

Министерство образования Республики Беларусь

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

Кафедра «Металлургия и технологии обработки материалов»

И. В. Астапенко

СОВРЕМЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

ПОСОБИЕ

**для студентов специальности 1-42 80 01
«Инновационные технологии в металлургии»
дневной и заочной форм обучения**

Гомель 2023

УДК 621.73:621.77:621.787(075.8)
ББК 34.722.52я73
А91

*Рекомендовано научно-методическим советом
механико-технологического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 11 от 28.06.2022 г.)*

Рецензент: декан заоч. фак. ГГТУ им. П. О. Сухого канд. техн. наук, доц. *Ю. А. Рудченко*

Астапенко, И. В.

А91 Современное оборудование обработки материалов давлением : пособие для студентов специальности 1-42 80 01 «Инновационные технологии в металлургии» днев. и заоч. форм обучения / И. В. Астапенко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2023. – 68 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.

Приведен теоретический материал по дисциплине «Современное оборудование обработки материалов давлением».

Для студентов специальности 1-42 80 01 «Инновационные технологии в металлургии» дневной и заочной форм обучения.

УДК 621.73:621.77:621.787(075.8)
ББК 34.722.52я73

© Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», 2023

Содержание

Введение	4
1. Раскатка	4
2. Прокатка	11
3. Раздача	16
4. Накатка	17
5. Безотходная штамповка листовых деталей деформирующим металлом	21
6. Свободная гибка	22
7. Лазерная технология	24
8. Штамповка поковок из жидкого металла	27
9. Объемная изотермическая штамповка	32
10. Штамповка с использованием сверхпластичности	33
11. Валковая штамповка	35
12. Навивка пружин и гибка проволоки на автоматах	40
13. Изготовление заготовок и деталей из порошковых материалов	43
14. Магнитно-импульсная штамповка	46
15. Электрогидравлическая штамповка	49
16. Высокоскоростные методы штамповки	53
17. Высокоточная горячая объемная штамповка	56
18. Совмещенные процессы	58
Литература	67

Введение

Наряду с совершенствованием традиционной технологии и оборудования обработки металлов давлением (ОМД) на базе автоматизации производства осуществляется поиск, развитие и совершенствование новых методов и оборудования. Современные способы процессов ОМД экономически целесообразны в мелкосерийном и серийном производствах при изготовлении заготовок, и деталей сложной пространственной формы из малопластичных материалов в том случае, когда использование классических способов и методов ОМД оказывается либо не эффективным, либо невозможным. Рассматриваемые способы и оборудование ОМД позволяют существенно расширить технологические возможности промышленных предприятий.

Совершенствование технологических процессов обработки металлов давлением, а также применяемого оборудования позволяет расширять номенклатуру деталей, изготавливаемых обработкой давлением, увеличивать диапазон деталей по массе и размерам, а также повышать точность размеров полуфабрикатов, получаемых обработкой металлов давлением. Холодная деформация характеризуется изменением формы зерен, которые вытягиваются в направлении наиболее интенсивного течения металлов. При холодной деформации форма изменяется сопровождается изменением механических и физико-химических свойств металла. Основной тенденцией развития процессов и оборудования ОМД является повышение эффективности технологических операций на базе ресурсо-энергосбережения, повышение культуры производства.

Данное учебное пособие существенно позволяет повысить технологические знания студентов выпускающихся курсов и магистрантов в области обработки материалов давлением.

ТЕМА 1. РАСКАТКА

1.1. Раскатка кольцевых заготовок (радиальная)

Радиальная раскатка – это технологическая операция формоизменения, при которой происходит одновременное увеличение наружного диаметра и диаметра отверстия за счет уменьшения толщины стенки детали, при этом может быть также изменена форма поперечного сечения кольца.

Радиальная раскатка осуществляется в процессе деформации валками на специализированных кольцераскатных машинах и приме-

няется для изготовления кольцевых деталей диаметром от 50...70 мм до 7000 мм, шириной от 5...7 мм до 1200 мм и массой от нескольких десятков граммов до 12,5 т. Радиальная раскатка выполняется в горячем, полугорячем и холодном состояниях.

По схемам формоизменения радиальную раскатку кольцевых заготовок разделяют на:

- открытую;
- полуоткрытую;
- закрытую;
- полузакрытую.

Наиболее распространена открытая раскатка (рис. 1.1.).

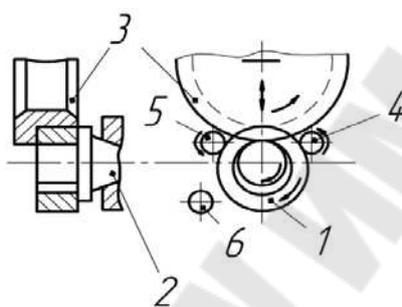


Рис. 1.1. Схема открытой радиальной раскатки:

- 1 – исходная заготовка; 4, 5 – направляющие валки;
2, 3 – рабочие валки; 6 – контрольный ролик

1.2. Кольцевая раскатка

В настоящее время в промышленности повсеместно стремятся внедрить в производство ресурсосберегающие виды техники и технологии, позволяющие сократить расход металла и повысить производительность труда.

К таким технологическим процессам относится и кольцевая раскатка. В зависимости от размеров обрабатываемой заготовки кольцевую раскатку осуществляют различными способами.

Мелкие заготовки массой до десятков килограммов раскатывают на универсальных токарных станках. Раскатку осуществляют путем воздействия на заготовку раскатным роликом, укрепленным в резцедержателе с помощью специальной державки.

Средние кольцевые заготовки массой до сотен килограммов, полученные осадкой исходной заготовки с последующей ее прошивкой, раскатывают на специальной оправке на молотах или гидравлических прессах по схеме, сходной с приведенной на рис. 1.2.

Процесс получения кольцевых заготовок сопровождается значительным перерасходом металла из-за больших припусков на размеры, вызванных тем, что полученная такой раскаткой заготовка не является кольцом, а представляет многогранник.

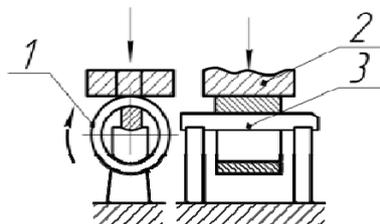


Рис. 1.2. Схема кольцевой раскатки на оправке:

1 – раскатываемое кольцо; 2 – боек пресса или молота;
3 – оправка

Крупногабаритные заготовки массой в несколько десятков тонн изготавливать традиционной ковкой на прессах или молотах не рационально, так как процесс сопровождается значительным перерасходом металла.

Крупногабаритные заготовки массой в несколько десятков тонн изготавливать традиционной ковкой на прессах или молотах не рационально, так как процесс сопровождается значительным перерасходом металла.

Из-за больших припусков масса поковки в ряде случаев превышает массу готовой детали до четырех раз. При этом коэффициент использования металла (КИМ) составляет менее 0,3. Большой расход металла является причиной высокой трудоемкости при механической обработке, причиной повышенного расхода режущего инструмента; непроизводительной загрузки высокоточных станков при черновой обработке деталей. При этом увеличиваются сроки изготовления корпусного оборудования, а получение поволоков диаметром до 7 м и высотой до 4 м, необходимых для изготовления обечаек для реакторов, на существующих ковочных прессах не всегда возможно. Также возникает проблема транспортировки крупногабаритных заготовок, так как перевозить их по железной дороге невозможно, а перевозка заготовок водно-трейлерным путем требует значительных затрат на строительство специальных причалов, автомобильных дорог и подъездных путей, к тому же носит сезонный характер.

Параметры получаемых на раскатных станах изделий следующие: диаметр – до 8 м и высота – до 4 м.

Кольцевая раскатка позволяет сократить расход металла почти на 30 %. Наряду с этим уменьшается трудоемкостьковки до 25 % и механической обработки в два раза, снижается расход режущего инструмента, сокращается цикл изготовления крупногабаритных кольцевых изделий, частично высвобождаются производственные мощности сталеплавильного, кузнечно-прессового и механообрабатывающего производства предприятий энергетического машиностроения.

Порядок изготовления кольцевых заготовок путем раскатки следующий: на специализированном предприятии выплавляют сталь и отливают слитки массой до 360 т. Полученные слитки предварительно обрабатывают операциямиковки с получением кольцевой заготовки.

Их обкатывают, отрубуют донную часть, осаживают, прошивают и раскатывают на оправке с последующей термообработкой. На оправке заготовки раскатывают до размеров, позволяющих перевозить их по железной дороге, затем заготовки раскатывают на раскатном стане.

Заготовку раскатывают на раскатном стане до заданных размеров с одновременной правкой в процессе раскатки, затем поковку подвергают окончательной механической обработке. При этом припуски назначают до двух раз меньше, чем при изготовлении обечаек без использования раскатного стана, но не меньше нижнего поля допуска на отклонение геометрической формы и размеров поволоков.

Раскатку кольцевых заготовок проводят на раскатных станах вертикального или горизонтального типа. Схемы кольцевой раскатки представлена на рис. 1.3.

Процесс раскатки на раскатном стане вертикального типа осуществляют при вертикальном расположении осей наружного 1 и внутреннего 2 валков параллельно оси раскатываемой заготовки 3. При этом заготовка торцевой поверхностью устанавливается на опорный стол 4 с радиальными салазками 6 и фиксируется в процессе раскатки центрирующими роликами 5 с одинаковыми усилиями прижима на входе и выходе заготовки.

Раскатку кольцевых заготовок на станах горизонтального (радиального) типа осуществляют при горизонтальном положении осей наружного 1 и внутреннего 2 валков и заготовки 3. Основной конструктивной особенностью стана является отсутствие опорного стола. Его роль играют нижний 8 и верхний 7 опорные валки, перемещающиеся

в процессе раскатки по направляющим. Эти же валки выполняют функцию центрирующих роликов.

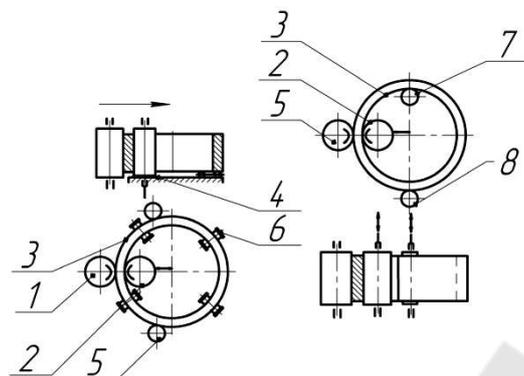


Рис. 1.3. Схема кольцевой раскатки на раскатных станах:
1, 2 – наружный и внутренний раскатные валки соответственно;
3 – раскатываемая заготовка; 4 – опорный стол;
5 – центрирующие (опорные) ролики; 6 – радиальные салазки;
7 – верхний и 8 – нижние опорные валки

В соответствии с заданной областью применения раскатный стан обеспечивает изготовление кольцевых изделий прямоугольного сечения размерами: максимальный наружный диаметр 8000 мм, толщина стенки – до 750 мм, высота – от 500 до 4000 мм. Размеры исходных заготовок: максимальный наружный диаметр – 4500 мм, минимальный внутренний диаметр – от 1450 мм, толщина стенки – от 150 до 1000 мм, высота – от 500 до 4000 мм.

В лабораторных условиях горизонтальную раскатку крупных кольцевых заготовок моделируют на токарном станке и осуществляют также как и раскатку мелких заготовок.

1.3. Торцовая раскатка

Отличительной особенностью операций раскатки от операций штамповки является локальный характер приложения деформирующего усилия и, в частности, к торцу обрабатываемой заготовки, что позволяет существенно снизить удельное и общее суммарное усилия деформирования.

Результатом использования процессов раскатки является снижение расхода металла от 15 до 30 %, а трудоемкость изготовления деталей снижается до 30 %. Невысокая стоимость необходимой оснастки при большой ее стойкости обеспечивает эффективное использо-

вание процессов, как в мелкосерийном, так и в крупносерийном производстве.

Получаемые раскаткой изделия (рис. 1.4) весьма разнообразны по форме, а именно, такими могут быть цельнокатаные (без оси) ролики рольгангов и ленточных транспортеров, баллоны, резервуары и ресиверы для сжатых и сжиженных газов.

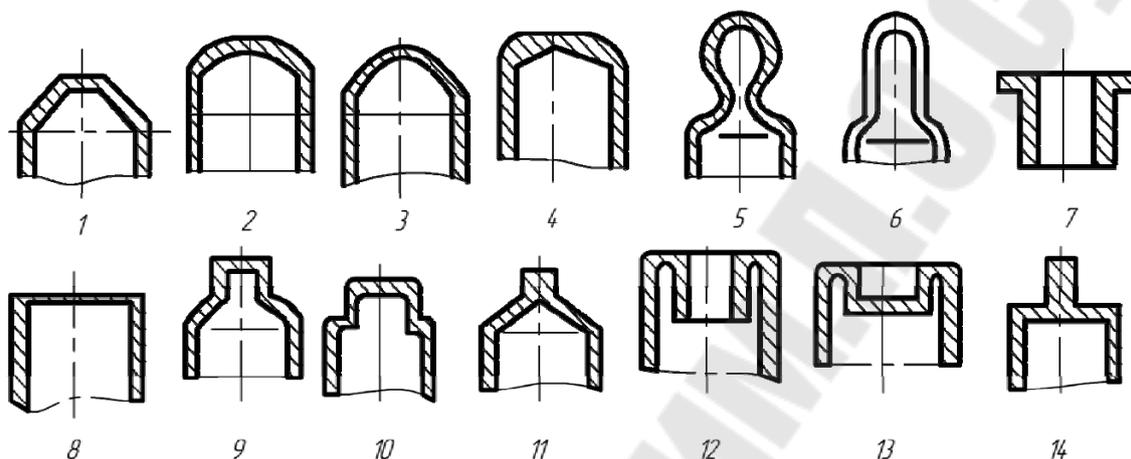


Рис. 1.4. Детали, получаемые из труб способом торцевой раскатки: 1–6 – герметичные сферические, эллипсоидные и параболические днища; 7 – фланцы трубопроводов; 8–11 – плоские и ступенчатые днища и горловины; 12, 13 – детали с внутренним выворотом; 14 – цапфы на роликах

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

Также могут быть получены детали пневматических или гидравлических цилиндров, полые штоки с шаровой пятой, крышки амортизаторов, экраны и переходники для теплообменных аппаратов; стержни со специфической или конусной концовкой; трубчатые анкеры и металлоконструкции; ступенчатые валы, втулки и многое другое. Одной из самых эффективных областей применения рассматриваемого процесса является получение утолщений на торцах трубы и получение деталей с наружными буртами или внутренними бортами или выворотами. Заготовками для выполнения процессов раскатки являются трубы или отходы трубного производства, причем диапазон заготовок по диаметрам от 20 до 630 мм, по толщине стенки от 0,8 до 34 мм, по длине L без ограничения. Отношение S/D допустимо от 0,02

до 0,1. Процесс и схема торцевой раскатки с внутренней оправкой показаны на рис. 1.5.



Рис. 1.5. Схемы торцевой раскатки с внутренней оправкой:
а – без утонения стенки; *б* – с утонением стенки

Торцевая раскатка с внутренней оправкой обеспечивается перпендикулярным расположением ролика оси вращающейся заготовки. При этом торцевая раскатка может проводиться как без утонения стенки, так и с утонением стенки получаемой детали.

Торцевую раскатку (рис. 1.6) можно проводить также на установках без внутренней оправки.

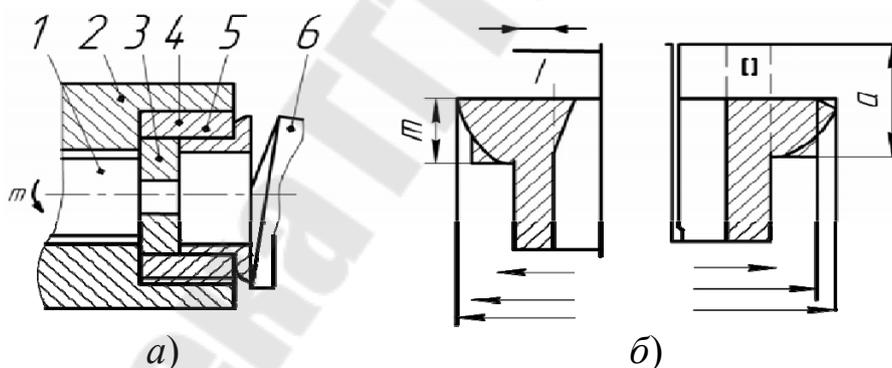


Рис. 1.6. Раскатка наружного бурта:
а – схема раскатки; *б* – форма буртов, полученных в результате высадки и отбортовки; *I* – высадка; *II* – отбортовка.
I – выталкиватель; 2 – шпиндель; 3 – подпятник; 4 – матрица;
 5 – заготовка; 6 – деформирующий валок

Большое значение на вид получаемого изделия имеет характер формоизменения заготовки. При раскатке заготовок с торца коническим инструментом может иметь место:

– раскатка высадкой – наблюдается двустороннее течение металла в зоне контакта раскатного валка с заготовкой. В данном случае

наблюдается плавное увеличение кривизны выпуклой свободной поверхности, образуемого бурта на протяжении всей операции формообразования. Процесс сопровождается уменьшением внутреннего диаметра заготовки;

– раскатка отбортовкой – в начальной стадии раскатки у заготовки происходит преимущественное течение контактирующих с валком слоев металла, что приводит к вывороту этой части заготовки и к образованию острой кромки на периферийной части торцевой поверхности бурта.

ТЕМА 2. ПРОКАТКА

2.1. Продольно-периодическая прокатка

Продольно-периодическую прокатку (ППП) выполняют в вальцевых станах (рис. 2.1, а–г).

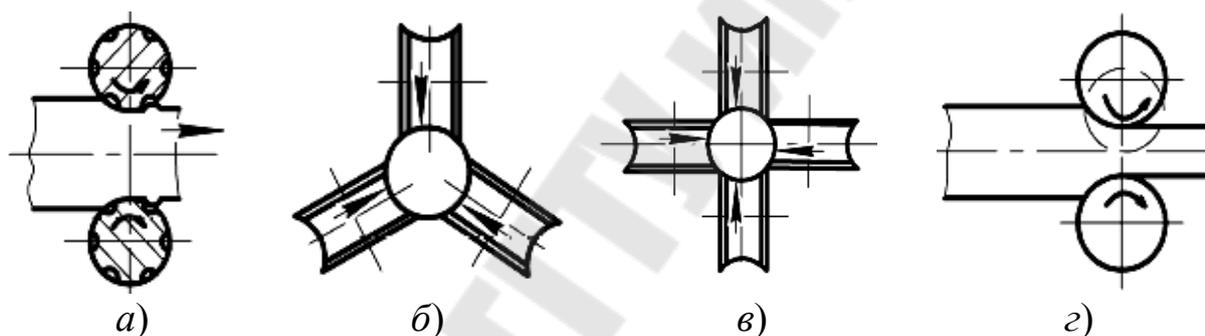


Рис. 2.1. Схемы станов ППП:

а – двухвалковая; б – трехвалковая; в – четырехвалковая;
г – стан-пресс

Периодические профили подразделяют на следующие виды:

- с периодичностью профиля, лишь со стороны одного валка;
- с периодичностью профиля со стороны двух или нескольких валков.

