за один проход, при толщине более 6 мм — за несколько проходов.

В случае многопроходной сварки корень шва должен быть тщательно проварен, затем накладывают последующие слои таким образом, чтобы каждый последующий валик был более широким, чем предыдущий. Перед наложением каждого валика поверхность предыдущего должна быть тщательно очищена от окисленного слоя и пыли.

При выполнении сварных соединений экструдированной присадкой применяется присадочный материал, аналогичный свариваемому. При сварке композиционных материалов, состоящих из нескольких различных полимеров, в качестве присадки используют полимер, входящий в композицию и имеющий наиболее высокую температуру текучести.

Во всех случаях при сварке расплав вытекает в направлении, противоположном движению экструдера, поэтому от характера передвижения мундштука зависят равномерность подачи расплава в зону сплавления, формирование шва, качество сварного соединения.

При выполнении сварки в вертикальном положении расплав под воздействием силы тяжести стремится стечь вниз, поэтому для удержания расплава в зоне сплавления вертикальные швы выполняют при перемещении экструдера сверху вниз при минимальной температуре присадки. Скорость сварки подбирается с таким расчетом, чтобы расплав не затекал перед мундштуком.

Сварка в потолочном положении экструдированной присадкой весьма затруднена, поэтому ее по возможности необходимо избегать. Потолочную сварку так же, как и сварку в вертикальном положении, необходимо осуществлять при минимальной температуре присадки. При такой же температуре следует выполнять сварку встык горизонтальных швов на вертикальной плоскости.

Бесконтактная экструзионная сварка характеризуется большим числом параметров, наиболее существенными из которых являются: температура присадочного материала на выходе из экструдера T , °C; сварочное давление P , МПа; скорость сварки $U_{св}$, м/с; скорость движения расплава в воздушном зазоре между мундштуком экструдера и материалом U_p , м/с; количество присадочного материала, выходящего из экструдера в единицу времени, a , кг/с; количество присадочного материала, вносимого в зону шва, m , кг/м; диаметр присадочного материала d , мм; расстояние между мундштуком экструдера и свариваемым материалом H , мм; температура присадочного материала, вносимого в зону шва, T_m , °C.

Из перечисленных технологических параметров экструзионной сварки наиболее важными являются температура присадочного материала, сварочное давление и скорость сварки. Характер зависимости прочности сварных соединений от температуры присадочного материала для ПНД, ПВД и ПП толщиной от 2 до 20 мм примерно одинаков.

Температура присадочного материала, при которой обеспечивается максимальная прочность соединения, зависит от величины сварочного давления. При малых давлениях (порядка 0,15 МПа) высокая прочность достигается при более высоких температурах присадочного материала. Для термопластов характерен определенный интервал температур, обеспечивающих максимальную прочность сварного соединения, - от 250 до 280 °С.

Характерной особенностью процесса экструзионной сварки является то, что оптимальные режимы сварки не зависят от толщины свариваемого материала, и с изменением ее от 2 до 30 мм практически остаются постоянными, в том числе и скорость сварки, если производительность применяемого оборудования обеспечивает такую возможность.

Относительная прочность сварных соединений, полученных экструзионной сваркой, составляет от 90 до 100 % прочности свариваемого материала и несколько выше, чем в других известных способах сварки.

Технологический процесс контактно-экструзионной сварки характеризуется меньшим числом параметров, чем экструзионная сварка, однако основными технологическими параметрами этого способа сварки остаются также температура присадочного материала T_m , °С, сварочное давление и скорость сварки $U_{св}$, м/с.

При этом способе сварки соединения с максимальной прочностью могут быть получены в широком интервале температур от 180 до 270 °С.

Необходимо отметить, что при этом способе сварки скорость сварки играет более существенную роль, чем при экструзионной сварке. Увеличение скорости сварки при низких температурах присадочного материала снижает прочность соединения, при высоких температурах влияние скорости снижается.

По производительности процесса и прочности сварных соединений контактно-экструзионная сварка практически не отличается от экструзионной, и сварные соединения, полученные при оптимальных режимах, имеют прочность до 100 % прочности основного материала. Однако контактно-экструзионный способ сварки обеспечивает более стабильное качество сварных соединений при прочих равных условиях.

Преимуществом контактно-экструзионного способа сварки является также низкая чувствительность его к состоянию поверхности материала.

Для соединения материалов со сравнительно узким интервалом вязкотекучего состояния (например, пентапласт) не представляется возможным использовать экструзионную или контактно-экструзионную сварку, требующую нагрева присадочного материала до температуры, превышающей температуру текучести полимера на 60 °С. В этом случае применяют предварительный подогрев свариваемых кромок газовым теплоносителем. Процесс сварки осуществляется следующим образом: вначале свариваемые кромки

подогревают газом-теплоносителем до температуры текучести, затем теплотой мундштука экструдера и после этого разделку заполняют присадочным материалом. Для сварки пентапласта температура газа-теплоносителя должна составлять 230 °С, температура присадочного материала может всего на 30 °С превышать температуру плавления пентапласта. Относительная прочность сварных соединений равна прочности основного материала.

Дефекты сварных швов, полученных сваркой экструдированной присадкой:

- непровар — неполное сплавление кромок по сечению стыкового соединения и отсутствие сплавленных кромок в вершине тавровых, угловых и нахлесточных соединений. Причинами возникновения непровара могут быть наличие загрязнений на соединяемых поверхностях при экструзионной сварке, недостаточное сварочное давление, неправильное ведение процесса, низкая температура расплава;

- подрез — дефект в виде углубления вдоль линии сплавления присадочного материала с основным со стороны усиления шва. Подрез может возникнуть при контактно-экструзионной сварке при неправильном положении мундштука экструдера относительно разделки шва;

- поры—дефект в виде полости округлой формы, заполненной газом. Поры могут быть внутренними, поверхностными и располагаться в виде цепочки вдоль шва или поодиночке. Они образуются в результате частичного разложения присадочного материала и присадки при контактно-экструзионной сварке в результате контакта мундштука экструдера со свариваемой поверхностью, а также при наличии воздушных включений в присадке;

- трещины—дефект в виде разрыва в сварном шве и в околошовной зоне. Трещины бывают продольными (расположенные параллельно продольной оси шва); поперечными (перпендикулярно продольной оси шва); разветвленными (имеющие ответвления во всех направлениях). Сварные швы могут иметь также микротрещины, которые можно обнаружить только с помощью лупы. Образование трещин зависит от химического состава материала шва, времени эксплуатации трубопровода или конструкции, режима сварки, структуры шва и вида нагрузок, воспринимаемых конструкцией;

- инородные включения — дефект в виде металлических частиц или частиц любых других материалов, отличных от соединяемых. Различают включения, которые образуются в результате протекания в материале химических реакций или попадания инородных частиц.

К дефектам сварных соединений при сварке экструдированной присадкой относятся также наплывы на соединения, т. е. натекание расплава на поверхность основного материала или ранее выполненного валика без сплавления с ним; превышение усиления валика шва, занижение размеров сечения шва, смещение свариваемых кромок.

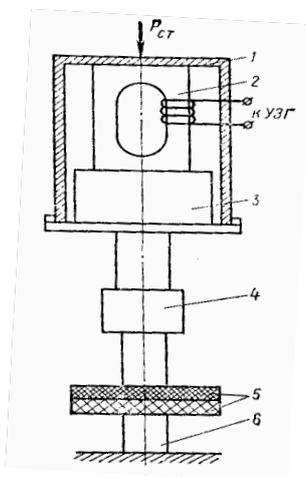
Правильный выбор режимов сварки, а также устранение всех причин появления дефектов позволяют получать соединения, близкие по прочности к основному материалу или равнопрочные с основным материалом.

4.4.6 Другие способы сварки полимерных материалов

Выбор способа сварки зависит от свойств термопластов, вида изделия, диаметра трубопровода и толщины стенки, сортамента применяемых пластмасс, условий выполнения работ, типа сварного соединения и т.д. Поэтому наряду с описанными способами сварки, которые нашли широкое применение при выполнении строительного-монтажных работ, в промышленности и других отраслях народного хозяйства применяются и другие способы сварки (см. рисунок 132).

Ультразвуковая сварка. Способ ультразвуковой сварки заключается в том, что электрические колебания ультразвуковой частоты (порядка 20 - 50 кГц), вырабатываемые генератором, преобразуются в механические продольные колебания преобразователем и вводятся в свариваемый материал с помощью продольно колеблющегося волновода, который расположен перпендикулярно свариваемым поверхностям (рисунок 132).

