



Министерство образования Республики Беларусь

**Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»**

Кафедра «Металлургия и технологии обработки материалов»

ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

ПОСОБИЕ

**для магистрантов специальности 7-06-0714-01
«Инновационные технологии в металлургии»
дневной и заочной форм обучения**

Гомель 2024

УДК 621.7:621.9(075.8)
ББК 34.5:34.7я73
П78

*Рекомендовано научно-методическим советом
механико-технологического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 7 от 06.02.2024 г.)*

Составитель *И. В. Астапенко*

Рецензенты: декан заоч. фак. ГГТУ им. П. О. Сухого канд. техн. наук,
доц. *Ю. А. Рудченко*;
ведущий инженер-технолог группы сортового проката прокатного
отдела технического управления ОАО «Белорусский металлургический
завод – управляющая компания холдинга «Белорусская металлургическая
компания» *С. А. Савченко*

П78 **Прогрессивные** технологии обработки конструкционных материалов : пособие
для магистрантов специальности 7-06-0714-01 «Инновационные технологии в метал-
лургии» днев. и заоч. форм обучения / сост. И. В. Астапенко. – Гомель : ГГТУ им.
П. О. Сухого, 2024. – 80 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ;
32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat
Reader. – Режим доступа: <https://elib.gstu.by>. – Загл. с титул. экрана.

Приведены теоретические сведения по дисциплине «Прогрессивные технологии обработки
конструкционных материалов». Изложены описание, характеристики и научные основы развития
прогрессивных технологий обработки конструкционных материалов.

Для магистрантов специальности 7-06-0714-01 «Инновационные технологии в металлур-
гии» дневной и заочной форм обучения.

УДК 621.7:621.9(075.8)
ББК 34.5:34.7я73

© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2024

Содержание

| | | |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| | Введение..... | 4 |
| 1 | Классификация технологических процессов обработки конструкционных материалов..... | 5 |
| 2 | Современные технологии резки материалов..... | 7 |
| 2.1 | Механические технологии резки..... | 7 |
| 2.1.1 | Резка ножницами с линейными ножами..... | 7 |
| 2.1.2 | Резка ножницами с дисковыми ножами..... | 9 |
| 2.1.3 | Резка дисковыми пилами..... | 11 |
| 2.1.4 | Резка ленточными пилами..... | 12 |
| 2.2 | Высокоэнергетические технологии резки..... | 13 |
| 2.2.1 | Лазерная резка..... | 13 |
| 2.2.2 | Гидроабразивная резка..... | 15 |
| 2.2.3 | Плазменная резка..... | 18 |
| 2.2.4 | Газовая резка..... | 25 |
| 2.3 | Сравнение технологических процессов резки..... | 27 |
| 3 | Передовые технологические процессы обработки металлов давлением..... | 29 |
| 3.1 | Точная штамповка..... | 29 |
| 3.2 | Гидроформовка..... | 30 |
| 3.3 | Ротационная штамповка..... | 31 |
| 3.4 | Изотермическая штамповка..... | 32 |
| 3.5 | Радиальная ковка..... | 35 |
| 3.6 | Штамповка обкатыванием..... | 36 |
| 3.7 | Штамповка взрывом..... | 38 |
| 3.8 | Электровысадка..... | 39 |
| 3.9 | Изостатическое прессование..... | 39 |
| 3.10 | Тиксоштамповка..... | 41 |
| 3.11 | Секционная штамповка..... | 42 |
| 3.12 | Сравнение технологических процессов ОМД..... | 43 |
| 4 | Прогрессивные технологии литья..... | 44 |
| 4.1 | Классификация литейных технологий..... | 44 |
| 4.2 | Литье в песчано-глинистые (земляные) формы..... | 44 |
| 4.3 | Технология вакуумно-пленочной формовки (ВПФ)..... | 45 |
| 4.4 | Литье в кокиль..... | 46 |
| 4.5 | Литье под давлением..... | 48 |
| 4.6 | Центробежное литье..... | 49 |
| 4.7 | Литье по выплавляемым моделям..... | 51 |

| | | |
|-------|----------------------------------------------------|----|
| 4.8 | Сравнение технологических процессов литья..... | 52 |
| 5 | Технологии порошковой металлургии..... | 53 |
| 6 | Технологии получения неразъемных соединений..... | 58 |
| 6.1 | Технологические процессы сварки..... | 58 |
| 6.1.1 | Электродуговая сварка в среде защитных газов..... | 59 |
| 6.1.2 | Лазерная сварка..... | 60 |
| 6.1.3 | Сварка электронным лучом..... | 62 |
| 6.1.4 | Плазменная сварка..... | 64 |
| 6.1.5 | Контактная сварка..... | 66 |
| 6.1.6 | Сварка трением..... | 67 |
| 6.1.7 | Сварка взрывом..... | 71 |
| 6.1.8 | Ультразвуковая сварка..... | 73 |
| 6.2 | Другие технологии получения неразъемных соединений | 75 |
| 6.2.1 | Пайка | 75 |
| 6.2.2 | Склеивание | 76 |
| 6.2.3 | Клепка | 76 |
| | Литература | 78 |

Введение

При конструировании и изготовлении машин и приборов, организации их эксплуатации и ремонта инженер в повседневной работе сталкивается с конструкционными материалами и их использованием. Для успешного решения многих практических задач необходимы сведения о современных способах получения и обработки материалов, их свойствах и рациональных областях применения.

Создание новых технологий всегда связано, с одной стороны, с возникновением у людей новых потребностей, а с другой стороны, с уровнем развития науки, который даёт возможность развивать технику. Например, бурное развитие техники в конце XX в. требовало использования всё большей энергии, а успехи атомной и ядерной физики XX в. открыли возможность для появления новых источников энергии.

1 Классификация технологических процессов обработки конструкционных материалов

Под технологическим процессом (технологией изготовления) понимают последовательное изменение формы, размеров, свойств материала или полуфабриката в целях получения детали или изделия в соответствии с заданными техническими требованиями. Каждый технологический процесс целесообразно использовать в определенном диапазоне показателей, обусловленном свойствами материала заготовки и инструмента и технологическими особенностями. При достижении критического уровня его дальнейшее использование становится невозможным по техническим причинам или нерентабельным по экономическим соображениям. Для оценки эффективности применения новых технологических процессов применяются явные базовые технико-экономические показатели, такие как:

- трудоемкость;
- производительность;
- себестоимость;
- материалоемкость;
- энергоемкость;
- качество продукции.

Кроме того, в последнее время при внедрении новых технологических процессов, особенно в странах западной Европы и Японии выходят неявные преимущества новых технологий, такие как:

- производственная безопасность технологического процесса;
- меньшее отрицательное влияние технологического процесса или изготавливаемого с его помощью продукта на окружающую среду. Наиболее яркий пример это производство новых типов автомобильных двигателей внутреннего сгорания, имеющих более высокую стоимость, но и более высокие показатели экологической безопасности;
- уменьшение сроков проектирования и внедрения в производство новых видов продукции;
- потенциал развития,
- долгоживучесть и гибкость технологии.

Технологические процессы, применяемые в различных отраслях производства, весьма разнообразны.

Для сравнения различных по своей природе и характеру воздействия на материал технологий наиболее целесообразна классификация технологических процессов по месту в хронологической последо-

вательности в общем производственном процессе изготовления продукции. По этому признаку все технологические процессы машиностроительных производств условно могут быть подразделены на несколько групп:

1) Заготовительные технологии, связанные с раскроем стандартного проката (сортамента) металлургических производств и типовых заготовок из неметаллических материалов.

2) Технологии предварительного формообразования, связанные с получением полуфабрикатов для последующей механической обработки. К данной группе, прежде всего, относятся литейные технологии, обработка металлов давлением, технологии изготовления полуфабрикатов методами порошковой металлургии.

3) Технологические процессы окончательного формообразования и механической обработки. Это, прежде всего, различные процессы механической обработки, электрохимические и электрофизические методы обработки, точная штамповка и порошковая металлургия.

4) Технологии упрочнения или получения особых поверхностных свойств материалов. К этим технологическим процессам относятся термическая и химико-термическая обработка, наплавка, нанесение покрытий.

5) Технологические процессы получения неразъемных соединений. К этой группе технологических процессов относятся технологии сварки, пайки, склеивания и клепки.

6) Технологические процессы улучшения декоративных качеств изделия. К данной группе можно отнести технологии окрашивания и нанесения декоративных покрытий методами напыления, химического и электрохимического осаждения.

Применение нового технологического процесса или материала при изготовлении продукции целесообразно, если происходит существенное улучшение технико-экономических показателей в рамках процессов одной группы. Наиболее перспективным результатом внедрения новой технологии является переход технологического процесса на более высокий уровень и уменьшение количества операций для получения готового изделия.

2 Современные технологии резки материалов

В настоящее время существует разнообразие различных способов разделения (раскроя) материалов. Обобщённо их можно разделить на два основных класса:

- механические;
- высокоэнергетические.

Каждый из них имеет свои особенности, достоинства и недостатки.

2.1 Механические способы резки металла

Для всех типов механической резки металла есть один общий недостаток — невозможность реза произвольного контура. Но при этом каждый из основных видов механических способов резки обладает и своими специфическими плюсами и минусами.

2.1.1 Резка ножницами с линейными ножами (прямой и наклонный рез)

Для разрезания металла применяют ножницы нескольких типов:

1. Ножницы с параллельными ножами. У этих ножниц режущие кромки параллельны друг другу, их применяют для поперечного разрезания горячего металла квадратного и прямоугольного сечения.

2. Ножницы с наклонными и криволинейными ножами. У этих ножниц режущие кромки расположены под некоторым углом одна к другой. Применяются для холодной и горячей резки листов, полос и т.д.; и для разрезания мелких профилей пачками;

3. Дисковые ножницы. У этих ножниц оба ножа имеют форму круглых дисков. Их применяют для обрезания кромки у листов и лент. Применяются также для продольного разрезания листа на ленты;

4. Летучие ножницы. Служат для разрезания движущегося металла поперек направления его движения.

5. Дисковые пилы.

Кроме ножниц, для резки металла применяют салазковые, маятниковые, рычажные, роторные, четырехзвенные и другие пилы разных конструкций.

По направлению реза различают ножницы трех основных видов:

- с верхним резом, у которых верхний нож подвижен, нижний — неподвижен;

- с нижним резом, у которых оба ножа подвижны, но резание осуществляется при движении нижнего ножа;
- с горизонтальным направлением реза.

По типу привода ножницы бывают с гидравлическим приводом (рис. 2.1, а) и электромеханическим (рис. 2.1, б).

По конструкции станины: ножницы закрытого типа (рис. 2.1, а и б), у которых станина расположена по обе стороны ножей (обычно ножницы более крупного размера), и ножницы открытого типа (рис. 2.1, в и г), у которых станина располагается с одной стороны ножей (ножницы малого размера).

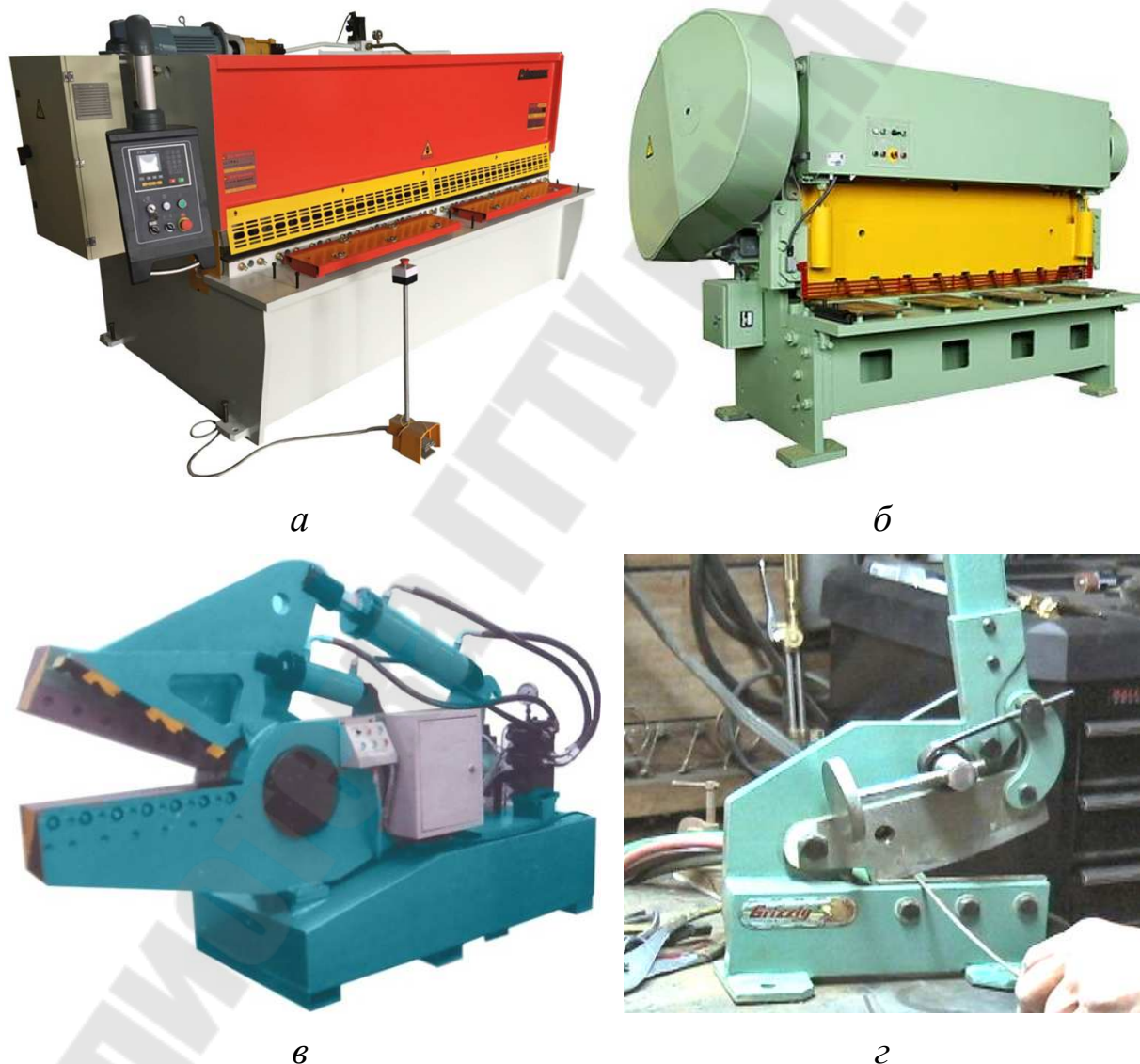


Рис. 2.1. Ножницы с линейными ножами: а – гидравлические; б – кривошипные; в – аллигаторные; г – ручные

Достоинства:

– высокая производительность из-за практически мгновенного реза;

– низкая стоимость работ.

Недостатки:

– невозможность изменения направления резки (только прямолинейная);

– изгиб заднего конца реза при криволинейной резке;

– ограничение на толщину разрезаемого материала (обычно до 20 мм).

2.1.2 Резка ножницами с дисковыми ножами

Дисковые (роликовые) ножницы – ручные или механизированные инструменты, или станки для раскроя рулонного или листового металла. Режущий инструмент – диск (или ролик) из быстрорежущей или закаленной стали. Различают также переносной инструмент и стационарное оборудование с ручным или электрическим приводом.

Раскрой осуществляется сдавливанием металла между дисковым ножом и опорной площадкой или между парой роликов, установленных друг напротив друга, при перемещении листа в горизонтальной плоскости.

По расположению режущего инструмента различают дисковые ножницы с наклонными ножами (рис. 2.2) и прямопоставленными. Первые выпускают с одним или двумя наклонными ножами.



Рис. 2.2. Ручные дисковые ножницы по металлу

По типу режущего инструмента различают следующие типы роликовых ножниц:

– с одним неподвижным диском и опорной площадкой;

- с одним вращающимся роликом и неподвижным контрножом;
- с двумя вращающимися дисками.

Ножницы с прямыми дисками применяют для прямолинейной резки. Инструменты или станки с наклонными дисками используют для криволинейного раскроя фасонных деталей и заготовок с непараллельными кромками.

Для изготовления крупных партий продукции из металлопроката применяют станки продольно-поперечной резки (рис. 2.3). Производительность такого оборудования намного выше стационарных и ручных дисковых ножниц. Выпускают также станки с несколькими парами дисков, оборудование предназначено для раскроя листа или рулона на несколько полос одновременно.



Рис. 2.3. Стационарные роликовые ножницы

Стационарные роликовые ножницы применяют для раскроя металлопроката в цеху или мастерской. Кроме того, дисковые ножи устанавливают в качестве дополнительной опции на станках продольно-поперечной резки.

Оборудование и инструмент с роликовым режущим инструментом занимает промежуточное положение между ручными ножницами с лезвиями и станками продольно-поперечной резки. Такие устройства применяют для небольших объемов работ по раскрою, обрезке деталей.

Применяется для продольной резки металла («роспуска») по заранее размеченным линиям, по кривой, а также для снятия фасок, обрезания заусенцев и при подготовке к сварке.

Достоинства:

- возможность контурной резки;

- высокая точность резки;
- высокое качество линии реза;
- простота и удобство использования.

Недостатки:

- малая толщина разрезаемого материала (не более 1,5-2 мм);
- низкая производительность.

2.1.3 Резка дисковыми пилами

Дисковые пилы (рис. 2.4) способны оставлять чистые края без шероховатостей. Но самое главное различие между дисковыми и ленточными пилами – это скорость пиления. Ленточная пила дает хорошее качество резки, но не может сравниться с производительностью дисковой пилы.



Рис. 2.4. Стационарная дисковая пила Геллера

Достоинства:

- точность – примерно 0,2-0,8 мм, в зависимости от диаметра диска;
- автоматизация производства.
- возможность многократной переточки;
- высокая производительность резки;
- рез под углом;
- высокое качество реза.

Недостатки:

- относительно низкая скорость резки;
- потеря металла за счёт линии реза (6-9 мм толщина пропила);
- ограничение на максимальную ширину пропила — не более 400 мм.

2.1.4 Резка ленточными пилами

Ленточнопильная резка (рис. 2.5), также как и резка дисковыми пилами, отличается от термических видов резки отсутствием эффекта оплавленности краёв, закалки разрезаемого материала. Это полезное свойство особенно важное для резки заготовок из углеродистых и некоторых видов нержавеющей сталей. Преимущество использования ленточной пилы заключается в выполнении точных разрезов материала. Кроме того, инструмент дает возможность резать кривые или изогнутые линии, как лобзик. Также ленточные пилы дешевле дисковых.



Рис. 2.5. Ленточнопильный станок

Дополнительные возможности резки ленточной пилой:

- режет большинство материалов малого и большого диаметра;
- высокая точность (отклонение в пределах 0,1 мм на 100 мм реза);
- небольшая потеря металла за счёт линии реза (1-2 мм толщина пропила);
- обеспечивает пакетную резку.

Преимущества:

- большая величина пиления, до 720 мм;
- высокое качество кромки;
- резка под углом (максимум 60°);
- работа с любыми сплавами и металлами;
- минимальные потери обрабатываемых материалов (1,5-3,0 мм толщина пропила).

Основной недостаток – ленточная пила является одноразовым инструментом.

2.2 Высокоэнергетические технологии резки

2.2.1 Лазерная резка

Лазерная резка (рис.2, б) это высокоэффективный способ обработки тонколистового металла, тонкостенных труб и других металлических заготовок. Процесс лазерной резки основан на *локальном испарении металла при нагреве его лучом лазера*. Легкость распространения лазерного луча позволяет производить обработку вне зависимости от пространственного расположения обрабатываемой поверхности. Лазерная резка нашла широкое применение в заготовительном производстве при резке тонких листов. При выпуске небольших партий продукции целесообразнее провести лазерный раскрой материала, чем изготавливать для этого дорогостоящие штампы.

Лазерная резка обеспечивает качественный, чистый безгратовый рез. Она обладает большей точностью по сравнению с плазменной резкой ($\pm 0,076$ мм). Кроме того, отклонение от перпендикулярности кромок при лазерной резке меньше, чем при плазменной. Существенным недостатком лазерной резки является низкий КПД самого лазера, что не позволяет обрабатывать листы толщиной более 40 мм. Кроме того, возникают сложности при обработке материалов с высокой отражающей способностью таких, как алюминий и алюминиевые сплавы или стали с зеркальной поверхностью. В тоже время лазерной резке можно подвергать деревянные заготовки, заготовки из оргстекла и пластмассы.