Первый вид: калибровка имеет переменный профиль.

Второй вид: оба валка (или все валки) имеют переменный профиль ручьев; однако по углу поворота относительно друг друга валки могут быть устанавливаться произвольно, точного совпадения фигур не требуется.

Профиль первого и второго видов можно прокатывать на сортовых прокатных станах или вальцах.

Периодические профили с плавными переходами можно прокатывать на стане-прессе, имеющем гладкие валки постоянного радиуса, перемещающиеся в процессе прокатки относительно друг друга.

2.2. Поперечная, поперечно-винтовая, поперечно-клиновидная прокатки

При поперечной прокатке инструмент придает заготовке вращательное движение, в связи с этим поперечная прокатка и ее разновидности (рис. 2.2.) служат лишь для обработки тел вращения, отработывая металл в поперечном направлении.

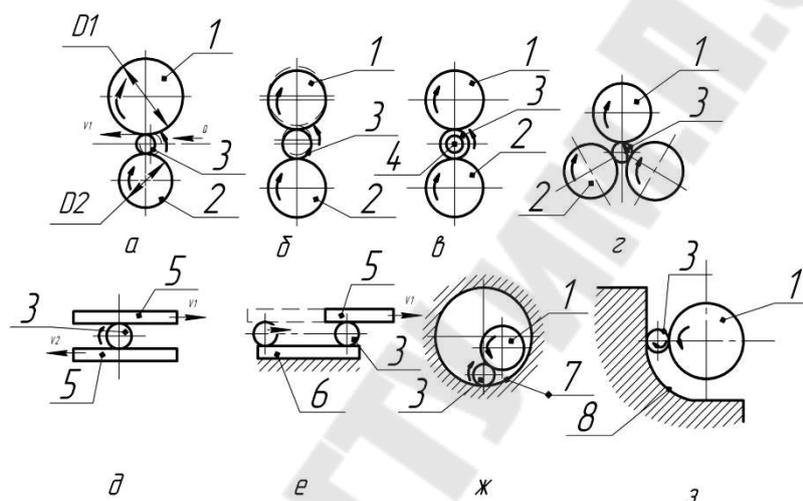


Рис. 2.2. Схемы поперечной прокатки:

а-г – поперечная прокатка; д, е – поперечно-клиновидная прокатка; ж – поперечная прокатка в барабанных станках; з – поперечная прокатка в валково-сегментных станках; 1, 2 – валки; 3 – заготовка; 4 – оправка; 5 – подвижная плита; 6 – неподвижная плита; 7 – барабан; 8 – сегмент

Производительность процесса по сравнению с обработкой на токарных автоматах увеличивается более чем в 10 раз, коэффициент использования материала (КИМ) больше на 30...60 %. Повышается качество продукции: повышается прочность и износостойкость.

Поперечная прокатка может осуществляться в двухвалковом или трехвалковом прокатном стане (рис. 2.2, а-г), валки которого вращаются в одну сторону, придавая находящейся между ними заготовке вращение в обратную сторону.

Для обеспечения непрерывности процесса при прохождении заготовки через зону деформации окружные скорости валков двухвал-

кового прокатного стана делают разными ($v_1 > v_2$) за счет разных рабочих диаметров валков ($D_1 > D_2$). Для продвижения заготовки через очаг деформации применяются специальные проталкивающие устройства, т. е. прикладывается усилие Q .

Обжатие заготовки по мере ее вращения между валками производится сближением валков в процессе поперечной прокатки (рис. 2.2, б–з). Такой прием используют при прокатке шестерен. В этом случае применяется производительное синхронное вращение заготовки с целью получения точных зубьев шестерен.

Поперечную прокатку полых изделий выполняют на оправке (рис. 2.2, в). Поперечную прокатку можно производить в поступательно движущемся инструменте (рис. 2.2, д, е), как без перемещения оси заготовки ($v_1 = v_2$, рис. 2.2, д), так и при ее перемещении ($v_1 > v_2$, рис. 2.2, е). Таким образом производят накатку резьбы на резьбонакатных станках.

Поперечную прокатку осуществляют также в барабанных станках (рис. 2.2, ж), в валково-сегментных станках (рис. 2.2, з).

Поперечно-винтовая прокатка (косая прокатка) – разновидность поперечной прокатки, которую применяют при производстве труб и трубных заготовок, когда валки двух- и трехвалкового стана располагаются под углом друг к другу и к оси заготовки, которая получает не только вращательное движение, но и движение вдоль оси заготовки, что способствует непрерывности процесса (рис. 2.3).

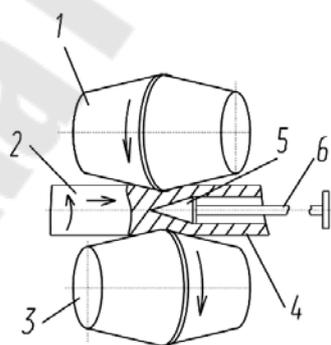


Рис. 2.3. Поперечно-винтовая прокатка в конусных калибрах:
1 – левый валок; 2 – заготовка; 3 – правый валок; 4 – гильза;
5 – оправка; 6 – штанга

Плоскую поперечно-клиновую прокатку выполняют в инструменте, имеющем боковые наклонные грани, расположенные под углом к плоскости вращения. В процессе прокатки эти грани заставляют перемещаться избытки металла, возникающие при внедрении инст-

румента в заготовку, т. е. способствуют перераспределению металла вдоль оси заготовки. Оставшаяся часть металла на данном участке прокатывается между инструментами, приобретая их профиль в продольном сечении тела вращения (рис. 2.4).

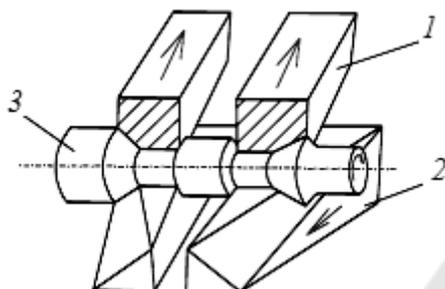


Рис. 2.4. Схема поперечно-клиновой прокатки:
1 – клин верхний; 2 – заготовка; 3 – клин нижний

При движении инструмента обжатие заготовки по мере ее вращения происходит постепенно, в зонах прямого контакта; форма инструмента имеет вид клина.

Валковой поперечно-клиновой прокаткой получают как готовые изделия, так и заготовки под штамповку. Это высокопроизводительная ресурсосберегающая технология обработки металлов давлением с коэффициентом использования металла (КИМ) 0,8–0,98, предназначенная для получения осесимметричных деталей. Конфигурация деталей весьма многообразна: с цилиндрическими, коническими и сфероидальными поверхностями со всевозможными канавками и выступами. Получаемые детали отличаются высокими прочностью и износостойкостью в процессе эксплуатации.

Важным преимуществом валкового ПКП оборудования является простота изготовления, высокая точность и низкая себестоимость клинового инструмента.

Используется для производства деталей в автомобилестроении, станкостроении, приборостроении, сельхозмашиностроении, тракторостроении, авиастроении, мотовелостроении, горнодобывающей и атомной промышленности. Обработываются практически все конструкционные стали, а также латунь, титан, цирконий и никель.

Оборудование валковой ПКП имеет три основные компоновки (рис. 2.5). В двухвалковом стане (рис. 2.5, а) заготовка удерживается в рабочей зоне направляющими. Возможна прокатка изделий из прутка, что эффективно при изготовлении коротких деталей.

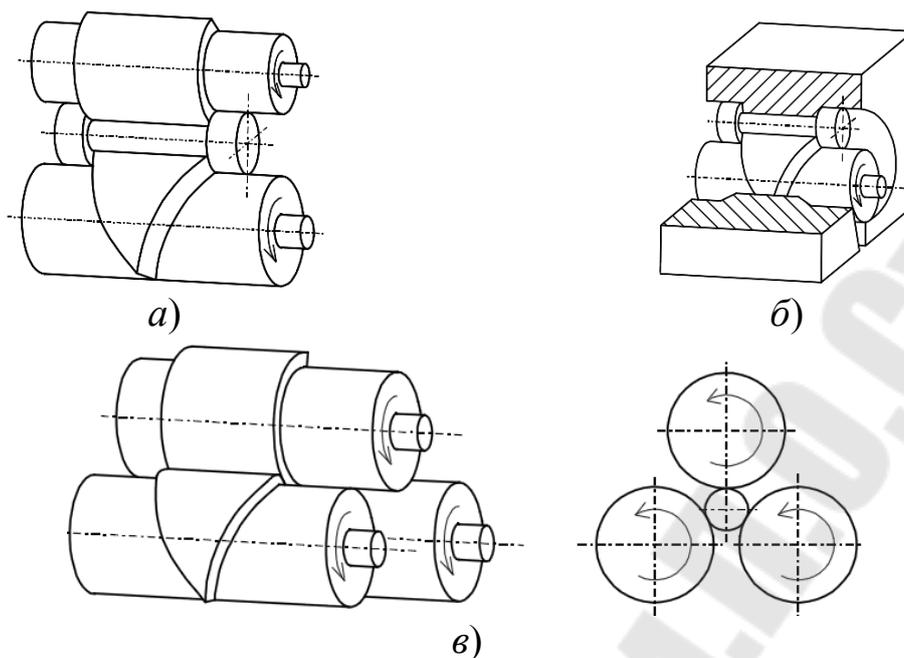


Рис. 2.5. Основные компоновки станов валковой поперечно-клиновой прокатки:

а – двухвалковый стан; *б* – трехвалковый стан;
в – валково-сегментный стан

Валково-сегментный стан (рис. 2.5, б) работает только со штучной заготовкой при относительно невысоких требованиях по точности изделия. Трехвалковые станы (рис. 2.5, в) снижают вероятность разрушения заготовки в ее осевой зоне.

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

Основные преимущества применения технологии поперечно-клиновой прокатки:

- снижение металлоемкости (меньше заготовка, меньше отходов КИП до 0,9);
- ускорение цикла производства в 2–3 раза;
- упрочнение структуры детали и отсутствие эллиптичности;
- на плоском инструменте эффект Маннесмана менее выражен (меньше на 10–20 %) в связи с более стабильным положением площадок контакта детали с инструментом;
- прокатка несимметричных деталей;
- увеличение срока межремонтных интервалов штампов;

– работа в комплексе с индукционными нагревателями ТПЧ с непрерывным контролем входных и выходных температур заготовки позволяет снизить энергозатраты и повысить качество штамповок за счет уменьшения окалинообразования.

ТЕМА 3. РАЗДАЧА

Раздача – увеличение периметра поперечного сечения концевой части полой заготовки путем заталкивания в нее расширяющегося пуансона с увеличивающимся диаметром по длине (рис. 3.1).

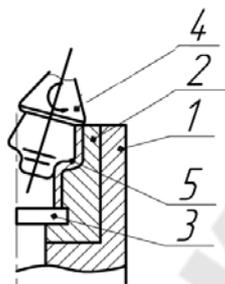


Рис. 3.1. Схема процесса раздачи:

1 – матричный блок; 2 – обойма матрицы; 3 – оправка;
4 – раскатной валок; 5 – готовая деталь

Напряженно-деформированное состояние при этом является сжато-растянутым: сжимающие напряжения действуют в меридиональном направлении, растягивающие – в тангенциальном. Это операция, противоположная обжиму. Коэффициент раздачи для стали приведен в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Коэффициент раздачи для стали

S_0/d_0	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1	0,11	0,12	0,13	0,14
$K_{\text{разд}}$	1,46	1,5	1,52	1,53	1,55	1,56	1,58	1,59	1,6	1,63	1,68

Толщина материала при раздаче уменьшается. Наименьшую толщину в месте наибольшего растяжения определяют по формуле (3.1):

$$S_{\min} = S_0(K_{\text{разд}}^{-1})^{1/2}. \quad (3.1)$$

Размеры заготовки для раздачи определяют исходя из равенства объемов заготовки и детали без учета изменения толщины металла.

Предельное наибольшее значение усилия без учета калибровки можно определить по формуле (3.2):

$$P_{\text{разд}} = 1,1\pi S\sigma_{\text{в}}(d_1 - d_0). \quad (3.2)$$

Допустимое увеличение диаметра края заготовки при раздаче зависит от рода материала и его механических свойств, отношения толщины заготовки к ее диаметру, угла конусности пуансона, величины коэффициента трения и состояния металла у края заготовки. Технологические процессы раздачи полых деталей отличаются высокой эффективностью и многообразием возможных вариантов формообразования. Высокое качество поверхности, макроструктура после раздачи повышает износостойкость, статическую и динамическую прочность деталей. Раздачу можно осуществлять на краях полой заготовки или на ее средней части в штампах с разъемными матрицами, эластичными средами и другими способами.

Операция раздачи, как правило, требует применения штампов с разъемной матрицей. Для раздачи применяют следующие типы штампов:

- с резиновым пуансоном;
- с жидкостью вместо пуансона;
- с разжимными секциями, раздвигаемые клиновой вставкой.

Общим недостатком указанных штампов является неудобство и сложность ручного разъема матрицы и извлечения из матрицы готовой детали.

Точность размеров деталей, получаемых раздачей, соответствует 8...11 качеству, шероховатость $Ra - 5 \div 0,63$ мкм.

ТЕМА 4. НАКАТКА

4.1. Накатка зубчатых профилей

Зубчатые колеса накатывают по двум схемам — с осевой подачей заготовки или с радиальной подачей валков. *Осевая подача заготовок* производится для накатки колес с мелким модулем — до 4 мм. Рабочий инструмент в виде зубчатых колес с заборной конической частью (рис. 4.1, а) устанавливают на определенное межцентровое расстояние, а заготовки, надетые на стержень и зажатые гидравлическим устройством, подают через нагревательный индуктор в зону между вращающимися валками. Деформация в основном производится

конической частью валков, а цилиндрической частью — калибровка. Скорость осевой подачи выбирают в пределах 2...10 мм/с, она лимитируется индуктором (необходимо, чтобы заготовка за время прохождения индуктора успевала нагреваться до 1200 °С).

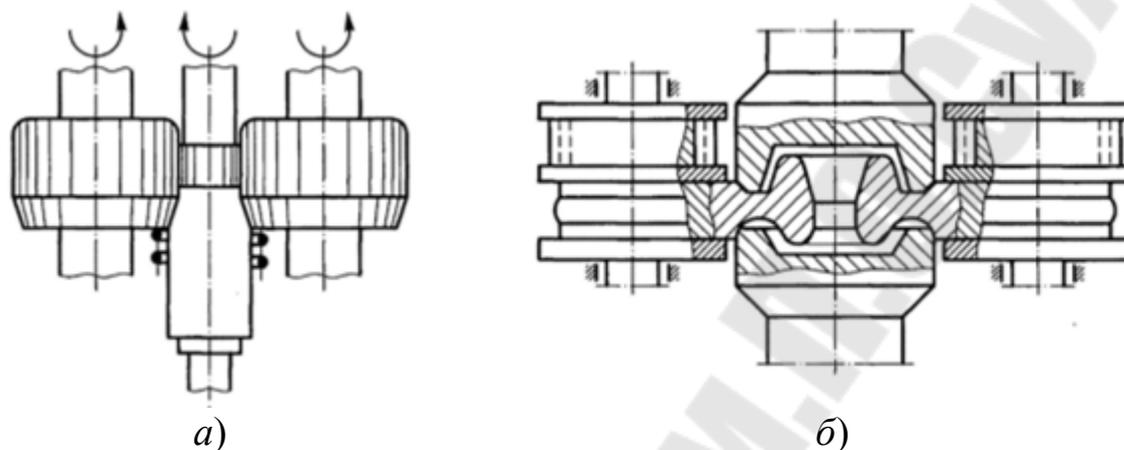


Рис.4.1. Схемы накатывания шестерен:

а – с осевой подачей заготовки; *б* – с радиальной подачей валков

Такой технологический процесс обеспечивает изготовление зубчатого венца с прямыми и косыми зубьями с точностью до 10 степени. Его применяют в тех случаях, когда прокатанные шестерни работают при сравнительно невысоких скоростях – профиль зубьев механической обработке не подвергают, только растачивают осевое отверстие и обрабатывают торцы. Производительность прокатного стана составляет 150–200 шестерен в час.

Технологический процесс с *радиальной подачей* (рис. 4.1, б) применяют для накатки зубчатых колес с модулем 5 мм и выше. Его осуществляют следующим образом: две пары валков, зубчатых и гладких, насажены на общий вал, причем зубчатые валки находятся выше гладких. Штампованную кольцевую заготовку зажимают гидравлическим устройством и располагают напротив гладких валков. Специальный секторный индуктор нагревает заготовку до 1200 °С, затем валки сближают и производят обкатку обода. При этом получают точные размеры обода по диаметру и ширине. Затем валки разводят и заготовку в зажатом состоянии устанавливают против зубчатых валков. Валки сближают и накатывают зубья с припуском 0,5...1,5 мм на сторону под механическую обработку. Производительность стана при накатке шестерен с модулем 7 мм и числом зубьев 28 составляет 25–30 шт./ч.

Звездочки накатывают аналогично предыдущему методу, только зубья звездочек прокатывают начисто, без припуска на механическую обработку.

Накатку применяют как окончательную операцию обработки зубчатого венца при производстве зубчатых колес 15...16 квалитетов точности с модулем не более 4 мм.

Достоинства процесса: экономится 15–30 % металла; трудоемкость процесса меньше в 2–5 раз; усталостная прочность повышается на 15–20 %; прочность при изгибе увеличивается на 20–40 %.

4.2. Накатка резьбовых профилей

Резьбовые детали – это особый вид деталей, у которых для соединения с объектом или друг с другом используется резьба. В современной промышленности для нанесения резьбовых соединений зачастую используют метод накатки. Он заключается в том, что в заготовке из металла при помощи оборудования давлением металл выдавливается и накатывается на вершину резьбы.

Накатка резьб имеет ряд преимуществ по сравнению с механической обработкой. В несколько раз сокращается трудоемкость изготовления зубчатого венца и винтовой резьбы, экономится значительное количество металла (15...30 %). Кроме того, прочность накатанных зубьев выше, чем фрезерованных, поскольку зубья приобретают более мелкозернистую структуру, при механической обработке волокна металла не перерезаются, а оказываются расположенными вдоль профиля. Усталостная прочность поверхностных слоев увеличивается на 15...20 %, усталостная прочность на изгиб – на 20...40 %.