Подвод механической энергии ультразвуковых колебаний осуществляется за счет контакта излучающей поверхности сварочного инструмента-волновода с одной или несколькими свариваемыми деталями. Такой контакт обеспечивается статическим давлением $P_{ст}$ рабочего торца волновода на свариваемые детали. Это давление способствует также концентрации энергии в зоне соединения.



- 1 - корпус преобразователя; 2 - преобразователь с обмоткой;
3 - трансформатор упругих колебаний; 4 - волновод; 5 - свариваемые
детали; 6 - опора

Рисунок 132 - Схема ультразвуковой сварки

Динамическое усилие, возникающее в результате воздействия колеблющегося волновода, приводит к нагреву свариваемого материала, а действие статического давления обеспечивает получение прочного соединения.

Отличительной особенностью сварки пластмасс ультразвуковым способом является то, что механические ультразвуковые колебания вводятся

преимущественно перпендикулярно свариваемым поверхностям и совпадают с направлением действия давления.

Определено, что введение механических колебаний ультразвуковой частоты в контактируемые детали приводит к быстрому их нагреву с преимущественным ростом температуры на контактируемых поверхностях. Нагрев обусловлен поглощением энергии механических колебаний в объеме материалов, находящихся под волноводом, а также поглощением энергии в контакте материалов и в контакте материал - волновод. Поглощенная в полимере механическая энергия переходит в теплоту, за счет чего и происходит разогрев полимеров. Максимальная температура в любой момент времени достигается обычно на соединяемых поверхностях материалов. Следовательно, образование сварного соединения при ультразвуковой сварке возможно без проплавления всего объема материала.

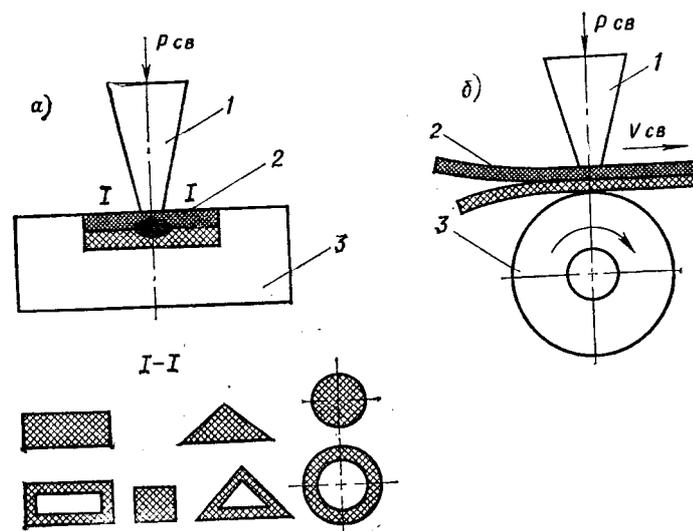
Роль механических ультразвуковых колебаний состоит также в том, что под действием импульсов ультразвуковой частоты происходит выравнивание микронеровностей, разрушение и удаление различных поверхностных пленок и загрязнений.

В значительной степени ультразвуковая сварка отличается от других способов также и в отношении физико-химических процессов, протекающих на границе раздела. Во-первых, воздействие механических колебаний на расплав полимера значительно ускоряет процесс диффузии макромолекул. Во-вторых, при ультразвуковой сварке происходит интенсивное перемешивание расплава, вызванное действием движущегося волновода. При движении вперед волновод отталкивает полимер, а при движении назад — не полностью увлекает его за собой. Благодаря этому притекают новые частицы полимера, которые вовлекаются в движение при следующем ходе поверхности излучателя вперед. Это ускоряет процесс образования сварных соединений и обеспечивает возможность качественной сварки при температурах более низких, чем в случае других способов, а иногда даже ниже температуры текучести полимера.

По взаимному перемещению волновода относительно изделия ультразвуковая сварка разделяется на прессовую и непрерывную. Прессовая сварка выполняется за одно рабочее движение волновода. По этой схеме осуществляется контактная и передаточная ультразвуковая сварка. С помощью контактной прессовой сварки можно получать точечные, прямолинейные и замкнутые швы различного контура (окружности, квадраты, треугольники и т. д.), в зависимости от формы рабочего торца волновода (рисунок 133).

Этим способом хорошо свариваются такие материалы, как винипласт, полиэтилен, полиметилметакрилат, полистирол, ткани из синтетических волокон, а также пластмассы с металлами.

Непрерывная сварка позволяет получать непрерывные протяженные сварные швы путем относительного перемещения волновода и свариваемого изделия. Для непрерывной сварки изделий из полимерных материалов и синтетических тканей (мешков, непромокаемой одежды, фильтров и т. д.) используют схемы с фиксированной осадкой и фиксированным зазором.



а – прессовая; б – шовная

Рисунок 133 – Схема контактной ультразвуковой сварки

Для соединения пленок, характеризующихся высоким динамическим пределом вынужденной эластичности, разработан способ непрерывной ультразвуковой сварки скользящим инструментом. При получении непрерывных швов любой протяженности сварщик-оператор вручную перемещает сварочную головку, а изделие остается неподвижным.

Ручные ультразвуковые пистолеты применяют и для резки пластмасс. Наложение ультразвуковых колебаний на режущий инструмент дает значительное повышение производительности труда и качества реза (снижается усилие резания, уменьшается деформация разрезаемых поверхностей, полностью отсутствует деструкция полимера).

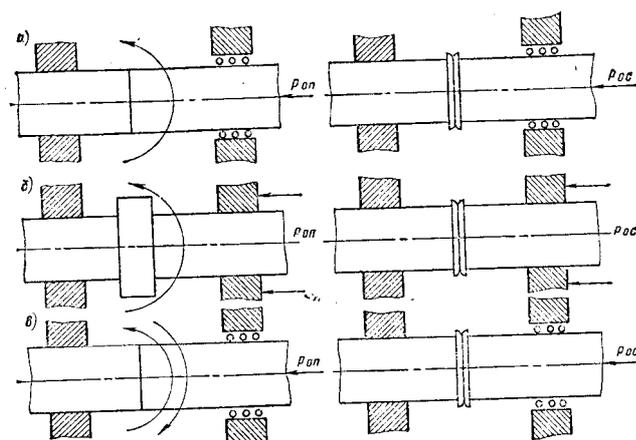
Свойства сварных соединений зависят не только от параметров режима сварки, но и от отдельной последовательности и продолжительности действия каждого параметра — так называемого рабочего цикла. При ультразвуковой сварке рабочий цикл определяется последовательностью приложения давления, включения, прохождения и выключения ультразвукового импульса, выдержки изделий под давлением и снятия давления. В процессе сварки давление может оставаться постоянным или изменяться. Цикл сварки, в значительной мере определяющий прочность сварного соединения, при разработке технологии сварки закладывается в основу выбора принципиальной схемы механизма давления и включения ультразвуковых колебаний сварочных машин. Продолжительность сварки зависит в основном от толщины свариваемого изделия и составляет от 0.1 до 3 с.

Сварка пластмасс трением основана на нагреве соединяемых поверхностей за счет превращения механической энергии трения в теплоту. Поскольку пластмассы обладают низкой теплопроводностью, от зоны контакта деталей, подвергающихся трению, отводится незначительное количество тепла, и поэтому нагрев их происходит быстро.

Используют сварку трением путем вращения соединяемых деталей и сварку путем колебательных движений — вибротрением.

За счет выделяющейся при трении теплоты пластмасса переходит в вязкотекучее состояние и под воздействием прикладываемого при этом усилия часть расплава вытекает в процессе трения (оплавления) свариваемых деталей. При создании в стыке необходимого количества расплава процесс трения прекращается и детали сжимаются (осаживание) — в результате получается неразъемное соединение.

Сварку трением вращения применяют в основном при соединении деталей, имеющих форму тел вращения (рисунок 134).



a — сварка вращением одной из стыкуемых деталей; *б* - сварка вращением вставки; *в* — сварка вибротрением

Рисунок 134 - Схемы сварки трением

Вибротрением можно сваривать несимметричные детали практически любой конфигурации.

Сварка вращением может производиться при непосредственном контакте стыкуемых деталей вращением одной из них, вращением обеих, а также вращением специальной вставки между свариваемыми деталями (рисунок 9 б). Вставка может быть остающейся после осадки и представлять собой элемент сварной конструкции. В этом случае вставка должна быть из того же материала, что и свариваемые детали, а конструкция будет иметь два сварных шва. Наибольшее практическое применение нашел способ сварки вращением, при котором одна из свариваемых деталей неподвижна. Преимущество этого способа сварки состоит в том, что при трении в месте контакта разрушаются все поверхностные ингредиенты, образовавшиеся до начала сварки. В процессе сварки расплав защищен от влияния атмосферы, чем исключается окисление макромолекул кислородом воздуха.