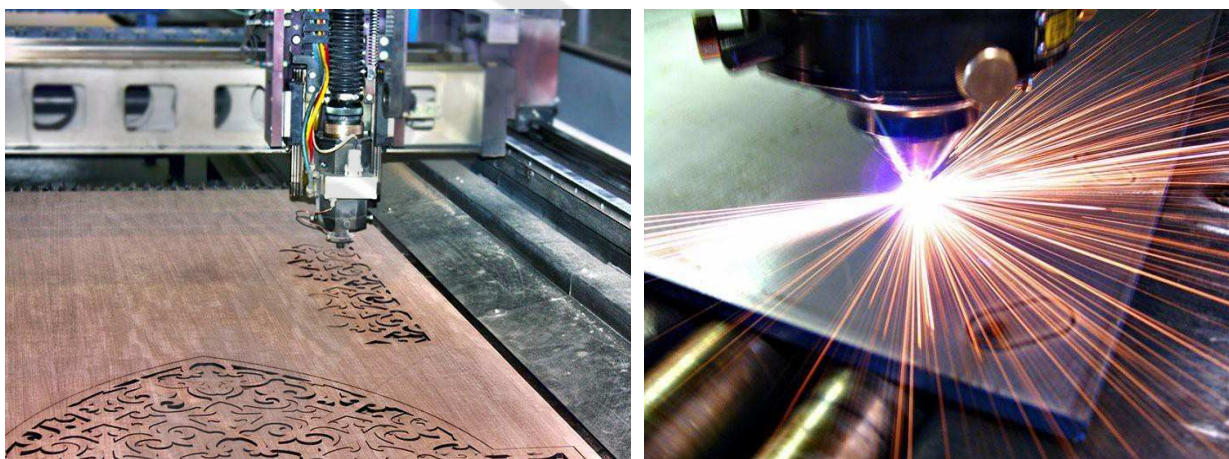


Рис. 2.6. Лазерная резка

Лазерный раскрой металла в отличие от альтернативных видов резания (штамповка, высечка) имеет следующие неоспоримые преимущества:

- лазерный раскрой - бесконтактный, не требующий приложения усилий при обработке заготовок;
- при лазерном раскрое возникает минимальная зона теплового воздействия, что обеспечивает отсутствие деформации заготовок;
- в связи с отсутствием шероховатостей резаных краев, наплавов и заусенцев дополнительная обработка при лазерном раскрое металла не требуется;
- скорость реза до 1000 мм/мин при толщине разрезаемого металла (сталь) до 10 мм.

На сегодняшний день одним из ключевых критериев выбора лазерной установки является принцип работы источника излучения:

1) CO₂-лазеры: когда формируется лазерный луч в резонаторе, используется смесь газов. Эта смесь может возбуждаться из-за большого напряжения. Благодаря чему обеспечивается эмиссия фотонов, которая генерирует лазерное излучение. После чего лазерный луч, который состоит из зеркал, передается по тракту в режущую головку.

Обычно мощность станков резки металлов CO₂-лазерами не превышает 6-8 кВт.

2) Оптоволоконные лазеры: Структура резонатора у таких станков намного проще, чем у предыдущих. Формирование луча происходит в активном волокне.

Волокно постоянно возбуждается за счет светового потока, который идет от диодов накачки. Далее, по транспортному волокну, луч попадает в режущую головку, где и выполняется фокусировка для раскроя требуемого металла.

Оптоволоконная технология достаточно новая. Мощность такого оборудования для лазерной резки легко масштабируется и на сегодняшний день может достигать 12 кВт.

Обрабатываемые материалы

Для лазерной резки подходит любая сталь любого состояния, алюминий и его сплавы, другие цветные металлы. Обычно применяют листы из таких металлов:

- сталь от 0,2 мм до 30 мм;
- нержавеющая сталь от 0,2 мм до 40 мм;
- алюминиевые сплавы от 0,2 мм до 25 мм;
- латунь от 0,2 мм до 12,5 мм;
- медь от 0,2 мм до 16 мм.

Для разных материалов применяют различные типы лазеров.

Достоинства:

- высокая скорость резки;
- работа с любыми металлами и сплавами;
- минимальная деформация;
- произвольная траектория и высокое качество реза;
- автоматизация работы.

Недостатки:

- низкий КПД установок, небольшая толщина реза;
- ограниченная толщина рабочего материала;
- высокая энергоёмкость и стоимость лазерных установок;
- высокая сложность эксплуатации и обслуживания оборудования.

2.2.2 Гидроабразивная резка

Гидроабразивная резка (ГАР) – вид обработки материалов резанием, где в качестве режущего инструмента вместо резца используется струя воды или суспензия абразивного материала в воде, выпускаемая с высокой скоростью и под высоким давлением. В природе подобный процесс, протекающий естественным образом, называется водной эрозией.

Процесс резки происходит в результате эрозионного воздействия на материал струи воды с твёрдыми абразивными частицами, подающейся под сверхвысоким давлением. На сегодняшний день технология ГАР по праву относится к числу наиболее динамично развивающихся способов раскрытия материалов и составляет серьёзную конкуренцию таким традиционным технологиям, как лазерная и плазменная резка, а также механообработка. Гидроабразивная струя по своим физическим характеристикам представляет собой идеальный режущий инструмент, не имеющий износа.

Диаметр струи может составлять 0,5 – 1,5 мм (в зависимости от типа используемых дюз и смешивающих трубок), благодаря чему отход обрабатываемого материала минимален, рез можно начинать в любой точке по контуру любой сложности. Отсутствие теплового и механического (деформирующего) воздействия – ещё одно достоинство ГАР, благодаря которому исходные физико-механические характеристики обрабатываемого материала остаются без изменений. Процесс гидроабразивной резки экологически чист и абсолютно пожаробезопасен, поскольку исключена вероятность горения / плавления материала и образования вредных испарений.

Для некоторых видов материалов – керамика, композиты, многослойные и сотовые конструкции - не существует технологии обработки, альтернативной ГАР. Впечатляющим является и диапазон обрабатываемых толщин: 0,1 мм – 300 мм.

В основе технологии гидроабразивной резки лежит принцип эрозионного воздействия смеси высокоскоростной водяной струи и твёрдых абразивных частиц на обрабатываемый материал (рис.2.7).

Физическая суть механизма гидроабразивной резки состоит в отрыве и уносе из полости реза частиц материала скоростным потоком твердофазных частиц. Устойчивость истечения и эффективность воздействия двухфазной струи (вода и абразив) обеспечиваются оптимальным выбором целого ряда параметров резки, включая давление и расход воды, а также расход и размер частиц абразивного материала.

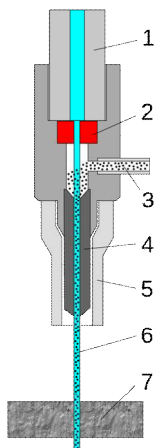


Рис. 2.7. Схема установки гидроабразивной резки: 1 – подвод воды под высоким давлением; 2 – сопло; 3 – подача абразива; 4 – смеситель; 5 – кожух; 6 – режущая струя; 7 – разрезаемый материал

Гидроабразивная резка позволяет обрабатывать *следующие материалы*:

- черные и цветные металлы – сталь, титан, медь, бронза, алюминий;
- материал типа «камень» – мрамор, гранит, керамика, фарфор; стекло – многослойное, обычное, термически упрочненное;
- другие материалы – графит, стекловолокно, композиционные материалы, кожа, пластмасса, кевлар.

Гидроабразивная резка является сегодня наиболее эффективным, гибким, экологически чистым и энергосберегающим методом. Кроме того, высокое качество поверхности реза позволяет применять данный вид технологии раскроя материала не только в заготовительном производстве, но и в области точного машиностроения.

При необходимости, возможно получения финишной поверхности с шероховатостью Ra 1,5-2,5 мкм при соответствующем подборе технологических параметров установки и скорости реза.

Одним из *основных ограничений* применения технологии гидроабразивной резки является необходимость постоянного притока воды. Таким образом, в помещении, где размещена установка гидроабразивной резки температура окружающего воздуха должна быть выше 10 С. Скорости резания некоторых материалов приведены на рисунке (рис.2.8).

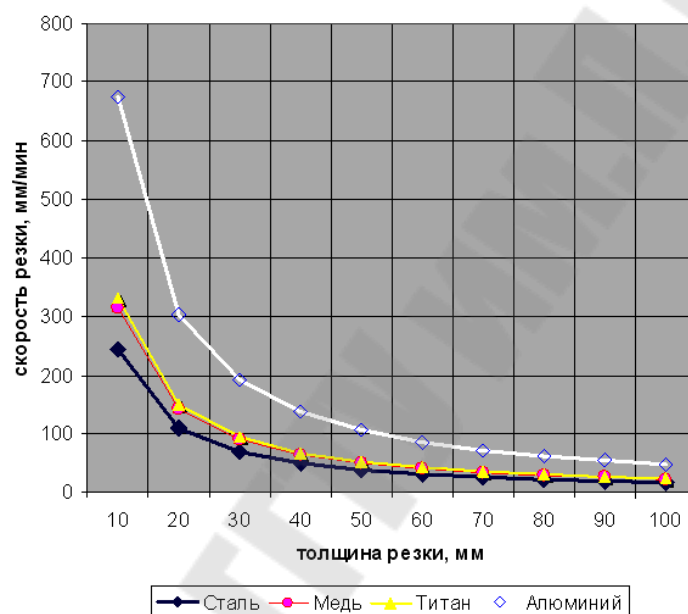


Рис. 2.8. Скорость резания некоторых материалов

Преимущества использования технологии гидроабразивной резки:

- холодная резка не оказывает термического влияния на разрезаемый материал;
- возможность работы с любыми материалами, а не только с металлами и их сплавами;
- высокая точность резки фасонных частей;
- малые потери материала в результате резки;
- возможность начать резание материала в любой его точке;
- плоскость реза, в большинстве случаев, не требует дальнейшей обработки;
- резка не требует специальных условий по охране окружающей среды, так как режущий материал - вода и абразив;

- высокое качество края реза;
- автоматизация работы и произвольная траектория реза;
- толщина рабочего материала до 300 мм.

Главными *недостатками* являются:

- высокая стоимость оборудования и относительно низкая скорость реза;
- недостаточно высокая скорость реза тонколистовой стали;
- ограниченный ресурс отдельных комплектующих и режущей головки;
- высокая стоимость абразива (расходный материал);
- коррозия металла.

2.2.3 Плазменная резка

Плазменная резка заключается в проплавлении разрезаемого металла за счет теплоты, генерируемой сжатой плазменной дугой, и интенсивном удалении расплава плазменной струей.

Технология плазменной резки

Плазма представляет собой ионизированный газ с высокой температурой, способный проводить электрический ток. Плазменная дуга получается из обычной в специальном устройстве – плазмотроне – в результате ее сжатия и вдувания в нее плазмообразующего газа.

Различают две схемы (рис.2.9):

- плазменно-дуговая резка;
- резка плазменной струей.

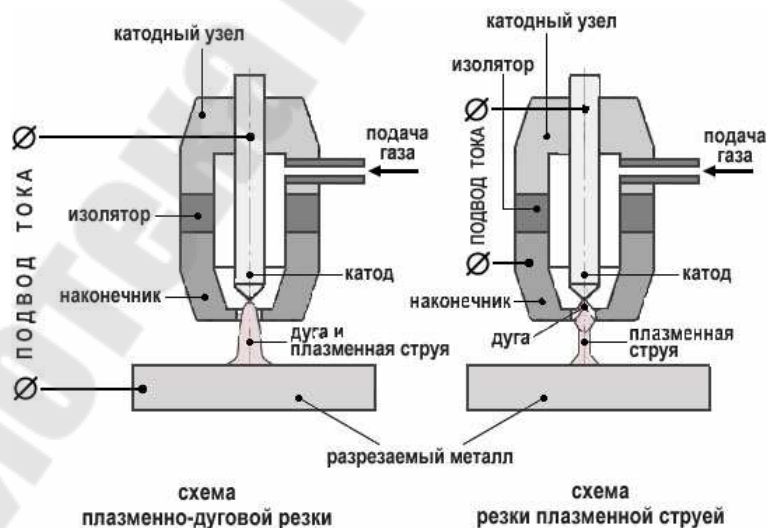


Рис. 2.9. Схемы плазменной резки

При **плазменно-дуговой резке** дуга горит между неплавящимся электродом и разрезаемым металлом (дуга прямого действия). Столб

дуги совмещен с высокоскоростной плазменной струей, которая образуется из поступающего газа за счет его нагрева и ионизации под действием дуги. Для разрезания используется энергия одного из приэлектродных пятен дуги, плазмы столба и вытекающего из него факела.

При **резке плазменной струей** дуга горит между электродом и формирующим наконечником плазмотрона, а обрабатываемый объект не включен в электрическую цепь (дуга косвенного действия). Часть плазмы столба дуги выносится из плазмотрона в виде высокоскоростной плазменной струи, энергия которой и используется для разрезания.

Плазменно-дуговая резка более эффективна и широко применяется для обработки металлов. Резка плазменной струей используется реже и преимущественно для обработки неметаллических материалов, поскольку они не обязательно должны быть электропроводными.

Более подробная схема плазмотрона для плазменно-дуговой резки приведена на рисунке ниже (рис.2.10).

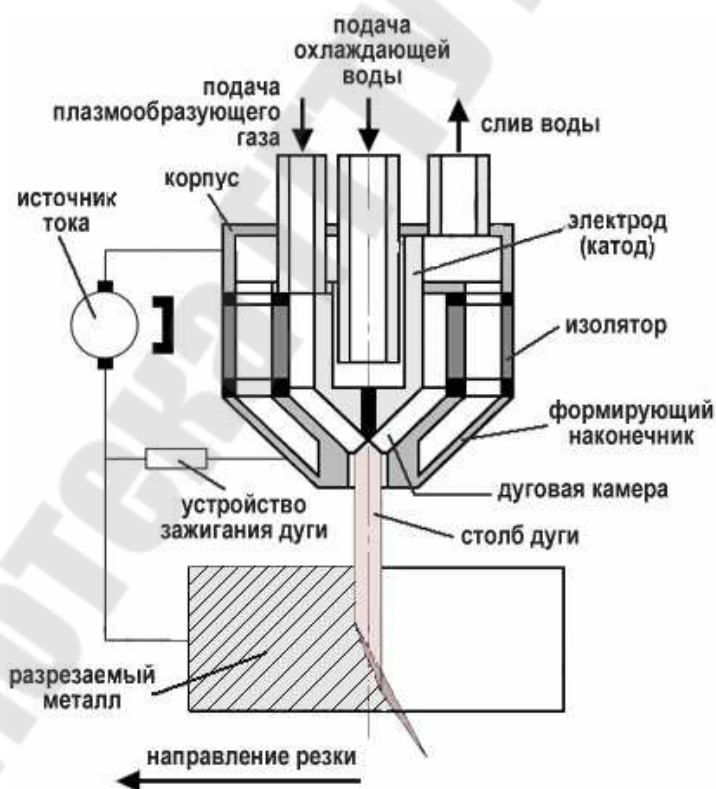


Рис. 2.10. Схема режущего плазмотрона

В корпусе плазмотрона находится цилиндрическая дуговая камера небольшого диаметра с выходным каналом, формирующим

сжатую плазменную дугу. Электрод обычно расположен в тыльной стороне дуговой камеры. Непосредственное возбуждение плазмогенерирующей дуги между электродом и разрезаемым металлом, как правило, затруднительно. Поэтому вначале между электродом и наконечником плазмотрона зажигается дежурная дуга. Затем она выдувается из сопла, и при касании изделия ее факелом возникает рабочая режущая дуга, а дежурная дуга отключается.

Столб дуги заполняет формирующий канал. В дуговую камеру подается плазмообразующий газ. Он нагревается дугой, ионизируется и за счет теплового расширения увеличивается в объеме в 50–100 раз, что заставляет его истекать из сопла плазмотрона со скоростью до 2–3 км/с и больше. Температура в плазменной дуге может достигать 25000–30000 °С.

Электроды для плазменной резки изготавливают из меди, гафния, вольфрама (активированного иттрием, лантаном или торием) и других материалов.

Скорость потока плазмы, удаляющего расплавленный металл, возрастает с увеличением расхода плазмообразующего газа и силы тока и уменьшается с увеличением диаметра сопла плазмотрона. Она может достигать около 800 м/с при силе тока 250А.

Плазмообразующие газы

Технологические возможности процесса плазменной резки металла (скорость, качество и др.), а также характеристики основных узлов плазмотронов определяются прежде всего плазмообразующей средой. Влияние состава плазмообразующей среды на процесс резки:

- за счет изменения состава среды возможно регулирование в широких пределах количества тепловой энергии, выделяющейся в дуге, поскольку при определенной геометрии сопла и данном токе состав среды задает напряженность поля столба дуги внутри и вне сопла;

- состав плазмообразующей среды оказывает наибольшее влияние на максимально допустимое значение отношения тока к диаметру сопла, что позволяет регулировать плотность тока в дуге, величину теплового потока в полости реза и, таким образом, определять ширину реза и скорость резки;

- от состава плазмообразующей смеси зависит ее теплопроводность, определяющая эффективность передачи разрезаемому листу тепловой энергии, выделенной в дуге;

– в ряде случаев весьма значительной оказывается добавка тепловой энергии, выделившейся в результате химического взаимодействия плазмообразующей среды с разрезаемым металлом (она может быть соизмерима с электрической мощностью дуги);

– плазмообразующая среда при взаимодействии с выплавляемым металлом дает возможность изменять его вязкость, химический состав, величину поверхностного напряжения;

– подбирая состав плазмообразующей среды, можно создавать наилучшие условия для удаления расплавленного металла из полости реза, а также предотвратить образование подплывов на нижних кромках разрезаемого листа или делая их легко удаляемыми;

– от состава среды (табл. 2.1) зависит характер физико-химических процессов на стенках реза и глубина газонасыщенного слоя, поэтому для определенных металлов и сплавов некоторые плазмообразующие смеси недопустимы (например, содержащие водород и азот в случае резки титана); диапазон допустимых смесей также сужается с увеличением толщины разрезаемых листов и теплопроводности материала.

Таблица 2.1

Наиболее распространенные плазмообразующие газы

| Газ | Обрабатываемый металл | | |
|--------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------|
| | Алюминий, медь и сплавы на их основе | Коррозионно-стойкая сталь | Углеродистая и низколегированная сталь |
| Сжатый воздух | Для заготовительной машинной резки | Для экономичной ручной и машинной резки | |
| Кислород | Не рекомендуется | – | Для машинной резки повышенного качества |
| Азотно-кислородная смесь | Не рекомендуется | Для машинной резки с повышенной скоростью | |
| Азот | Для экономичной ручной и машинной резки | Для ручной и полуавтоматической резки | – |
| Аргоно-водородная смесь | Для резки кромок повышенного качества | Не рекомендуется | |

От состава плазмообразующей среды зависят и характеристики оборудования:

– материал катода и конструкция катодного узла (способ крепления катода в плазмотроне и интенсивность его охлаждения);

– конструкция системы охлаждения сопел;

– мощность источника питания, а также форма его внешних статических характеристик и динамические свойства;

– схема управления оборудованием, поскольку состав и расход плазмообразующего газа полностью определяют циклограмму формирования рабочей дуги.

При выборе плазмообразующей среды также важно учитывать себестоимость процесса и дефицитность используемых материалов. Наиболее привлекательной по себестоимости является воздушно-плазменная резка, режимы которой представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2

Ориентировочные режимы воздушно-плазменной резки металла

| Разрезаемый материал | Параметры режима | | | | | | |
|----------------------|------------------|--------------------|---------------|----------------|------------------------|------------------------|--------------------------|
| | Толщина (мм) | Диаметр сопла (мм) | Сила тока (А) | Напряжение (В) | Расход воздуха (л/мин) | Скорость резки (м/мин) | Средняя ширина реза (мм) |
| Алюминий | 5–15 | 2 | 120–200 | 170–180 | 70 | 2–1 | 3 |
| | 30–50 | 3 | 280–300 | 170–190 | 40–50 | 1,2–0,6 | 7 |
| Медь | 10 | 3 | 300 | 160–180 | 40–60 | 3 | 3 |
| | 20 | | | | | 1,5 | 3,5 |
| | 30 | | | | | 0,7 | 4 |
| | 40 | | | | | 0,5 | 4,5 |
| | 50 | | | | | 0,3 | 5,5 |
| | 60 | 0,4 | 6,5 | | | | |
| Сталь 12Х18Н10Т | 5–15 | 3 | 250–300 | 140–160 | 40–60 | 5,5–2,6 | 3 |
| | 10–30 | | | 160–180 | | 2,2–1 | 4 |
| | 31–50 | | | 170–190 | | 1–0,3 | 5 |

Воздушно-плазменной резка происходит с применением воздуха в качестве плазмообразующей среды называется.