Методы накатки (табл. 4..) находят широкое применение не только при формообразовании различных резьб на сплошных и полых заготовках крепежных деталей, но и при получении различных профилей на деталях типа валов и осей, шлицевых соединений, червяков и винтов, зубчатых деталей, полученных обработкой резанием, и калибровки (правки) относительно длинных изделий.

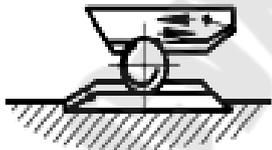
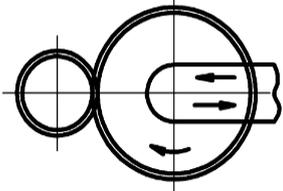
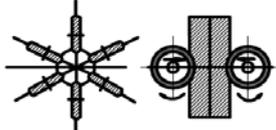
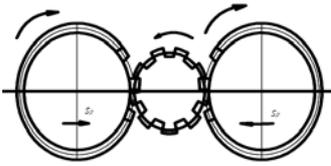
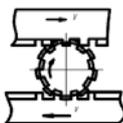
Дефекты, которые возникают во время накатывания резьбы, связаны с механическим воздействием в данном процессе.

Виды дефектов металла, которые могут возникнуть:

- растрескивание; вырывание поверхностного слоя;
- образование дефектов на поверхности (закаты, складки, наслоения, заусенцы и т. п.);
- выкрашивание; шелушение и отслаивание.

Таблица 4.1

Технологические методы и схемы накатки

Методы накатки	Схемы накатки
<p>Плоским инструментом с тангенциальной подачей. (Упрощается автоматизация процесса накатки. Универсальность, диапазон диаметров накатки резьбы 1.5...33 мм)</p>	
<p>С тангенциальной подачей вращающимися резьбонакатными сегментами (подвижным и неподвижным). (Производительность повышается в 3–5 раз. Трудоемкость совмещения, сложность изготовления резьбового сегмента)</p>	
<p>С радиальной подачей одним роликом с винтовой нарезкой. (Повышается долговечность и производительности труда по сравнению с фрезерованием и нарезанием в 12–15 раз)</p>	
<p>Продольная накатка многороликовой головкой с радиальной подачей роликов. (Сквозные шлицы на жестких валах)</p>	
<p>Ударная накатка вращающимися роликами (Сквозные и закрытые шлицы любого профиля)</p>	
<p>Зубчатыми роликами с радиальной подачей инструмента (поперечная накатка). (Сквозные и закрытые шлицы и зубчатые колеса эвольвентного и треугольного профилей)</p>	
<p>Плоские зубчатые рейки. (Сквозные и закрытые шлицы эвольвентного и треугольного профилей)</p>	
<p>Поперечно-винтовая прокатка зубьями. (Сквозные и закрытые шлицы эвольвентного и треугольного профилей)</p>	<p>Зубчатые ролики с винтовыми формообразующими</p>

К факторам которые могут существенно повлиять на качество изделия после накатки на него резьбы относят:

- качество используемого для производства заготовки материала;
- качество выполнения заготовки для накатывания резьбы;
- качество инструмента, применяемого в процессе резьбонакатки;
- квалификация работников, производящих наладку резьбонакатного автомата и резьбообразующего инструмента.

ТЕМА 5. БЕЗОТХОДНАЯ ШТАМПОВКА ЛИСТОВЫХ ДЕТАЛЕЙ ДЕФОРМИРУЮЩИМ МЕТАЛЛОМ

Использование в процессах вытяжки в качестве деформирующего материала резины, жидкости приводит к тому, что давление со стороны деформирующего материала достаточно для формообразования центральной части заготовки, но недостаточно для предотвращения складкообразования металла во фланцевой части заготовки. Это приводит к необходимости применения жестких прижимных колец, что в результате усложняет штамповую оснастку и нивелирует преимущество универсализации формообразующего инструмента.

Отмеченный недостаток устраняется при использовании в качестве деформирующего материала «мягких» металлов (рис. 5.1), который выполняет и роль пуансона, и роль прижима.

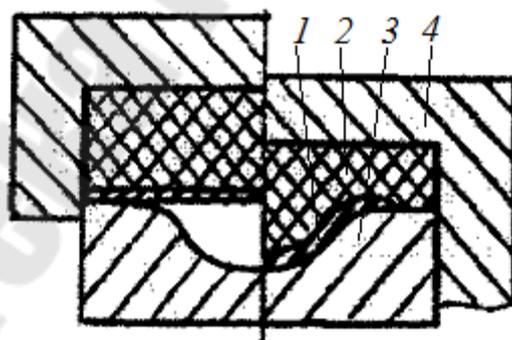


Рис. 5.1. Штамповка листовых деталей деформирующим металлом:

1 – лист; 2 – деформирующий металл; 3 – матрица; 4 – пуансон

Но в этом случае:

- после штамповки пластичный металл пуансона необходимо обжать плоской плитой, следовательно, уменьшится производительность процесса;

– этот процесс не снижает КИМ при изготовлении полых листовых деталей.

Эти недостатки устраняются при использовании способа штамповки-вытяжки, где в качестве пластичного металла используют пакет заготовок из металла изделия, а высоту пакета задают более двух высот изделия (в процессе штамповки пакет восполняется).

ТЕМА 6. СВОБОДНАЯ ГИБКА

Обеспечивает гибкость, но имеет некоторые ограничения по точности.

Преимущества свободной гибки (рис. 6.1):

- высокая гибкость: без смены гибочных инструментов вы можете получить любой угол гибки, находящийся в промежутке между углом раскрытия V-образной матрицы (например 86° или 28°) и 180° ;
- меньшие затраты на инструмент;
- по сравнению с калибровкой требуется меньшее усилие гибки;
- можно варьировать усилие: большее раскрытие матрицы означает меньшее усилие гибки. если вы удваиваете ширину канавки, вам необходимо только половинное усилие. это означает, что можно гнуть более толстый материал при большем раскрытии с тем же усилием;
- меньшие инвестиции, так как нужен пресс с меньшим усилием.

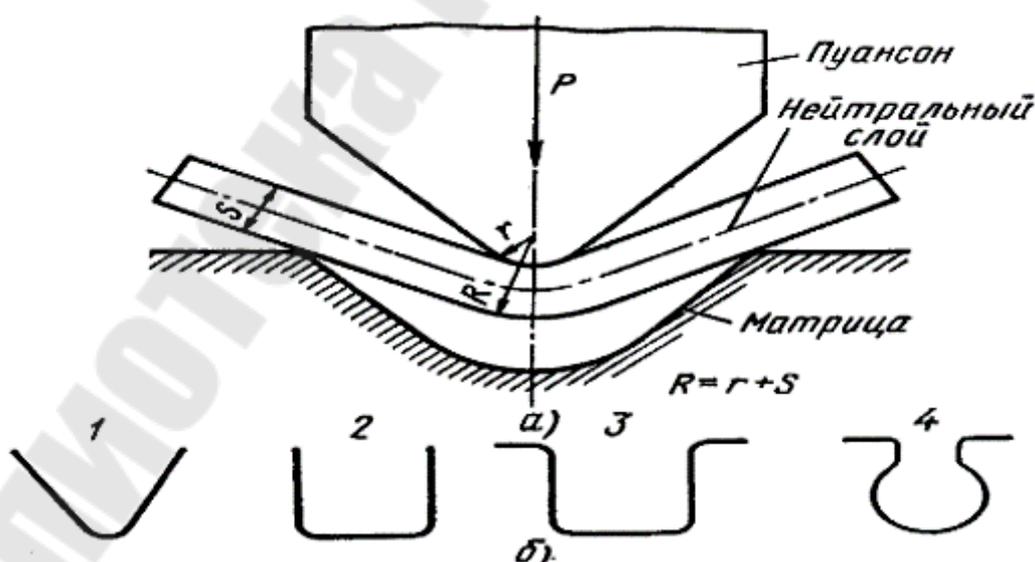


Рис. 6.1. Схема свободной гибки:

а – схема процесса; б – примеры получаемых профилей

Основные черты:

– траверса с помощью пуансона вдавливают лист на выбранную глубину по оси Y в канавку матрицы;

– лист остается «в воздухе» и не соприкасается со стенками матрицы;

– это означает, что угол гибки определяется положением оси Y , а не геометрией гибочного инструмента.

Точность настройки оси Y на современных прессах 0,01 мм. Какой угол гибки соответствует определенному положению оси Y ? Трудно сказать, потому что нужно найти правильное положение оси Y для каждого угла. Разница в положении оси Y может быть вызвана настройкой хода опускания траверсы, свойствами материала (толщина, предел прочности, деформационное упрочнение) или состоянием гибочного инструмента.

Приведенная ниже таблица (табл. 6.1) показывает отклонение угла гибки от 90° при различных отклонениях оси Y .

Таблица 6.1

Отклонение угла гибки

$\alpha, ^\circ / V, \text{ мм}$	1°	$1,5^\circ$	2°	$2,5^\circ$	3°	$3,5^\circ$	4°	$4,5^\circ$	5°
4	0,022	0,033	0,044	0,055	0,066	0,077	0,088	0,099	0,11
6	0,033	0,049	0,065	0,081	0,097	0,113	0,129	0,145	0,161
8	0,044	0,066	0,088	0,110	0,132	0,154	0,176	0,198	0,220
10	0,055	0,082	0,110	0,137	0,165	0,192	0,220	0,247	0,275
12	0,066	0,099	0,132	0,165	0,198	0,231	0,264	0,297	0,330
16	0,088	0,132	0,176	0,220	0,264	0,308	0,352	0,396	0,440
20	0,111	0,166	0,222	0,277	0,333	0,388	0,444	0,499	0,555
25	0,138	0,207	0,276	0,345	0,414	0,483	0,552	0,621	0,690
30	0,166	0,249	0,332	0,415	0,498	0,581	0,664	0,747	0,830
45	0,250	0,375	0,500	0,625	0,750	0,875	1,000	1,125	1,250
55	0,305	0,457	0,610	0,762	0,915	1,067	1,220	1,372	1,525
80	0,444	0,666	0,888	1,110	1,332	1,554	1,776	1,998	2,220
100	0,555	0,832	1,110	1,387	1,665	1,942	2,220	2,497	2,775

Все это, однако, теоретически. На практике вы можете потратить деньги, сэкономленные на приобретении пресса с меньшим усилием, позволяющего использовать все преимущества воздушной гиб-

ки, на дополнительное оснащение, такое как дополнительные оси заднего упора или манипуляторы.

Недостатки свободной гибки:

- менее точные углы гибки для тонкого материала;
- различия в качестве материала влияют на точность повторения;
- не применима для специфических гибочных операций.

При свободной гибке лист опирается на верхние кромки щели гибочной матрицы на протяжении всего процесса гибки.

Необходимый радиусгиба устанавливается посредством регулирования величины хода пуансона. Ширина щели матрицы также может быть изменена.

Подготовка к гибке:

- минимальная температура листа должна быть $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- рекомендуется перенести листы, хранящиеся в холодном месте, в помещение за день до начала гибки;
- при необходимости поверхность листа, примыкающая к линии изгиба, должна быть подогрета при помощи газовой горелки; одогрев до $+100 - +200\text{ }^{\circ}\text{C}$ снижает величину усилиягиба и повышает способность стали к гибке;
- необходимо определить направление прокатки листов, подлежащих гибке;
- дефекты поверхности на той стороне листа, которая при гибке подвергается воздействию растягивающих напряжений, должны быть удалены посредством шлифовки;
- с кромок листа, образовавшихся после термической или механической резки по меньшей мере в зоне гибки, должны быть удалены все дефекты посредством шлифовки.

ТЕМА 7. ЛАЗЕРНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Лазерная технология в последнее время находит все более широкое применение в промышленности.

С помощью лазерной технологии производятся *следующие операции*:

- прошивка точных отверстий в рубиновых часовых камнях,
- диафрагмах и фильерах, резка листового материала, раскрой тканей, разделение хрупких материалов,
- подготовка номиналов электронных приборов,

– сварка различных материалов.

По сравнению с другими видами обработки увеличивается производительность, точность и качество обработки, улучшаются условия труда.

Схема процесса (рис. 7.1) и стадии обработки:

- подвод лазерного излучения к материалу;
- поглощение светового потока и передача его энергии твердому телу;
- нагрев материала без видимого разрушения;
- расплавление материала;
- испарение и вымывание продуктов разрушения;
- остывание материала после окончания лазерного воздействия.

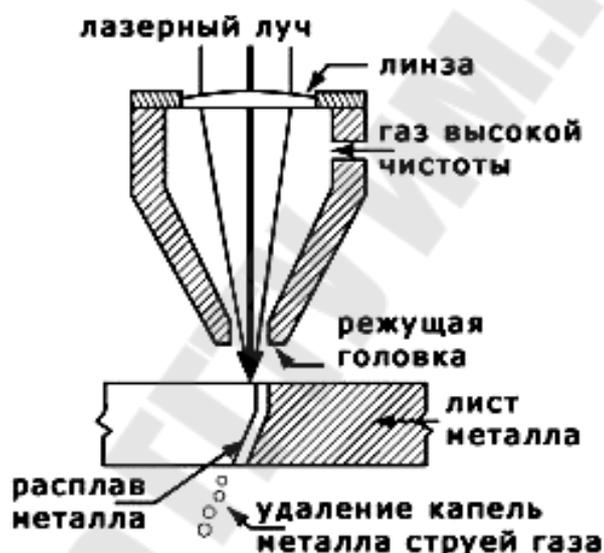


Рис. 7.1. Схема лазерной резки

Характер протекания этих процессов зависит от свойств обрабатываемых материалов:

- коэффициента отражения поверхности на длине волны излучения;
- температуропроводности;
- теплопроводности;
- удельной теплоты плавления и испарения;
- теплоты плавления и испарения;
- плотности материала и т. п.

Чем короче длина волны излучения оптических квантовых генераторов (ОКГ), тем ниже отражательная способность металла и выше доля поглощенной световой энергии.

Большинство металлов плохо поглощает излучение CO_2 лазеров, имеющих длину волны 10,6 мкм. Для повышения лазерной обработки можно искусственно снизить отражательную способность материала, например, изменив шероховатость поверхности или использовав разного рода покрытия.

Аргон-лазеры: 0,4880 мкм.

Аргон-рубин: 0,6943 мкм.

Температурный режим нагрева металла определяется плотностью мощности излучения лазера. При низкой плотности мощности (примерно до $10^3\text{--}10^4$ Вт/см²) происходит нагрев материала без его плавления или испарения, с повышением значения этой величины примерно до $10^6\text{--}10^7$ Вт/см² материал плавится, а при плотности мощности излучения, превышающей более $10^6\text{--}10^7$ Вт/см², материалы разрушаются вследствие испарения.

Процессы, происходящие в материале при воздействии на него излучения, зависят не только от плотности его мощности, но и от длительности воздействия излучения на материал.

Регулируя эти две характеристики излучения, можно задать энергетические условия, при которых реализуются процессы сварки, прошивки отверстия, упрочнения в результате структурных превращений, лазерного глянцеваия, лазерного шокового упрочнения.

Поскольку время нагрева, толщина расплавленного слоя и степень прогревания основного материала очень малы, охлаждение при кристаллизации жидкого слоя происходит с высшей скоростью до 10^6 °C/с. Это приблизительно в 10^3 быстрее скорости обычной закалки, в результате фиксируются состояния, при которых раствор еще не успел разделиться на фазы или это разделение не успело завершиться полностью.

При высокой скорости охлаждения расплавленного железа фиксируется γ -фаза, углерод не успевает выделиться в виде цементных образований и остается в растворе или частично переходит в тетраэдрические полости Fe_a , в результате чего образуется мартенсит.

Полученные сверхзакаленные зоны (белые слои), характерные для других видов скоростного нагрева (электронным лучом, электроискровым воздействием, в результате взрывного эффекта и др.), большей поверхностной твердости, мелкая кристаллизация субструктуры создает высокотепловые фазы.

Могут быть твердотельные и газовые лазеры мощностью излучения от долей джоуля до нескольких джоулей, в качестве активной

среды используются твердые тела: рубин, специальное стекло, алюмо-натриевый гранат, вольфрамит кальция и др., они могут работать в импульсном или в непрерывном режиме генерации излучения.

При работе в импульсном режиме для реализации процессов упрочнения важны следующие параметры лазерного излучения: энергия в импульсе, длительность импульса, расходимость излучения, диаметр луча, частота следования импульсов. Более дешевые лазеры, в которых в качестве активных элементов используются стеклянные стержни с добавкой неодима. Установки типа СЛС-10-1 и «Квант 10», «Квант 12» содержат алюмоиттриевый гранат. Диаметр активного элемента из стекла с неодимом составляет 7 мм, длина – 130 мм, точность перемещения – 0,01 мм.

Преимущества газовых лазеров:

- высокие достижимые мощности излучения,
- повышенный КПД,
- возможность изменять энергетические параметры установок в широких пределах и т.п.

Для упрочнения пригодны лишь молекулярные CO_2 лазеры. В качестве активной среды используется смесь газов CO_2 , He, N_2 . Генерируемое излучение имеет длину волны 10,16 мкм.

Существуют три типа CO_2 лазеров:

- а) отпаянный;
- б) с продольной прокачкой;
- в) с поперечной прокачкой.

Основным элементом конструкции является стеклянная труба (капсула), по торцам которой расположены зеркала, резонаторы и блок питания. При изготовлении лазера капсула заполняется активной газовой средой и запаивается. Чем больше мощность установки, тем больше габаритные размеры. С 1 м длины лазерной полости получается мощность не более 0,05 кВт, масса лазерной головки – приблизительно 80 кг (min). Масса источника питания – приблизительно 500 кг.

ТЕМА 8. ШТАМПОВКА ПОКОВОК ИЗ ЖИДКОГО МЕТАЛЛА

8.1. Принципы штамповки поковок из жидкого металла

Это одна из наиболее прогрессивных технологий, позволяющих получать поковки с уменьшенными припусками под механическую обработку, КИМ до 95...98 %, с высокими физико-механическими и

эксплуатационными свойствами. Это синтез литейного и кузнечно-штамповочного производства. По этой технологии можно получать сложные фасонные поковки типа фланцев, шестерен, крышек с низкой шероховатостью поверхности и точными геометрическими размерами, близкими к форме и размерам готовых деталей. Технология штамповки поковок из жидкого металла позволяет использовать отходы от литья, штамповки (облой и перемычки), механической обработки (стружка, шлам) черных и цветных металлов. При штамповке крупных партий поковок для каждого типа поковки изготавливается свой штамп, при штамповке в условиях мелко- и среднесерийного производства экономически целесообразно применять групповой метод, при котором используется универсальный групповой блок и изготавливается только сложный формообразующий инструмент (вставки, вкладыши).