Сварка трением обладает рядом важных преимуществ: высокой производительностью, малым потреблением энергии и мощности, высоким качеством сварного соединения, стабильностью качества, возможностью сварки разнородных полимеров, гигиеничностью процесса.

Основные параметры при сварке вращением: частота вращения (число оборотов в единицу времени); усилие прижатия деталей в процессе трения (усилие оплавления); время трения (время нагрева) и усилие осадки.

Сваркой трением могут соединяться полиолефины, полиамиды, винилпласты, полиметилметакрилат, полиоксиметилен и другие термопласты, если детали не теряют своей формы при зажиме в патронах и оправках устройств и осадке. При непосредственном контакте свариваемых деталей скорости вращения составляют от 0,16 до 3 м/с.

При сварке вращающейся и удаляемой вставкой скорость вращения вставки составляет до 10 м/с. При вибросварке скорость вращения обычно составляет от 0,15 до 4 м/с, частота — 100 Гц и амплитуда — от 0,5 до 5 мм. Длительность процесса сварки зависит от материала, прилагаемого давления, скорости вращения и составляет от 10 до 180 с.

Толщина слоя, переходящего в вязкотекучее состояние свариваемых трением деталей, обычно невелика, в связи с этим ее остывание происходит быстро. Поэтому во избежание разрушения по зоне сварки или образования в шве надрывов необходимо избегать проскальзывания соединяемых деталей в процессе их осадки после оплавления. Следовательно, необходимо строгое ограничение времени торможения по окончании оплавления. После осадки сварное соединение должно охлаждаться под давлением в не менее 15 мин.

Таблица 3 - Параметры режимов сварки пластмасс трением вращения при непосредственном контакте

Материал	Стыковое соединение-ПЧР	Скорость вращения, м/с	Давление, МПа	
			осадки	оплавления
Винилпласт	С прямыми кромками	1,6-2,5	0,3-0,8	0,35-0,5
	С косыми кромками (в ус)	1,6-2,5	0,2-0,5	0,15-0,2
ПНД	С прямыми кромками	1,5-3	0,2-0,5	0,15-0,2
	С выточкой в кромке	1,5	0,2-0,5	0,15-0,2
ПВД, ПП, полиамиды	Сплошные прутки	1,5-2,17	0,15-0,3	0,05-0,1
	С выточкой в кромке	1,5-2,17	0,15-0,3	0,05-0,1
	Сплошные прутки	1,8-3	0,2-0,5	0,15-0,2
	С выточкой в кромке	1,5-3	0,2-0,5	0,15-0,2
	С выточкой в кромке	1,5-2,17	0,15-0,25	0,15-0,25

Сварка излучением. Сварка пластмасс излучением основана на способности пластмасс поглощать лучистую энергию и за счет этого нагреваться. В результате поверхностные слои деталей из термопластов переходят в вязкотекучее состояние и после приложения необходимого давления свариваются.

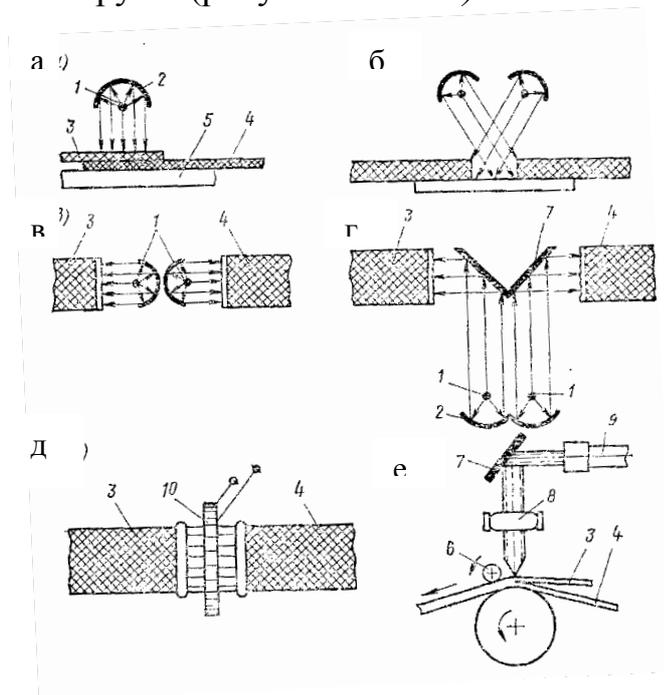
В соответствии с видом источника энергии и характера генерируемого им излучения различают следующие способы сварки: инфракрасным излучением (ИК); светом видимого диапазона (СВД); лазером (оптическим квантовым генератором).

Особенностью сварки ИК-излучением является отсутствие непосредственного контакта нагревательного инструмента (излучателя) с нагреваемой поверхностью, что исключает необходимость применения мер по предупреждению адгезии расплава к нагревателям. При нагреве поверхностей деталей не происходит принудительного вытеснения расплава в первичный грат. При сварке пленок не образуется так называемый подрез по границе шва, возникающий при контактной сварке нагретым роликом или ползуном.

Процесс нагрева ИК-излучением легко регулируется в широком диапазоне путем изменения мощности лучистого потока (температуры нагрева излучателя) и расстояния до облучаемых деталей.

Конструкция сварных соединений и схема их сварки излучением взаимосвязаны. Основным типом соединения пленок является нахлесточное и реже Т-образное. Листы, трубы, прутки и другие изделия свариваются встык. Непременным условием для получения качественного соединения является равенство сечений в соединении как по толщине, так и по ширине.

Для пленок наиболее рациональна следующая схема сварки — сборка внахлестку и облучение снаружи (рисунок 134 а- е).



а, е - сварка пленки внахлестку проплавлением; б - листов полимеров встык с зазором при одностороннем нагреве; в, г, д - деталей встык при нагреве свариваемых торцов

1 - источник света; 2 — экран (рефлектор); 3, 4 — свариваемые детали; 5—подложка; 6—прижимный ролик; 7—отклоняющее луч зеркало; 8 — фокусирующая линза; 9 — выходной тубус лазера; 10 — ИК-излучатель

Рисунок 134 - Схемы сварки излучением

При этом энергия излучения частично поглощается подложкой, которая становится дополнительным нагревателем. При одностороннем нагреве пленки (рисунок 134а) толщина свариваемого пакета пленок ограничена. Например, при использовании в качестве источника нагрева силитового стержня с температурой 1200 °С, расположенного на расстоянии 12 мм от свариваемых поверхностей (подложка из черной микропористой резины), предельная толщина свариваемого пакета пленки из ПВД может быть не более 2 мм. При сварке световым лучом используют схему прямого или косвенного облучения (рисунок 134 в, г). При укладке полимера на пол для получения стыкового соединения используют схему сварки с технологическим зазором (рисунок 134 б). Сварка в этом случае ведется либо без присадки, либо с присадкой. В последнем случае присадочный пруток также нагревают специальным излучателем с обязательной последующей прокаткой роликом в технологическом зазоре или в разделке.

При сварке труб и фигурных изделий чаще всего используют металлические ИК-излучатели. Расстояние от излучателя до нагреваемой поверхности определяется в основном геометрическими параметрами излучателей, равномерностью потока от рабочей поверхности до излучателя. Как правило, этот зазор принимают не менее 10 мм.

При сварке с использованием энергии светового, инфракрасного, лазерного излучений нагрев свариваемой поверхности происходит без механического воздействия. Поэтому деформации, а также течение расплавленной пластмассы могут возникать лишь в результате нагрева. Хотя деформации носят местный характер, их следует учитывать при выборе схемы сборки и сварки изделия.

Сварка током высокой частоты, или высокочастотная сварка, (ТВЧ) полимерных материалов обеспечивается за счет разогрева материала в результате поглощения им энергии электрического поля. При сварке ТВЧ материал находится между металлическими электродами, образуя конденсатор, подключенный к источнику высокочастотной электрической энергии. Под действием электрического поля материал-диэлектрик поляризуется. В случае переменного электрического поля в диэлектрике происходит переменная поляризация, сопровождающаяся смещением заряженных частиц, входящих в атомы и молекулы вещества.