Техника плазменной резки металла

Плазменная резка экономически целесообразна для обработки:

- алюминия и сплавов на его основе толщиной до 120 мм;
- меди толщиной до 80 мм;
- легированных и углеродистых сталей толщиной до 50 мм;
- чугуна толщиной до 90 мм.

Резак располагают максимально близко к краю разрезаемого металла. После нажатия на кнопку выключателя резака вначале зажигается дежурная дуга, а затем режущая дуга, и начинается процесс резки. Расстояние между поверхностью разрезаемого металла

и торцом наконечника резака должно оставаться постоянным. Дугу нужно направлять вниз и под прямым углом к поверхности разрезаемого листа. Резак медленно перемещают вдоль планируемой линии разреза. Скорость движения необходимо регулировать таким образом, чтобы искры были видны с обратной стороны разрезаемого металла. Если их не видно с обратной стороны, значит металл не прорезан насквозь, что может быть обусловлено недостаточным током, чрезмерной скоростью движения или направленностью плазменной струи не под прямым углом к поверхности листа.

Для получения чистого разреза (практически без окалины и деформаций разрезаемого металла) важно правильно подобрать скорость резки и силу тока. Для этого можно выполнить несколько пробных разрезов на более высоком токе, уменьшая его при необходимости в зависимости от скорости движения. При более высоком токе или малой скорости резки происходит перегрев разрезаемого металла, что может привести к образованию окалины.

Плазменная резка алюминия и его сплавов толщиной 5–20 мм обычно выполняется в азоте, толщиной от 20 до 100 мм – в азотно-водородных смесях (65–68% азота и 32–35% водорода), толщиной свыше 100 мм – в аргоно-водородных смесях (35–50% водорода) и с применением плазматронов с дополнительной стабилизацией дуги сжатым воздухом. При ручной резке в аргоно-водородной смеси для обеспечения стабильного горения дуги содержание водорода должно быть не более 20%.

Воздушно-плазменная резка алюминия, как правило, используется в качестве разделительной при заготовке деталей для их последующей механической обработки. Хорошее качество реза обычно достигается лишь для толщин до 30 мм при силе тока 200 А.

Плазменная резка меди может осуществляться в азоте (при толщине 5–15 мм), сжатом воздухе (при малых и средних толщинах), аргоно-водородной смеси. Поскольку медь обладает высокой теплопроводностью и теплоемкостью, для ее обработки требуется более мощная дуга, чем для разрезания сталей. При воздушно-плазменной резке меди на кромках образуются легко удаляемые излишки металла (грат). Резка латуни происходит с большей скоростью (на 20–25%), с использованием таких же плазмообразующих газов, что и для меди.

Плазменная резка высоколегированных сталей эффективна только для толщин до 100 мм (для больших толщин используется

кислородно-флюсовая резка). При толщине до 50–60 мм могут применяться воздушно-плазменная резка и ручная резка в азоте, при толщинах свыше 50–60 мм – азотно-кислородные смеси.

Резка нержавеющей стали толщиной до 20 мм может быть выполнена в азоте, толщиной 20–50 мм – в азотно-водородной смеси (50 % азота и 50 % водорода). Также возможно использование сжатого воздуха.

Плазменная резка низкоуглеродистых сталей наиболее эффективна в сжатом воздухе (особенно для толщин до 40 мм). При толщинах свыше 20 мм разрезание может осуществляться в азоте и азотно-водородных смесях.

Для **резки углеродистых сталей** используют сжатый воздух (как правило, при толщинах до 40–50 мм), кислород и азотно-кислородные смеси.

Достоинства (в сравнении с газовой резкой):

- значительно выше скорость резки металла малой и средней толщины;

- универсальность применения – плазменная резка используется для обработки сталей, алюминия и его сплавов, меди и сплавов, чугуна и др. материалов;

- точные и высококачественные резы, при этом в большинстве случаев исключается или заметно сокращается последующая механическая обработка. Минимальные показатели нагрева смежных участков заготовки. Это значит, что поверхность вокруг не нагревается. Благодаря этому заметно снижается количество деформаций материала. К тому же, до деталей вполне можно дотрагиваться руками и даже поворачивать их. Главное, использовать перчатки;

- экономичность воздушно-плазменной резки – нет потребности в дорогостоящих газах (ацетилене, кислороде, пропан-бутане);

- возможность вырезать детали сложной формы;

- очень короткое время прожига (при кислородной резке требуется продолжительный предварительный прогрев). Особенно актуально для тех ситуаций, когда резку начинают не от края листа, а с середины. Так, например, при работе с заготовкой толщиной в 15 мм, плазменная резка справится с задачей за 2 с, а газовому резаку понадобятся все 30 с.;

- более безопасная, поскольку отсутствуют взрывоопасные баллоны с газом;

– достаточная простота эксплуатации. Если при работе с газовыми резаками требуются тонкие настройки подачи газа, а потом и регулировка пламени, то плазматроном пользоваться куда удобнее. Достаточно всего лишь нажать на одну кнопку, и можно выполнять рез.

– отсутствие необходимости в предварительной подготовке металла. Листовой прокат совсем не обязательно заранее очищать от грязи или ржавчины;

– возможность автоматизировать процесс. Для этого, правда, придется купить специальную установку. Но на крупных производствах, часто и много занимающихся раскроем металла, это скорее необходимость, нежели просто прихоть;

– низкий уровень загрязнения окружающей среды.

Недостатки (в сравнении с газовой резкой):

– максимальная толщина реза обычно составляет 80–100 мм;

– более дорогое и сложное оборудование;

– повышенные требования к техническому обслуживанию;

– угол отклонения от перпендикулярности реза не должен превышать 10–50° в зависимости от толщины детали (в противном случае существенно расширяется рез, что приводит к быстрому износу расходных материалов);

– повышенный шум вследствие истечения газа из плазматрона с околосвуковыми скоростями;

– для уменьшения разрезаемое изделие погружают в воду;

– необходимость подключения к сети электропитания.

– сложности с резкой под углом, отличным от прямого. На такие работы способны только достаточно дорогие плазматроны.

2.2.4 Газовая резка

Резка металла газом широко применяется как в быту, так и на производстве. Она не заменима там, где необходима раскройка толстого металла, а также при демонтаже металлических конструкций, утилизации механизмов, обрезке прибылей у литых деталей и разделке поковок.

Оборудование для газосварочной резки отличается своей сравнительной простотой и невысокой стоимостью. Плюс к этому нет необходимости в электричестве, а значит проводить работы можно даже в полевых условиях.

Технология газовой резки металла

В основе процесса газосварочной резки (рис. 2.11) лежит экзотермическая окислительная реакция. Используется два разных газа. Чаще всего это пропан (вместо него может применяться ацетилен и т.п.) и кислород. Сначала подаётся их смесь, которая, сгорая, нагревает изделие в месте реза до необходимой температуры (1000-1200°C). Затем вспомогательный газ перекрывается, а в дело вступает чистый кислород. Вырываясь из сопла горелки под высоким давлением, он вступает в реакцию с разогретым материалом. Металл окисляется и сгорает. Сила направленной газовой струи выдувает оставшиеся после горения окислы. Так образуется срез.

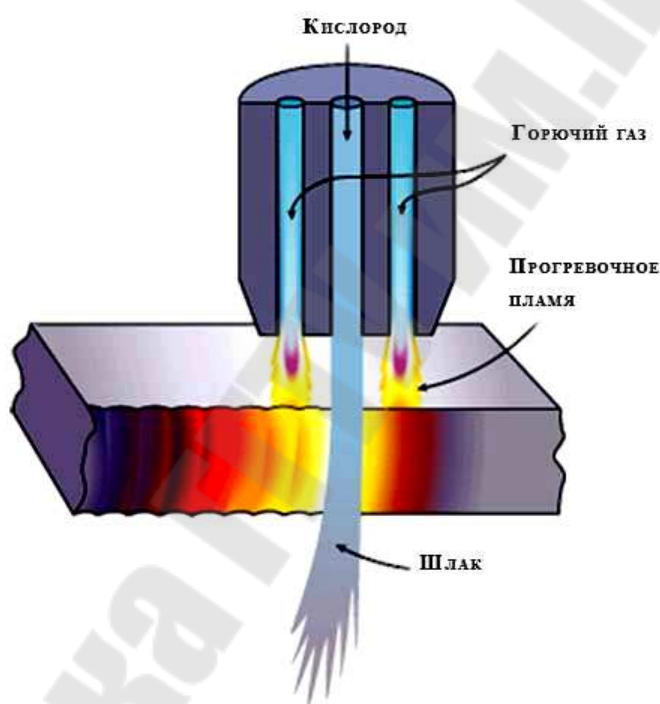


Рис. 2.11. Схема газовой резки

Если горелка ведётся непрерывно, нет надобности в предварительном подогреве каждого нового участка или слоя металла. Активное горение приводит к сильному выделению тепла, которое распространяется на близлежащую поверхность и доводит её до нужной температуры. Это значит, что дальнейшая подача подогревающего газа не требуется. Весь процесс резки после первого прогрева выполняется одним кислородом.

Остановимся подробнее на ручной газовой резке металла. По характеру реза она делится на три типа:

1. Разделительная резка. Используется при отрезании частей обрабатываемой детали.

2. Поверхностная газовая резка толстого металла.

3. Прожигание кислородным копьем применяют для формирования отверстий.

Существуют несколько технологий. Их применение напрямую зависит от условий газовой резки. Приведём три наиболее распространённые:

1. Кислородно-пропановая резка применяется для работы с низкоуглеродистыми и низколегированными сталями. Вместо пропана могут использоваться другие газы: метан, бутан, ацетилен и пр.

2. Кислородно-флюсовая резка незаменима при обработке твёрдых сплавов и чугуна. В процессе используется специальный порошок – флюс. Он способствует повышению температуры, снижает тугоплавкость материала и оказывает абразивное воздействие, помогая кислороду вымывать окислы.

3. Воздушно-дуговая резка – это комбинированный способ. Металл плавится электрической дугой, а вымывается газовой струёй.

Преимущества:

- возможность работы с деталями из толстого металла;
- нет зависимости от источника электроэнергии и заземлении;
- возможность выполнить рез по любой траектории;
- экономичность и невысокая цена оборудования.

Недостатки:

- невозможен рез высокоуглеродистых сталей ($\geq 0,8\%$);
- низкое качество реза;
- с глубиной реза увеличивается и его ширина;
- низкая точность реза (отклонения до 5-10 мм);
- ограничение на используемые материалы;
- термические деформации при работе с тонкими изделиями;
- взрывоопасность.

2.3 Сравнение технологических процессов резки

Сравнение рассмотренных технологий резки может быть произведено по следующим критериям:

- скорость резания;
- максимальной толщине материала;
- качеству поверхности реза;

- точности получаемого изделия;
- стоимости технологического оборудования, сложности эксплуатации и обслуживания.

Эти показатели представлены в таблице 2.3.

Таблица 2.3

Основные технологические показатели оборудования для резки листовых материалов

| Вид резки | Скорость реза при толщине 10 мм, м/мин | max толщина реза, мм | Качество реза Ra, мкм | Точность, мм | Стоимость оборудования, у.е. |
|---------------------|----------------------------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------------|
| Линейными ножницами | мгновенная | 20 | 1-3 | 0,1-0,5 | 10 000 -50 000 |
| Дисковыми пилами | 0,5-3 | 400 | 5-10 | 0,2-0,8 | 1 000 -10 000 |
| Ленточными пилами | 0,2 | 720 | 1-5 | 0,1 мм на 100 мм реза | 5 000 -15 000 |
| Лазерная | 1 | 20-40 | 5-12 | ±0,075 | 200 000 -250 000 |
| Гидроабразивная | 0,3 | 300 | 1,5-2,5 | ±0,05 | 150 000 -200 000 |
| Плазменная | 0,5-5 | 50-150 | 10-20 | 0,1-0,5 | 100 000 -150 000 |
| Газовая | 0,5-5 | не ограничена | плохое | 5-10 | 300 -1 000 |

Наибольшее распространение среди систем раскроя листовых материалов получила лазерная резка. Широкое распространение обусловлено двумя факторами - более раннему появлению и серийным выпуском лазерных технологических комплексов.

Плазменная резка обладает наивысшими характеристиками производительности, однако качество реза хуже, чем при лазерной и гидроабразивной резке. Эта технология применяется для резки толстолистовых материалов и является менее распространенной.

Наиболее перспективной технологией является гидроабразивная резка. Обладая меньшей производительностью, она позволяет получать рез высокого качества, при этом не оказывая термического воздействия на материал заготовки. Использование ГАР позволяет отказаться от ряда операций механической обработки, что значительно снижает издержки. Недостаточное распространение данной технологии обусловлено ее сравнительной новизной и отсутствием на рынке оборудования отечественного производства.

3 Передовые технологические процессы обработки металлов давлением

Уровень использования технологических процессов обработки металлов давлением (ОМД) в технологических процессах машиностроительных производств в значительной мере определяет уровень развития машиностроения. Изготовление деталей с использованием технологических операций, связанных с реализацией пластической деформации материала позволяет минимизировать количество отходов и соответственно уменьшить материалоемкость продукции. Операции ОМД более производительны по сравнению с обработкой материалов резанием, качество и механические свойства деталей, полученных по технологии ОМД выше.

3.1 Точная штамповка

Точная штамповка применяется в основном для изготовления деталей из легких металлов (алюминия, титана), используемых в аэрокосмической отрасли. Высокая точность достигается благодаря использованию штамповых вставок, повышенной точности гравюр штампов, тщательному контролю температуры и давления в процессе штамповки, а также за счет модификации конструкций штампов. Точная штамповка позволяет получать поковки (рис. 3.1), которые по форме и размерам приближаются к готовым деталям, что позволяет свести к минимуму последующую обработку резанием.



Рис. 3.1. Детали, получаемые точной штамповкой

Коэффициент использования металла может быть доведен до 98 %. *Основной проблемой* возникающей при реализации технологии являются повышенные требования к точности изготовления технологической оснастки и наличие современного кузнечно-штампового оборудования с высокой точностью регулировки рабочих параметров.

Суть процесса заключается в деформации только части заготовки за серию ходов пресса. Этот процесс аналогичен обжатию при ковке слитка, толстого листа и т.п., но при этом используется штамп с полостью. Данная технология в основном применяется для изготовления больших деталей из высокотемпературных сплавов. Площадь таких деталей может достигать нескольких тысяч квадратных миллиметров, что при традиционной штамповке требует наличие пресса значительной силы. Оборудование, необходимое для операций секционной штамповки может обладать на порядок меньшей мощностью.

В настоящий момент с помощью этой технологии за рубежом изготавливают большие осесимметричные детали стационарных газовых турбин (“Wyman-Gordon Company” и “Alcoa Forged Products”) и различные конструктивные элементы для самолета F-18 (производства “Alcoa Forged Products”).

3.2 Гидроформовка

В настоящее время процессы гидроформовки получили наибольшее применение в автомобилестроении, но они могут быть эффективными и в производстве фитингов, насосов и гидроарматуры, а так же других пустотелых деталей Г, П и S-образных форм, домашней техники, мебели и т.д (рис. 3.2). Повышенный интерес к данному процессу объясняется, в частности, тем, что он *позволяет совмещать во времени различные операции деформирования* (гибку, раздачу, осадку, пробивку, калибровку полостей и т.д.).

По сведениям, приведенным в справочнике фирмы “Schuler”, на примере изготовления выхлопной системы автомобиля с применением гидроформовки, число деталей в системе снизилось с 17 до 9, стоимость изготовления уменьшилась на 15 %, время надежной работы увеличилось с 1000 до 1500 ч и более. Уменьшилось число соединений, и появилась возможность изготовления деталей более сложных форм. Фирме “Daimler Chrysler” благодаря применению гидроформовки удалось снизить массу выхлопной системы почти в 2 раза.



Рис. 3.2. Детали, получаемые гидроформовкой

Технология гидроформовки может эффективно применяться вместо литья. В связи со сложностью конструкции и большой массой штампов для выполнения гидроформовки применение их на традиционных гидропрессах весьма затруднительно. Для этого существует очень сложное современное оборудование.

3.3 Ротационная штамповка

Ротационная (орбитальная) штамповка это процесс, при котором в непрерывном режиме деформируется только небольшая часть заготовки. Оси верхнего и нижнего штампов имеют между собой небольшой угол, что обуславливает небольшую площадь пятна контакта. От этого угла зависят как контактная площадь, так и величина прикладываемой силы. Вследствие вращения штампов пятно контакта проходит через всю заготовку, в результате чего достигается требуемая конечная форма.

Ротационная прокатка позволяет получать изделия типа конусов, днищ цистерн и резервуаров (рис.3.3, а). Инструментом в таких машинах (рис.3.3, б) являются приводные и не приводные эджерные головки, которые при вращении формируют конфигурацию изделия (рис.3.3, в).

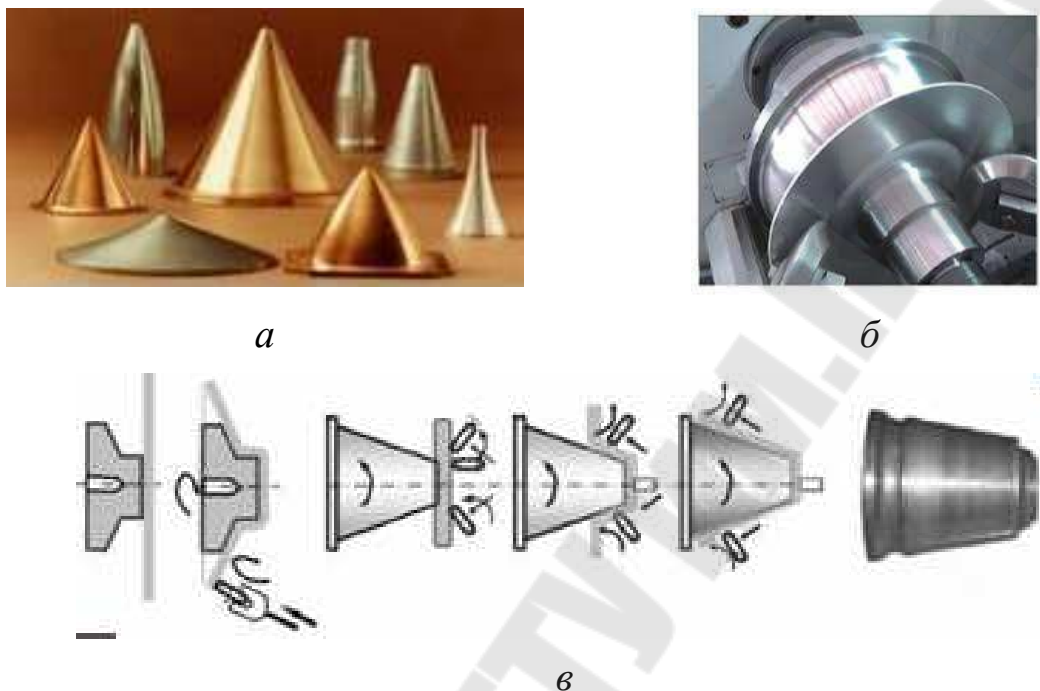


Рис. 3.3. Детали и инструмент ротационной штамповки

Силы, затрачиваемые на реализацию данного способа, примерно на порядок меньше, чем при обычной штамповке. Это *позволяет изготавливать сложные детали с большей точностью.*

Преимуществом процесса является точечное приложение внешней нагрузки, что по сравнению с традиционными процессами штамповки снижает деформирующее усилие, а характер ее приложения (сжатие по толщине стенки) существенно повышает пластические свойства материала. Это дает возможность деформировать в холодном состоянии многие малопластичные металлы и сплавы. Другим преимуществом ротационной обработки является эффективность ее использования в опытном и мелкосерийном производстве из-за резкого сокращения номенклатуры технологической оснастки.