Сущность штамповки из жидкого металла (рис. 8.1): жидкий металл подается не в специальную камеру сжатия, а непосредственно в полость штампа, а затем под действием пуансона деформируется так же, как и при горячей объемной штамповке в закрытых штампах, и выдерживается под давлением до полной кристаллизации.

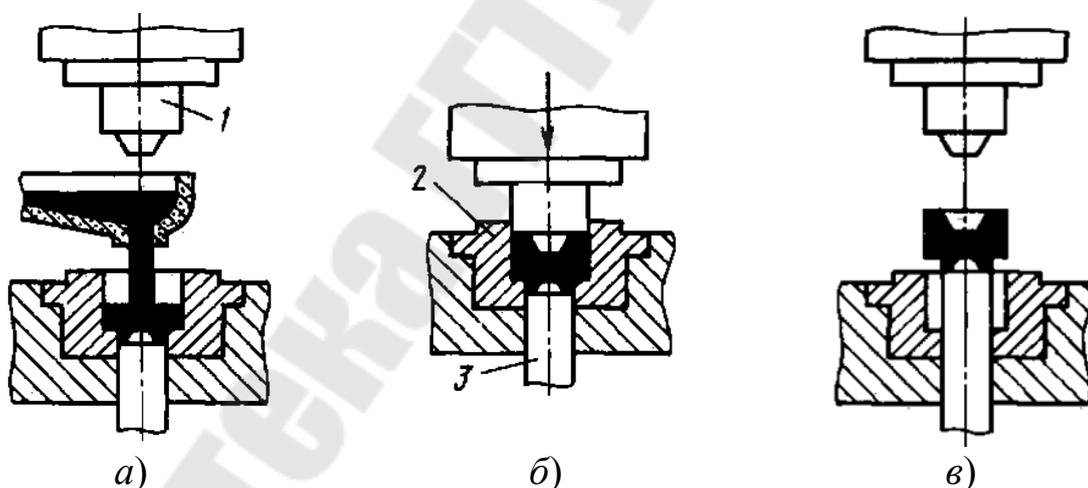


Рис. 8.1. Процесс жидкой штамповки:

a – заливка металла в полость штампа; *б* – кристаллизация под давлением; *в* – извлечение поковки; *1* – пуансон, *2* – штамп; *3* – выталкиватель

Точность заготовок соответствует 11...12 квалитетам, а шероховатость поверхности $Ra = 2,5...5$ мкм.

Большое количество деталей сложной конфигурации приборостроительного направления изготавливается отливкой в песчаной или

металлической форме. Используется литниковая очистка и прибыли, на что расходуется до 40...50 % металла.

При изготовлении данных деталей ковкой существуют значительные припуски и напуски на механическую обработку (до 60...75 %). По сравнению с литьем под давлением штамповка жидкого металла позволяет получить поковки сложного профиля почти без пор и раковин.

Применение давления при формообразовании позволяет устранить основной недостаток литья под давлением пустоты, газовые и усадочные камеры. Поковки простой формы без боковых выступов и впадин с неразъемными матрицами, а заготовки сложной конфигурации – с отрезками в штампах с разъемной матрицей. Штампуются как цветные, так и черные металлы. При этом металл находится в состоянии трехосного неравномерного сжатия, растягивающие напряжения отсутствуют, что дает возможность штамповать металлопластичные сплавы.

Преимущества штамповки из жидкого металла перед ковкой с горячей штамповкой:

- уменьшение расхода металла из-за отсутствия потерь на резку;
- отпадает необходимость иметь на заводе большой ассортимент проката;
- стоимость затрат на металл заготовки меньше на 30...60 %, так как используется не сортовой прокат, а шихта, состоящая из чушек для переплава и отходов металла;
- мощность прессового сбора меньше в 10...20 раз.

Недостатки штамповки из жидкого металла:

- производительность ниже, чем при горячей объемной штамповке, ввиду необходимости выдержки жидкого металла в штамповке под давлением;
- длительное воздействие жидкого металла со стенками штамповка ведет к появлению на них разгарных трещин, уменьшается стойкость швов. Широкого применения эта технология в машиностроительной промышленности не нашла.

8.2. Штамповка точных поковок из жидкого металла

Это детали электродвигателей, работающих в жидких средах под давлением, к которым предъявляются повышенные требования на герметичность, поковки должны быть точными (крышки, щиты).

Штамповку осуществляют не внутри пресса $P = 1000$ кН (100 Дж).
Материал: сплавы АЛ9 и ЛК 6. Штампы перед штамповкой нагревают до $120...150$ °С.

Полость штампа смазывают следующим составом: скириновая кислота 32 %, парафин 27 %, машинное масло 32 %, алюминиевый порошок 9 %. Смазка наносится тонким слоем при помощи пульверизатора.

Металл заливают мерной ложкой до определенного уровня непрерывной струей, затем при ходе ползуна пресса вниз в момент соприкосновения пуансона с зеркалом жидкого металла он (металл) кристаллизуется, после чего его штампуют. После штамповки заготовку снимают с пуансона, производят охлаждение штампа и его очистку.

Деталь имеет твердость по Бриннелю – 110 единиц, что в 1,5 раза больше, чем у заготовок, изготовленных литьем.

Поковки ползуна из жидкого металла (бронза БрАМц10-2) штампуют в штампе (рис. 8.2), состоящем из неразъемной матрицы 5, траверсы 1, пуансона 3 с двумя направляющими шпильками 2.

Поковку 4 штампуют по следующей технологии: в нагретую до $120...200$ °С и смазанную составом из олифы и серебристого графита, матрицу заливают жидким сплавом бронзы при температуре $1120...1140$ °С и выдерживают под давлением 3...4 мин до полной усадки и окончательного затвердевания.

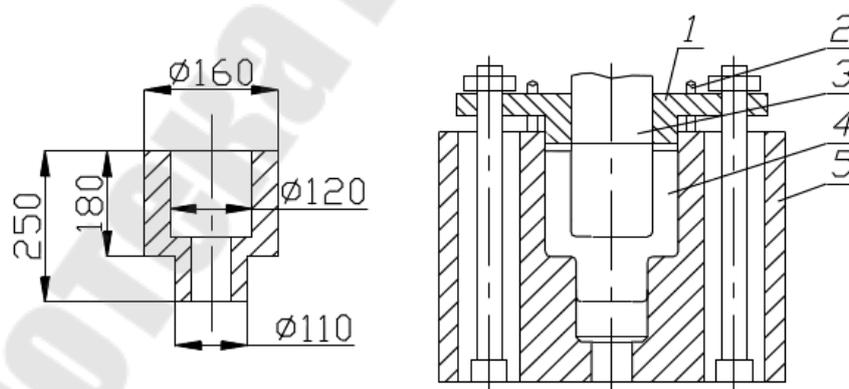


Рис. 8.2. Штамповка поковок ползуна и корпуса из жидкого металла:
1–5 см. в тексте

При использовании литья под давлением используют 71 кг металла; при использовании штамповки из жидкого металла – 30 кг.

Необходимо нагревать пуансон до $200...250$ °С.

Сравнительные показатели эффективности изготовления штампованных из жидкого металла поковок представлены в таблице 8.1.

Таблица 8.1

Эффективность изготовления штампованных из жидкого металла поковок

Деталь	Материал	Способ изготовления	Расход металла, кг	Масса детали, кг	Трудоемкость изготовления
Корпус	ЛН 56-3	Ковка	65	18	4
		Штамповка	21		2
		Экономия	44		2
Пуансон	БрА	Ковка	71	30	4
	Пу10-2	Штамповка	30		3
		Экономия	41		1

8.3. Термомеханическая (термоупрочняющая) штамповка поковок

Литейные свойства металлов и сплавов: жидкотекучесть, объемная и литейная усадка, трещиностойкость, газонасыщение, ликвации.

Жидкую штамповку (рис. 8.2) проводят в штампах, снабженных полостями для заливки жидкого металла и хранения его излишков.

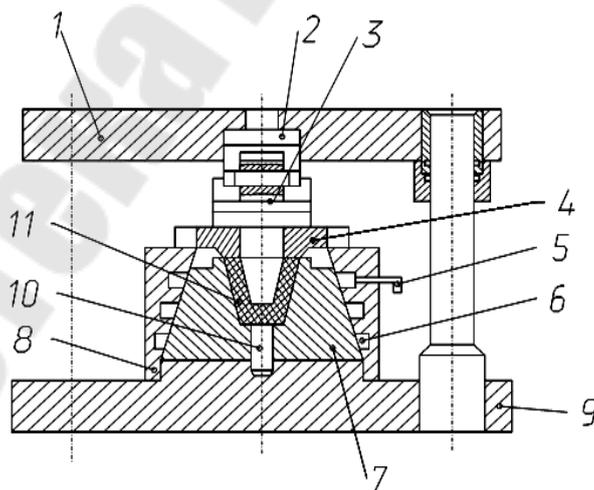


Рис. 8.2. Штамп жидкой штамповки: 1–11 – см. в тексте

Штамп состоит из верхней плиты 1, в которой крепится блок пуансонов 2, состоящий из прошивного 3 и подпрессовочного 4 пуан-

сонов. Матрица 7, укрепленная на нижней плите 9 штампа обоймой матрицы 8, охлаждается водой, подаваемой по шлангу 5 в каналы 6. Поковка 11 массой от 4 до 30 кг удаляется из матрицы выталкивателем 10.

ТЕМА 9. ОБЪЕМНАЯ ИЗОТЕРМИЧЕСКАЯ ШТАМПОВКА

Она совершается в закрытых или открытых штампах, в рабочей зоне которых поддерживается температура 800...1100 °С.

В штампе (рис. 9.1) выдавливается заготовка 1 в матрице 12 пуансоном 7. Готовая поковка выталкивателем 14 удаляется из штампа; для этого крепежная плита 4, пуансонодержатель 5 и пуансон, закрепленный кольцом 2 и втулкой 3 на опоре 6, поднимаются вверх, нагревателями являются медные стержни 9, они соединены планками 13, от корпуса штампа 11 изолированы (15, 16 и 17). Ток подводится устройствами 8, температура фиксируется термопарой 10. Припуски на механическую обработку не более 0,3...1,0 мм. КИМ = 0,9...0,95.

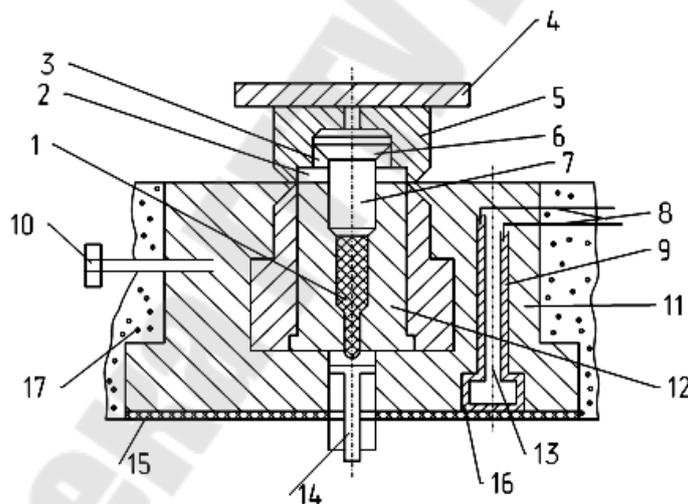


Рис. 9.1. Штамп изотермической штамповки: 1–17 см. в тексте

Литье под давлением осуществляется:

- а) под низким давлением;
- б) вакуумным всасыванием;
- в) с противодавлением.

Эффективность применения выбранного метода литья характеризуется коэффициентом использования металла ($КИМ = M_{д}/M_{о}$). Расход металла определяется по коэффициенту выхода годных отливок $K_{вго} = M_{ои}/M_{ш}$. Заполнение металлической формы (пресс-формы)

расплавом – под действием внешних сил; затвердевание отливки осуществляется под избыточным давлением.

К недостаткам процесса можно отнести высокую стоимость пресс-форм, возможность переработать ограниченную номенклатуру металлов и сплавов, ограниченные размеры и массу отливок.

ТЕМА 10. ШТАМПОВКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЕРХПЛАСТИЧНОСТИ

Состояние сверхпластичности можно определить совокупностью признаков:

- повышенная чувствительность сопротивления деформации к изменению скорости деформации;
- крайне незначительная величина деформационного упрочнения;
- аномально высокий ресурс деформационной способности.
- сопротивление деформации материала в состоянии сверхпластичности в несколько раз меньше предела текучести, характеризующего пластическое состояние данного материала.

Признаки свойств пластичности проявляются в определенных условиях:

- структурное состояние деформированного металла;
- температура;
- скорость деформации.

По структурному признаку различается две разновидности сверхпластичности:

- Сверхпластичность, проявляющаяся у металлов с особо мелкими зернами ($d \leq 10$ мкм). Зависимость эффекта от исходного размера зерен (чем меньше зерно, тем больше склонность материала к скоростному упрочнению, соответственно больше его деформационная способность и меньше погрешность течения). При этом необходимо, чтобы зерна имели равноосную форму, а также в процессе нагрева до температуры деформирования и при последующем деформировании обладали устойчивостью против роста.

- Сверхпластичность полиморфных металлов, проявляющаяся при деформировании их в процессе фазовых превращений.

10.1. Характеристика состояния свойств сверхпластичности сплавов

В сверхзернистое состояние сплавы обычно переводят предварительно термической или термомеханической обработкой.

Температура сверхпластичности должна поддерживаться постоянной по объему деформируемого металла в течение всего периода деформирования, чтобы обеспечить равномерное течение материала (изотермические свойства пластичности).

Скорость деформации должна быть:

а) с одной стороны, достаточно малой, чтобы успевали протекать диффузные процессы;

б) с другой стороны, достаточной высокой, чтобы в условиях повышенных температур не допускать роста зерен. В основном $\varepsilon = 10^{-2} \dots 10^{-4} \text{ с}^{-1}$).

Таблица 10.1

Характеристики некоторых сплавов в состоянии сверхпластичности

Основа сплава	Марка сплава	Средний размер зерен, мкм	$T_{сп}$, °C	V , с^{-1}	δ , МПа	δ_{max} , %
Al	АЦ5К5	2,2	550	$1,0 \cdot 10^{-2}$	4,0	1000
	В96Ц	5,0	465	$1,0 \cdot 10^{-3}$	5,0	850
	1420	5,5	450	$4,0 \cdot 10^{-4}$	5,0	700
Fe	03Х26Н6Т	2,5	950	$1,0 \cdot 10^{-3}$	25,0	600
	12Х18Н10Т	2,0	780	$4,0 \cdot 10^{-3}$	80,0	280
Ni	ЖС6КП	5,5	1100	$1,7 \cdot 10^{-3}$	5,0	650
	ЖС6К	7,5	1125	$5,0 \cdot 10^{-3}$	5,0	420
Ti	BT3-1	1,2	870	$3,0 \cdot 10^{-3}$	5,0	2000
	BT-6с	1,5	900	$1,0 \cdot 10^{-3}$	10,0	1800
	BT-9	2,0	950	$2,7 \cdot 10^{-3}$	29,0	1800
	BT-14	1,2	870	$5,0 \cdot 10^{-3}$	5,0	2000
ZrO ₂	Y-TZP	0,3	1150	$8,3 \cdot 10^{-5}$	9,0	800

10.2. Область применения сверхпластичности при штамповке

Область применения сверхпластичности при штамповке:

1. Штамповка малопластичных и труднодеформируемых сплавов на основе Ni, Ti, Al, Fe и Mg. Состояние сверхпластичности этих сплавов позволяет существенно увеличить деформацию: один технологический переход – переход к малооперационной технологии.

2. Штамповка деталей особо сложной формы (тонкостенные детали, сложной формы с оребрением).

3. Снижение усилий штамповки и мощности применяемого оборудования.

4. Улучшение качества готовой продукции: лучшее заполнение ручья штампа; повышается точность размеров; меньше шероховатость детали.

Поковки, изготовленные за счет сверхпластичности, не нуждаются в обработке резанием (кроме сверления). На рис. 10.1. представлен анализ эффективности различных видов обработки при изготовлении детали сложной формы.

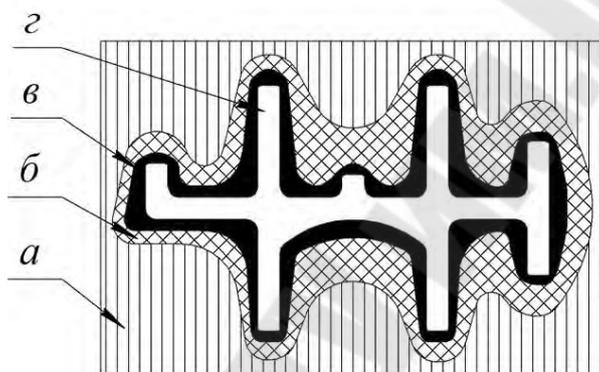


Рис.10.1. Контуры поковок, полученных различными способами:
а – ковкой; б – черновой (предварительной) штамповкой;
в – штамповкой обычной точности; г – точной штамповкой

Штамповые уклоны $\leq 1^\circ$.

КИМ $\geq 0,80$ (обработка на прессах – КИМ = 0,2...0,5), что очень важно при штамповке из дорогостоящих материалов.

ТЕМА 11. ВАЛКОВАЯ ШТАМПОВКА

11.1. Основные схемы валковой штамповки

Валковая штамповка – это формоизменяющая операция обработки металлов давлением, получения осесимметричных деталей из цилиндрической заготовки за счет одновременного приложения к ней осевых и радиальных нагрузок. Осевое нагружение заготовки при валковой штамповке создается за счет перемещения пуансона, а радиальное за счет обкатки ее боковой поверхности в роликах или валках. Таким образом, валковая штамповка представляет собой способ комплексного локального деформирования, в котором в одном технологическом процессе происходит совмещение одной из основных куз-

нечных операций прошивки или осадки (высадки) с поперечной прокаткой или обкаткой (рис. 11.1, 11.2).

Новый способ деформирования позволяет изготавливать круглые в плане, сплошные и полые детали, тонкостенные и толстостенные изделия; малых размеров, применяемые в приборостроении, а также крупногабаритные детали с высокой точностью и качеством, при этом потребление на порядок меньше, чем для традиционных методов объемной штамповки.

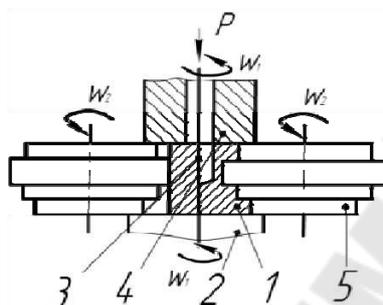


Рис. 11.1. Схема процесса валковой штамповки:

1 – заготовка; 2 – упор; 3 – пуансон; 4 – съемник; 5 – ролик;
 ω_1 – угловая скорость заготовки; ω_2 – угловая скорость роликов

Комплексное нагружение очага пластической деформации локальным периодическим воздействием с одновременным воздействием через постоянно фиксируемую зону, позволяет получить новый технологический эффект, недостижимый другими методами деформирования.