Движение частиц в диэлектрике происходит с трением, а электрическое поле затрачивает свою энергию на его преодоление. Большинство пластмасс, помещенных в переменное электрическое поле, имеет некоторую проводимость. Ток проводимости в диэлектриках совпадает по времени с напряженностью электрического поля. Таким образом, нагрев реальных диэлектриков определяется суммой токов проводимости и поляризации.

Согласно ГОСТ 21139—87 для сварки ТВЧ полимерных материалов можно использовать только строго определенные частоты: 13,56 МГц ± 0,05 %; 27,12 МГц ± 0,6 %; 40,68 МГц ± 0,05 %; 81,36 МГц ± 1 %. Оборудование для сварки ТВЧ, выпускаемое отечественной промышленностью, соответствует этим требованиям, работает на одной из выделенных частот.

Сварка ТВЧ полимеров подразделяется на прессовую и роликовую. Прессовая сварка ТВЧ обеспечивает получение за один сварочный цикл соединений, повторяющих размеры и конфигурацию рабочей поверхности электродов. Роликовой сваркой ТВЧ могут свариваться непрерывные швы различной конфигурации. Сварку выполняют двумя вращающимися роликами, которые служат одновременно электродами и средством перемещения материала. Большое рассеивание энергии при этом виде сварки требует повышенного напряжения на электродах, которое может быть предельным для данного материала. Это приводит к частым пробоям, а также создает значительные технические трудности по экранизации сварного узла для защиты персонала от воздействия электрического поля.

Прессовую сварку протяжных нахлесточных швов и швов, имеющих кривизну в нескольких плоскостях, выполняют шаговым методом линейными электродами. Для Т-образных замкнутых швов и декоративного тиснения материала используют контурные электроды.

Разработан способ сварки полимеров на сверхвысоких частотах (СВЧ). Для технологических целей в диапазоне СВЧ выделены частоты: 915 МГц \pm 2 %; 2375 МГц \pm 2 % и 2450 МГц \pm 2 %.

Применение СВЧ позволяет производить сварку при тех же значениях удельной мощности, но при значительно меньшей напряженности электрического поля в материале. Процесс превосходит по производительности сварку ТВЧ, так как исключается промазывание соединяемых поверхностей, необходимое для сварки ряда фторопластов.

Основные параметры сварки ТВЧ: напряженность электрического поля в материале; давление электродов на свариваемый материал; время нагрева материала. Все перечисленные параметры определяют температуру и ее распределение в свариваемом материале, отчего и зависит в основном качество сварного соединения.

Учитывая отсутствие методов неразрушающего контроля сварных соединений, выполненных этим методом сварки, измерение и стабилизация основных параметров являются единственным и возможным средством получения соединения с заданным качеством.

4.4.7 Требования к производству работ по сварке полимерных труб

Качество получаемого сварного (клеевого) соединения лежит в основе требований к производству работ по сварке или склеиванию полимерных материалов. Подготовка к сварке (склеиванию) определяется технологией получения труб, условиями их транспортировки и хранения. Трудоемкость подготовки увеличивается при нарушении правил погрузочно-разгрузочных работ, хранения труб и деталей (например, превышение высоты штабеля труб, отсутствие укрытия от солнечных лучей и загрязнений).

Подготовка к работе по сборке и сварке должна производиться на специально оборудованной площадке в летний период или в помещении с плюсовой температурой в зимний период.

Первой обязательной операцией при подготовке труб и деталей к сварке является подбор их по материалам, партиям поставки, наружным диаметрам и толщине стенок. Используемые для сварки и склеивания трубы и детали должны иметь сертификаты завода-изготовителя, удостоверяющие их качество. Затем производится визуальный осмотр труб и деталей и их сортировка. Концы труб не должны иметь усадочный конус, а их овальность не должна превышать 10 % толщины стенки. Трещины, задиры и царапины не должны быть глубиной более 0,5 мм. Следует учесть, что трубы из поливинилхлорида особенно чувствительны к трещинам и царапинам.

Такой подбор труб и деталей позволяет уменьшить влияние свойств материала на качество сварных соединений и подобрать трубы с подходящими геометрическими размерами, что очень важно при стыковой сварке. Недопустимо смешивать трубы, например, из полиэтилена низкого и высокого давления, полиэтилена и полипропилена, так как при сварке невозможно обеспечить надежность сварного соединения. В случае овальности, превышающей допустимую и ведущей к смещению кромок при сборке и стыковой сварке более 10 % толщины стенки, но не более 1,2 мм, концы труб должны быть подвергнуты калибровке.

Усадочный конус и участки труб, расположенные на концах и имеющие забоины и трещины, должны быть обрезаны. При этом рез должен располагаться в не менее чем 50 мм от конца трещины.

Следующим этапом подготовки труб и деталей к сварке и склеиванию является очистка концов их от грязи, масла, краски и других веществ. Они должны быть очищены и обезжирены изнутри и снаружи на расстояние более 30 мм от длины раструба — при раструбной сварке и склеивании. Удаление грязи с поверхности труб и деталей необходимо производить водой с применением волосяных щеток и последующей протиркой их ветошью до сухого состояния. Применять металлические щетки и скребки не допускается во избежание повреждения поверхности труб.

Для обезжиривания поверхности труб и деталей, а также присадочных прутков от масел, грязи, пыли и других веществ применяют спирт, ацетон, уайт-спирт и другие материалы, обеспечивающие очистку и не влияющие на качество сварки или склеивания. Выбор материала для очистки склеиваемых поверхностей производится с учетом состава клеевой композиции (например, при применении клея марки ГИПК-127 нельзя применять Уайт-спирт).

Для выравнивания и снятия поверхностного слоя, который был поврежден при транспортировке или неправильном хранении (например, под воздействием солнечных лучей и т. д.), трубы подвергают механической обработке — обрезке, фрезерованию и т. д. При этом в зависимости от длительности и условий хранения труб толщина удаляемого слоя должна быть от 1 до 3 мм. Торцовку наиболее рационально производить в центровочной установке сварочного станка не ранее чем за 6 - 8 ч до сварки во избежание окисления и повторного загрязнения поверхностей, подлежащих сварке.

Используемые при сварке присадочные материалы (прутки, гранулы) должны подвергаться внешнему осмотру с последующим отбором дефектных

прутков, имеющих на поверхности трещины, сколы, поры. Далее их подвергают сортировке по однотипности материала.

Загрязненные присадочные материалы должны быть очищены водой, а при наличии жировых включений — растворителями, применяемыми для обезжиривания труб. После промывки прутков и гранул они подвергаются сушке при температуре не ниже 20 °С в течение 24 ч. Прутки для сварки труб и деталей из поливинилхлорида рекомендуется непосредственно перед сваркой зачистить мелкой шкуркой и протереть сухой ветошью.

Перед сваркой рабочие поверхности нагревательного инструмента необходимо очистить от прилипшего расплавленного материала и других загрязнений, используя для этого алюминиевые, латунные или деревянные скребки и чистую ветошь. Для удаления масел с поверхности инструмента производят обезжиривание инструмента в холодном состоянии Уайт-спиртом.

В случае применения антиадгезионного покрытия нагревательной поверхности инструмента из лакоткани на основе фторопласта Ф-4Д, необходимо осмотреть пленку и при необходимости заменить на новую.

К производству работ по сварке или склеиванию допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие подготовку по программам, утвержденным в установленном порядке, имеющим удостоверения о допуске к сварке или склеиванию пластмассовых трубопроводов, прошедшие практику.

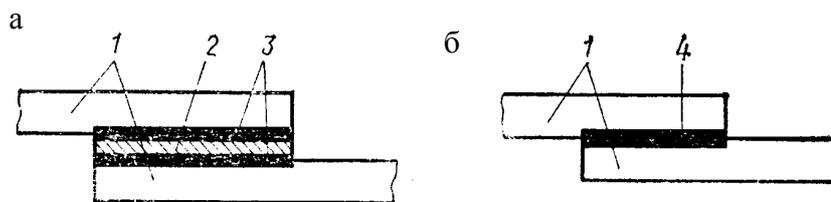
Сварку трубопроводов из полиэтилена допускается производить при температуре окружающего воздуха не ниже минус 10 °С, из полипропилена - не ниже 0 °С, а сварку и склеивание труб из поливинилхлорида - не ниже 5 °С. При более низких температурах сварку и склеивание следует выполнять в утепленных помещениях. Кроме того, при выполнении сварочных работ и склеивании трубопроводов на открытом воздухе необходимо осуществлять местную защиту стыка от ветра и атмосферных осадков.

Рекомендуется перед началом работ с новой партией труб и деталей провести сварку контрольных стыков для проверки и корректировки режимов сварки и технологии склеивания.