3.4 Изотермическая штамповка

Идея изотермической штамповки и возникла во второй половине XX века для удовлетворения потребностей, прежде всего авиаци-

онной промышленности, в поковках с развитой поверхностью, тонкими полотнами и узкими ребрами и замкнутой волокнистой структурой, для изготовления деталей из высокопрочных сплавов (панелей, корпусов, фитингов, лопаток ГТД и др.). Получать такие поковки высокого качества традиционными методами штамповки оказалось затруднительным или невозможным.

Изотермическая штамповка и штамповка в горячих штампах – это процессы, при которых температура штампа или равна температуре заготовки (изотермическая штамповка) или близка к ней (штамповка в горячих штампах). Данные процессы в основном применяются для изготовления изделий из дорогостоящих материалов, таких как титан и сплавы на основе никеля, которые при температуре горячей обработки приобретают мелкозернистую стабильную двухфазную структуру, что обуславливает их склонность к сверхпластичности. Благодаря однородной мелкозернистой структуре изотермическая штамповка в условиях сверхпластичности *позволяет* получить деталь за один переход, что позволяет в 2-5 раз снизить расход материала, на 25-30% уменьшить трудоемкость механической обработки, до 0.8 повысить коэффициент необрабатываемых поверхностей, заметно повысить надежность и ресурс изделий.

Полное (или частичное) отсутствие охлаждения штампа позволяет сузить допуски, а в сочетании со сверхпластичностью обрабатываемых материалов – уменьшить необходимое количество переходов и ручьев штампа. В связи с отсутствием охлаждения штампа можно осуществлять штамповку с меньшей скоростью деформации и использовать менее скоростное и менее мощное оборудование.

Для штамповки применяют специальные штампы, оснащенные изотермическим блоком. Штамп работает следующим образом (рис. 3.4). Нижний 6 и верхний 8 штампы прикрепляют соответственно к штамподержателям 5 и 9, связанным через теплоизолирующие прокладки 3 и 10 с опорными плитами 1 и 11. Теплоизоляция штампового блока состоит из прокладок 3 и 10 и нижнего неподвижного 2 и верхнего подвижного 12 кожухов. При перемещении ползуна пресса вверх кожух 12 не выходит из кожуха 2, что предотвращает нарушение теплоизоляции рабочей зоны. Штампы нагревают индукторами 4. Заготовки 7 загружают, а штампованные поковки удаляют через специальное окно 13 в кожухе 2. Конструкция штампового блока позволяет нагревать инструмент до температуры деформации с минимальными затратами энергии.

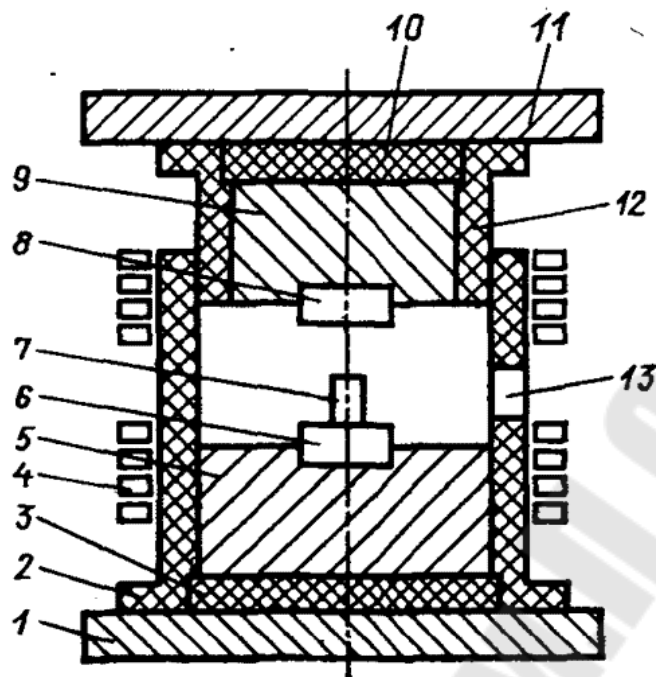


Рис. 3.4. Принципиальная схема штампового блока для изотермической штамповки: 1 - нижняя опорная плита; 2 - нижний подвижный кожух; 3 - нижняя прокладка; 4 - индуктор; 5 - нижний штамподержатель; 6 - нижний штамп; 7 - заготовка; 8 - верхний штамп; 9 - верхний штамподержатель; 10 - верхняя прокладка; 11 - верхняя опорная плита; 12 - кожух; 13 - окно

Для горячей изотермической штамповки применяют специальные установки, совмещающие системы нагрева инструмента с устройством для теплоизоляции штампов и штампового пространства, терморегулирования для стабилизации температуры нагретого инструмента и охлаждения. Основным элементом установки является штамповый блок с нагревательным устройством, который монтируется в рабочем пространстве прессы. Инструмент нагревают индукторами, элементами электросопротивления или газовыми горелками.

Особенности горячего деформирования в изотермических условиях предъявляют определенные требования к конструкции и материалам штамповой оснастки и деформирующему оборудованию. На практике для осуществления изотермической штамповки необходимо:

- нагревать инструмент до высокой температуры (400-1100 °С, в зависимости от обрабатываемого сплава) и поддерживать ее постоянной в течение процесса штамповки;
- обеспечивать работоспособность штамповой оснастки в условиях продолжительного пребывания при температуре деформации;

– обеспечивать надежную теплоизоляцию рабочих частей прессы от нагретого до высокой температуры инструмента.

3.5 Радиальная ковка

Радиальная ковка – это технология, чаще всего используемая для производства осесимметричных деталей, например оружейных стволов, причем в канале ствола точно воспроизводится нарезка, сделанная на оправке, а также для производства бесшовных кованных труб, полых судовых валов, валов электродвигателей и др.

Технология реализуется на машинах радиальнойковки, имеющих три, четыре или шесть бойков. Деформация заготовок осуществляется в холодном или горячем состоянии.

При штамповке на радиально-ковочных машинах (РКМ) свободное течение металла, наблюдаемое при обычных способахковки между двумя поверхностями, устраняется с помощью четырех бойков, обеспечивающих создание сжимающих напряжений в очаге деформации заготовки (рис. 3.5). Эти напряжения предотвращают образование поверхностных трещин в процессековки.

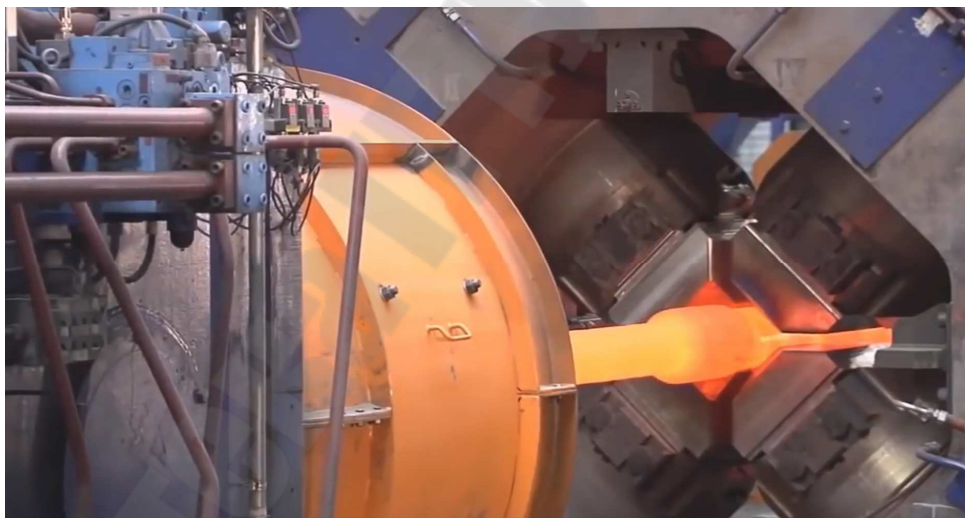


Рис. 3.5. Радиально-ковочная машина

Особенности нагружения заготовки (обработка одновременно четырьмя бойками с частотой 150 - 2000 ударов в минуту) позволяют изготавливать на РКМ поковки из малопластичных и труднодеформируемых сталей, из титана, его сплавов и других материалов, обрабатывать которые на традиционном кузнечно-штамповочном оборудовании трудно или невозможно.

Радиальное обжатие, осуществляемое на сравнительно малых участках длины заготовки, характеризуется перемещением небольших объемов металла. Прерывистое или пульсирующее приложение усилий по сравнению с непрерывным нагружением позволяет снизить сопротивление деформированию в 2,5 - 3 раза, т. е. более полно использовать пластические свойства обрабатываемого материала в условиях схемы напряженного состояния всестороннего сжатия. Технологияковки на РКМ позволяет применять ЧПУ и создавать автоматизированное производство, увеличивать производительность по сравнению с производительностью высокоскоростных гидравлических прессов и молотов; обеспечивать высокую точность поковок, значительно снижать припуски на механическую обработку.

Широкое распространение горизонтально-ковочных машин в различных отраслях промышленности обусловлено следующими их *преимуществами*:

- высокой производительностью при изготовлении относительно небольших партий;
- экономичным расходом металла;
- высокой точностью получаемых поковок, что в сочетании с малыми припусками и уклонами обеспечивает незначительные отходы при дальнейшей обработке на металлорежущих станках;
- широкими технологическими возможностями по которым они близки к автоматам для горячей объемной штамповки;
- возможностью проведения автоматизации штамповки при изготовлении крупных партий однотипных деталей структура и механические свойства изделия.

Данная технология обеспечивает экономию металла 30...50 %, по сравнению с технологией, использующей сверление; уменьшение технологических усилийковки в 2...4 раза, уменьшения трудоемкости изготовления полых изделий.

3.6 Штамповка обкатыванием

Важнейшие отрасли промышленности (ракетно-космическая, авиационная, энергетическая, оборонная, транспортная и др.) потребляют большое количество *тонких плоских деталей типа дисков, фланцев, колес, тарельчатых пружин диаметрами до 1500 мм и более*. В настоящее время такие детали штампуют на тяжелых молотах, крупных гидравлических и кривошипных горячештамповочных прессах, например, диски авиационных турбин из жаропрочных

сталей штампуют на паровоздушных молотах с массой падающих частей 16 000 кг и более за 200 ударов при пяти-семи промежуточных подогревах. Таким образом, требуется оборудование большой мощности.

Эффективное решение проблемы штамповки деталей типа дисков и фланцев может быть обеспечено только при переходе на принципиально новую технологию штамповки с обкатыванием (рис. 3.6), которая объединяет в единое целое процессы штамповки и прокатки.

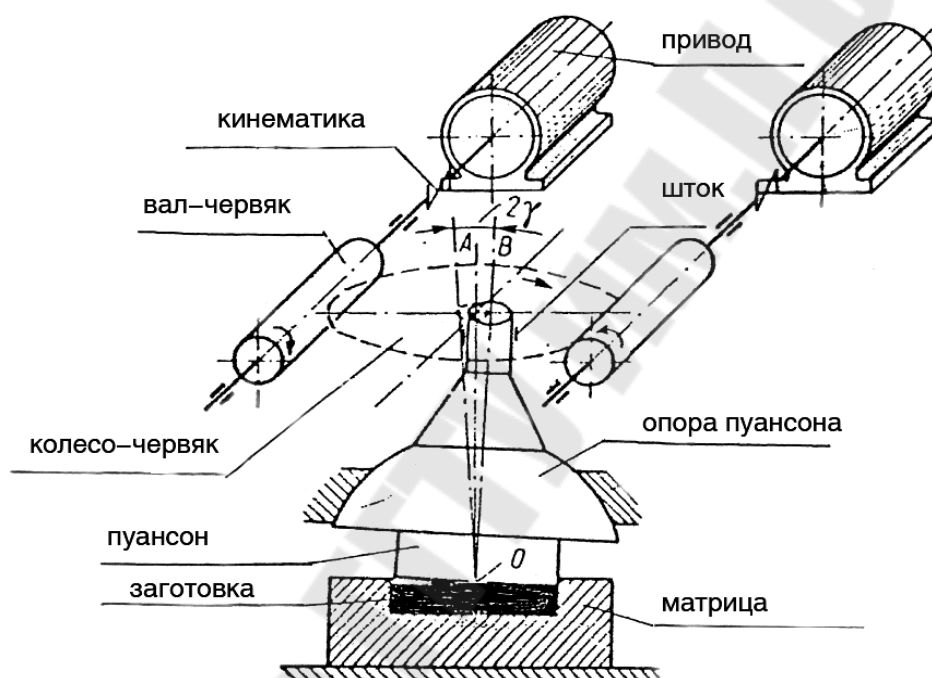


Рис. 3.6. Схема штамповки обкатыванием

Новая технология позволяет снизить в 5-20 раз силу деформирования, поэтому требуется оборудование менее мощное и дорогое, чем традиционное. Отличительной особенностью процессов штамповки обкатыванием является локальная зона пластической деформации при холодном, полугорячем и горячем деформировании.

Орбитальное формообразование материалов обладает значительным и неостребованным в настоящий момент потенциалом в отношении перевода традиционного холодного деформирования в область развитой пластической деформации. Это обеспечивает качественные изменения исходной структуры обрабатываемого материала, а также послойное формирование разнофункционального массива структуры получаемой детали, подобно тому, что реализуется в аддитивных технологиях.

3.7 Штамповка взрывом

При штамповке взрывом заряд размещают либо на поверхности заготовки (при этом взрывная волна непосредственно воздействует на заготовку), либо на некотором расстоянии от нее (в этом случае энергия взрыва передается через промежуточную среду: газ, жидкость, песок и др.). С помощью взрыва можно не только изготавливать листовые и трубчатые детали, но и выполнять операции плакирования и сварки металлов, штамповки металлокерамики, получать неразъемные соединения (например, при сборке деталей), осуществление которых другими методами невозможно или неэкономично. В процессе высокоскоростной штамповки отмечается увеличение прочностных характеристик. Кроме того, отсутствует (уменьшается) пружинение при формообразовании труднодеформируемых металлов с одновременным повышением их пластичности, что обеспечивает получение точных форм и размеров сложных деталей. Объемной штамповкой взрывом можно получать детали более высокого качества (по сравнению с традиционной штамповкой).

К недостаткам данного вида штамповки относятся неэкономичность при большом объеме производства, трудность управления процессом, опасность и неудобство работы с взрывчатым веществом. Вследствие этого штамповку взрывом применяют только при изготовлении опытных или единичных образцов, а также в тех случаях, когда нельзя применить штамповку на прессе, например для получения тонкостенных деталей (особенно деталей больших габаритных размеров).

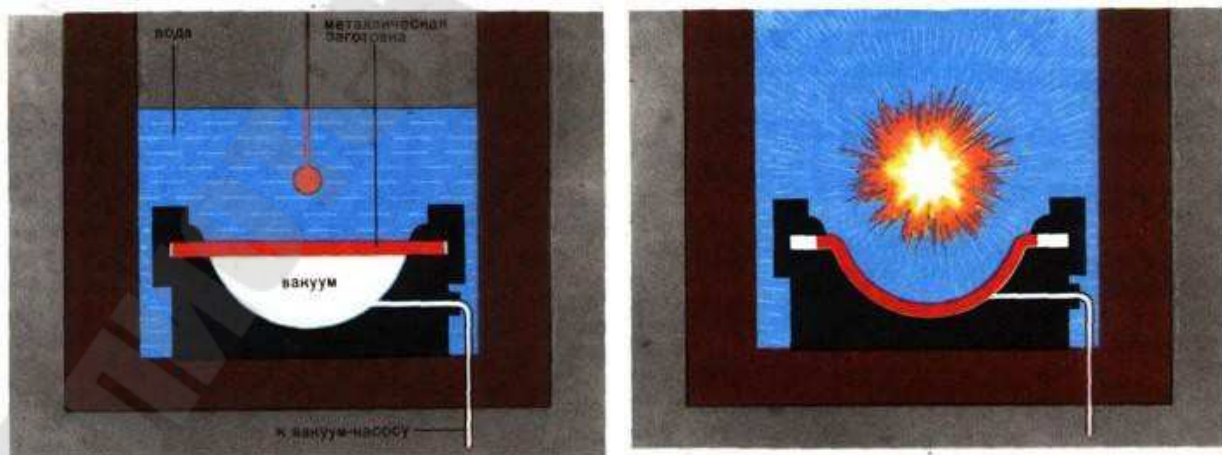


Рис. 3.7. Схема штамповки взрывом

3.8 Электровысадка

Электровысадка достигается при совмещении операций электронагрева методом сопротивления и деформирования нагреваемой части заготовки. Электровысадкой можно получать изделия из труднодеформируемых сплавов (высокопрочных легированных и жаропрочных сплавов, сплавов на основе никеля, титана и т.п.).

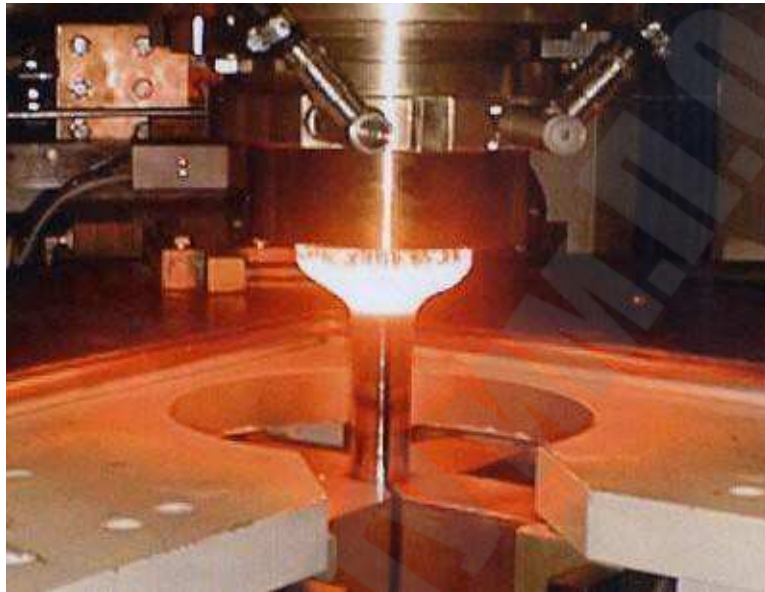


Рис. 3.7. Электровысадка

Процесс электровысадки характеризуется простотой и низкой стоимостью технологической оснастки, хорошими санитарными условиями (отсутствие дыма, пыли, шума) и возможностью полной автоматизации процесса. Методом электровысадки можно получать поковки сплошного или трубчатого сечения, а также асимметричные поковки.

В настоящее время электровысадкой получают заготовки клапанов, полуосей автомобилей, турбинных лопаток и других деталей.

3.9 Изостатическое прессование порошков (прессование подвижными средами)

Порошковая металлургия является одним из самых эффективных технологических процессов, обеспечивающих получение изделий с заданными свойствами и формой, минимальными отходами и низкой трудоемкостью.



Рис. 3.9. Примеры изостатического прессования изделий

Использование порошковой металлургии в массовом производстве повышает производительность труда в 1,5 – 2 раза, сокращается количество операций до трех раз, потери материалов составляют 5 – 10 %. Эти и другие преимущества порошковой металлургии обусловили ее широкое применение в промышленности всех развитых стран мира.

Применение различных способов прессования подвижными средами, называемых также часто изостатическим прессованием, позволяет свести к минимуму недостатки, присущие прессованию в жестких пресс-формах. Давление при этом для достижения одинаковой плотности в 1,5 – 2 раза меньше, чем при двухстороннем, и почти втрое меньше, чем при одностороннем прессовании в жестких пресс-формах.

Особенности: высокий уровень прикладываемой энергии на неограниченной площади, что позволяет получать высокоплотные детали больших размеров.

Достоинства:

- возможность создания в порошке оптимальных схем напряженно-деформированного состояния, что позволяет получать детали особо сложной формы;
- практическое отсутствие сил трения по контактным поверхностям инструмента, что позволяет повысить плотность и равномерность ее распределения; уменьшить энергоемкость процесса;
- снижение стоимости оснастки и повышение ее универсальности;
- увеличение плотности и уменьшение неравноплотности.

К недостаткам можно отнести: низкую производительность и меньшую точность размеров деталей.

При прессовании подвижными средами, к которым относятся

жидкости, газы и эластомеры, используют как статическое, так импульсное приложение нагрузки. Основными направлениями развития технологии являются:

- создание материалов и изделий с особыми свойствами и структурой для работ при повышенных температурах и нагрузках, например, псевдосплавы W-Cu, Fe-C, твердые сплавы, фрикционные и антифрикционные изделия сложного состава и др;

- создание пористых материалов для работы при повышенных температурах, например, пористые фильтры и др.;

- изготовление деталей с окончательными размерами без дополнительной механической обработки; создание различных инструментальных материалов (для сверл, фрез и др), обладающих высокой стойкостью при обработке резанием или давлением.