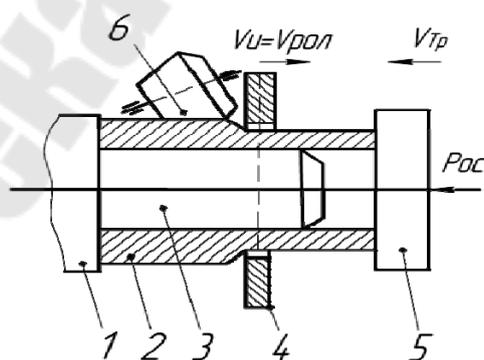


Рис. 11.2. Схема непрерывно-последовательной высадки с обкаткой утолщения по наружному диаметру:

1 – упор; 2 – заготовка; 3 – оправка; 4 – индуктор; 5 – осаживающая траверса; 6 – ролик; $V_{и}$ – скорость стола индуктора; $V_{рол}$ – скорость подачи роликовой обоймы; $V_{тр}$ – скорость осаживающей траверсы; $P_{ос}$ – сила высадки

Валковая штамповка способствует улучшению физико-механических свойств обрабатываемого металла, обеспечивает требуемое расположение его волокон, что повышает эксплуатационные свойства получаемых деталей.

Относительно низкая стоимость оснастки, незначительное время подготовки производства, возможность быстрой переналадки на другой типоразмер детали, использование оборудования небольшой мощности позволяет применять валковую штамповку как в крупносерийном, так и в средне- и мелкосерийном производствах.

За счет возможности концентрировать формоизменение заготовки на позиции выдавливания внутренней полости с одновременным обкатыванием и последующей осадкой, величина пластического деформирования и смещенные объемы металла на последующих позициях обработки малы, как малы и необходимые силы деформирования. Это позволяет на последующих операциях вести доводку детали до требуемой формы и точности.

11.2. Классификация процессов валковой штамповки

Процессы валковой штамповки можно классифицировать по следующим признакам:

- по геометрической форме исходной заготовки и получаемых деталей;
- по способу привода вращения заготовки;
- по количеству роликов или валков.

По геометрической форме исходной заготовки и получаемых деталей

Общим признаком деталей, возможности изготовления которых открывает валковая штамповка, является симметрия всех поперечных размеров относительно оси заготовки. Согласно предлагаемой схеме (рис. 11.3.) из класса получаемых валковой штамповкой осесимметричных деталей можно образовать две большие группы, отличающиеся друг от друга наличием осевого отверстия.

К первой группе относятся простые в изготовлении детали без отверстия с одним или несколькими наружными утолщениями, расположенными на различных участках заготовки (пробки, заглушки и т. д.). Ко второй группе относятся детали с отверстием, как с глухим (с полостью), так и сквозным. Геометрия наружной поверхности деталей этой группы совпадает с формой поверхности деталей без отверстия. Это ступенчатые детали с одним или несколькими наружны-

ми утолщениями (фланцы, втулки и т. п.) и детали без наружных утолщений (гильзы, стаканы). Возможность изготовления валковой штамповкой осесимметричных деталей со сквозным осевым отверстием, в отличие от остальных известных способов объемной штамповки, объясняется особенностями пластического течения материала в условиях комплексного локального деформирования.

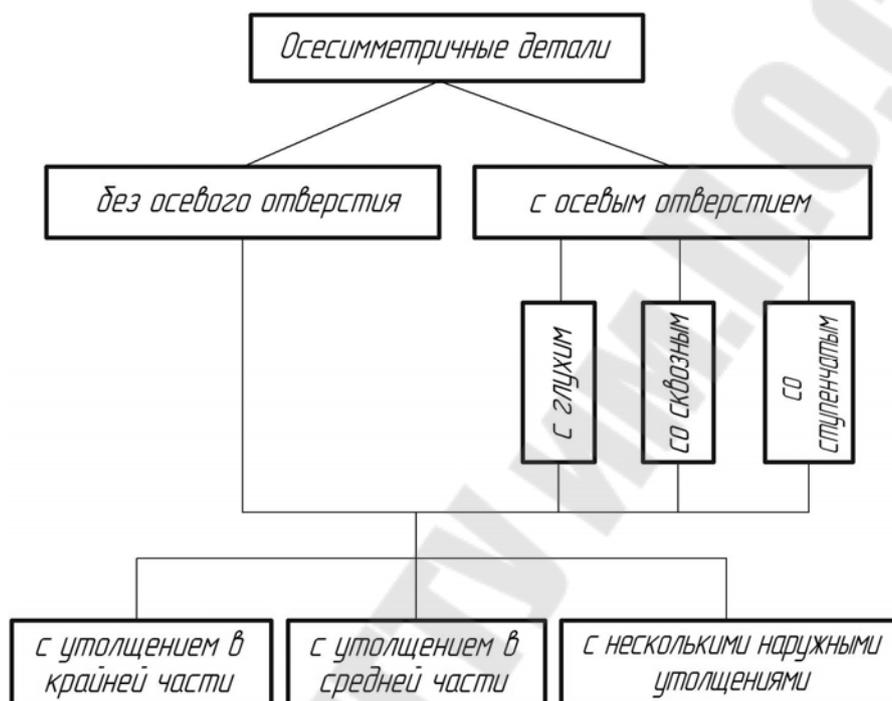


Рис. 11.3. Классификация процессов валковой штамповки по геометрической форме получаемых деталей

По способу привода вращения заготовки

Технология валковой штамповки может осуществляться по одной из двух кинематических схем, отличающихся друг от друга способом привода вращения заготовки. В первом случае вращение заготовки осуществляется посредством передачи ей крутящего момента приводными валками, во втором крутящий момент заготовке передается от упора и пуансона, а валки, или в этом случае ролики, являются неприводными.

Схема с приводом от валков имеет ряд недостатков, один из которых заключается в том, что момента трения при большом радиальном обжатии может оказаться недостаточно для преодоления сопротивления деформированию, что приводит к заклиниванию заготовки и приводных валков.

Валковая штамповка, осуществляемая по данной схеме, сложнее валковой штамповки с приводом вращения от упора и пуансона, которая с точки зрения повышения качества получаемых деталей, снижения энергосиловых затрат, увеличения производительности и технологичности оснащения предпочтительнее, поскольку обеспечивает развитие тангенциальных сжимающих напряжений в локальной зоне, исключает возможность проворота роликов относительно заготовки, позволяет увеличить скорость деформирования и применять смазку контактной поверхности роликов.

По количеству роликов или валков

Валковая штамповка может осуществляться по двух-, трех- и многороликовой (или многовалковой) схемам. При штамповке в двухроликовой матрице по схеме с передачей крутящего момента от приводных валков для удержания заготовки на позиции обработки необходимо применение специальных захватноориентирующих устройств (рис. 11.4, а). При этом необходимо обеспечить включение привода вращения валков только после возникновения на поверхности пуансона и заготовки сил, достаточных для ее удержания на позиции обработки. В противном случае в начальный момент штамповки заготовку может вытолкнуть из роликовой матрицы (рис. 11.4, б). При валковой штамповке в двухроликовой матрице по схеме с приводом вращения от упора и пуансона применения захватно-ориентирующих устройств не требуется.

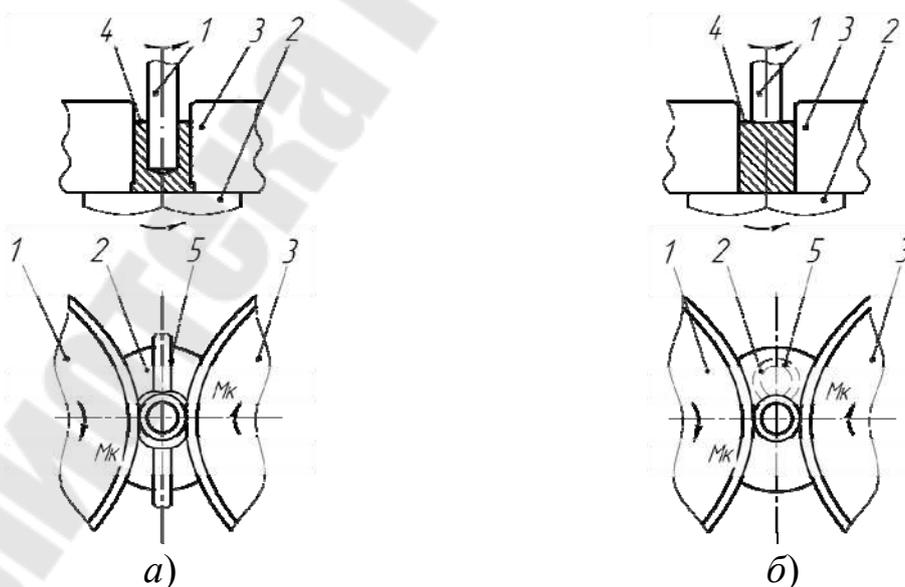


Рис. 11.4. Удержание заготовки на позиции обработки:
 а – захватными устройствами; б – выталкивание с позиции обработки;
 1 – пуансон; 2 – упор; 3 – валки; 4 – заготовка; 5 – захваты

С точки зрения повышения устойчивости заготовки, улучшения позиционирования относительно оси вращения и удержания в роликовой матрице оптимальной является трехроликовая схема. При этом максимальный радиус роликов ограничен размером исходной заготовки и определяется формулой

$$R_{\text{к}}^{\text{max}} < 6,4641R, \quad (11.1)$$

где R – радиус заготовки, мм; $R_{\text{к}}^{\text{max}}$ – максимальный радиус ролика при данном радиусе заготовки, мм.

ТЕМА 12. НАВИВКА ПРУЖИН И ГИБКА ПРОВОЛОКИ НА АВТОМАТАХ

Изготовление металлических изделий из проволоки гибкой и навивкой основано на применении различных автоматов: универсально-гибочных, пружинонавивочных, шайбонавивочных, правильноотрезных, шплинтовых, для навивки колец, для изготовления и склеивания в блок сшивающих скрепок, сеткоплетильных, цепевязальных и др.

Навивку на вращающуюся оправку (рис. 12.1, а) как наиболее простой способ применяют в единичном и мелкосерийном производстве; применяют также в автоматах для навивки пружин кручения. Развод витков осуществляют смещением оправки по стрелке А или смещением направляющей втулки. Если осуществлять скручивание проволоки (по стрелке Б), то можно получить пружины с межвитковым давлением (с предварительной нагрузкой). Для получения пружин растяжения с большим межвитковым давлением применяется способ навивки с отгибом и обкаткой роликом (рис. 12.1, б). Недостатками навивки на оправку являются трудности в автоматизации изготовления пружин сжатия и невозможность регулирования диаметра без смены оправки. Способы навивки по схеме «сжатие+изгиб» не имеют этих недостатков и получили наибольшее распространение. Для подачи проволоки можно использовать подающие ролики с канавками или клещевой зажим. При одноштифтовой (одноупорной) схеме навивки (рис. 12.1, в) проволока перегибается через оправку, т. е. касается ее. Если увеличить угол φ_1 установки упора, то при некотором угле $\beta \approx \beta_{\text{кр}}$ проволока отрывается от оправки и необходим второй упорный штифт Реп (рис. 12.1, г), т. е. схема докритическая переходит в закритическую, в которой оправка нужна только как внутренний нож.

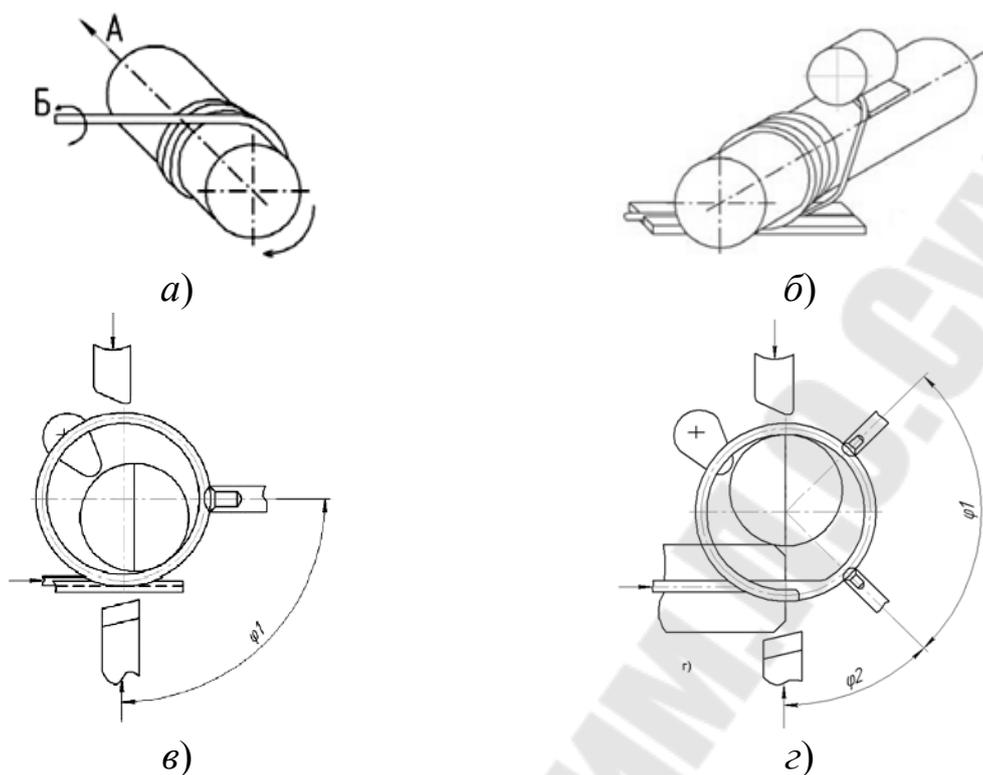


Рис. 12.1. Схемы навивки пружин

Изготовление пружин из проволоки или горячекатаной сортовой стали диаметром до 16 мм. Нагрев и охлаждение в расплавленном свинце или соли («патентирование»).

В зависимости от технических свойств: I, II, III классы проволоки.

Универсально-гибочные и навивочные автоматы по техническому уровню конструкции соответствуют наиболее прогрессивному кузнечно-прессовому оборудованию. Это оборудование особенно распространено в автомобильной, электро- и радиотехнической промышленности. Особенно экономически выгодно при партиях деталей больше 10–14 тыс. шт. по сравнению с изготовлением на универсальных прессах по переходам или навивкой по оправке с помощью универсального металлорежущего инструмента.

На универсально-гибочных автоматах или, как их иногда называют, многоползунковых автоматах можно изготавливать детали разнообразных форм и размеру из проволоки диаметром до 6 мм и ленты толщиной до 2 мм и шириной до 70 мм. На автомате, кроме изготовления деталей из ленты можно осуществлять соединение их кромок швом в замок или прошивкой. Оснащение автомата загрузочными устройствами дает возможность изготавливать и собирать узлы состоящие из двух-трех деталей.

Отечественные заводы выпускают ряд универсально-гибочных автоматов (А910 А921, А912, А913, А914), размеры и характеристики которых регламентированы ГОСТом.

Для универсально-гибочных автоматов характерны высокие производительность стойкость инструмента и качество, экономичное использование металла и малая стоимость изготавливаемых деталей.

Рассмотрим порядок изготовления шплинта на автомате (рис. 12.2).

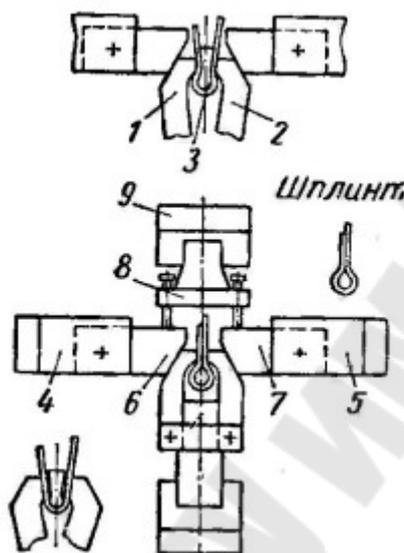


Рис. 12.2. Схема процесса гибки шплинта на гибочном автомате

Проволока через правильные ролики подается до упора, после чего ножом отрезается заготовка требуемой длины.

Во избежание сдвига в обратном направлении проволока удерживается механизмом зажима. Отрезанная заготовка удерживается планками 1 и 2 и подвергается первой гибке вокруг оправки 3; затем получают перемещение ползуны 4 и 5 с призмами 6 и 7, которые и производят окончательную гибку шплинта. По окончании гибки оправка 3 выходит из шплинта, а штамп 8, закрепленный на ползуне 9, придает шплинту окончательную форму. Шплинт сталкивается в тазу, все механизмы возвращаются в исходное положение, и цикл изготовления повторяется.

Технология изготовления метизов штамповкой на универсально-гибочных автоматах позволяет получить полностью готовые детали.

Гибка на автоматах оснащена:

- дополнительной поперечной подачей материала усиленным ползуном реза;
- устройствами для нарезания резьбы, клепки, сварки;

- вращающимися оправками для навивки пружин;
- ползунами, резцовыми головами и т. п.

Преимущество: высокая производительность.

ТЕМА 13. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЗАГОТОВОК И ДЕТАЛЕЙ ИЗ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

В общем виде процесс порошковой металлургии состоит из следующих основных этапов:

- получение исходного сырья (порошков);
- формование изделия;
- спекание;
- механическая обработка для придания изделию требуемой размерной точности, формы и состояния поверхности.

Этап получение исходного сырья состоит из совокупности процессов измельчения, просеивания и смешивания по рецептуре. Для измельчения используют механические и физико-химические способы. К механическим способам относятся процессы дробления и размол в мельницах. Процесс дробления и размол в мельнице в общем виде происходит следующим образом. В металлический подвижный барабан загружают исходный материал и керамические или металлические шарики. Во вращающемся барабане происходит размол и измельчение исходного материала (рис. 13.1).