4.4.8 Склеивание труб из полимерных материалов

Склеивание — наиболее широко применяемый способ получения неразъемных соединений труб из термопластичных и термореактивных материалов. Склеивание представляет собой процесс соединения деталей с помощью клеящего вещества растворителя или смеси растворителей. Клеящими веществами служат материалы, которые при помощи адгезионной или когезионной связи соединяют детали, не изменяя существенно структуры и свойств материалов соединяемых деталей.

Адгезия проявляется в действии атомарных и молекулярных сил притяжения на границе соприкосновения поверхностей различных твердых или жидких материалов (рисунок 135а).



а — адгезионное склеивание; б — когезионное склеивание
 1—соединяемые детали; 2—клеевая пленка; 3 — граничный слой
 деталь—клеевая пленка (адгезия); 4—граничный слой, образующийся
 благодаря растворению и испарению растворителя (когезия)

Рисунок 135 - Структура клеевого шва

Когезия проявляется в действии сил притяжения между атомами и молекулами одного и того же твердого или жидкого материала (рисунок 11 (б)). Склеивание осуществляется с помощью раструбов, отформованных на одном из соединяемых концов труб, или литых раструбных соединительных деталей. Для склеивания применяют клеевые композиции, позволяющие выполнять соединения с «натягом» (с величиной зазора, не превышающего 0,1 мм) и соединения с величиной зазора до 0,8 мм.

В условиях строительного производства трубы из поливинилхлорида склеивают зазоромзаполняющим клеем марки ГИПК-122 или ГИПК-127. Эти клеи позволяют собирать соединения с зазором до 0,8 мм между наружной поверхностью трубы и внутренней поверхностью раструба.

Клей марки ГИПК-127 предназначен для соединения труб из поливинилхлорида при монтаже трубопроводов, транспортирующих техническую воду, воздух, а также другие среды, к которым непластифицированный поливинилхлорид химически стоек при температуре до 40 °С. Клей обеспечивает прочность соединения на сдвиг при температуре 20 °С не менее 5 МПа, а стойкость соединения к внутреннему гидростатическому давлению - не менее 4,2 МПа. Клей ГИПК-127 разрешен для склеивания труб из ПВХ, используемых в практике хозяйственно-питьевого водоснабжения, при условии, что продолжительность сушки склеенных стыков труб составляет не менее шести суток и только после десятикратной промывки трубопровода.

По внешнему виду клей ГИПК-127 представляет собой однородную жидкость от белого до серого цвета с наличием небольшого осадка наполнителя, исчезающего после перемешивания. Содержание сухого остатка в клее от 18 до 28 %. Гарантийный срок хранения клея 9 месяцев со дня изготовления. Клей поставляется в герметической таре вместимостью не более 1 л. Хранить клей необходимо в сухих складских помещениях при температуре от 5 до 35 °С. Загустевший клей разбавляют смесью из сильных растворителей - диметилформамида, циклогексана и тетрагидрофурана в соотношении 1:1: 2,5.

В качестве клеев, не заполняющих зазоры, применяют в основном составы, представляющие собой раствор перхлорвиниловой смолы в ацетоне, дихлорэтане (таблица 4).

Таблица 4 - Составы клеев на слабых растворителях

Компоненты	Содержание компонентов, массовых частей					
Перхлорвиниловая смола	22,6	14	14	14	9,7	7
Ацетон	—	—	—	—	—	50
Дихлорэтан	—	86	—	—	87,9	—
Метиленхлорид	—	—	86	—	—	—
Кубовый остаток от производства хлорвинила	—	—	—	86	—	—
Поливинилбутираль	—	—	—	—	2,4	—
Трихлорэтан	—	—	—	—	—	43

Для приготовления клея в банку нужной вместимости с герметично закрывающейся крышкой высыплют отмеренное на весах количество смолы, добавляют необходимое количество растворителя и плотно закрывают банку. Смола полностью растворяется в растворителе от 30 до 45 мин, после чего клей готов к употреблению.

Основными технологическими операциями склеивания являются:

- разметка и разрезка труб, нагрев конца трубы и формование раструба, а при необходимости и калибровка концов труб;
- зачистка и обезжиривание склеиваемых поверхностей;
- снятие фаски на торце трубы и раструба;
- придание шероховатости склеиваемым поверхностям; контрольная сборка соединения;
- нанесение клея на склеиваемые поверхности и сборка соединения;
- выдержка соединения для затвердевания клеевой прослойки.

Подготовка труб и соединительных деталей к склеиванию должна производиться непосредственно перед началом работ, но не более чем за 8 ч.

При отсутствии соединительных деталей с раструбами заводского изготовления на конце одной из труб формируют раструб, а конец другой - калибруют.

При использовании клеев на слабых растворителях необходимо обеспечить минимальный зазор между трубой и раструбом, т. е. труба должна входить в раструб с натягом. Для этого калиброванный конец трубы вынимают из гильзы, пока материал трубы не остыл и находится в пластическом состоянии. После остывания калиброванный конец трубы будет иметь несколько больший диаметр, чем конец, остывший в гильзе. Гильзы необходимо применять определенных размеров с учетом усадки материала. Размеры таких гильз подбирают экспериментально.

Формуют раструб на конце другой трубы следующим образом: конец трубы нагревают до температуры формования и надвигают его на калиброванный конец первой трубы, который в этом случае служит пуансоном. После охлаждения конец трубы выводят из полученного раструба.

Перед склеиванием на сопрягаемых концах снимают фаски —

внутреннюю на раструбе размером 2x45° и наружную на конце трубы под углом 20° без притупления. Для снятия фасок в монтажных условиях могут применяться драчевые напильники. Затем склеиваемые поверхности обрабатывают наждачной бумагой № 16, чтобы придать им шероховатость. После этого производят контрольную сборку соединения для контроля зазора между склеиваемыми поверхностями, а также фиксирования длины участка трубы, вставляемой в раструб. При этом необходимо следить, чтобы склеиваемые поверхности не загрязнялись маслом, частицами абразива и т. п.

Затем производят обезжиривание склеиваемых поверхностей для удаления возможных загрязнений и жировых пятен. Для обезжиривания используют один из растворителей, чаще всего перхлорэтилен или четыреххлористый углерод, которым протирают склеиваемые поверхности с помощью кистей или тампонов.

Примечания

1 Толщина материала — любая. Обезжиривание производится погружением. Растворитель необходимо наносить промышленной кистью средней жесткости.

2 Пена пластических материалов не обезжиривается; при обезжиривании требуется отсос пыли.

Если конец трубы входит в раструб свободно, то склеивание необходимо осуществлять двумя слоями клея. Первый слой просушивают в течение 30 мин при температуре 20 °С. Затем после нанесения второго слоя клея концы труб соединяют. Клей наносят равномерно, тонким слоем, по возможности быстро, в осевом направлении на всю длину калиброванного конца трубы и на 2/3 глубины раструба, чтобы излишек клея не выдавливался внутрь соединения.

Клей наносят мягкими кистями: круглыми диаметром до 10 мм на трубы диаметром до 25 мм, плоскими кистями шириной от 25 до 50 мм для труб диаметром до 63 мм и шириной 60 мм для труб большего диаметра. На трубы диаметром свыше 63 мм рекомендуется наносить клей одновременно двумя рабочими. После нанесения клея конец трубы сразу вводят в раструб, а клей, вытесненный наружу, удаляют, во избежание размягчения трубы у края раструба. Конец трубы необходимо вдвигать в раструб без вращения. Склеивание труб диаметром до 90 мм можно выполнять вручную, а больших диаметров - с помощью приспособлений, применяемых для центрирования труб при сварке. Расход клея и растворителя для обезжиривания и клея на одно соединение зависит от диаметра трубы и составляет от 3 до 130 граммов.

Склеенные стыки в течение 5 мин при температуре окружающего воздуха 20 °С и 15 мин при меньшей температуре не должны подвергаться механическим воздействиям. В монтажной практике применяется также следующий способ склеивания. Конец трубы с внутренней фаской нагревают до температуры 120 °С до размягчения и свободно, как резиновый шланг, насаживают на холодную трубу с наружной фаской на глубину ее диаметра. Отформованный раструб вместе со вставленной в него трубой быстро охлаждают холодной водой. После охлаждения и удаления влаги положение труб фиксируют меткой, наносимой на склеиваемые элементы. Затем трубы

разъединяют, соединяемые поверхности обезжиривают и зачищают наждачной бумагой. На конец трубы наносят тонкий слой клея и вновь вставляют в раструб, совмещая метки.