3.10 Тиксоштамповка

Одной из наиболее перспективных технологий в последние годы считается тиксотропная штамповка металлов (легких сплавов, сталей, в том числе легированных). Она основана на эффекте тиксотропии, который заключается в аномальном снижении сопротивления металлов сдвиговым деформациям в узком температурном интервале (технологическом окне) переходной зоны между жидким и твердым состоянием (30...85 % твердой фазы), что обеспечивает возможность плавного течения металла и заполнения им сложной фасонной полости при штамповке. Специалисты литейного и штамповочного производства никогда раньше не принимали во внимание это свойство металлов.

Использование метода в ответственных отраслях машиностроения (автомобильная промышленность, авиация и др.) позволяет получать заготовки гарантированного качества с анизотропными физико-механическими характеристиками, обеспечить повышенную точность заготовок, снизить в 2-3 раза трудоемкость и энергозатраты. При этом обеспечивается точность размеров поковок и деталей, превышающая нормы точности, принятые для горячей объемной штамповки; сокращается количество переходов штамповки до одного; снижаются нормы расхода металла; уменьшаются или исключаются затраты на обработку резанием. Использование эффекта тиксотропии позволяет интенсифицировать работы по получению фасонных изделий из композиционных материалов на металлической основе с дисперсными керамическими наполнителями.

К недостаткам тиксоштамповки можно отнести длительное время приготовления суспензии.

Метод получает все более широкое распространение в США, Германии и некоторых других западных странах. Применение этой технологии позволит получать изделия сложной формы, которые в ряде случаев невозможно изготовить традиционными способами.

Техническая эффективность технологий переработки сплавов в твердожидком состоянии проявляется в уменьшении толщины стенок изделия при одновременном повышении герметичности, снижении массы детали, одновременном росте пределов текучести и прочности, пластичности и ударной вязкости материала, уменьшении количества дефектов при сохранении высокого качества поверхности и близкой к традиционным технологиям себестоимости производства.

3.11 Секционная штамповка

Суть процесса заключается в деформации только части заготовки за серию ходов пресса. Этот процесс аналогичен обжатию при ковке слитка, толстого листа и т.п., но при этом используется штамп с полостью. Данная технология в основном применяется для изготовления больших деталей из высокотемпературных сплавов (рис.3.10).

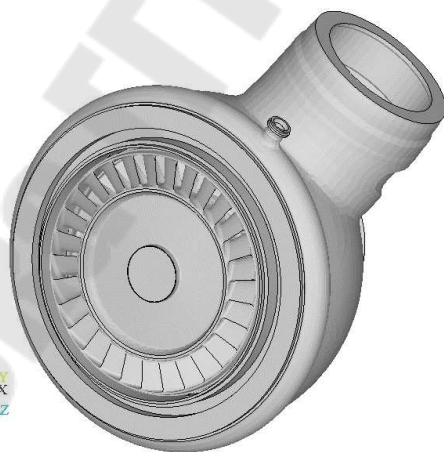


Рис. 3.10. Пример изделия, полученных секционной штамповкой

Площадь таких деталей может достигать нескольких тысяч квадратных миллиметров, что при традиционной штамповке требует наличие пресса значительной силы. Оборудование, необходимое для операций секционной штамповки может обладать на порядок меньшей мощностью.

В настоящий момент с помощью этой технологии за рубежом

изготавливают большие осесимметричные детали стационарных газовых турбин (“Wyman-Gordon Company” и “Alcoa Forged Products”) и различные конструктивные элементы для самолета F-18 (производства “Alcoa Forged Products”).

3.12 Сравнение рассмотренных технологий ОМД

Сравнение рассмотренных технологий ОМД может быть проведено по следующим критериям:

- точности размеров получаемого изделия;
- качеству поверхности;
- энергозатратах;
- эффективность использования исходного материала.

Эти показатели представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1

Сравнение технологических возможностей современных методов обработки материалов давлением

| Технология | Точность, мм | Шероховатость Ra, мкм | Усилие деформирования, % | Коэффициент использования материала |
|---------------------------------------|--------------|-----------------------|--------------------------|-------------------------------------|
| Объемная штамповка в открытых штампах | ± 1 | 5-20 | 100 | 70 |
| Холодная листовая штамповка | ±0,1 | 0,63-5 | 100 | 60 |
| Точная штамповка | ±0,25 | 2,5-10 | 100 | 98 |
| Гидроформовка | ±0,25 | 0,32-2,5 | 50 | 90 |
| Секционная штамповка | ±0,25 | 0,63-5 | 20 | 85 |
| Винтовая штамповка | ± 1 | 5-20 | 50 | 80 |
| Тиксштамповка | ±0,01 | 2,5-10 | 25 | 95 |
| Электровысадка | ± 1 | 5-20 | 20 | 90 |

4 Прогрессивные технологии литья

4.1 Классификация литейных технологий

На сегодняшний день единой классификации литейных технологий не существует.

Принято условно подразделять технологии литья на три большие группы (табл. 4.1):

- методы литья в песчано-глинистые формы;
- специальные методы литья;
- литье по моделям.

Таблица 4.1

Классификация технологий литья

| Методы литья | Способы литья |
|--------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Литье в песчано-глинистые (земляные) формы | – формовка ручным способом; – машинная формовка. |
| Специальные методы литья | – литье с применением вакуумно-пленочной формовки; – литье в кокиль; – литье под давлением; – центробежное литье; – литье в формы из холодно-твердеющих смесей (ХТС). |
| Литье по моделям | – литье по выплавляемым моделям; – литье в формы с газифицируемой моделью. |

Среди приведенных способов литья наиболее широко масштабно используемыми являются традиционное литье в песчано-глинистые формы, литье в кокиль и литье по выплавляемым моделям.

4.2 Литье в песчано-глинистые (земляные) формы

Литье в песчано-глинистые (земляные) формы является наиболее распространенным и дешевым. Эта технология литья является наиболее универсальной и позволяет изготовить до 70...75% общего выпуска отливок. При литье по данной технологии используются одноразовые формы из кварцевого песка, глины и специальных добавок (связующих веществ).

Комплекс операций по изготовлению из формовочных материалов литейных форм принято называть формовкой. Существует много способов формовки, в общем случае принято подразделять их на руч-

ную и машинную формовку.

Количество отливок, изготовленных с применением ручной формовки, составляет свыше 30% всего их выпуска. Это, в первую очередь, крупные отливки (массой свыше 5 т), а также отливки, изготавливаемые в одном или нескольких экземплярах. Для серийного и массового производства применяется машинная формовка.

В производстве литых заготовок специальные виды литья в настоящее время занимают значительное место: около 25...30 % отливок производится «специальными» методами. Методами специального литья изготавливают некрупные отливки из черных сплавов и подавляющее большинство, как правило, более легких отливок из цветных сплавов. Поэтому по числу получаемых отливок специальные методы не уступают обычному методу литья в песчаные формы.

4.3 Технология вакуумно-пленочной формовки (ВПФ)

Технология вакуумно-пленочной формовки (ВПФ) обладает рядом существенных технологических и экономических преимуществ по сравнению с литьем в песчано-глинистые формы (ПГФ). Сущность процесса заключается в использовании в качестве формовочного материала только чистого песка без связующих добавок. Геометрические формы отливок выдерживаются за счет применения вакуума, специальных опок, пленки, накладываемых на модели и формы. После выбивки отливок из формы песок охлаждается и поступает на повторное использование (рис. 4.1).

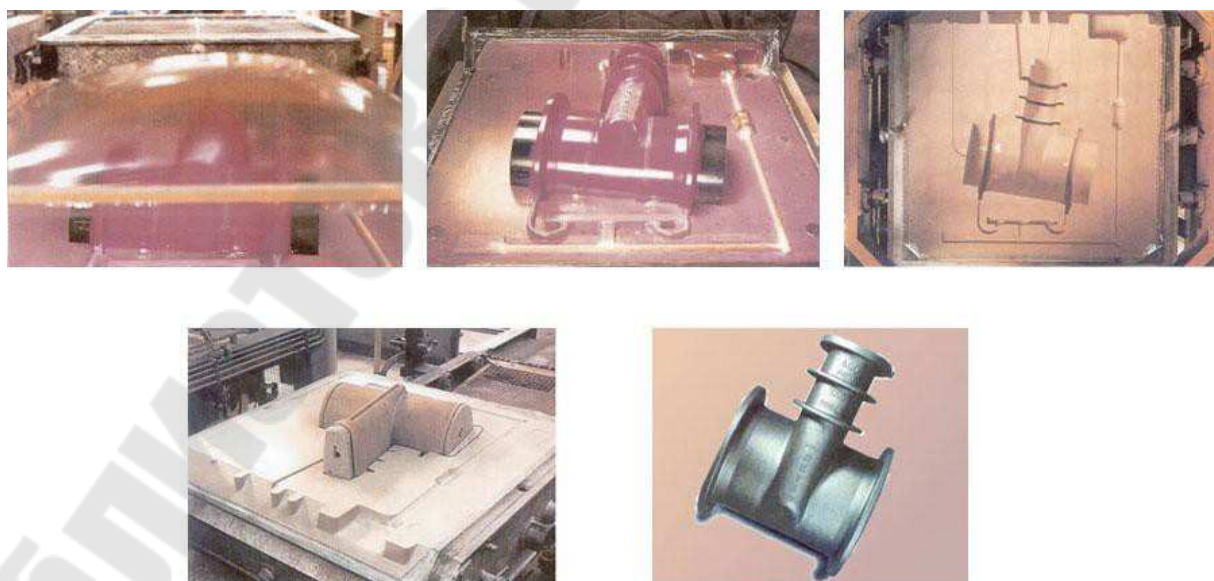


Рис. 4.1. Детали, получаемые ротационной формовкой

Принципиальное отличие ВПФ от традиционных способов литья состоит в использовании:

- газопроницаемой модельной оснастки;
- эластичной синтетической пленки;
- сухого песка без связующего;
- вакуума как средства уплотнения формы. Преимущества:
- получение заготовок высокой точности с минимальными припусками на механическую обработку;
- изготовление заготовок с шероховатостью поверхности на уровне R_z 20- 40 мкм;
- уменьшение толщины стенки в 1,2-1,3 раза, по сравнению с литьем в сухие песчано-глинистые формы;
- исключение операций смесеприготовления;
- сокращение расходов формовочных песков;
- стоимость литья на 16-20 % ниже чем в ПГФ;
- возможность максимальной механизации и автоматизации технологических операций;
- улучшение санитарно-гигиенических условий труда;
- минимальный экологический ущерб.

4.4 Литье в кокиль

Возрастающая популярность процессалитья в кокиль (рис. 4.2) обусловлена рядом преимуществ перед традиционными способами изготовления отливок.



Рис. 4.2. Технологические операции литья в кокиль:
1 – стержень; 2 – кокиль; 3 – отливка

Достоинства литья в кокиль представлены ниже:

1. Снижение расхода формовочных материалов. С заменой всей или части песчаной формы кокилем сокращается расход формовочных материалов. Польза при этом не только в том, что снижаются затраты на доставку и подготовку формовочных материалов, а разовые формы заменяются многократно используемыми, но и в том, что значительно улучшаются условия труда литейщиков, меньше загрязняется окружающая среда.

2. Уменьшение источников брака. Известно, что литейная форма находится в сложных условиях взаимодействия с отливкой. Достоинство кокиля заключается в том, что характер этого взаимодействия более стабилен, чем в песчаной форме. В результате число трудноуправляемых факторов, обуславливающих брак отливок, уменьшается.

3. Качество отливок и свойства сплавов. Затвердевание отливки в кокилях обеспечивает более высокую плотность металла, а также более высокие механические свойства по сравнению со сплавами, полученными в песчаных формах. Как правило, отливки, полученные в кокилях, имеют хорошие точность и чистоту поверхности, малые припуски на обработку, что значительно облегчает их дальнейшую обработку.

4. Повышение производительности. Известно, что при производстве отливок на изготовление песчаных форм, на приготовление формовочных материалов и на очистку отливок приходится до 80—90 % всех трудовых затрат. При литье в кокиль многие из трудоемких операций либо совсем отпадают, либо объем их резко сокращается. Поэтому переход на литье в кокиль часто позволяет повысить производительность труда в литейном цехе в 2—3 раза и больше.

5. Механизация и автоматизация. Кокили отличаются от обычных песчаных форм большой жесткостью и высокой прочностью, достаточно высокой точностью и стабильностью размеров элементов, а также точностью и надежностью сопряжения последних. Для управления качеством отливок при литье в кокиль приходится учитывать меньшее число факторов, чем при литье в песчаную форму. Все это создает благоприятные условия для механизации и автоматизации процесса. И только механизированные и автоматизированные процессы литья в кокиль в состоянии конкурировать с современными процессами литья в песчаные формы.

6. Снижение себестоимости отливок. Многократность использования кокилей, уменьшение затрат на изготовление форм значительно удешевляют отливку. Этому же способствует снижение брака и улучшение качества отливок, а также уменьшение капитальных затрат, расхода металла и т. п. Все это в конечном итоге приводит к снижению себестоимости отливок.

Литье в кокиль успешно применяется в производстве отливок из серого и высокопрочного чугунов, алюминиевых, магниевых и медных сплавов. В отдельных случаях в кокилях получают детали из стали и ковкого чугуна.

Весьма разнообразны конструктивные особенности отливок, получаемых в кокилях (рис. 4.3): от простых - типа опорных плит, колосников, болванок и втулок, до сложных - типа картеров двигателей, головок блоков цилиндров, ребристых корпусов электродвигателей и стоек плугов. Литьем в кокиль получают детали с особыми свойствами: повышенной герметичности, износостойкости (*например, чугуны с поверхностным и местным отбелом*), окалинстойкости и др.



Рис. 4.3. Виды отливок получаемых в кокилях: а – стальное литье; б – литье из алюминиевых сплавов; в – литье из медных сплавов

4.5 Литье под давлением

Литье под давлением занимает одно из ведущих мест в литейном производстве.

Этим способом изготавливают литые заготовки самой различной конфигурации массой от нескольких граммов до нескольких десятков килограммов. Сущность процесса литья под давлением заключается в том, что расплавленный материал подается в металлическую форму (пресс-форму) под избыточным давлением.

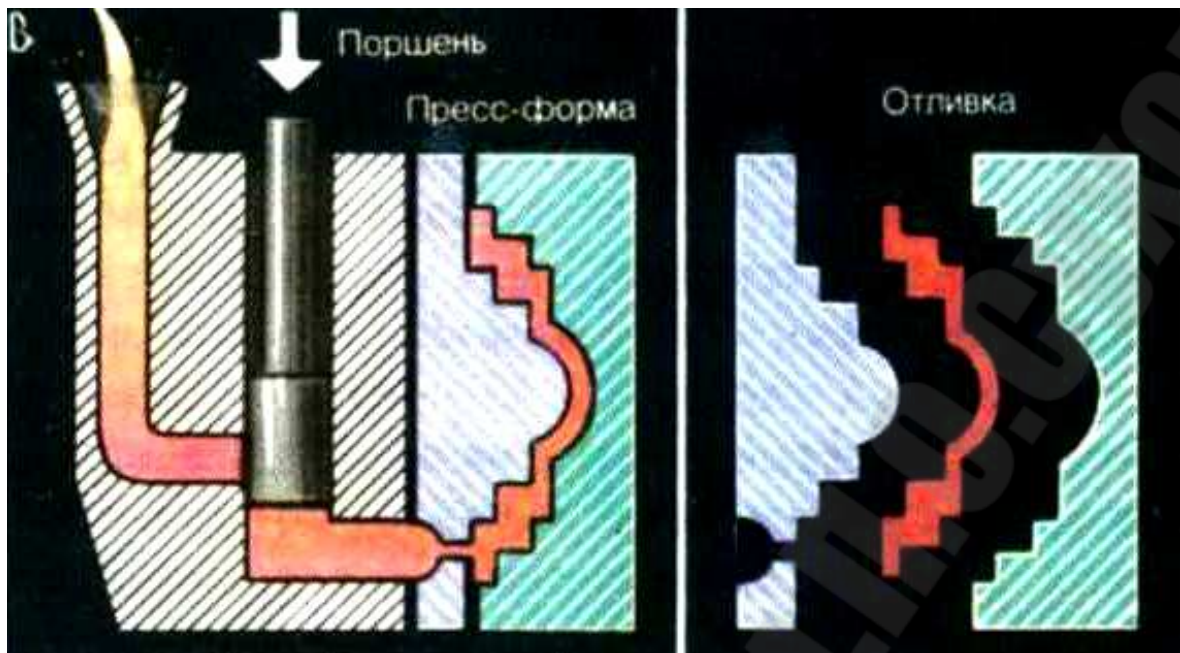


Рис. 4.4. Схема литья под давлением

Главные достоинства литья под давлением:

- возможность получения заготовок с минимальными припусками на механическую обработку или вовсе без припусков;
- минимальная шероховатость необработанных поверхностей;
- обеспечение высокой производительности и низкой трудоёмкости изготовления деталей.

Получение отливок методом литья металлов под давлением в процентном соотношении занимает лидирующую позицию в литейном производстве отливок. Этим способом получают отливки, по конфигурации и размерам наиболее приближенные к готовым деталям из сплавов цинка, алюминия, магния и меди. Получение отливок из стали, чугуна, титановых и других тугоплавких сплавов еще не получило широкого применения, это можно объяснить недостаточной стойкостью оформляющих частей и дороговизной материалов для пресс-форм.

Технологию литья под давлением широко применяют для *изготовления продукции из пластмасс*.

4.6 Центробежное литье

Центробежный метод литья (центробежное литье) используется при получении отливок, имеющих форму тел вращения. Подобные отливки отливаются из чугуна, стали, бронзы и алюминия. При

этом расплав заливает в металлическую форму, вращающуюся со скоростью 3000 об/мин.

Под действием центробежной силы расплав распределяется по внутренней поверхности формы (рис. 4.5) и, кристаллизуясь, образует отливку. Центробежным способом можно получить двухслойные заготовки, что достигается поочередной заливкой в форму различных сплавов. Кристаллизация расплава в металлической форме под действием центробежной силы обеспечивает получение плотных отливок.

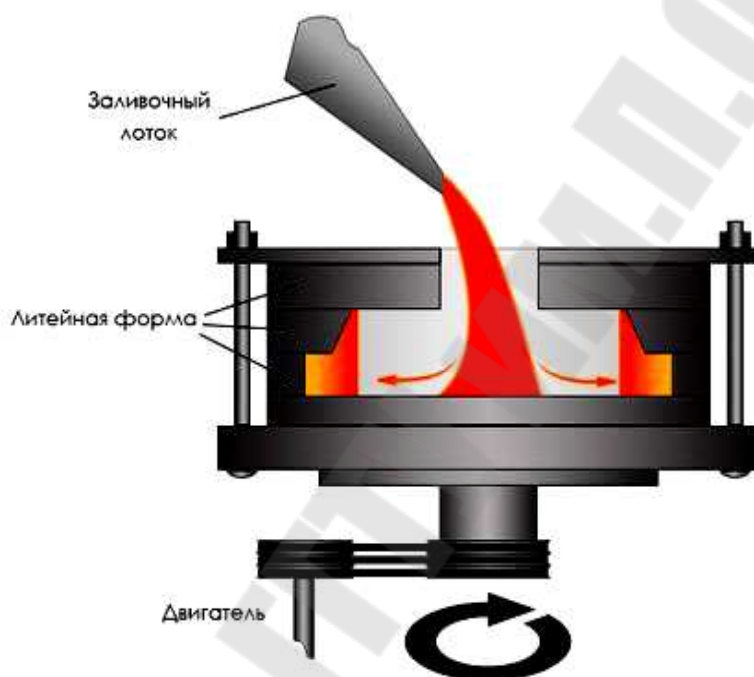


Рис. 4.5. Схема центробежного литья

Особыми преимуществами центробежного литья является получение внутренних полостей без применения стержней и большая экономия сплава в виду отсутствия литниковой системы. Выход годных отливок повышается до 95 %.