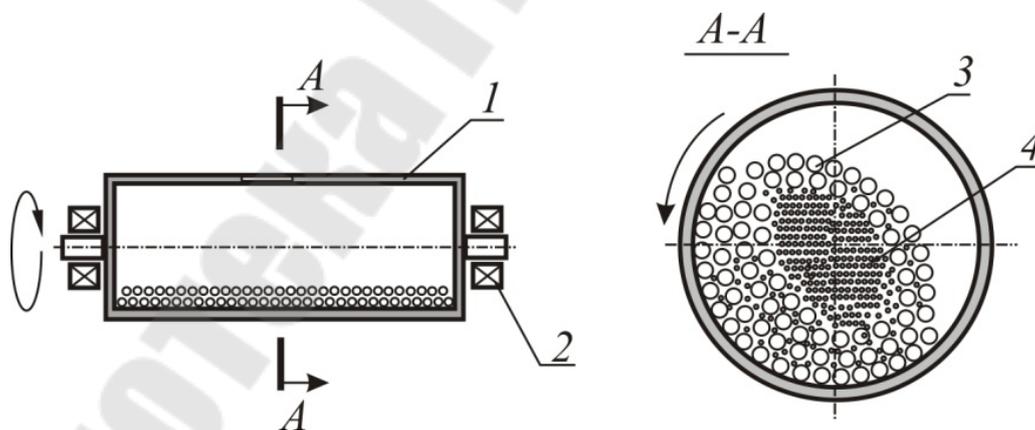


Рис. 13.1. Барабанная мельница:

1 – барабан мельницы; 2 – узел вращения; 3 – металлические или керамические шарики; 4 – порошковая масса

В основе физико-химических способов измельчения лежат химические и термические реакции направленные на восстановлении оксидов и других соединений разных материалов различными газами или углеродом (подробно не рассматриваем).

Просеивание полученных порошков производят при помощи ситового оборудования, например вибрационных ситовых машин. Для смешивания порошков используют миксеры.

После получения требуемой смеси из нее необходимо отформовать плотную заготовку. В процессе формования увеличивается контакт между частицами порошка, уменьшается пористость, деформируются или разрушаются отдельные частицы. Для получения заготовок необходимой формы используют различные способы формования (рис. 13.2.):

- прессование,
- прокатка,
- экструзия.

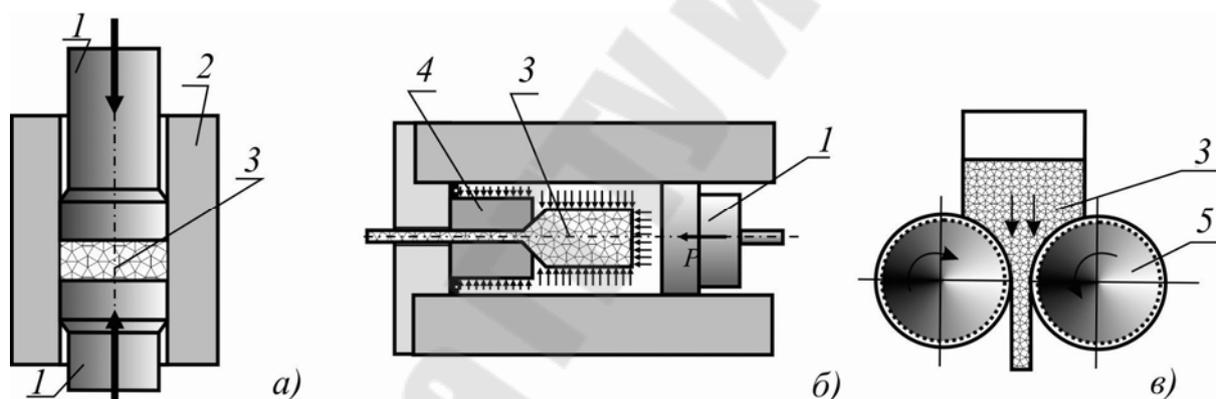


Рис. 13.2. Способы формования изделий из порошков:

- a* – прессование; *б* – выдавливание (экструзия); *в* – прокатка;
1 – пуансон, *2* – пресс-форма, *3* – порошок; *4* – матрица;
5 – формовочные валки

Прессованием получают заготовки различного назначения простой формы (рис. 13.2, *a*). Экструзией (выдавливанием) изготавливают прутки, трубы и профили различного сечения. Процесс получения заготовок заключается в выдавливании порошка через комбинированное отверстие пресс-формы (рис. 13.2, *б*). Прокаткой получают тонкие ленты, полосы, листы из порошков (рис. 13.2, *в*) Порошок непрерывно поступает из бункера в зазор между валками. При вращении валков происходит обжатие и вытяжка порошка в ленту или полосу определенной толщины.

Прессование порошков подвижными средами

Вид формирующей (энергопередающей) среды;

- характер приложения нагрузки (скорость, периодичность, вид движения формирующего инструмента или среды);
- температура формования;
- условия трения;
- состояние исходной заготовки.

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.

Преимущества:

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

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

Основные направления:

1. Производство порошков как товарной продукции для непосредственного применения в различных отраслях техники, например для покрытий, в качестве легирующих добавок для сварочной техники, катализаторов и т. д.

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

3. Создание пористых материалов для работы при повышенных температурах, например, пористые фильтры и др.

4. 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.

ТЕМА 14. МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНАЯ ШТАМПОВКА

Магнитно-импульсная штамповка (МИШ) металлов представляет собой способ пластической деформации металлов, который возможен при прямом преобразовании электроэнергии в механическую в обрабатываемом изделии.

Основой магнитно-импульсной обработки являются электродинамические силы, возникающие в проводящем теле изделия, находящемся в переменном электромагнитном поле.

Установка магнитно-импульсной обработки (рис. 14.1) имеет зарядное устройство, батарею конденсаторов – накопитель энергии, коммутирующее устройство и индуктор. Батарея 3 заряжается через выпрямитель 2 от источника питания 1. По завершении зарядки батарея с помощью коммутирующего устройства 4 замыкается на индуктор 6.

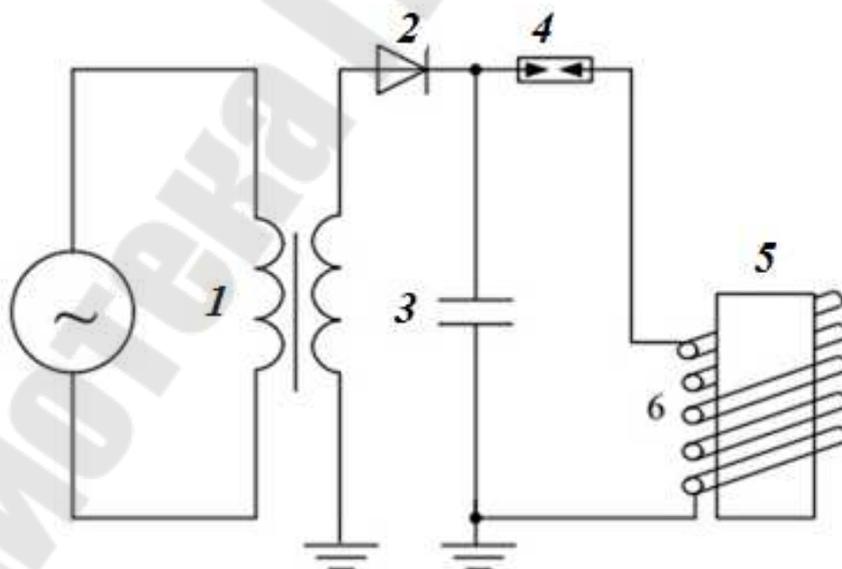


Рис. 14.1. Схема установки для магнитно-импульсной обработки металлов:

1 – источник питания; 2 – выпрямитель; 3 – батарея конденсаторов; 4 – коммутирующее устройство; 5 – изделие; 6 – индуктор

Металлы с высокой электропроводимостью (малым электросопротивлением) – медь, алюминий, латунь лучше деформируются МИШ, чем металлы с низкой электропроводимостью – сталь, титан. Они деформируются при условии покрытия их тонким слоем меди и алюминия или алюминиевых прокладок в виде фольги, установленных между заготовкой и индуктором. Выпускаются установки для штамповки: состоящие из зарядного устройства, блока-накопителя и пульта управления, мощностью 15 кДж при рабочем напряжении 5 кВ. Возможности ИМП: штамповка деталей толщиной S до 1,5 мм, пробивка в них отверстий $d_{\max} = 150$ мм; формовка деталей диаметром до 1000 мм (обечайка) и длиной до 1500 мм.

Технологические параметры МИШ: мощность 40 кДж, рабочее напряжение 50 кВ. КПД МИШ составляет 3...10 %.

Процесс основан на мгновенном разряде электроэнергии, накопленной в конденсаторной батарее, через соответствующий редуктор, являющийся рабочим органом. При этом в цепи индуктора протекает импульс тока, а в окружающем пространстве возникает импульсное магнитное поле высокой напряженности. При его взаимодействии с индуцированным током в заготовке возникают силы, стремящиеся оттолкнуть заготовку от индуктора и вызывающие ее деформацию. Магнитный импульс длится от 10 до 20 мс, создавая давление от 3500 до 39000 кг/см². Заготовка движется со скоростью 300–400 м/с. Операция используется для: *раздачи, вытяжки, сборки и др. видов обработки.*

Недостатки: низкая стойкость индукторов, большие размеры установок, специальная подготовка обслуживающего персонала, шум при электроразряде.

14.1. Раздача магнитноимпульсной штамповкой

При этой операции индуктор вводится внутрь обрабатываемой детали, а сама деталь помещается в зажимные технологические приспособления. Технологические приспособления-матрицы могут изготавливаться из углеродистой стали или из пластмассы.

При сборочных операциях заготовка, подлежащая раздаче, помещается внутрь детали, с которой она должна быть соединена.

На рис 14.2 приведены примеры деталей, полученных путем раздачи:

- а) раздача труб с образованием полусферы;
- б) раздача труб с образованием конуса. При этом методе можно

производить сборочные операции;

- в) развальцовка труб в изоляционном материале;
- г) развальцовка труб в металлических деталях;
- д) раздача труб в радиаторных кольцах.

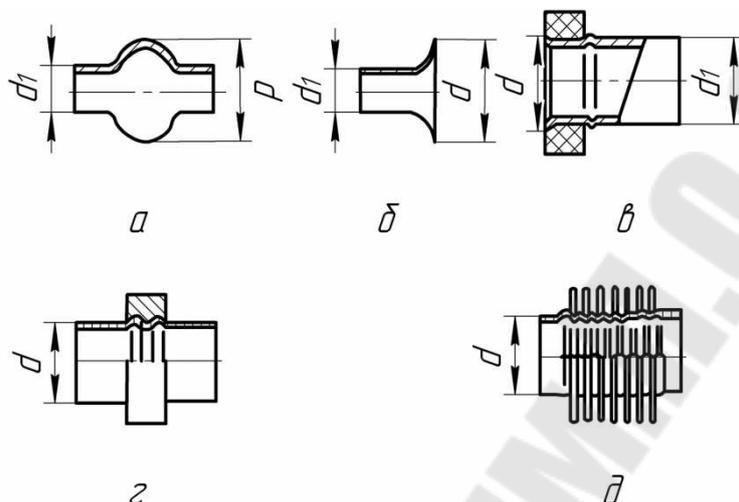


Рис. 14.2. Схемы раздачи: а–д – см. в тексте

Кольца с определенным шагом устанавливаются вдоль трубы, путем раздачи трубы прочно соединяются, образуя неразъемное соединение.

14.2. Плоская магнитоимпульсная штамповка

При этой операции обрабатываемая листовая заготовка помещается между плоским спиральным индуктором и матрицей. Листовая заготовка должна плотно прилегать к индуктору и к матрице. Поэтому необходимо применять прижимное приспособление. Импульсный характер воздействия позволяет пользоваться негромоздкими и простыми конструкциями прижимных приспособлений.

Матрица может быть изготовлена из металла или пластмасс. Плоская штамповка позволяет производить следующие технологические операции (рис. 14.3):

- а) образование кольцевых и продольных зигов;
- б) чеканка рисунков, надписей и т. д.;
- в) вырубка деталей по контуру. Эта операция производится на матрицах, имеющих форму готовой детали;
- г) пробивка отверстий. Операция выполняется в матрицах, имеющих соответствующие отверстия.

Большой опыт, накопленный в отечественной и зарубежной практике в области магнитно-импульсной обработки металлов, показывает высокую эффективность нового метода и широкие его возможности.

Применение энергии импульсного магнитного поля в процессах обработки металлов давлением открывает новые пути решения ряда технологических задач:

- сборка разнородных металлов;
- сборка металлов с неметаллами;
- вырубка-пробивка в деталях с ограниченным подходом;
- деформирование малопластичных высокопрочных сплавов на основе алюминия, меди, вольфрама, молибдена и т. п.

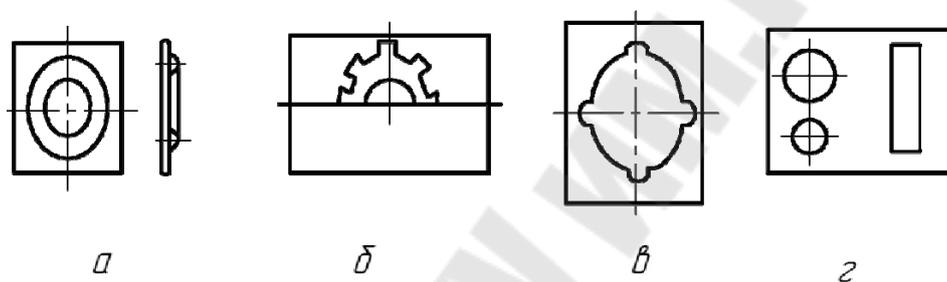


Рис. 14.3. Детали, полученные МИШ: а–г – см. в тексте

Уменьшение металлоемкости оснастки, снижение трудоемкости ее изготовления, увеличение производительности труда, несмотря на низкую стойкость рабочего инструмента-индуктора, делают применение энергии импульсного магнитного поля для обработки металлов давлением экономически выгодным, особенно при мелкосерийном и опытном производстве.

Рассматривая вопрос о целесообразности перевода той или иной технологической операции на магнитноимпульсный метод, необходимо произвести тщательный технико-экономический анализ, сопоставление этого метода с другими видами импульсной обработки (взрыв, электрогидравлика и т. п.), а также с обычным прессованием.

ТЕМА 15. ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКАЯ ШТАМПОВКА

Электрогидравлической штамповкой обычно изготавливают детали из листовых заготовок толщиной 0,8...2 мм. При этом минимальные радиусы кривизны поверхности детали, как правило, составляют не менее 2...4 мм.

Габаритные размеры плоских заготовок деталей сложной формы, изготавливаемых ЭГШ, достигают 1500×2000 мм. Глубина штампуемых деталей: до 500...600 мм. На специальных электрогидравлических установках с перемещаемой одной или несколькими разрядными камерами штампуют плоские крупногабаритные (до 3...3,5 м) детали с различными рифтами либо местными рельефами.

Детали сложной формы штампуют за несколько переходов через эластичную диафрагму и с использованием многоэлектродных разрядных камер. Максимальный диаметр и длина оболочек, штампуемых на специализированных установках, обычно не достигают 1000 мм.

Существуют два метода преобразования электрической энергии в механическую:

- разряд конденсатора через зазор в жидкости;
- разряд конденсатора через проволочку.

При ЭГШ металл деформируют периодически повторяющимися импульсами высокого давления, генерируемыми высоковольтными разрядами в жидкости или электрическим взрывом проводников. На рис. 15.1 показаны схемы ЭГШ. Технологические установки выполняют с открытой (рис. 15.1, а) или закрытой (рис. 15.1, б, в) камерой (емкостью).

Листовую заготовку 2 (рис. 15.1, а) укладывают на матрицу 1 и с помощью устройства 3 прижимают к ней. Емкость 5 заполняют передающей средой (водопроводной водой) 6. В воде на определенном расстоянии от заготовки 2 размещают рабочие электроды 4 и 7 (положительный и отрицательный), соединенные с генератором импульсов тока электрогидравлической установки.

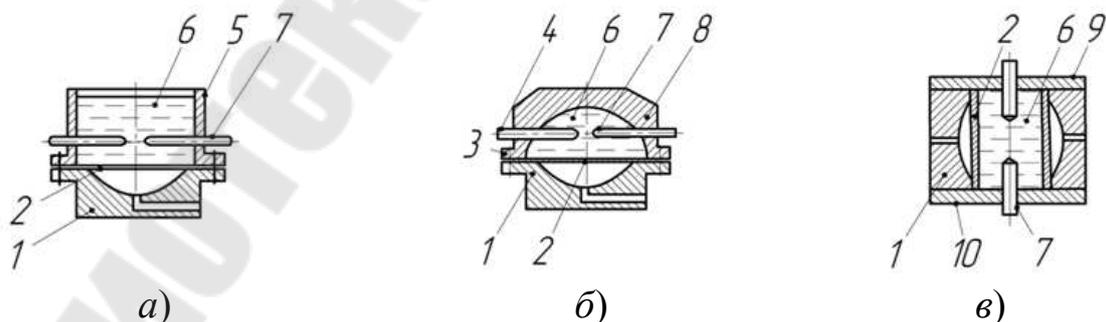


Рис. 15.1. Схемы электрогидравлической штамповки деталей из плоской заготовки: а – в открытой; б – закрытой камерах; в – из трубчатой заготовки в закрытой камере; 1 – матрицы; 2 – заготовки; 3 – прижимы; 4, 7 – электроды; 5, 8 – открытая и закрытая камеры; 6 – вода; 9, 10 – верхняя и нижняя крышки

При высоковольтном электрическом разряде между электродами 4 и 7 возникает токопроводящий искровой канал. Расширение канала разряда приводит к возникновению в жидкости ударной волны. Под действием ударной волны, давления, образующегося при расширении парогазовой полости, и сопутствующего гидротока, сопровождаемого кавитацией, происходит деформирование заготовки 2 по матрице 1. Коэффициент полезного действия (КПД) электрогидравлической штамповки составляет 5...20 %. Наибольший КПД достигается в установках с замкнутым объемом жидкости. На рис. 30 показано размещение рабочих электродов 4 и 7 в закрытой камере 8. Электроды 4 и 7 могут быть установлены также внутри трубчатой заготовки 2, помещенной в закрытую камеру, образуемую матрицей 1 и крышками 9 и 10 (рис. 15.1, в).

При высоковольтном разряде в жидкости генерируются импульсы с амплитудой давления, достигающей 109 Па, и частотой 0,1...10 Гц, следствием чего являются высокая скорость деформирования листовых и трубчатых заготовок (десятки и сотни метров в секунду) и незначительное (10,4...10,5 с) время деформации. Несмотря на столь короткие промежутки времени деформации, в материале успевают произойти такие внутренние изменения, которые влияют не только на структуру и свойства заготовки после обработки, но и на результаты технологического процесса.

Возбуждаемые при электрическом разряде ударные волны передаются от источника через жидкость к заготовке. Со звуковой скоростью они достигают поверхности заготовки, вначале воздействуя на нее перпендикулярно, а затем по периферии. Источник ударных волн действует периодически с частотой $\nu = 0,1...10$ Гц и может при этом перемещаться на заданный шаг по предварительно установленной программе.