Для производства работ по склеиванию труб из пластмасс с наружным диаметром до 63 мм применяется специальный комплект инструмента, разработанный ЭПКТБ «Стройпластик», который предусматривает выполнение следующих технологических операций: разметка отрезков труб; разрезка перпендикулярно оси трубы; зачистка, обезжиривание и шерохование склеиваемых поверхностей, снятие фасок на торцах труб; нанесение клея на склеиваемые поверхности.

Для обеспечения высокого качества склеивания необходимо строго соблюдать установленную технологию на всех этапах изготовления клеевого соединения. Соответствующие службы монтажной организации должны контролировать качество поступающего клея, а в случае изготовления его в условиях строительного производства — еще и свойства исходных компонентов. Клей должен быть снабжен документацией с указанием продукта, массы, номера партии, времени изготовления и завода-изготовителя. Хранение клея и компонентов должно производиться согласно указанным техническим условиям и с соблюдением техники безопасности.

Несоблюдение установленной технологии процесса склеивания может привести к получению соединений с различными дефектами (таблица 5). При выявлении дефектов клеевые соединения подвергаются ремонту или заменяются новыми.

Таблица 5 – Возможные дефекты склеивания и их причины

Дефект	Причины
Непроклей	Неравномерное нанесение клея. Большие неровности поверхностей склеивания.
Мягкая прослойка	Неправильное соотношение компонентов клея. Низкая температура окружающего воздуха или недостаточное время отверждения.
Пористость клеевой прослойки	Неполное удаление растворителя, входящего в рецептуру клея. Неправильное смешение и отвердевание клеевой композиции. Наличие воздушных включений, проявившихся в процессе перемешивания или
Несмачиваемость клеєм	Загрязнение склеиваемых поверхностей. Пересушка нанесенного слоя клея до такой степени, что не происходит его склеивание с другой пересушенной
Сплошной клей	клеевой пленкой. Недостаточная фиксация склеиваемых
повежностей	деталей. Смешение соединяемых деталей во время
Перекоc соединения	отвердевания клея

5 Качество сварных соединений

На качество шва сварного соединения влияют многие факторы, основными из которых являются форма сечения шва, структура и состав металла шва и зоны термического влияния, но наибольшее влияние оказывает погонная энергия (отношение тепловой мощности к скорости сварки).

Первый фактор определяется устойчивостью теплоподвода. Скорость сварки влияет на ширину шва, и с увеличением скорости ширина уменьшается. На глубину шва влияет сила тока, с ее увеличением увеличивается глубина проплавления. По прочности сварные соединения должны быть такими же, как и основной металл, однако сам процесс сварки характеризуется тем, что основной и присадочный металлы образуют малую ванну расплава и зону термического влияния. Свойства металла этих участков отличны от свойств основного металла, т.к. они (участки) претерпели температурные превращения.

Подбором параметров технологического режима сварки (изменением погонной энергии) можно создать условия, благоприятно влияющие на кристаллизацию и на свойства металла шва. Также на качество шва влияет постоянная среда (корка) над сварочной ванной, контакт с окружающей средой и скорость охлаждения шва. Большая скорость охлаждения не способствует выравниванию химического состава, при этом наблюдается зонная ликвация (химическая неоднородность) компонентов по сечению шва.

На качество сварных соединений большое влияние оказывает количество серы и фосфора в металле. Первая приводит образованию горячих трещин (из-за образования низкоплавкой эвтектики $\text{FeS} - \text{S}$ с температурой плавления в пределах 940°C , а фосфор снижает ударную вязкость, что приводит к образованию холодных трещин (о дефектах сварных соединений смотри ниже).

Для частичного устранения побочных эффектов в зону сварки вводят раскислители. Их ввод осуществляется через обмазку электродов, через флюс или с присадочным металлом. При выполнении процесса сварки также проводят легирование металла шва такими элементами, как Ni, Cr, W.

5.1 Контроль качества и возможные дефекты

Для обеспечения высокого качества сварных соединений необходим постоянный контроль всего производственного цикла, в том числе контроль за соблюдением в процессе сварки, за соблюдением выполнения технологических инструкций, последовательностью наложения швов и их качеством.

Контроль бывает предварительным, при котором определяют возможность появления брака, и он включает входной контроль исходных материалов, соответствие основных и вспомогательных материалов, а также контроль аппаратов, приборов, источников энергии и контроль квалификации сварщиков.

5.2 Контроль качества

Для обеспечения высокого качества сварных конструкций необходим постоянный контроль всего производственного цикла. В этой связи контроль подразделяется на предварительный и основной.

При предварительном контроле проводят входной контроль исходных материалов (их соответствие заводскому сертификату).

Основной контроль включает в себя:

- контроль источников энергии и приспособлений;
- контроль аппаратов и приборов;
- контроль квалификации сварщика;
- контроль процесса сварки;
- контроль за соблюдением выполнения технологических инструкций, в том числе за последовательностью наложения и качеством шва.

При контроле качества сварных соединений проводят:

- их внешний осмотр;
- металлографические анализы;
- химические анализы;
- механические испытания;
- магнитную (либо ультразвуковую) дефектоскопию, позволяющую выявить пористость шва либо наличие газовых пустот в них.

Швы проверяют на соответствие внешних размеров размерам, указанным на чертеже.

Металлографический анализ проводят засверливанием шва с последующим травлением отверстия. При этом выявляют:

- химический состав;
- провар или непровар металла;
- отсутствие пустот.

Механические испытания проводят на специальных пластинах, сваренных вместе с конструкцией, либо на образцах, вырезанных из изделия.

Внутренние дефекты выявляют просвечиванием в рентгеновских или гамма-лучах.

Это наиболее современные методы анализа, которые позволяют проводить тщательный контроль без разрушения изделия. К таким методам относятся ультразвуковой и магнитный метод контроля.

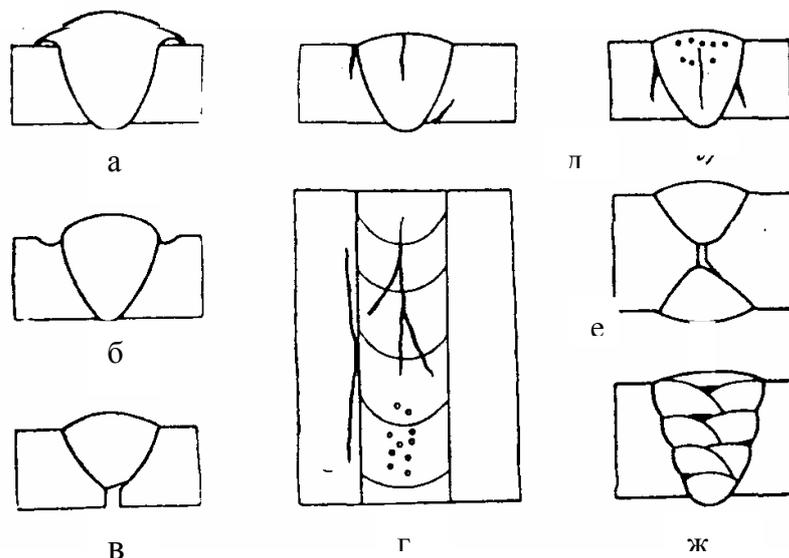
Наряду с указанными, также проводят контроль сварных соединений следующими методами:

- испытание керосином;
- сжатым воздухом;
- вакуум-прибором;
- контроль аммиаком;
- гидравлическим давлением.

5.1.2 Дефекты сварных соединений

Дефекты сварных соединений бывают наружными и внутренними.

К первым относятся неравномерность поперечного сечения по длине шва, незаплавленные кратеры или подрезы основного металла, прожоги, наружные трещины, коробление. К внутренним дефектам относят непровар, внутренние поры, химические неоднородности, шлаковые включения, пережог (рисунок 136).



а – наплывы; б – прожоги; в – непровар; г – трещины; д – вкрапления и пустоты; е – внутренний непровар; ж – прерывистые слои металла

Рисунок 136 - Виды дефектов сварных швов (сварных соединений)

Внутренние дефекты выявляют просвечиванием в рентгеновских или гамма - лучах, это наиболее совершенный способ контроля, проводимый без разрушения изделия. К таким способам также относятся ультразвуковой, магнитный методы контроля. Проводят испытания керосином, сжатым воздухом, с предварительным нанесением мыльного раствора на шов. Образование мыльных пузырей свидетельствует о некачественном сварном шве. Бывает контроль аммиаком, гидравлическим давлением, вакуумным прибором.