По сравнению с литьем в неподвижные формы центробежное литье имеет ряд преимуществ: повышаются заполняемость форм, плотность и механические свойства отливок, выход годного. Однако для его организации необходимо специальное оборудование; недостатки, присущие этому способу литья: неточность размеров свободных поверхностей отливок, повышенная склонность к ликвации компонентов сплава, повышенные требования к прочности литейных форм.

4.7 Литье по выплавляемым моделям

Литье по выплавляемым моделям применяется в случаях, когда дальнейшая механическая обработка детали нежелательна. Из легкоплавкого материала (воск, парафин) изготавливается точная модель изделия (рис. 4.6). Затем модель покрывается слоями тугоплавкой суспензии — от 3 до сотни слоёв. Сушка каждого слоя занимает не менее получаса. После чего из образованной оболочковой формы выплавляют легкоплавкий материал модели, затем заливают расплавленный металл (рис. 4.7). Когда деталь кристаллизуется, её извлекают, раскалывая керамическую оболочку.



Рис. 4.6. Этапы изготовления выплавляемой модели: 1 – изготовление моделей в пресс-форме; 2 – сборка моделей в модельный блок; 3 – нанесение на модельный блок огнеупорной суспензии; 4 – обсыпка слоя суспензии зернистым материалом

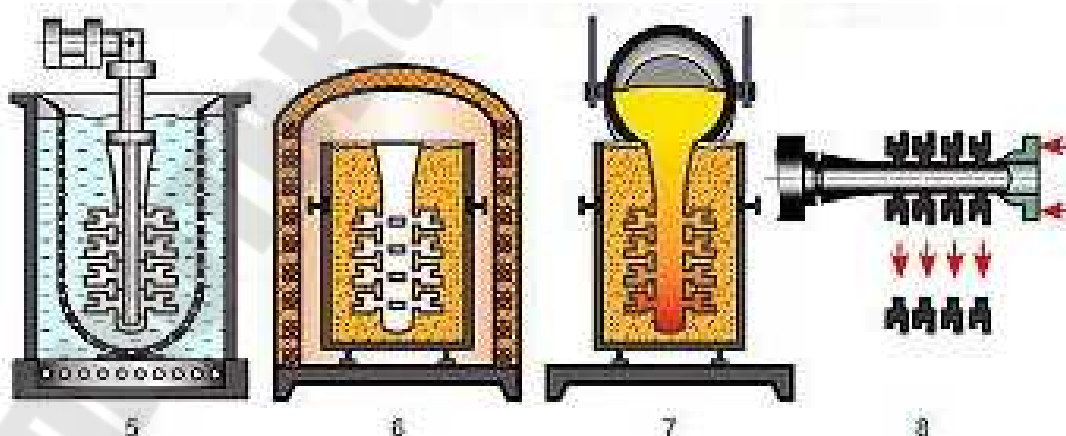


Рис. 4.7. Этапы литья в оболочковые формы: 5 – выплавление модельного состава; 6 – прокалывание оболочковой формы; 7 – заливка в форму жидкого металла; 8 – отделение отливок

В силу длительности и дороговизны всего процесса литье по выплавляемым моделям применяют только для очень ответственных деталей и при изготовлении художественных изделий (рис. 4.8).



Рис. 4.8. Виды отливок, получаемых литьем в оболочковые формы

4.8 Сравнение технологических процессов литья

Сравнение рассмотренных технологий литья может быть проведено по следующим критериям:

- точности размеров получаемого изделия;
- качеству поверхности;
- энергозатратах;
- трудоемкости;
- эффективность использования исходного и формовочного материала.

Эти показатели представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2

Сравнение технологических возможностей современных методов обработки материалов давлением

| Технология литья | Точность, мм (для отливки размером 100 мм) | Шероховатость, Ra, мкм | Трудоемкость | К-нт исп-ния материала, % | Расход формовочных материалов |
|---------------------------|--------------------------------------------|------------------------|--------------|---------------------------|-------------------------------|
| В песчаные формы | ± 1,2 | 10...16 | 1 | 60...70 | 1 |
| В кокиль | ± 0,5 | 3,2...6,3 | 0,7...0,8 | 75...80 | - |
| Под давлением | ± 0,4 | 1,6...6,3 | 0,7...0,8 | 90...95 | - |
| Центробежное | ± 0,5 | 3,2...6,3 | 0,7...0,8 | 80...90 | - |
| Вакуум пленочная формовка | ± 0,8 | 3,2...6,3 | 1,1...1,2 | 90...95 | 0,2...0,5 |
| По выплавляемым моделям | ± 0,5 | 3,2...5,0 | 2,3...2,5 | 90...95 | 5...10 |

5 Технологии порошковой металлургии

Порошковая металлургия - область техники, занимающаяся производством металлических порошков и изделий из них.

Типовая технологическая схема производства заготовок и изделий способом порошковой металлургии включает четыре основные операции:

- 1) получение исходных материалов в порошкообразном виде;
- 2) предварительная подготовка порошковых материалов и формование из них заготовок;
- 3) спекание отформованных заготовок;
- 4) окончательная обработка спеченных заготовок.

Способы получения порошковых материалов условно разделяют на две основные группы: механические и физико-химические.

Механические способы обеспечивают превращение исходного материала в порошок без заметного изменения его химического состава.

К механическим способам получения порошков относятся:

- а) дробление и размол стружки, обрезков, скрапа и других отходов в мельницах различного типа;
- б) распыление струи расплавленного металла, например, воздействием на нее потока сжатого газа;
- в) грануляция при литье расплавленного металла в жидкость;
- г) обработка металлов резанием с образованием мелких частиц стружки.

К физико-химическим способам относятся процессы производства порошков, связанные с глубокими физико-химическими превращениями исходного сырья, в результате которых получаемый порошок по химическому составу существенно отличается от исходного материала.

Физико-химические способы получения порошков основаны:

- а) на восстановлении оксидов и других соединений металлов (один из наиболее распространенных и самых экономичных способов);
- б) электролизе водных растворов и расплавленных сред (обеспечивает получение чистых порошков практически из любых металлов);
- в) возгонке и конденсации (применяют для металлов с невысокой температурой плавления) и др.

Формование проводят для придания заготовкам из порошка определенной конфигурации, размеров, плотности и механической прочности для последующего изготовления из них деталей.

Перед формованием заготовок проводят предварительную подготовку порошковых материалов, которая может включать:

- отжиг порошков с целью повышения их пластичности;
- сортировку по классам крупности с целью выделения частиц порошка необходимых размеров;
- составление смеси порошковых материалов: часто в смесь порошковых материалов вводят пластификаторы (материалы, облегчающие процесс формования заготовок):
- легкоплавкие материалы, улучшающие процесс спекания отформованных заготовок;
- летучие вещества для получения изделий с заданной пористостью и др.

Формование заготовок из порошковых материалов производят в основном способами обработки металлов давлением.

Прессование - один из наиболее простых и распространенных способов формования заготовок из порошковых материалов (рис. 5.1).

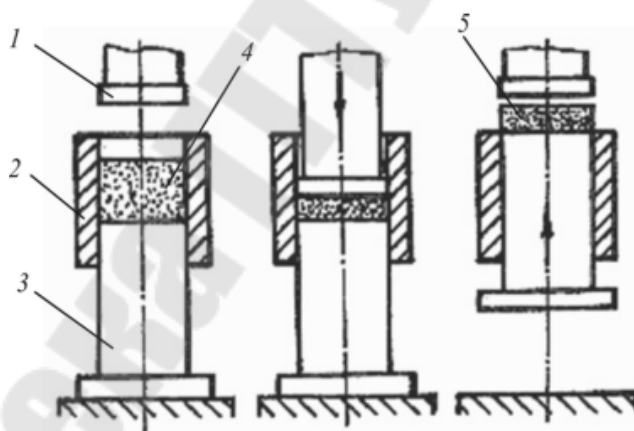


Рис. 5.1. Схема прессования: 1 - пуансон; 2 - матрица; 3 - выталкиватель; 4 - порошок; 5 - отформованная заготовка

Прессование производят на гидравлических или механических прессах, в качестве инструмента используют пресс-формы.

Изостатическое прессование применяют для получения заготовок больших размеров, к которым не предъявляют высоких требований по точности (рис. 5.2).

Сущность процесса заключается в том, что порошок, заключенный в эластичную оболочку, подвергают всестороннему сжатию жид-

костью (гидростатическое прессование) или газом (газостатическое прессование).

Выдавливанием изготавливают прутки, трубы и профили различного сечения, прокаткой - ленты.

Спекание проводят для повышения прочности отформованных заготовок. Для этого используют электропечи (сопротивления или индукционные). Температура спекания обычно составляет 0,6-0,9 температуры плавления порошка однокомпонентной системы или ниже температуры плавления основного материала для композиций, в состав которых входит несколько компонентов. Спекание проводят в атмосфере восстановительных газов (например, водород), инертных газов (например, аргон) или в вакууме.

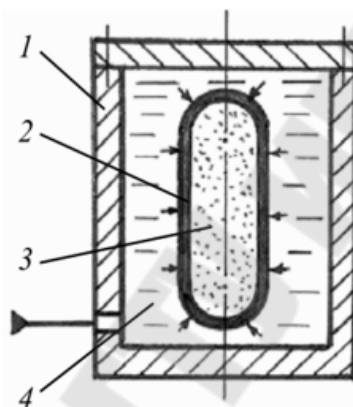


Рис. 5.2. Схема гидростатического прессования: 1-камера; 2 - эластичная оболочка (например, из резины); 3 - порошок; 4 - жидкость

При спекании после достижения необходимой температуры дают выдержку в течение 30-90 минут.

В процессе спекания в материале отформованных заготовок происходят процессы восстановления оксидов, диффузии, рекристаллизации и т. д., что приводит к значительному повышению их прочности.

Окончательную обработку спеченных заготовок проводят в целях получения необходимых физикомеханических свойств у материала, окончательных размеров и форм у изделий, нанесения покрытий на детали (декоративных и защитных от коррозии) и др.

Для этого применяют:

– горячую обработку давлением, которая позволяет снизить пористость материалов и повысить их прочность, пластичность и вязкость;

- различные виды термической и химико-термической обработки для достижения необходимых свойств у материала деталей;
- пропитку жидкими металлами (сопло ракетного двигателя из вольфрама пропитывают медью или серебром) или смазочными материалами (применяют для антифрикционных деталей);
- обработку резанием для получения у деталей необходимой конфигурации, качества поверхности и точности размеров и др.

Способ порошковой металлургии используют для получения деталей общего машиностроения, заготовки для которых можно изготавливать и традиционными методами (литьем, давлением и резанием). Применение при производстве этих деталей метода порошковой металлургии позволяет значительно улучшить технико-экономические показатели производства за счет:

- снижения отходов материалов (не более 5-7 % от массы заготовки);
- повышения производительности и снижения трудоемкости изготовления изделий.

Широкое применение этого способа для получения деталей общего машиностроения сдерживается дороговизной порошковых материалов (порошок железа, например, в 2 раза дороже компактного металла).

Способ порошковой металлургии *ценен и не заменим при получении материалов и изделий из них с уникальными свойствами*, зачастую недостижимых никакими другими способами обработки.

К таким материалам и изделиям относятся:

- изделия из тугоплавких металлов - вольфрама, молибдена, тантала, ниобия и других, используемые в электроламповой, радиотехнической, электровакуумной, атомной, ракетной и космической промышленности;
- изделия из твердых сплавов, которые изготавливают на основе карбидов вольфрама, титана и тантала с добавками кобальта и используют при производстве режущего, штампового и бурильного инструмента;
- алмазно-металлический инструмент, который изготавливают в основном в виде кругов и используют в обработке материалов резанием (в качестве связки для кристаллов алмазов применяют порошки никеля, кобальта и сплавы на основе меди и железа);
- изделия из пористых материалов, которые применяют для равномерного распределения потока жидкостей и газов, в качестве

фильтров для механической очистки жидкостей и газов, в качестве потеющих материалов (сопла ракетных двигателей) и др.;

– изделия из антифрикционных материалов (материалов с малыми коэффициентами трения, например, в сочетаниях железографит, бронза-графит, медь-графит и др.);

– изделия из фрикционных материалов (материалов с большими коэффициентами трения, которые используют во фрикционных узлах машин для торможения, передачи крутящего момента от одного вала к другому, предохранения привода машин от поломки при перегрузках и др.).

– изделия для атомной техники (контейнеры для хранения радиоактивных отходов изготавливают на основе порошков вольфрама, никеля и железа; оболочки тепловыделяющих элементов из магниево-бериллиевых материалов и др.).

Порошковые материалы используют также для производства электродов в сварочном деле, нанесения металлических покрытий на детали машин металлизацией, при производстве красок и др.

6 Технологии получения неразъемных соединений

Современные технологии получения неразъемных соединений условно можно разделить на четыре большие группы - технологические процессы *сварки, пайки, склеивания и клепки*. Наиболее трудоемким процессом получения неразъемных соединений является клепка. Однако до настоящего времени при помощи данного метода, обеспечивающего, максимальные показатели надежности в условиях нестационарного нагружения, изготавливается большинство ответственных узлов и машин – например, конструкции летательных аппаратов. Развитие этой технологии в настоящее время происходит по двум направлениям - создание высокопроизводительного оборудования, позволяющего в автоматическом режиме осуществлять соединение изделий с заклепками сложной конфигурации, например в виде перфорированных лент. Другим направлением развития данной технологии является разработка материалов с малым сопротивлением деформации в процессе получения соединения и возможностью изменять свои свойства в процессе эксплуатации, приобретая повышенную прочность и трещиностойкость. Для наиболее ответственных узлов разрабатываются материалы, обладающие эффектом «памяти формы» на основе титановых сплавов, которые изменяют свою конфигурацию после того, как детали уже соединены в общий узел.

Сейчас наиболее перспективными технологическими процессами получения неразъемных соединений считаются технологии сварки материалов. По данным Немецкого общества сварки (DVS) свыше 60 % научных работ в Германии в области создания неразъемных конструкций связаны именно с этой технологией. Однако, за последние 5 лет повысился интерес и к другим методам. Это связано, прежде всего, с тем, что в промышленности начинает применяться большее количество конструкционных материалов, например композитов и керамик, соединение которых методами сварки нерационально или невозможно.

6.1 Технологические процессы сварки

По данным Немецкого общества сварки (DVS) исследования в области технологических процессов получения сварных соединений в Германии в основном сосредоточены по пяти направлениям. Это технологические процессы сварки в среде защитных газов, контактная сварка, сварка лазерным и электронным лучом и разработка комбинированных (гибридных) видов сварочных технологий.

6.1.1 Электродуговая сварка в среде защитных газов

Технологический процесс сварки в среде защитных газов известен сравнительно давно, но в последнее время приобрел достаточно широкое распространение вследствие простоты встраивания технологического процесса сварки в поточные линии машиностроительных производств, возможности полной механизации и автоматизации процесса. При сварке в зону дуги через сопло непрерывно подается защитный газ.

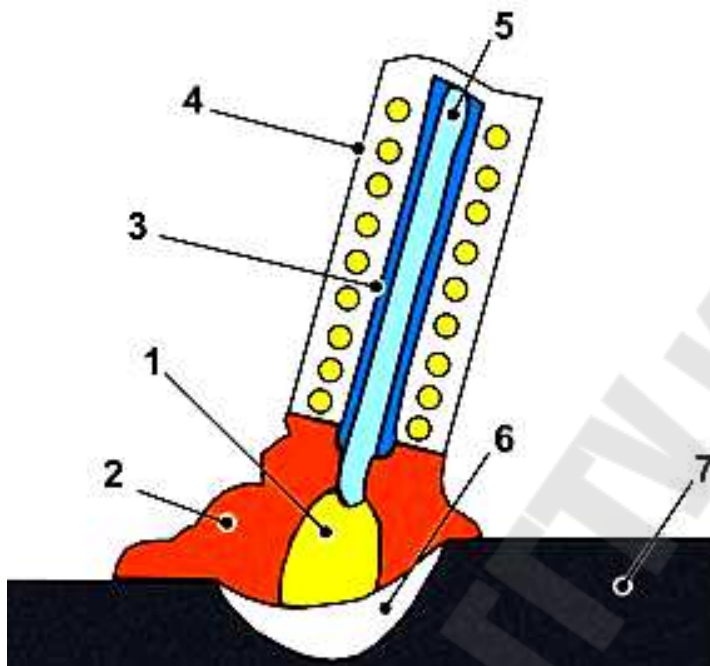


Рис. 6.1. Схема электродуговой сварки: 1 – сварочная дуга; 2 – газовая защита; 3 – зажим электрода; 4 – сопло; 5 – тугоплавкий электрод; 6 – сварочная ванна; 7 – металл шва

Теплотой дуги расплавляется основной металл. Расплавленный металл сварочной ванны, кристаллизуясь, образует шов. В качестве защитных газов применяют как инертные (аргон и гелий), так и активные (углекислый газ, водород, кислород и азот) газы, а также их смеси. Технология имеет ряд *достоинств*, обуславливающих ее бурное развитие:

- высокую производительность процесса, легкость механизации и автоматизации; высокое качество сварных соединений;
- возможность сварки в различных пространственных положениях;
- возможность сварки металлов различной толщины (от 0,1 мм до десятков миллиметров), в том числе с высокой окислительной способностью, например алюминиевых и титановых сплавов;
- отсутствие операций по засыпке и уборке флюса и удалению

шлака; возможность визуального наблюдения за образованием шва.

Основными *недостатками* при реализации данной технологии являются:

– необходимость применения защитных мер против световой и тепловой радиации дуги и защита зоны сварки от сквозняков.

В настоящее время данная технология широко используется для сталей всех классов цветных металлов и сплавов, разнородных металлов малых и средних толщин (до 20 мм). Наибольший прогресс в области создания нового технологического оборудования сварки в среде защитных газов наблюдается в создании микропроцессорных инверторных источников, которые позволяют управлять сварочным процессом с высокой точностью. Предложение новых моделей зарубежных производителей очень велико. Наиболее современное сварочное оборудование выпускают фирмы «EWM» (Германия) и «Lincoln EC» (США). На базе этой технологии производится большое количество промышленных роботов. Разработками и выпуском качественных современных моделей полуавтоматов на территории СНГ занимаются только «СЭЛМА» (Украина), ПКФ «Кристалл» (Санкт-Петербург), НПФ «Шторм-ИТС» (Екатеринбург).

6.1.2 Лазерная сварка

Нагрев и расплавление материала при сварке лазерным лучом осуществляют мощным когерентным световым потоком, получаемым в специальной установке, называемой лазером. Лазерный луч представляет собой вынужденное монохроматическое излучение, длина волны которого зависит от природы рабочего тела лазера-излучателя и может быть в диапазоне 0,1 ... 1000 мкм. Длины волн наиболее часто используемых на практике лазеров имеют следующие значения: гелий-неоновый 0,6328 мкм, рубиновый 0,6943 мкм, стекло с ниодимом 1,06 мкм, СО₂- лазеры 10,6 мкм. Чем меньше длина волны лазерного излучения, тем больше его способность беспрепятственно проходить через вещество.

Чаще всего в настоящее время применяют рубиновые лазеры. Рубин в них искусственный, состоящий из оксида алюминия и небольшой добавки оксида хрома. Лазер состоит из следующих элементов (рис. 6.2): цилиндрического рубинового стержня 1, ксеноновой лампы 2, линзы 4 и охлаждающей системы 3. Торцы стержня полируют и покрывают серебром. Тот из торцов, который служит для выхода светового луча наружу, частично прозрачен. Ксеноновая лампа пита-

ется разрядным током конденсаторов. При ее вспышке атомы хрома рубинового кристалла возбуждаются. Через несколько миллисекунд атомы возвращаются снова в исходное состояние и при этом беспорядочно излучают фотоны красного света одинаковой частоты. Поток их движется вдоль стержня, отражаются от зеркальных торцовых его граней, усиливается, при этом интенсивность общего излучения увеличивается.

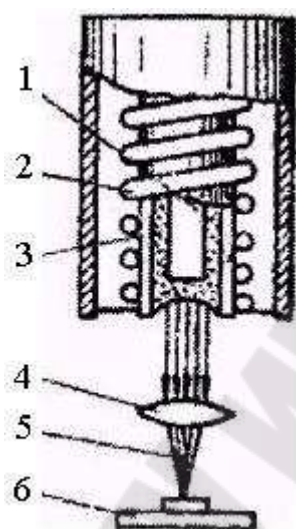


Рис. 6.2. Схема сварки лазерным лучом: 1 - рубиновый стержень, 2 - ксеноновая лампа, 3 - охлаждающая система, 4 - линза, 5 - сфокусированный пучок, 6 - изделие

При накоплении определенного уровня фотонов они в виде потока красного света прорываются через полупрозрачный торец стержня наружу. Пройдя через линзу 4, сфокусированный пучок 5 попадает на изделие 6. Общая продолжительность импульса излучения такого лазерного луча составляет $10^{-3} \dots 10^{-6}$ с.