В результате воздействия ударной волны начинается деформирование заготовки, а в материале ее возбуждаются волны напряжений. Скорость деформирования может достигать 20...400 м/с, а волны напряжений в материале, перемещаясь со скоростью звука, быстро проходят сквозь всю толщину заготовки и до очередного импульса успевают отразиться несколько раз.

Главным фактором, определяющим фронт ударной волны при разряде через зазор в жидкости, является форма электродов и рефлекторов (отражателей). Форма фронта ударной волны зависит от расстояния между электродами (рис. 15.2). При незначительном расстоя-

нии между ними в результате разряда образуется волна со сферическим фронтом (рис. 15.2, *а*), при достаточно большом (несколько сантиметров) – волна с цилиндрическим фронтом (рис. 15.2, *б*). Разряд через зазор в жидкости характеризуется неустойчивостью, а выходную мощность трудно регулировать. Не всегда удается повлиять на форму ударной волны путем изменения формы электродов и отражателей.

Чтобы облегчить управление формой и амплитудой генерируемых волн давления и повысить КПД искрового промежутка, электроды закорачивают между собой проводниками в виде перемычки (мостика). Перемычку выполняют из тонкой проволоочки *б*, свернув ее спиралью, или из фольги (рис. 15.2, *б*, *в*). Благодаря этому путь электрического разряда может быть predetermined по направлению и форме.

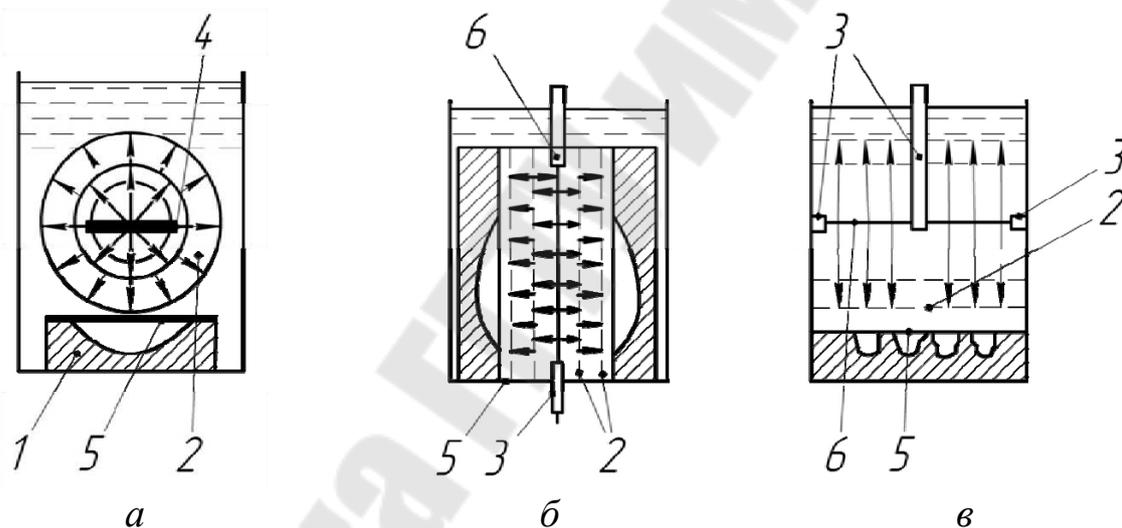


Рис. 15.2. Схемы формирования фронтов ударной волны: *а* – сферического; *б* – цилиндрического; *в* – плоского: *1* – матрицы, *2* – фронты ударной волны, *3* – электроды, *4* – разрядные промежутки, *5* – заготовки, *б* – взрывающиеся проволоочки

Соединяя электроды проволочкой, удается поставить параметры ударной волны в зависимость от формы разряда между электродами. Наличие проволочки позволяет увеличить длину разряда при одинаковой мощности установки и рабочей среде. При разряде конденсатора через проволочку превращение энергии более эффективно, так как свободный разряд и испарение жидкости заменяются «ударным» испарением проволочки. Это явление называется электрическим взрывом проводника. Применение взрывающейся проволочки дает воз-

возможность снижать рабочие напряжения, так как с ее помощью одно и то же напряжение «перекрывает» большее межэлектродное расстояние. Этим *преимуществом* полностью компенсируется недостаток метода, заключающийся в необходимости заменять проволочку после каждого разряда при многоразрядной штамповке деталей. При обработке трубчатых заготовок проволочку используют для создания цилиндрической ударной волны. Применение разряда через проволочку не приводит к заметному увеличению деформации при одинаковых параметрах (запасенной энергии и емкости конденсаторов), однако в этом случае можно увеличить зазор между электродами и, как следствие, повысить равномерность раздачи трубы.

Применение взрывающейся проволочки позволяет увеличить расстояние между электродами до 300 мм и более, при этом влияние проводимости жидкости на возникновение разряда значительно уменьшается.

ТЕМА 16. ВЫСОКОСКОРОСТНЫЕ МЕТОДЫ ШТАМПОВКИ

Штамповку деталей традиционными (статическими) методами выполняют на гидравлических, фрикционных, эксцентриковых и кривошипных прессах, ковочных машинах и молотах. Развитие кузнечно-прессового оборудования (увеличение его кинетической энергии) в основном осуществлялось за счет роста мощностей привода, габаритных размеров и массы маховиков, подвижных и ударных частей, а также штамповой оснастки прессов и молотов при сравнительно небольших (0,1...6 м/с) скоростях деформирования металла.

При высокоскоростном деформировании металла увеличение мощности (энергии) процесса осуществляется за счет высокой скорости (50...300 м/с) преобразования энергии, что является основным отличием этого метода штамповки от статических методов. К высокоскоростным деформирующим процессам обработки металлов относятся: штамповка взрывом, электрогидравлическая штамповка, магнитно-импульсная штамповка.

Преимущества. В большинстве случаев эти процессы осуществляются с применением упрощенной штамповой оснастки (без пуансона или матрицы), что является их важным преимуществом. Несложность оснастки, ее низкая стоимость по сравнению с инструментальными штампами, применяющимися при обработке металлов статическими методами, а также возможность осуществления без примене-

ния мощного (энергоемкого) прессового оборудования обеспечивают эффективное использование высокоскоростных методов штамповки деталей.

Эти преимущества особенно проявляются при изготовлении крупногабаритных деталей из труднодеформируемых сталей и сплавов в опытном и мелкосерийном производстве.

К преимуществам высокоскоростных методов штамповки можно отнести также сравнительно небольшие затраты на организацию производственного участка: оснащение, эксплуатацию установок, ускорение сроков подготовки производства, обеспечивающее мобильность последнего при изготовлении крупногабаритных, сложных деталей из труднодеформируемых сталей и др.

С помощью *взрыва и магнитно-импульсной* обработки 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 (σ_b , σ_t , HB) – металл значительно упрочняется. Кроме того, отсутствует (уменьшается) пружинение при формообразовании труднодеформируемых металлов с одновременным повышением их пластичности, что обеспечивает получение точных форм и размеров сложных деталей.

К недостаткам высокоскоростных процессов обработки следует отнести:

– специфические, а иногда и довольно сложные требования безопасности при выполнении штамповки взрывом и использовании мощных электрических разрядов;

– трудности реорганизации сложившегося машиностроительного производства; недостаточность информации об экономичности и результатах внедрения этих процессов в производство;

– сравнительно высокая стоимость пороховых и бризантных зарядов и сложность расчета взрывных разрядов; возможность местных разрушений штампуемых металлов.

В связи с этим высокоскоростные методы штамповки не заменяют полностью традиционные методы, особенно в массовом и серийном производстве.

Одним из высокоскоростных методов штамповки является штамповка взрывом, характеризующаяся высоким давлением, прилагае-

мым к заготовке в течение тысячных долей секунды. С ее помощью выполняют вытяжку, отбортовку, раздачу и обжим труб, формовку ребер жесткости, калибровку, правку, вырубку и другие операции.

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.).

Основными достоинствами штамповки взрывом являются следующие: низкая стоимость оснастки; небольшие капитальные затраты; сокращение числа технологических переходов; высокая точность обработки; возможность изготовления деталей сложной формы из труднодеформируемых и хрупких сплавов.

К недостаткам 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).

При штамповке взрывом (рис. 16.1) заготовка деформируется ударной волной полусферического фронта. Заготовку 3 укладывают на матрицу 2 и прижимают к зеркалу матрицы прижимом 4, чтобы уменьшить возможность складкообразования. Пространство между матрицей и заготовкой должно быть разреженным, поэтому воздух из матрицы выкачивают вакуум-насосом. Над заготовкой помещают заряд взрывчатых веществ (ВВ) 5 и установку заливают водой в бассейне.

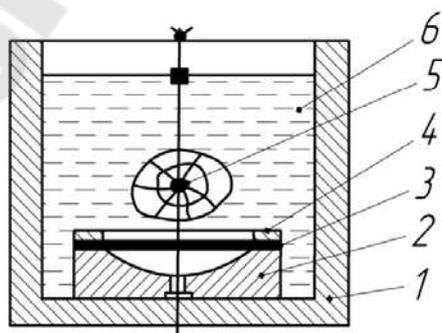


Рис. 16.1. Схема штамповки взрывом:

- 1 – бассейн; 2 – матрица; 3 – заготовка; 4 – прижимное кольцо;
5 – заряд ВВ; 6 – промежуточная среда

При взрыве заряда образуются газы. Высокое давление возникшего газового шара вызывает появление в воде ударной волны, давление которой через слой воды передается на поверхность заготовки. Часть энергии ударной волны расходуется на ускорение заготовки, часть – на пластическую деформацию. Масса заряда определяется с учетом расстояния до заготовки, вида взрывчатых веществ, диаметра, толщины и материала заготовки, а также глубины штамповки.

Расширение образовавшихся при взрыве газов тормозится инерционными силами частиц воды. При этом слой воды, окружающий газовый шар, получает импульс, возбуждающий первичную ударную волну, во фронте которой существует очень высокое давление. В ударную волну переходит до 40 % энергии взрыва.

Таким образом, энергия сконцентрирована в тонком слое воды. Большая часть энергии взрыва остается в газовом шаре, который вновь расширяется (но менее интенсивно) после возникновения первичной ударной волны. Предполагается также, что газовый шар пульсирует, т. е. сжимается и расширяется. При его повторных расширениях возникает вторичная ударная волна, однако с меньшей энергией. Данный эффект позволяет циклически накладывать силовое воздействие на деформируемую заготовку, за счет чего повышаются размеры, точность и качество изделия.

ТЕМА 17. ВЫСОКОТОЧНАЯ ГОРЯЧАЯ ОБЪЕМНАЯ ШТАМПОВКА

17.1. Преимущества высокоточной горячей объемной штамповки

Точная горячая штамповка является весьма производительным и экономически эффективным процессом, одновременно обеспечивающим значительное повышение качества и точности продукции. Вследствие этого ее можно отнести к прогрессивным «скоростным» методам обработки металлов, подлежащим внедрению во всех отраслях промышленности. По сравнению с другими способами обработки металлов точная горячая штамповка имеет следующие преимущества:

- уменьшает величину припусков на обработку, в результате чего помимо экономии станкочасов, затрачиваемых на снятие стружки, одновременно экономится и металл, непроизводительно превращаемый в стружку;

- увеличивает механические свойства деталей по сравнению с деталями, обработанными кругом, так как в первом случае сохраняется верхний слой и волокна нигде не перерезаются;

– значительно повышает точность и качество поверхности штампованных поковок.

Опыт передовых советских заводов, а также технико-экономические подсчеты показывают, что точная горячая штамповка технически осуществима в любой отрасли промышленности и всегда себя оправдывает, за исключением некоторых случаев индивидуального производства. При этом надо считаться с тем, что иногда она вызывает увеличение стоимости поковки, покрываемое экономией при последующей обработке в механических цехах.

17.2. Области применения точной горячей штамповки

В табл. 17.1 перечислены детали, которые с успехом изготавлиются или изготавливались различными заводами по способу точной горячей штамповки.

Таблица 17.1

Детали, изготавливаемые точной горячей штамповкой

Наименование деталей	Оборудование
Ручной инструмент: ключи гаечные, плоскогубцы. Ширпотреб: ножи, бритвы и т. д.	Штамповочные молоты с доской
Хирургический и слесарный инструмент – 150 наименований	Штамповочные молоты
Детали авто- и авиамоторов Кольца шарикоподшипников Клапаны моторов	Горизонтально-ковочные машины

Таким образом, область применения точной горячей штамповки не ограничена ручным инструментом; она проникла во все отрасли промышленности с крупносерийным и массовым производством.

Все, что сказано о точной горячей штамповке в настоящей работе, относится к мелким деталям весом до 3 кг. Таблицы также говорят, что точная горячая штамповка применяется, как правило, для небольших деталей. Однако принципиальных препятствий к переносу этого опыта на средние и даже крупные детали нет.

Дальнейшее развитие точной горячей штамповки должно идти по линии расширения областей применения ее не только за счет других отраслей промышленности, но и за счет охвата деталей весом более 3 кг.

Как процесс более производительный, чем существующие, дающий большой экономический эффект с одновременным повышением качества продукции, точная горячая штамповка должна занять в промышленности такое же важное место, как стахановские методы работы или скоростная станочная обработка.

Организациям, проектирующим штамповочные кузницы, и конструкторским бюро, занятым проектированием кузнечно-прессового оборудования, необходимо учесть все основы технологии точной горячей штамповки, чтобы кузницы и оборудование в этих кузницах отвечали требованиям передовой технологии.

ТЕМА 18. СОВМЕЩЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ

Выше были рассмотрены традиционные процессы ОМД, которые включают нагрев заготовки и ее пластическую деформацию. На заключительной стадии для придания определенных свойств изделиям проводится термическая обработка, связанная с повторным нагревом уже остывшей заготовки. Для экономии энергии, связанной с повторными нагревами, более рациональной организации технологического процесса, повышения качества металла предложены совмещенные процессы, объединяющие традиционные способы ОМД и другие способы получения и обработки изделий (чаще всего это литейный передел и термическая обработка).

Рассмотрим некоторые из них.

18.1. Литье-штамповка

Наиболее простой совмещенный процесс – штамповка металла в период кристаллизации. Металл затвердевает и кристаллизуется в период штамповки. Схема процесса типична для штамповки в закрытом штампе (рис. 18.1).

В исходной позиции (рис. 18.1, *a*) металл заливается в металлоприемник, выполняющий функции нижнего штампа, и обжимается пуансоном, при этом должна быть обеспечена герметичность штампа. Применяемый комбинированный штамп обеспечивает также удаление поковки из рабочей полости с помощью съемника и пружинно-рычажного механизма. К преимуществам такого процесса относятся снижение энергозатрат за счет исключения нагрева и обработки исходной заготовки, малые усилия штамповки жидкого металла, более высокий коэффициент использования металла – отношения массы де-

тали к массе заготовки ($K_{\text{им}} = G_{\text{д}}/G_0$ до 0,93); лучшее качество металла (мелкозернистая структура, отсутствие пороков литого металла).

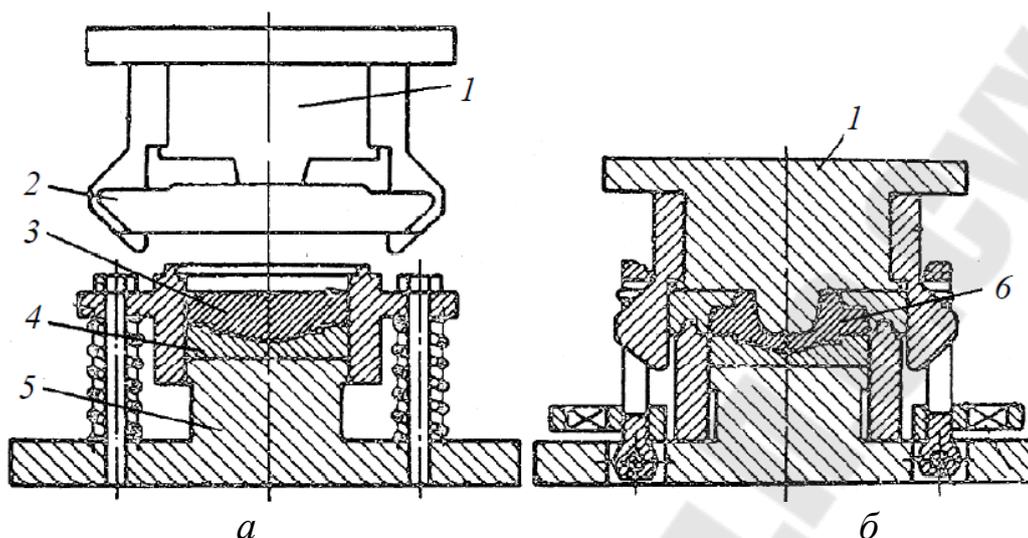


Рис. 18.1. Стадии штамповки жидкой стали:

а – начальная; *б* – конечная; 1 – пуансон; 2 – съемник; 3 – жидкий металл; 4 – металлоприемник; 5 – корпус штампа; 6 – штамповка

Недостатки связаны с низкой стойкостью штампов, сложностью точной дозировки объема металла, снижением прочностных свойств изделий, так как они имеют мелкозернистую, а не волокнистую структуру.

18.2. Литье-прокатка

Одно из преимуществ непрерывной разливки стали – это возможность размещения в линии МНЛЗ прокатных станов с организацией литейно-прокатного комплекса. В этом случае производственный цикл становится максимально компактным, сокращаются энергозатраты на повторный нагрев заготовки (используется тепло литейного передела), уменьшаются потери металла в окалину, улучшается качество металла.

Литейно-прокатные комплексы широко используются в цветной металлургии для получения сортового и листового проката из алюминия, меди, цинка и других металлов. В черной металлургии использование таких агрегатов затруднено тем, что скорость выхода полосы из МНЛЗ значительно ниже применяемых скоростей прокатки. Для обеспечения полной загрузки прокатных станов применяют подогревательные печи. Схема компоновки оборудования подобного агрегата приведена на рис. 18.2, где литьем формируется заготовка относительно крупных размеров порядка 180×180 мм, а затем сразу же по-

сле завершения кристаллизации и небольшого подогрева обжимается в заготовку меньшего сечения (например, 100×100 мм). Каждый ручей МНЛЗ имеет отдельную прокатную группу, состоящую из чередующихся клеток с горизонтальными и вертикальными валками.