Горячие трещины как дефект сварных соединений так же, как и в отливках, образуются в результате усадочных явлений, протекающих в металле шва при остывании, чаще в интервале, температур кристаллизации, когда металл шва находится в промежуточном состоянии. Это состояние металла характеризуется весьма малыми значениями пластичности и прочности. Сварной шов при остывании стремится уменьшиться на величину усадки (для стали примерно на 2 %). Вследствие возникшей связи с основным холодным металлом возможность усадки металла практически исключается. Появляются собственные напряжения растяжения в шве и напряжения сжатия в основном металле. Горячие трещины могут образовываться в том случае, если деформации усадки шва превышают значения его пластичности, т. е. наступает

разрушение. Горячие трещины имеют межкристаллитный характер по границам зерен в шве. Чаще всего горячие трещины образуются на заготовках из высоколегированных сталей, алюминиевых и медных сплавов.

Холодные трещины чаще всего возникают после полного затвердевания сварного шва в период завершения процесса охлаждения или появляются в металле, уже охлажденном до окружающей температуры. Холодные трещины появляются как следствие возникновения собственных напряжений в результате усадки, а также структурных превращений в зоне термического влияния. Наиболее часто они располагаются в основном металле в непосредственной близости к сварному шву. Этот дефект характерен для деталей из высокоуглеродистых и легированных сталей, образующих закалочные структуры в околошовной зоне.

Наряду с указанными сварочными дефектами по качеству выполнения рассматривают сварочные дефекты - несплошности по геометрии. Типы сварочных дефектов - несплошностей по геометрии показаны на рисунке 137.

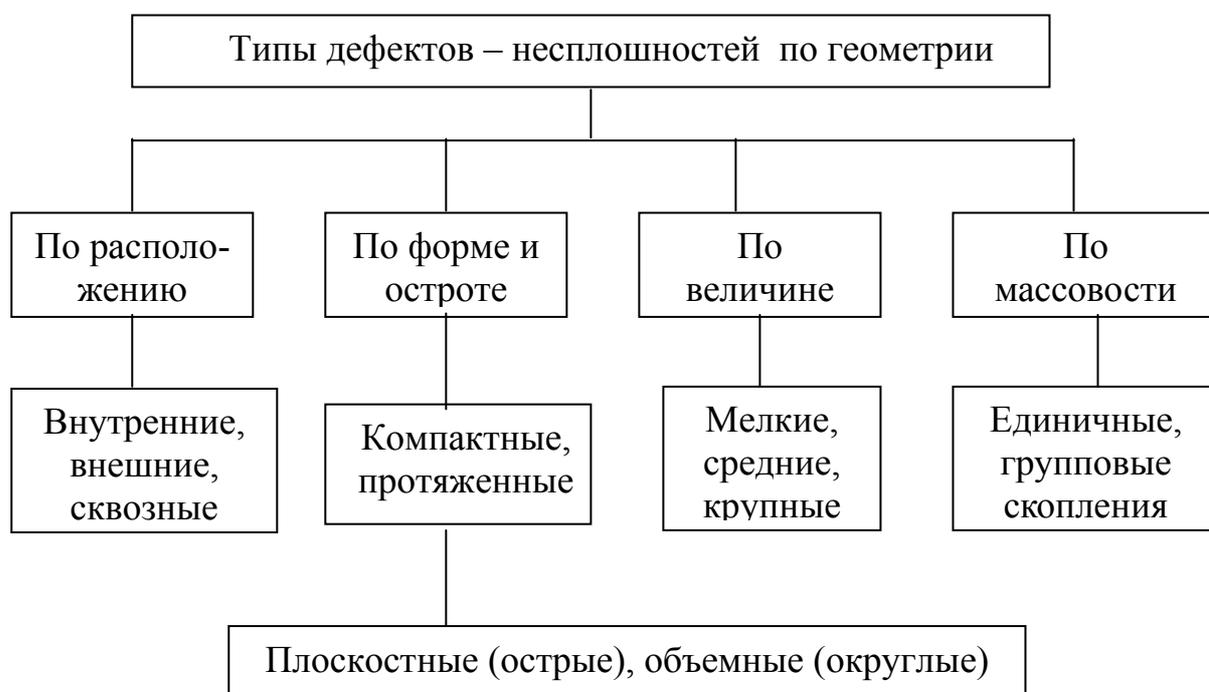


Рисунок 137 - Типы сварочных дефектов по геометрии

Склонность металла к образованию горячих или холодных трещин определяют либо на специальных машинах, либо при сварке специально разработанных жестких проб. Появление этих дефектов предотвращают специальными приемами сварки, предварительным подогревом, последующей термической обработкой. Поры в сварных швах также являются дефектами. Порами называют заполненные газами полости. Основной причиной возникновения пор при сварке является выделение водорода, азота и оксида углерода, которые очень интенсивно растворяются в жидком металле шва. При кристаллизации и охлаждении шва растворимость газов резко уменьшается, и если их выделение происходит в период затвердевания, пузырьки газа не всегда

успевают всплыть и остаются в металле в виде пор. Для уменьшения вероятности образования пор в сварных швах особенно тщательно очищают свариваемые кромки от загрязнений, ржавчины, следов масел, используют сварочные материалы с минимальным количеством влаги, а также улучшают защиту металла шва от контакта с окружающей средой. Кроме этого, применяют режимы сварки и специальные приемы, обуславливающие замедленный процесс кристаллизации сварочной ванны. При сварке заготовок из недостаточно чистого металла в сварном шве могут образовываться оксидные неметаллические включения типа FeO , SiO_2 , MnO , которые снижают ударную вязкость и хладостойкость сталей, а сульфидные включения типа MnS , FeS (образуются при содержании серы 0,04 %) и фосфорсодержащие включения, существенно способствуют образованию горячих трещин.

6 Техника безопасности при проведении сварки

В сварочном производстве, где имеется жидкий металл, особенно остро стоит вопрос о безопасном проведении работ и эксплуатации оборудования.

При попадании жидкого металла на воду или другую жидкость или на влажную поверхность происходит мгновенное испарение жидкости и выброс жидкого металла. Поэтому свариваемые детали должны быть сухими, чтобы при попадании на них жидкого металла не было его выбросов.

При наличии элементов, охлаждаемых водой, используют специально подготовленную воду. При этом практически не происходит выпадения накипи.

Для нормальной работы водоохлаждаемых элементов необходимо постоянное поступление и слив воды с температурой, не превышающей 60 °С. Контроль за поступлением и температурой слива воды осуществляют с помощью автоматики или вручную. В сварочном производстве нагрев и плавление металла осуществляют электроэнергией или газом, что в сочетании с расплавленным металлом и представляет наибольшую опасность.

6.1 Требования к газовому оборудованию

Продукты горения природного газа, как и других технологических газов (C_2H_2 , H_2 , CH_4 и CO) и газы защитной атмосферы, содержат ядовитые продукты неполного горения и в смеси с воздухом образуют горючую и взрывоопасную смесь. Подобным образом ведут себя и другие горючие газы. Они часто не имеют запаха, цвета и способны проникать через мельчайшие неплотности и даже через фильтры противогазов. В составе рассматриваемых газов могут быть оксиды углерода, сернистые соединения, метан, ацетилен, этан, этилен, аммиак и т.д. Все эти газы обладают отравляющими свойствами.

Эти особенности газового топлива обуславливают правила техники безопасности при работе с газовым оборудованием.

Не допускается расположение газопроводов в тех местах, где они могут омываться горячими продуктами горения или соприкасаться с раскаленным или расплавленным металлом. При параллельной прокладке газопроводов и электропроводов или кабелей расстояние между ними должно быть не менее 250 мм, а в местах пересечений - не менее 100 мм. Пересечение газопроводами воздухопроводов не допускается.

На оборудовании должны быть установлены приборы для измерения давления газа и кислорода (воздуха) у горелок. Это дает возможность контролировать процесс сжигания газа.

Регулярный отвод продуктов горения газа - необходимое условие протекания процесса сгорания газа, иначе процесс сгорания газа нарушается с возможным затуханием горелки и образованием взрывоопасной газовой смеси.

Использовать следует горелки, прошедшие государственные испытания и

изготовленные предприятиями, имеющими на то право. Государственные испытания предусматривают проверку основных показателей: производительности, оптимального давления газа и воздуха, коэффициента инжекции, пределов регулирования, полноты горения газа.

Подача газа прекращается как при падении, так и при повышении давления выше нормы, в противном случае горелка может погаснуть и газоздушная смесь заполнит рабочее пространство, что может привести к взрыву.