Твердотельные лазеры обычно имеют относительно небольшую мощность: работающие в непрерывном режиме не выше 250 ... 500 Вт; в импульсно-периодическом или импульсном - до 300 Вт. Однако энергия одиночного импульса может достигать 100 Дж и более, что обеспечивает плотность мощности в фокусе выше 10^9 Вт/см².

Для получения непрерывного излучения большей мощности (5 - 10 кВт и более) применяют так называемые газовые лазеры. Рабочим веществом у них чаще всего являются атомы углекислого газа.

Лазерный луч обеспечивает высокую концентрацию энергии (до 10^8 Вт/см²). Благодаря такой высокой концентрации энергии лазерно-

го излучения в процессе сварки обеспечивается малый объем расплавленного металла, незначительные размеры пятна нагрева, высокие скорости нагрева и охлаждения металла шва и околошовной зоны. Эти особенности теплового воздействия определяют основные *достоинства* сварных соединений, полученных с помощью этой технологии:

- минимальные деформации сварных конструкций;
- высокие механические свойства и герметичность сварного шва; малое пятно обеспечивает высокую точность сварки;
- процесс бесконтактен - возможна сварка в труднодоступных местах, проведение сварки через прозрачные материалы, в жидких прозрачных средах;
- гибкая, широкая настройка процесса, без необходимости смены оснастки, легкое перемещение луча по поверхности детали по любой траектории;
- высокая скорость и производительность процесса.

Основным *недостатком*, препятствующим широкому применению лазерной сварки, является высокая стоимость технологических лазеров. Производимые системы, как правило, полностью автоматизированы и монтируются на промышленных роботах или порталных устройствах.

Технология лазерной сварки позволяет применять ее как заключительную операцию, без последующей правки или механической доводки изделия. В настоящий момент лазерная сварка в основном применяется на линиях массового производства в тех случаях, когда имеется необходимость получения прецизионной (высокоточной) конструкции, форма и размеры которой не должны меняться в результате сварки. Особой областью применения лазерной технологии является получение соединений из разнородных материалов, сварку которых невозможно осуществить другими способами.

6.1.3 Сварка электронным лучом

Сущность процесса состоит в облучении поверхности изделия потоком электронов, движущихся с высокими скоростями в вакууме. Для уменьшения потери кинетической энергии электронов за счет соударения с молекулами воздуха, а также для химической и тепловой защиты катода в электронной пушке создают вакуум 10^{-4} - 10^{-6} мм.рт.ст.

Металл при электронно-лучевой сварке нагревают сжатым потоком электронов, перемещающимся с большой скоростью в электрическом поле высокого напряжения. При столкновении этого пучка с твердым телом около 99% кинетической энергии электронов превращается в тепловую. Температура материала в месте нагрева сфокусированным на нем электронным лучом достигает 5000- 6000 °С.

Схема установки для электронно-лучевой сварки представлена на рис. 6.3.

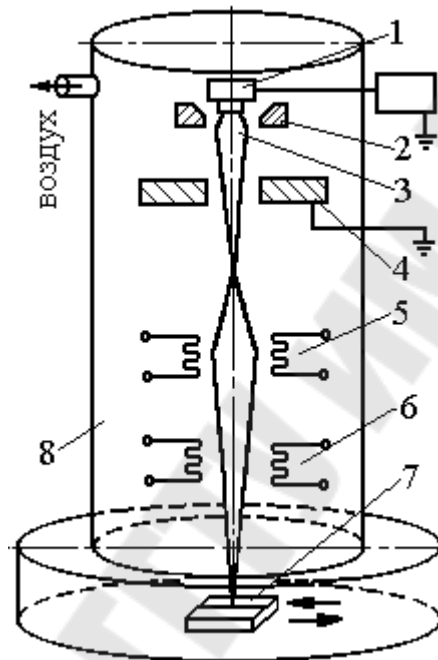


Рис. 6.3. Схема установки для электронно-лучевой сварки: 1 - катод, 2 – формирующий электрод, 3 – пучок электронов, 4 – анод, 5 – фокусирующая система, 6 - отклоняющая система, 7 – изделие, 8 – герметичная камера

Достоинства электронно-лучевой сварки:

1) Высокая концентрация ввода теплоты в изделие, которая в отличие от лазерной сварки выделяется не только на поверхности изделия, но и на некоторой глубине в объеме основного металла. Фокусировкой электронного луча можно получить пятно нагрева диаметром 0,0002-5 мм, что позволяет за один проход сваривать металлы толщиной от десятых долей миллиметра до 200 мм.

2) Возможность сварки тугоплавких металлов (вольфрама, тантала и др.), керамики и т.д.

3) Малое количество вводимой теплоты, и соответственно незначительные термические деформации и коробление изделия.

4) Отсутствие насыщения расплавленного и нагретого металла газами, в результате достигается высокое качество сварных соединений на химически активных металлах и сплавах, таких как ниобий, цирконий, титан, молибден и т.д.

5) Высокое качество сварных швов (зеркально гладкая поверхность).

Недостатком способа является сложность конструкции установки и высокая стоимость ее эксплуатации.

Самыми существенными факторами, сдерживающими, распространение данной технологии являются, высокая стоимость технологического оборудования и значительное время, необходимое для создания вакуума в рабочей камере после загрузки изделий.

6.1.4 Плазменная сварка

При плазменной сварке тепловым источником, осуществляющим плавление материала свариваемых заготовок, является электронная плазма, представляющая собой сильно ионизированный газ, температура которого 10 000- 20 000 °С.

Плазму получают, пропуская газ через столб дуги в специальных плазменных горелках (рис.6.4). В качестве плазмообразующих газов применяют азот, аргон, водород, гелий, воздух и их смеси. Выбор газ зависит от вида обрабатываемого материала и задач процесса обработки.

Существует две разновидности горелок: для генерации плазменной струи и плазменной дуги. И в том и другом случае плазменная горелка оснащается неплавящимся (вольфрамовым) электродом 1, изолированным от корпуса 3 керамической прокладкой 2. Дуга 6 горит в узком канале сопла горелки 5, через который продувают газ. Столб дуги при этом сжимается, что приводит к повышению в нем плотности энергии, а следовательно и температуры. Вследствие этого, практически весь газ, проходя через столб сжатой дуги, нагревается, ионизируется и выходит из сопла в виде высокотемпературного плазменного потока.

При использовании в качестве источника нагрева заготовок плазменной струи, выделенной из столба дуги (рис.6.4, а), последняя горит между электродом 1 и соплом горелки 5. Сопло интенсивно охлаждается водой. Горелка питается постоянным током прямой полярности от источников с падающей характеристикой. В соответствие с этим электрод подсоединяют к катоду, а сопло к аноду источника то-

ка. Давлением потока газа плазма выдувается из сопла горелки в виде ярко светящейся плазменной струи 11.

Плазменная дуга (рис.6.4, б) в качестве источника тепла генерируется горелкой, в которой дуга прямого действия совмещена с плазменной струей. Устройство горелки принципиально не отличается от рассмотренного выше случая, однако дуга б здесь горит между электродом 1 и металлом заготовки 10. защита расплавленного металла от воздействия воздуха при плазменной сварке осуществляется защитными газами, подаваемыми в зону сварки с помощью сопла 4.

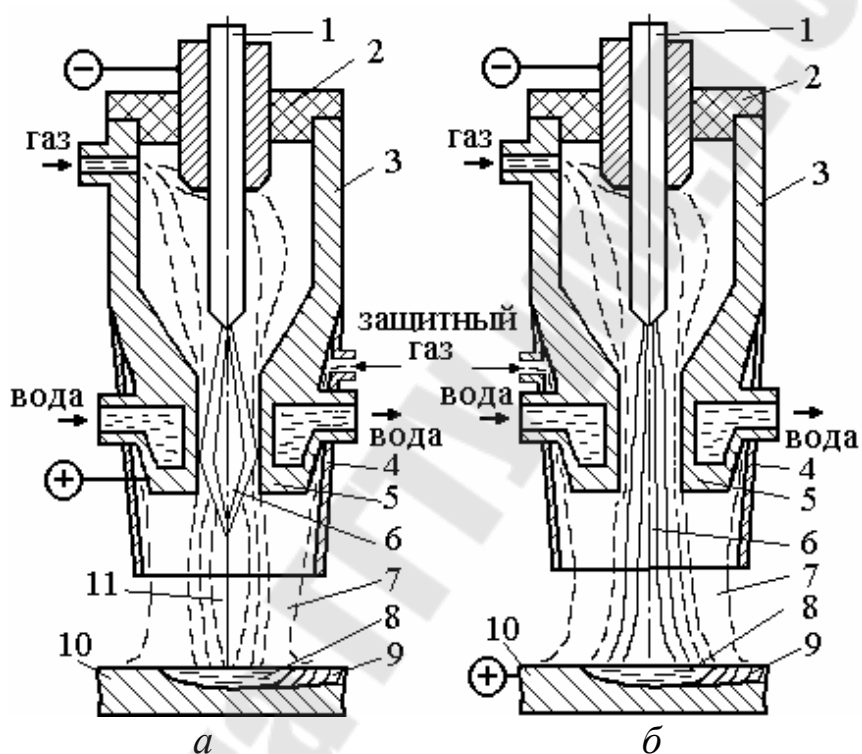


Рис. 6.4. Схема плазменной сварки: а - горелка для генерации плазменной струи, б- горелка для генерации плазменной дуги; 1- неплавящийся (вольфрамовый) электрод, 2- керамическая прокладка, 3- корпус, 4- сопло для защитного газа, 5- сопло горелки, 6- дуга, 7- защитная газовая атмосфера, 8- ванна расплавленного металла, 9- сварной шов, 10- основной металл, 11- плазменная струя

Плазменная струя позволяет в широких пределах прогревать поверхность заготовки и регулировать глубину ее проплавления. Тепловая мощность плазменной струи невелика. Применяют ее для сварки и резки тонких металлических и неметаллических листов, а также напыления тугоплавких материалов на поверхность заготовок.

Плазменная дуга обладает большей тепловой мощностью чем плазменная струя. Ее используют для сварки высоколегированных сталей, а также тугоплавких цветных сплавов. Плазменную дугу применяют и для резки материалов. Именно так осуществляют резку меди, алюминия (другими способами резка их затруднена). С помощью плазменной дуги наплавляют тугоплавкие материалы на поверхность заготовок. Плазменной дугой сваривают заготовки толщиной до 10 мм без разделки кромок и применения присадочного металла.

Плазменная сварка имеет следующие *достоинства*:

- большая проплавливающая способность вследствие значительной концентрации теплоты;
- низкое тепловое влияние дуги на свариваемый металл и меньшая деформация свариваемой конструкции;
- возможность сварки и резки как металлов, так и токонепроводящих материалов;
- высокая стабильность горения и высокое качество сварных швов;
- возможность сварки материалов толщиной от 0,025 мм и более;
- обеспечение процесса в любом пространственном положении.

Недостатками плазменной сварки являются:

- недолговечность сопел и электродов горелок;
- необходимость применения дорогостоящей сварочной установки;
- зависимость качества сварного шва от квалификации сварщика, в случае использования ручных горелок.

6.1.5 Контактная сварка

Среди многочисленных видов сварочных процессов контактная сварка занимает одно из первых мест, как универсальный и широко распространенный в промышленности способ получения неразъемных соединений изделий из тонколистовых металлов. В Германии помощью оборудования для контактной сварки изготавливают до 50 % всех сварных корпусных конструкций. Суть процесса - образование неразъемного соединения в результате нагрева металла проходящим через него электрическим током и пластической деформации зоны соединения под действием сжимающего усилия (рис. 6.5).

Достоинствами контактной сварки перед другими способами являются:

- Высокая производительность (время сварки одной точки или стыка составляет 0,02... 1,0 с).
- Процесс сварки легко поддается автоматизации и механизации. Малый расход вспомогательных материалов (воды, воздуха).
- Высокое качество и надежность сварных соединений при небольшом числе управляемых параметров режима, что снижает требования к квалификации сварщика.
- По экологическим параметрам это один из самых безопасных видов сварки.

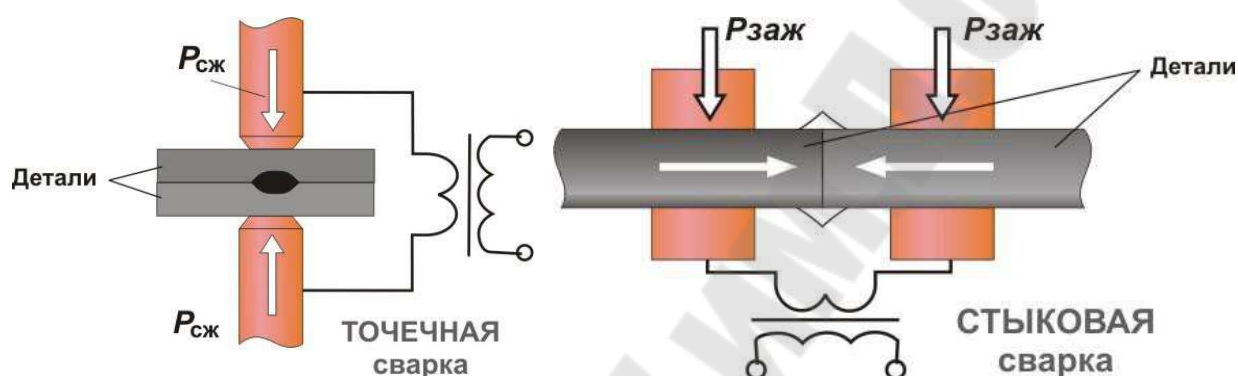


Рис. 6.5. Схемы контактной сварки

Точечной сваркой соединяются главным образом детали из тонколистовой низкоуглеродистой стали, обладающей отличной свариваемостью. В настоящее время оборудованием контактной сварки оснащены все передовые производства кузовов автомобилей, цельнометаллических вагонов, корпусных металлических изделий и т.д., причем это оборудование располагается, как правило, в виде полностью роботизированных линий сварки. Для дальнейшего увеличения производительности применяется многоточечная сварка, при которой за один цикл работы машины сваривается несколько точек.

Недостатками данной технологии являются сложность ее применения для сварки цветных металлов и сплавов и применение для сварки изделий большой толщины.

6.1.6 Сварка трением

Сварка трением является разновидностью сварки давлением, сварное соединение образуется в результате совместного пластического деформирования соединяемых деталей в твердой фазе. От других видов сварки давлением она отличается, прежде всего способом нагрева, точнее - способом введения теплоты в свариваемые детали.

При сварке трением механическая энергия, идущая на преодоление сил трения между состыкованными деталями, непосредственно преобразуется в тепловую энергию, причем генерирование теплоты строго локализовано в тонких поверхностных слоях металла. Именно эта особенность процесса предопределяет основные достоинства сварки трением.

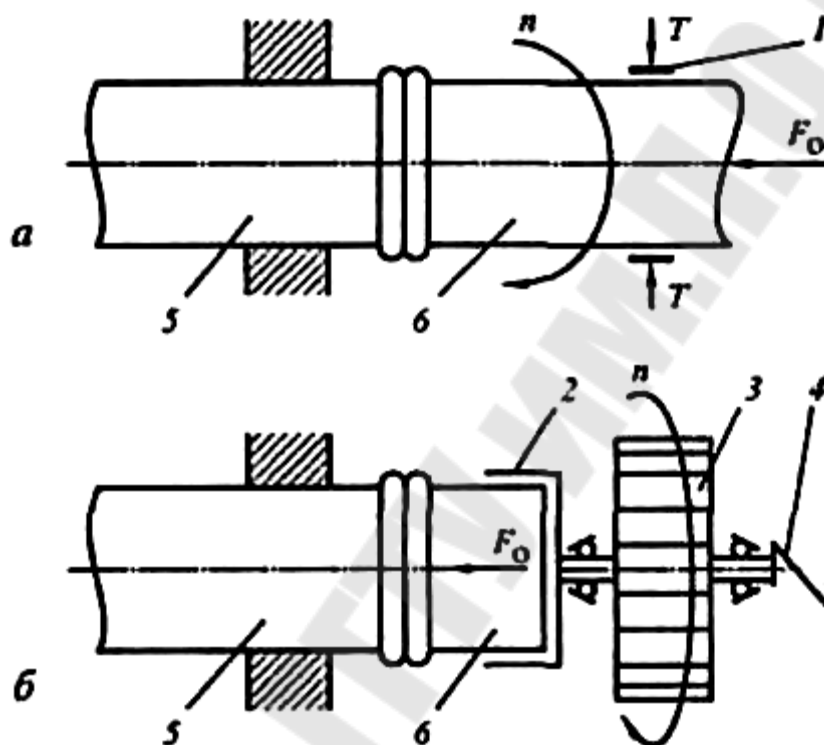


Рис. 6.6. Схема сварки трением: а — обычная; б — инерционная; 1 — тормоз; 2 — захват; 3 — маховик; 4 — муфта сцепления; 5 — неподвижная деталь; 6 — вращающаяся деталь

Обычно сварка трением применяется при изготовлении деталей, имеющих форму тел вращения сплошного или трубчатого сечения. Способ позволяет сваривать не только однородные, но и разнородные металлы (например, алюминий с медью, алюминий со сталью, медь со сталью и др.). Особенно эффективна сварка заготовок металлорежущего инструмента. Сверл, метчиков, резцов и другого инструмента из углеродистой и быстрорежущей стали. В ряде случаев способ является очень эффективным. Он отличается высокой производительностью (машинное время для разных деталей 1,5-50 сек). Сварка трением позволяет получать соединения разнородных металлов не сваривающихся другими способами, например алюминия с медью, алюминия

со сталью, меди со сталью. Ширина зоны влияния сварного соединения составляет не более 2-3 мм. Особенно эффективна сварка заготовок металлорежущего инструмента сверл, метчиков и т. д. из углеродистой и быстрорежущей стали, в производстве составных сварнокованных, сварно-литых или сварно-штампованных деталей.

Перспективной является применение сварки трение и для соединения пластмассовых заготовок. Сварные соединения отличаются высоким качеством и стабильностью сварки. Процесс сварки может быть полностью автоматизирован, все технологические параметры - число оборотов, усилие осадки, время сварки отличаются большим постоянством. Способ весьма экономичен и обладает высоким коэффициентом полезного действия. Потребление электроэнергии при использовании вышеуказанного способа в 7-40 раз меньше, чем при контактной электросварке, причем нагрузка в питающей сети распределена более равномерно. Основным ограничением при реализации данной технологии является сложность сварки криволинейных поверхностей. В настоящий момент сварка трением наиболее широко применяется для получения неразъемных стыковых соединений деталей диаметром от 6 до 100 мм. Однако применение роботов с подвижными шпиндельными узлами расширяет возможности данной технологии и позволяет производить сварку по схеме цилиндр-плоскость. Особенно данная технология перспективна для сварки неметаллических материалов, сварка которых другими способами, например методами контактной сварки, невозможна.

Достоинства:

1. Высокое качество соединения. В месте стыка отсутствуют многие дефекты, присущие сварным швам, полученным при помощи других видов сварки. К примеру, в месте соединения исключается образование газовых пор и сварных трещин, различных неметаллических включений и других дефектов.

2. Постоянство механических свойств. Как правило, механические свойства основного металла, места стыка и зоны возле него практически одинаковые из-за равномерной структуры металла.

3. Высокая производительность метода. Весь цикл сварки занимает от нескольких секунд до нескольких минут, в зависимости от размеров свариваемых деталей.

4. Подготовка к сварке занимает меньше времени. Из-за того, что нет необходимости удалять оксидные плёнки с соединяемых поверхностей и зачищать их, это существенно экономит время подго-

ТОВКИ.

5. Не требуется дополнительных присадочных материалов, как для многих других видов сварки.

6. Не требуется дополнительных операций после сварки, таких как отпуск, отжиг, проковка и др.

7. Снижаются затраты на последующую механическую обработку после сварки.

8. Отсутствуют сварочные поводки и низкая степень деформации после окончания сварки.

9. Большая номенклатура свариваемых материалов. Сварка трением позволяет сваривать многие материалы, как между собой, так и в различных их сочетаниях.

10. Высокий коэффициент использования металла (КИМ). У альтернативных методов получения заготовок (отливки, поковки и др.) КИМ значительно ниже.

11. Меньшая степень вредности. При сварке трением отсутствует яркий слепящий свет, как при дуговой сварке, нет выделения вредных газов, отсутствуют брызги расплавленного металла.

12. Лёгкая возможность автоматизации. Достигается она может установкой машин для сварки в автоматические и роторные поточные линии, или, к примеру, применением управляющих компьютеров, работающих по программам.

13. Экологичность процесса. Для сварки не требуется защитных газовых сред, флюсов или покрытий, из-за этого нет выделения вредных веществ в воздушную среду.

14. Низкая энергоёмкость. По сравнению с обычной дуговой сварки энергоёмкость снижена в 10 раз.

Недостатки:

1. Низкая универсальность процесса и относительно небольшая номенклатура свариваемых деталей.

2. Габариты свариваемых деталей ограничены. В случае с круглыми деталями, при сварке которых одна неподвижно закреплена, а вторая вращается вокруг своей оси (ротационная сварка), экономически нецелесообразно сваривать заготовки, диаметром более 150мм.

3. Дорогое и громоздкое оборудование для сварки трением.

4. Возможно искажение волокон в зоне сварки, если сварное соединение в процессе эксплуатации подвергается высоким динамическим нагрузкам.

5. Отсутствие мобильности. Невозможно применить данный вид

сварки в "полевых условиях" и различных монтажных работах, так как сварочное оборудование для сварки трением является стационарным, а не мобильным.

6.1.7 Сварка взрывом

Сварка взрывом – процесс получения прочного соединения двух или нескольких металлических тел, происходящий при их соударении. Ускорение соударяющихся тел до необходимой скорости осуществляется, как правило, под действием энергии взрыва, выделяющейся при детонации взрывчатого вещества.

При сварке взрывом образование соединения происходит в процессе соударения двух свариваемых деталей (пластин) под воздействием ударной волны. При этом ударная волна очищает поверхность и деформирует прилегающие к зоне соединения приповерхностные объемы материала. Схема сварки показана на рисунке 6.7.

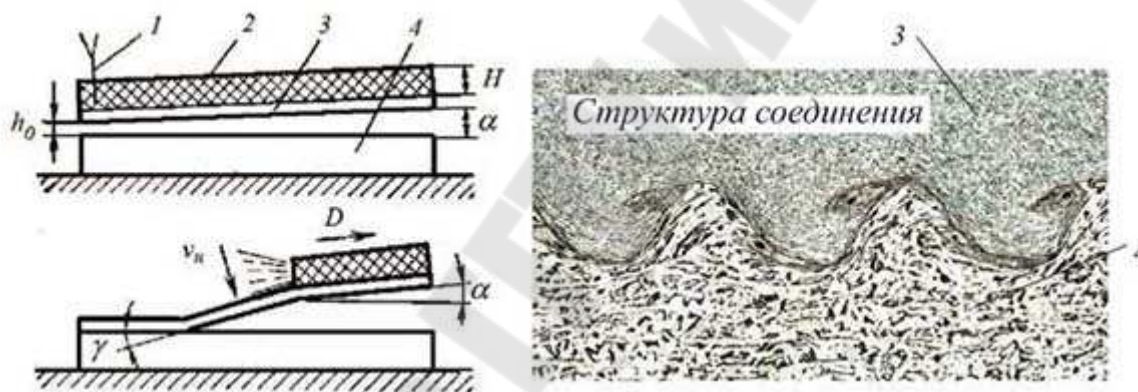


Рис. 6.7. Схема сварки взрывом: 1 — детонатор; 2 — взрывчатое вещество; 3 — привариваемая пластина; 4 — заготовка

Для получения соединения при сварке взрывом необходимо выполнение двух условий:

- давление при соударении должно достичь определенного значения;
- скорость перемещения точки соударения должна быть меньше скорости звука.

Давление при соударении зависит от скорости движения пластины, а скорость движения пластины - от соотношения s/m , где s - масса заряда; m - ускоряемая масса.

Так как ускорение движения пластины до конечной скорости занимает определенное время, между метаемой пластиной и мишенью

должно быть достаточный зазор. Давление на поверхности раздела при соударении должно быть в 10 раз больше предела текучести материала. Установлено, что обобщающим параметром сварки взрывом может быть пластическая деформация материала в зоне соединения. Скорость перемещения точки соударения не должна превышать скорости звука в металле по следующим причинам. Когда две пластины первоначально параллельны, и детонация распространяется с одного конца, скорость перемещения точки соударения равна скорости детонации заряда. Скорость ударной волны приближается к скорости звука в металле пластины. Если скорость детонации больше скорости звука, то отраженная звуковая волна может разрушить только что созданное сварное соединение. Поэтому подбирают такое взрывчатое вещество, чтобы скорость детонации была от 2500 до 3600 м/с, тогда отраженная звуковая волна ударяется о свариваемую плоскость раньше, чем давление взрыва ударом соединит верхнюю пластину с нижней.

Достоинства сварки взрывом

1) Изготовление многослойных листов, полос и сплавов, в том числе и тех, сварка которых другими способами затруднена, можно соединить между собой практически все металлы или сплавы, используемые в промышленности, с высокой прочностью соединения слоев.

2) При сварке взрывом, биметаллы должны быть прочными и иметь заданные свойства, которые не встречаются у природных материалов — малый удельный вес, высокую прочность, антикоррозионные и другие физико-химические свойства.

Недостатки сварки взрывом

1) Низкая степень безопасности при проведении взрыва, так как контролировать взрывную волну достаточно сложно.

2) Для того чтобы предоставлять рассматриваемые услуги нужно пройти специальное обучение и получить на это допуск.

3) Работа может проводиться только при условии наличия специальной защитной камеры или полигона.

4) Автоматизировать рассматриваемый процесс практически невозможно. Именно поэтому к каждому процессу соединения изделий приходится тщательно подготавливаться.

5) Рассматриваемый способ сварки характеризуется тем, что подготавливать поверхность к обработке не нужно. За счет этого существенно упрощается процесс и снижаются расходы.

6.1.7 Ультразвуковая сварка

Ультразвуковая сварка осуществляется при помощи непрерывно генерируемого ультразвука частотой 18-180 кГц мощностью 0,01 — 10 кВт. Сварка происходит при одновременном воздействии на свариваемые поверхности механических ВЧ колебаний, внешнего давления, прикладываемого перпендикулярно к свариваемым поверхностям и теплового эффекта от ВЧ колебаний. Тепловое действие ВЧ ультразвуковых колебаний может сочетаться с дополнительным местным импульсным нагревом заготовок от отдельного внешнего источника теплоты.

При воздействии ВЧ колебаний происходит сухое трение частиц в свариваемых поверхностях. Под действием сухого трения разрушаются поверхностные плёнки (оксидные и их адсорбированных газов). Затем сухое трение сменяется на чистое трение, при котором образуются узлы схватывания. Образуются общие зерна, принадлежащие двум свариваемым поверхностям и общая граница между поверхностными зёрнами.

Типы сварных соединений металлов при ультразвуковой сварке: внахлестку; по рельефам; с раздавливанием кромок; встык круглого элемента с плоским; крестообразное, круглых элементов; параллельное, круглых элементов; многослойных деталей и плёнок; угловое и др.

Ток от ультразвукового генератора (УЗГ) подается на обмотку магнитоэлектрического преобразователя (вибратора), который собран из пластин толщиной 0,1–0,2 мм (рис. 6.8). Пластины изготовлены из материала, способного изменять свои геометрические размеры под действием переменного магнитного поля.

Если магнитное поле направлено вдоль пакета пластин, то любые его изменения приводят к укорочению или удлинению магнитоэлектрического преобразователя. Это обеспечивает преобразование высокочастотных электрических колебаний в механические той же частоты.

Вибратор соединяется припоем или клеем с волноводом или концентратором (инструментом), который может усиливать амплитуду колебаний. Волноводы цилиндрической формы передают колебания, не изменяя их амплитуды, а ступенчатые, конические концентраторы усиливают колебания. Размеры и форму концентратора рассчитывают с учетом необходимого коэффициента усиления.

Как правило, хватает коэффициента 5, обеспечивающего амплитуду колебаний рабочего выступа при холостом ходе 20–30 мкм. Раз-

меры волноводной системы подбирают так, чтобы в зоне сварки амплитуды колебаний были максимальными.

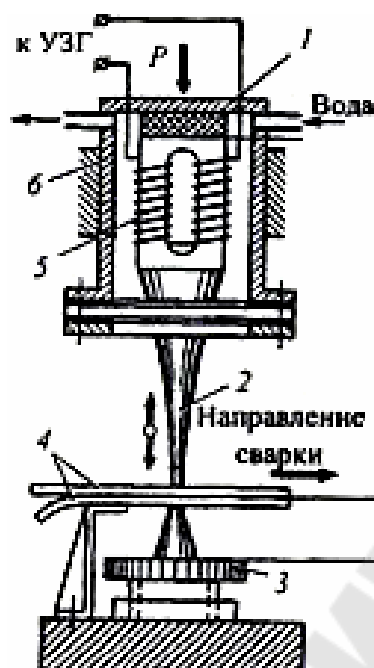


Рис. 6.8. Схема ультразвуковой сварки: 1 — акустический узел; 2 — инструмент (волновод); 3 — регулировочный винт опоры; 4 — свариваемые детали; 5 — вибратор; 6 — кожух

Достоинства:

- сварка может производиться по загрязнённым поверхностям, поэтому не требуется предварительная подготовка поверхностей — только обезжиривание;
- выделение теплоты в зоне сварки ограничено по размерам, что не допускает перегрев при сваривании пластмасс;
- неразъемного соединения при сварке пластмасс возможно на большом удалении от точки ввода УЗ энергии;
- сварка возможна в труднодоступных местах;
- отсутствие вредных выделений;
- малое время нагрева соединения до температуры сварки — доли секунды;
- допускается сварка очень тонких (до 0,001 мм.) листов.

Недостатки:

- 1) Необходимость использования дорогих генераторов ультразвука, однако с развитием силовой высокочастотной электроники стоимость генераторов ультразвука существенно снизилась;

2) Мал диапазон толщин свариваемых материалов, однако подбирая форму свариваемых деталей можно добиться эффекта акустической линзы, фокусирующей ультразвук в зону сварки;

3) Необходимость дополнительного внешнего сжатия деталей, однако для большинства других видов сварки пластмасс это тоже необходимое условие.

6.2 Другие технологии получения неразъемных соединений

6.2.1 Пайка

К категории неразъемных соединений относятся паяные, они используются в приборостроении, электронике, электротехнике, теплоэнергетике (выпускают паяные радиаторы). Связь образуется за счет расплава присадки, которая заполняет зазор между деталями. Припой с низкой температурой плавления при точечном термическом воздействии разогреваются. Остальные элементы, подвергающиеся спаиванию, не меняют своих физических свойств, не оплавляются. Методом пайки получают соединения *встык, внахлест, телескопические, тавровые, сотовые конструкции*.

Достоинства паяных неразъемных соединений:

- можно соединять элементы из разных сплавов;
- не возникает внутренних напряжений в соединяемых элементах;
- тонкостенные заготовки не успевают деформироваться от термовоздействия;
- расплавленный припой легко проникает в труднодоступные места;
- швы устойчивы к коррозии;
- получаются герметичные соединения.

Недостатки пайки:

- невысокая прочность;
- поверхность необходимо тщательно очищать, в ряде случаев протравливать.

Припои делятся:

- на низкотемпературные (например, свинец);
- среднетемпературные или мягкие (оловянные);
- твердые (медесодержащие сплавы).

Температура плавления припоя всегда ниже, чем у элементов, которые соединяют пайкой. При необходимости для удаления пленки окислов используют твердые, газообразные, жидкие флюсы.

6.2.2 Склеивание

Соединение формируется, когда жидкий клей при определенных условиях (нагреве или при комнатной температуре) полимеризуется, образует твердую структуру. В процессе получения неразъемного соединения материалов иногда происходит частичное растворение поверхности соединяемых элементов. В остальных случаях связь образуется за счет адгезии клеевого состава. Клеи классифицируют по степени прочности связующего слоя:

- конструкционные, выдерживающие усилия на отрыв, сдвиг деталей относительно друг друга (БФ, эпоксидная смола, столярный клей);

- составы, не рассчитанные на возможные нагрузки (канцелярский клей ПВА, резиновый).

Клеевые соединения прочнее на сдвиг, слабее на отрыв. Клеем при необходимости укрепляют разъемные соединения, стопорят резьбу.

6.2.3 Клепка

С помощью заклепок соединяют сортовой и профилированный прокат, штампованные элементы (рис. 6.9). Соединения могут работать под вибрацией, разнонаправленными ударными нагрузками. Клепают разнородные детали или дополнительно упрочненные (нагортованные).

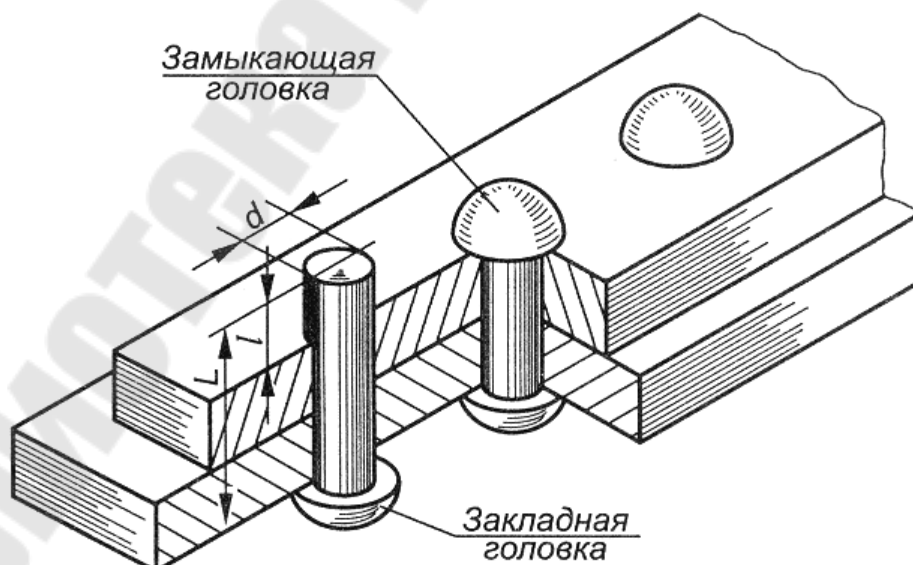


Рис. 6.9. Схема соединения металла заклепками

Достоинства заклепочных соединений:

- высокая стабильность;
- надежность;
- можно проверять клепки методами неразрушающего контроля;
- рассчитаны на различные виды нагрузки.

Недостатки:

- повышается расход металла;
- увеличивается время обработки (возрастают трудозатраты);
- необходимость делать отверстия, которые снижают прочность соединяемых деталей;
- плотность швов со временем ослабевает.

Заклепки устанавливаются, соединяя детали внахлест, встык с использованием односторонней или двухсторонних накладок. Различают отдельные виды заклепочных соединений:

- прочные обеспечивают передачу усилия;
- плотные отличаются герметичностью;
- прочно-плотные объединяют свойства прочных и плотных связей.

Заклепки выпускаются по стандарту, бывают с полукруглой, цилиндрической, потайной или полупотайной головкой, со сплошным или полым стержнем.

Литература

1. Боровский, Г.В. Развитие машиностроения России на основе технологического перевооружения / Г. В. Боровский. - М.: ИТО, 2009. - 216 с.
2. Клименков, С.С. Проектирование и производство заготовок в машиностроении: учебник / С. С. Клименков. - Минск: Техноперспектива, 2008. - 407 с.
3. Ермаков, Ю.М. Комплексные способы эффективной обработки резанием / Ю.М. Ермаков. - М.: Машиностроение, 2005. - 272 с.
4. Высокие технологии размерной обработки в машиностроении / А.Д. Никифоров [и др.]. - М.: Высш. шк., 2007. - 327 с.
5. Григорьянц, А.Г. Технологические процессы лазерной обработки : учеб. пособие для вузов / А.Г. Григорьянц, И.Н. Шиганов, А.И. Мисюров; под. ред. А.Г. Григорьянца. - М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. - 664 с.
6. Астапчик, С.А. Лазерные технологии в машиностроении и металлообработке / С.А. Астапчик, В.С. Голубев, А.Г. Маклаков. - Минск: Беларус. наука, 2008. - 252 с.
7. Шманев, В.А. Струйная гидроабразивная обработка деталей ГТД/В.А. Шманев, А.П. Шулепов, А. В. Мещеряков. - М.: Машиностроение, 1995. - 350 с.
8. Паркин, А.А. Технология обработки концентрированными потоками энергии : учеб. пособие / А. А. Паркин; Самар. гос. техн. ун-т. - Самара: СамГТУ, 2005. - 493 с.
9. Ковалев, В.Г. Технология листовой штамповки. Технологическое обеспечение точности и стойкости: учеб. пособие для вузов / В.Г. Ковалев. - М.: КНОРУС, 2010. - 222 с.
10. Непрерывное литье-прессование цветных металлов / В.М. Сергеев [и др.]. - М.: Металлургия, 1990. - 85 с.
11. Гини, Э.Ч. Специальные технологии литья : учебник для вузов / Э.Ч. Гини, А.М. Зарубин, В.А. Рыбкин. - М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. - 368 с.
12. Марукович, Е.И. Литейные сплавы и технологии / Е.И. Марукович, М.И. Карпенко. - Минск: Беларус. навука, 2012. - 442 с.
13. Астапенко, И.В. Современное оборудование обработки материалов давлением [Электронный ресурс] : пособие для студентов специальности 1-42 80 01 "Инновационные технологии в металлур-

гии" дневной и заочной форм обучения / И. В. Астапенко; Министерство образования Республики Беларусь, Учреждение образования "Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого", Кафедра "Металлургия и технологии обработки материалов". - Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2023. - 68 с. <https://elib.gstu.by/handle/220612/27990>

14. Титов, Ю.А. Специальные способы обработки металлов давлением: учебное пособие / Ю. А. Титов, В. Н. Кокорин, А. Ю. Титов. – Ульяновск : УлГТУ, 2013. – 78 с.

15. Астапенко, И.В. Оборудование металлургических цехов [Электронный ресурс] : пособие для слушателей специальности переподготовки 1-42 01 71 "Металлургическое производство и материалобработка" заоч. формы обучения / И.В. Астапенко, В.А. Петрусевич. - Гомель: ГГТУ им. П.О. Сухого, 2022. - 148 с. <https://elib.gstu.by/handle/220612/27025>

16. Перспективные материалы в машиностроении [Электронный ресурс] пособие для магистрантов специальности 7-06-0714-01 "Инновационные технологии в металлургии" дневной и заочной форм обучения / составитель И.В. Астапенко ; Министерство образования Республики Беларусь, Учреждение образования "Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого", Кафедра "Металлургия и технологии обработки материалов". - Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2023. - 156 с. <https://elib.gstu.by/handle/220612/28996>

17. Процессы и технологии получения наноразмерных порошков и наноструктурированных материалов: учеб. пособие / В. А. Батаев [и др.]. - Новосибирск : НГТУ, 2017. - 281 с.

18. Сварка и свариваемые материалы : в 3 т. / под ред. В.М. Ямпольского. - М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1991-1998. - Т. 2. - 1996. - 574 с.

19. Селиванов, В.В. Взрывные технологии : учебник для вузов / В.В. Селиванов, И.Ф. Кобылкин, С.А. Новиков. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. - 519 с.

20. Козловский, С.Н. Основы теории и технологии контактной точечной сварки / С.Н. Козловский. - Красноярск : Сиб. гос. аэрокосм. ун-т, 2006. - 260 с. Люшинский, А.В. Современные технологии сварки : учеб. пособие /

21. Технологические основы сварки и пайки в авиастроении: учебник для вузов / В.А. Фролов [и др.]. - М.: Интернет Инжиниринг, 2002. - 455 с.

ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Пособие

**для магистрантов специальности 7-06-0714-01
«Инновационные технологии в металлургии»
дневной и заочной форм обучения**

Составитель Астапенко Игорь Васильевич

Подписано к размещению в электронную библиотеку
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного
учебно-методического документа 15.03.24.

Пер. № 5Е.

<http://www.gstu.by>