В зависимости от конструкции на газопроводах могут быть установлены взрывные клапаны, которые размещают таким образом, чтобы при их срабатывании была обеспечена безопасность обслуживающего персонала.

На каждый газовый агрегат составляют инструкцию по эксплуатации и схему агрегата с указанием всего газового оборудования. Инструкции должны быть вывешены у агрегатов. Прежде чем приступить к розжигу горелок, следует проверить давление газа и кислорода в газопроводе и при необходимости отрегулировать его.

Запорное устройство на газопроводе перед горелкой можно открывать только после поднесения к горелке зажженного запальника или факела. При зажигании горелки к ней должно подаваться минимальное количество воздуха, обеспечивающее полное возгорание газа и исключаящее отрыв пламени. Если при зажигании или в процессе регулирования горелки происходит отрыв, проскок или затухание пламени, то перед повторным зажиганием необходимо проветрить систему и устранить неисправности.

Запрещается оставлять без надзора работающие газовые горелки, а также эксплуатировать их при наличии неисправностей и при отсутствии вытяжки. В случае прекращения подачи газа необходимо немедленно перекрыть отключающее устройство на вводе газопровода и у агрегата.

При авариях или пожаре в цехе подача в цех газа должна быть немедленно прекращена. Запрещается использовать газопроводы в качестве заземления и в качестве опорных конструкций. Также запрещено нагружать газопроводы всякого рода тяжестями.

6.2 Требования к электрическим устройствам и установкам

Все аппараты и приборы следует располагать таким образом, чтобы было обеспечено безопасное обслуживание и чтобы возникающие в аппаратах при их эксплуатации искры или электрические дуги не могли причинить вреда обслуживающему персоналу, вызвать короткое замыкание или замыкание на землю. От открытых частей, находящихся под напряжением, до ограждения должны быть обеспечены расстояния: не менее 100 мм при сетках и 50 мм при сплошных съёмных ограждениях.

Электрические аппараты (пускатели, контакторы и т. д.) и пирометрические приборы рекомендуется устанавливать на отдельных щитах. Не допускается прокладка в одной трубе проводов пирометрических цепей с проводами электропитания.

Необходимо полностью исключить возможность случайного

прикосновения обслуживающего персонала к нагревательным элементам, находящимся под напряжением выше 36 В.

Указанные требования распространяются на установки, работающие при напряжении до 80 В. К установкам, работающим при напряжении выше 80 В, предъявляются более жесткие требования, оговариваемые в правилах устройства электроустановок.

Дополнительные требования к индукционным установкам: электросопротивление изоляции между индуктором и корпусом печи должно быть не менее значения, полученного из расчета 1 кОм на 1 В номинального напряжения индуктора. Сопротивление изоляции между отдельными частями кожуха печи, а также между всеми стяжными болтами и кожухом должно быть не менее 0,5 МОм.

6.3 Противопожарные мероприятия

Правила пожарной безопасности при работе с газовыми и электрическими установками в каждом конкретном случае предусматривают порядок проведения работ, исключающий возникновение пожара. Наибольшую опасность в пожарном отношении представляют установки газовой сварки. Противопожарные мероприятия в основном сводятся к профилактическим мерам: поддержание в исправном состоянии газопроводов и газового оборудования, системы маслопроводов и закалочных баков, системы гидропривода, исключающее течь масла в гидроцилиндрах и трубопроводах; поддержание в порядке электрических систем; предотвращение выплесков и утечек жидкого металла и шлака и т. д.

В цехах предприятия должны быть установлены противопожарные посты, где должен находиться противопожарный инвентарь (ломы, топоры, лопаты, багры, ведра) и средства тушения пожара (огнетушители, ящики с сухим песком).

Список использованных источников

- 1 **Дальский, А.М.** Технология конструкционных материалов / А.М. Дальский - М.: Машиностроение, 1990. – 352 с.
- 2 Материаловедение / под общ. ред. Б.Н. Арзамасова, Г.Г. Мухина. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 648 с.
- 3 **Юсипов, З.И.** Обработка металлов давлением и конструкции штампов / З.И. Юсипов, Ю.И. Каплин - М.: Машиностроение, 1981. - 272 с.
- 4 Установки индукционного нагрева / под ред. А.Е. Слухоцкого. – Ленинград: Энергоиздат, 1981. - 328 с.
- 5 **Зорчев, С.Н.** Общая технология кузнечно-штамповочного производства / С.Н.Зорчев, В.Н.Кузминцев - М.: Высшая школа, 1986. - 87 с.
- 6 **Кабанов, Н.С.** Сварка на контактных машинах / Н.С. Кабанов - М.: Высшая школа, 1985. - 271 с.
- 7 Технологические процессы машиностроительного и ремонтного производства: в 2 - х частях / под ред. С.И. Богодухова – Оренбург: ОГУ, 1996. – Ч 1-2.
- 8 **Богодухов С.И.** Технологические процессы в машиностроении [Текст]: Учебник для студентов высших учебных заведений / Богодухов С.И., Бондаренко В.А., Схиртладзе А.Г., Сулейманов Р.М., Проскурин А.Д. - Оренбург: ИПК ГОУ ОГУ, 2005. - 781 с.
- 9 **Онищенко, В.И.**, Технология металлов и конструкционные материалы / В.И. Онищенко, С.У. Мурашкин, С.А. Коваленко. - М.: Агропромиздат, 1991. - 497 с.
- 10 **Балакшин, Б.С.** Основы технологии машиностроения / Б.С. Балакшин - М.: Машиностроение, 1996. – 156с.
- 11 **Богодухов С.И.** Основы проектирования машиностроительных заготовок [Текст]: Учебное пособие с грифом УМО АМ / Богодухов С.И., Схиртладзе А.Г., Сулейманов Р.М., Гребенюк В.Ф. - Оренбург: ГОУ ОГУ, 2003. – 344 с.
- 12 **Шмаков, В.Г.** Кузница в современном хозяйстве / В.Г. Шмаков - М.: Машиностроение. - 1980. - 288 с.
- 13 **Учаев, П.Н.**, Жестяницкие работы / П.Н. Учаев, В.В. Привалов, И.Н. Учаев. - М.: Машиностроение, 1989. - 336 с.
- 14 **Богодухов С.И.** Обработка упрочненных поверхностей в машиностроении и ремонтном производстве [Текст]: Учебное пособие / Богодухов С.И., Гребенюк В.Ф., Проскурин А.Д. - М.: Машиностроение, 2005. – 272 с.
- 15 А.с. СССР № 1650387 В 23 К 11/04. Способ контактной стыковой сварки оплавлением / Килов А.С. - № 4434553/27 заявл. 31.05.88; опуб.23.05.1991, Бюл. № 19. – 26 с.
- 16 Патент РФ № 2227875 F 24 H 3/00. Радиатор / Килов А.С., Гребенюк В.Ф. - № 2002111824/06; заявл.30.04.2002; опубл. 27.04.2004. Бюл № 12. – 47 с.

- 17 **Козлов, В.П.** Сварка и резка металлов / В.П. Козлов. - М.: Высшая школа, 2003. – 256 с.
- 18 **Чебан, В.А.** Сварочные работы / В.А. Чебан. - Ростов н/Д: Феникс, 2004. – 416 с.
- 19 **Ялышко, Г.Ф.** Сварка и монтаж трубопроводов из полимерных материалов / Г.Ф. Ялышко. – М.: Стройиздат, 1990. – 223 с.
- 20 Применение пластмассовых труб в строительстве. Тематическая подборка. - Алма-Ата: Госстрой КазССР, 1987. – 16 с.
- 21 **Никифоров, Н.И.**, Справочник молодого газосварщика и газорезчика / Н.И. Никифоров, С.П. Нешумова, И.А. Антонов. - М.: Высшая школа, 1990. - 239 с.
- 22 **Каракозов, Э.С.** Справочник молодого электросварщика / Э.С. Каракозов, Р.И. Мустафаев. - М.: Высшая школа, 1992. - 304 с.
- 23 **Долотов, Г.П.**, Наладка оборудования и агрегатов в термообработке / Г.П. Долотов, Е.А. Кондаков. - М.: Высшая школа, 1984. - 216 с.
- 24 **Романов, Д.И.** Электроконтактный нагрев металлов / Д.И. Романов. - М.: Машиностроение, 1981. - 168 с.
- 25 Трубы стальные бесшовные для паровых котлов и трубопроводов. Технические условия ТУ 14-ЗР – 55 - 2001, 78 с.