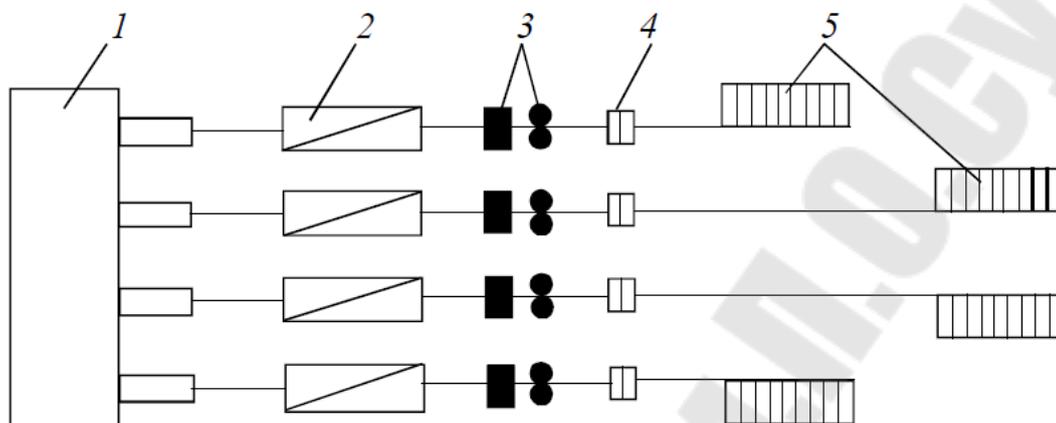


Рис. 18.2. Схема расположения оборудования заготовочного литейно-прокатного агрегата:

- 1 – четырехручьевая МНЛЗ; 2 – подогревательные проходные печи;
3 – прокатные станы с горизонтальными и вертикальными валками;
4 – ножницы; 5 – холодильники

Развивается использование литейно-прокатных агрегатов и для производства готового проката, где производительность прокатного стана еще больше отличается от производительности МНЛЗ.

На рис. 18.3 приведена схема агрегата для выпуска стальной проволоки (катанки) диаметром 8–12 мм.

В агрегате используется одноручьевая непрерывно-литейная машина радиального типа, позволяющая получать слиток сечением 80×60 мм. Из литейной машины слиток поступает в зачистную машину, в которой производится очистка его поверхности. Перед зачистной машиной установлены летучие ножницы для обрезания переднего конца слитка в начале процесса, либо самого слитка в случае нарушения процесса прокатки. После зачистки поверхности слиток подается в индукционный подогреватель, а затем в планетарный стан с двусторонним обжатием, где происходит его деформация до квадратного (20×20 мм) сечения. На выходе из планетарного стана передний конец слитка обрезается летучими ножницами барабанного типа, а слиток далее поступает в непрерывный прокатный стан, состоящий из черновых и чистовых клеток, в котором производится его прокатка в проволоку требуемого сечения. За прокатным станом установле-

ны летучие ножницы барабанного типа, разрезающие проволоку при нарушении процесса ее сматывания. В сматывающих устройствах проволока сматывается в бунты, а затем поступает на склад. Скорость выхода проволоки до 15 м/с.

Для интенсивного двухстороннего обжата заготовки применен универсальный планетарный стан с горизонтальными и вертикальными валками. За планетарным станом установлены две черновые и две непрерывные группы чистовых клетей.

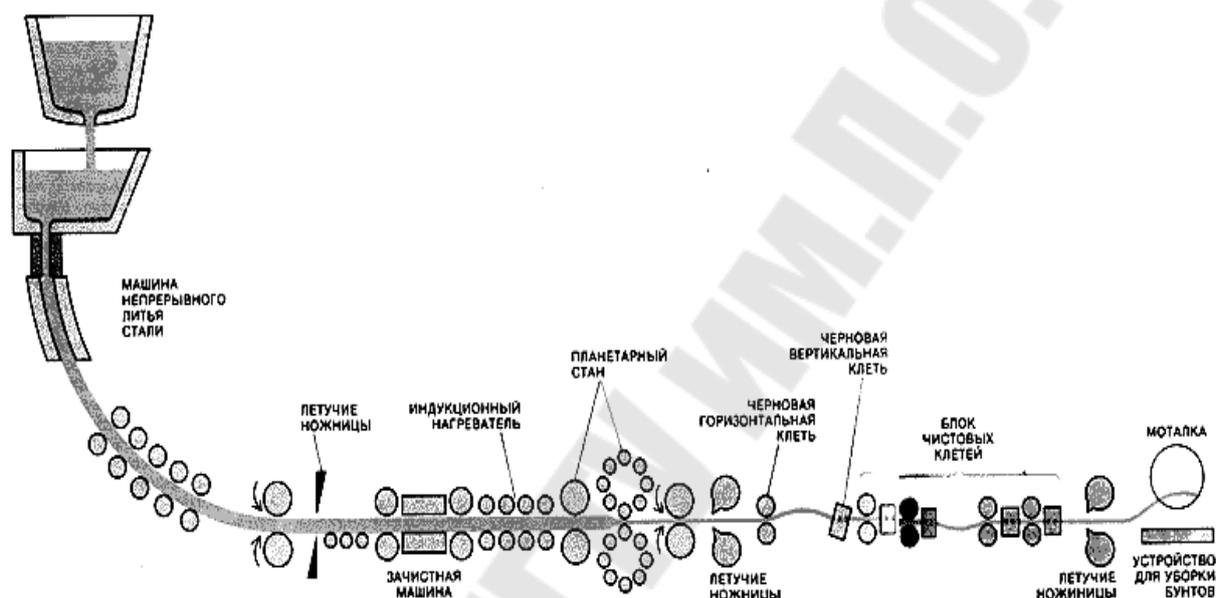


Рис. 18.3. Схема литейно-прокатного агрегата для производства стальной проволоки:

- 1 – МНЛЗ; 2 – летучие ножницы; 3 – индукционный нагреватель;
 4 – планетарный стан; 5 – тянущие ролики; 6 – барабанные ножницы;
 7 – черновая горизонтальная клеть; 8 – черновая вертикальная клеть;
 9 – группы чистовых клетей; 10 – моталки

Другим примером может служить совмещенный агрегат для сортового проката, созданный в Японии (рис. 18.4). Здесь используется роторный кристаллизатор с колесом диаметром 2,4 м, в котором выполнен калибр для получения проката трапецеидального сечения, наружная поверхность которого ограничивается натянутой на роликах лентой.

После кристаллизации заготовка при необходимости подогревается и поступает в прокатный стан с вертикальными и горизонтальными клетями, затем разрезается и подается для дальнейшей прокатки на сортовые станы.

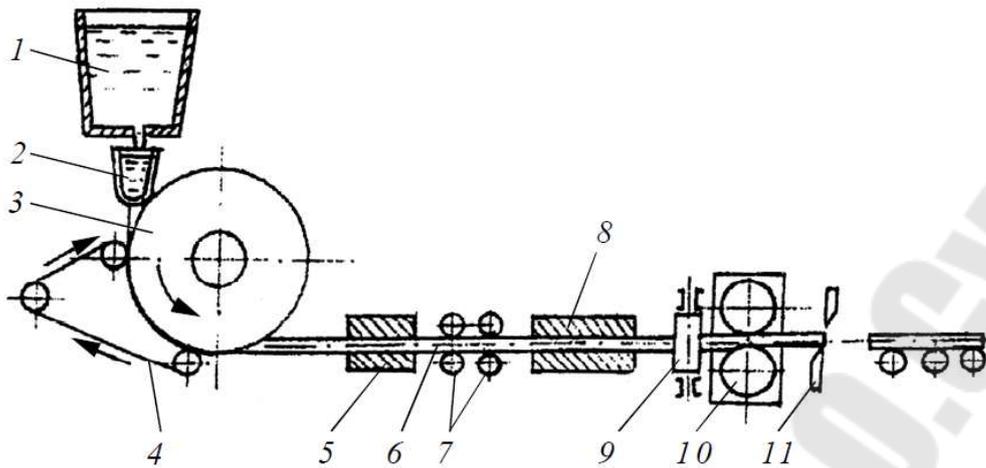


Рис. 18.4. Схема литейно-прокатного агрегата для получения сортового проката:

1, 2 – основной и вспомогательный сталеразливочные ковши;
 3 – роторный кристаллизатор; 4 – прижимная лента; 5 – охладитель;
 6 – заготовка; 7 – тянущие ролики; 8 – нагревательное устройство;
 9, 10 – клетки с вертикальными и горизонтальными валками соответственно; 11 – ножницы

Более широкое применение литейно-прокатные агрегаты нашли в цветной металлургии, например для производства алюминиевой полосы толщиной 10 мм и шириной 1 м в рулонах (рис. 18.5).

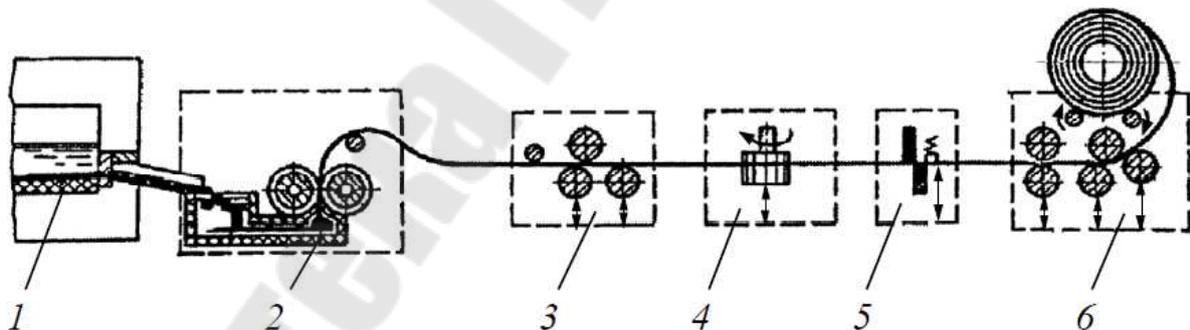


Рис. 18.5. Литейно-прокатный агрегат для производства алюминиевой полосы:

1 – миксер; 2 – валковый кристаллизатор; 3 – правильная машина;
 4 – машина для фрезерования боковых кромок; 5 – ножницы;
 6 – свертывающая машина

Металл из миксера поступает в валковый кристаллизатор, затем при температуре 700 °С из распределительной коробки – в межвалко-

вую щель и при дальнейшем движении вверх кристаллизуется в полосу, которую потом правят, режут и сматывают в рулоны.

Известны также проекты вертикальных литейно-ковочно-прокатных агрегатов. Один из основных элементов агрегата – вертикальный кристаллизатор, установленный на крышке герметичного промежуточного ковша (рис. 18.6). Вертикальная разливка производится за счет подачи в ковш газа под давлением, достаточного для подъема металла в кристаллизатор.

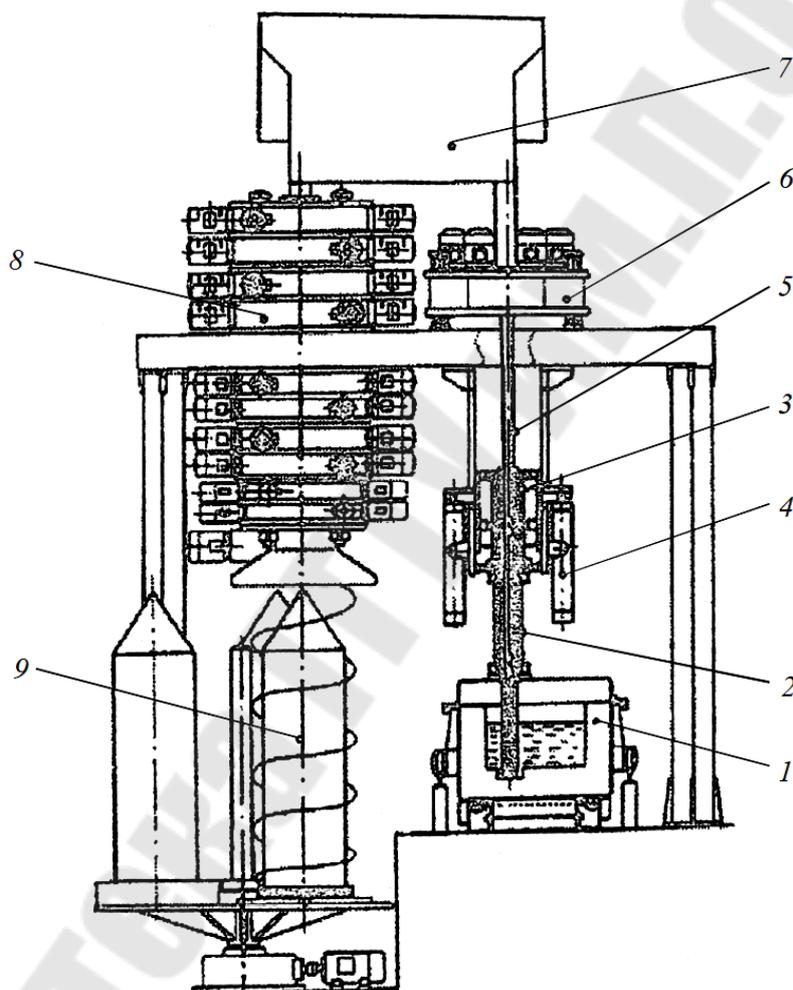


Рис. 18.6. Схема литейно-ковочно-прокатного модуля:

- 1 – промежуточный ковш; 2 – кристаллизатор; 3 – устройство зоны вторичного охлаждения; 4 – устройство подачи литой заготовки в ковочный блок; 5 – литая заготовка; 6 – ковочный блок; 7 – петлеобразователь; 8 – непрерывный прокатный блок; 9 – устройство приема катанки

В данном агрегате разливается полая заготовка, из которой ковкой и прокаткой производят стальную проволоку диаметром 6,5 мм. При использовании полой заготовки обеспечивается мелкозернистость и однородность химического состава металла, который состоит только из поверхностных однородных слоев. Сформировавшаяся в кристаллизаторе полая заготовка подается в ковочный блок для заковки трубчатой заготовки в пруток. Заготовка предварительно подогревается в проходной муфельной печи сопротивления. Ковочный блок вертикального исполнения содержит 6 ползунов с бойками, приводимыми в движение эксцентриковыми механизмами от электродвигателей. Рабочие поверхности бойков образуют шестиугольный замкнутый контур. Далее через петлеобразователь, служащий для создания запаса металла и обеспечения синхронности работы агрегатов, заготовка поступает в 11-клетевой прокатный блок вертикального исполнения. Прокатный блок состоит из 10 обжимных четырехвалковых клеток и одной чистовой клетки. На заключительном этапе производится отделка и сворачивание проволоки в бунты.

18.3. Литье-прессование

Анализ возможных технических решений по совмещению горизонтальной непрерывной разливки и прессования показал, что наиболее пригодным является полунепрерывное обратное прессование. Оно предполагает подачу в разъемный контейнер части длинномерной заготовки, ее радиальную деформацию при смыкании контейнера и обратное прессование путем движения контейнера навстречу пустотелому пресс-штемпелю с матрицей.

Структура подобного литейно-прессового агрегата приведена на рис. 18.7.

В качестве металлоприемника в агрегате используется индукционная печь, снабженная дополнительной емкостью, играющей роль промежуточного ковша МНЛЗ, к стенке которого крепится водоохлаждаемый кристаллизатор. За кристаллизатором установлено устройство вторичного охлаждения и прокатная клеть для придания заготовке плоско-овальной формы перед заданием в контейнер пресса. Прокатная клеть в начале периода разливки может выполнять также функцию вытяжного устройства. Затем заготовка вводится в составной контейнер пресса, раздавливается сегментами контейнера до круглого сечения и перемещается с контейнером на длину запроектированного шага вытягивания заготовки из кристаллизатора. Далее при рабочем

ходе главных цилиндров пресса осуществляется прессование части заготовки.

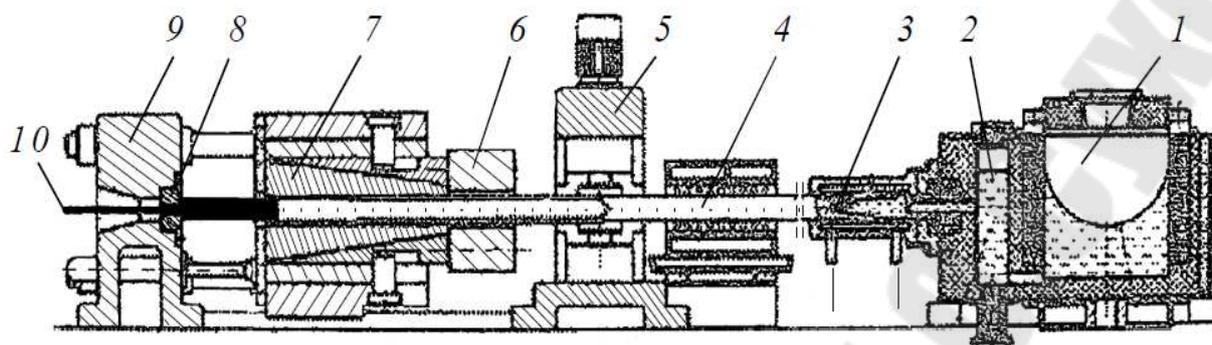


Рис. 18.7. Структура литейно-прессового агрегата:

1 – индукционная печь; 2 – промежуточный ковш; 3 – кристаллизатор;
4 – устройство вторичного охлаждения; 5 – прокатная клеть;
6 – подвижная поперечина пресса; 7 – контейнер; 8 – матрица;
9 – неподвижная поперечина пресса; 10 – прессуемый пруток

В данной конструкции проблема обратного перемещения литой заготовки для предотвращения поверхностных дефектов решена за счет осевого перемещения металла во время радиальной осадки в контейнере. Во время паузы в период кристаллизации очередной части слитка подвижная поперечина пресса смещает назад разомкнутый контейнер на величину хода прессования, и цикл обработки повторяется.

18.4. Термомеханическая обработка

Термомеханическая обработка (ТМО) — это сочетание термической обработки и пластической деформации для повышения пластичности, прочности и вязкости металла. ТМО классифицируют по уровню температуры деформации металла $T_{\text{деф}}$ (рис. 18.8) относительно температуры рекристаллизации металла $T_{\text{р}}$: на высокотемпературную ВТМО (если $T_{\text{деф}} > T_{\text{р}}$) и низкотемпературную НТМО (если $T_{\text{деф}} < T_{\text{р}}$).

При ВТМО сталей нагрев и деформацию производят выше точки $A_{\text{с3}}$ в однофазной области аустенита, после чего проводят ускоренное охлаждение в воде или масле до температуры ниже мартенситного превращения $T_{\text{м}}$. Высокотемпературная деформация приводит к измельчению и большей однородности мартенсита. Для снятия закалочных напряжений далее проводят отпуск стали.

При НТМО ускоренное охлаждение проводят перед пластической деформацией, чтобы не допустить развитие процессов рекристаллизации. При этом аустенит деформируется в условиях переохлаждения в состоянии метастабильного равновесия. Затем при дальнейшем охлаждении производится закалка на мартенсит для сохранения сформировавшейся в результате деформирования структуры металла. Заключительной операцией, как и при ВТМО, является отпуск металла.

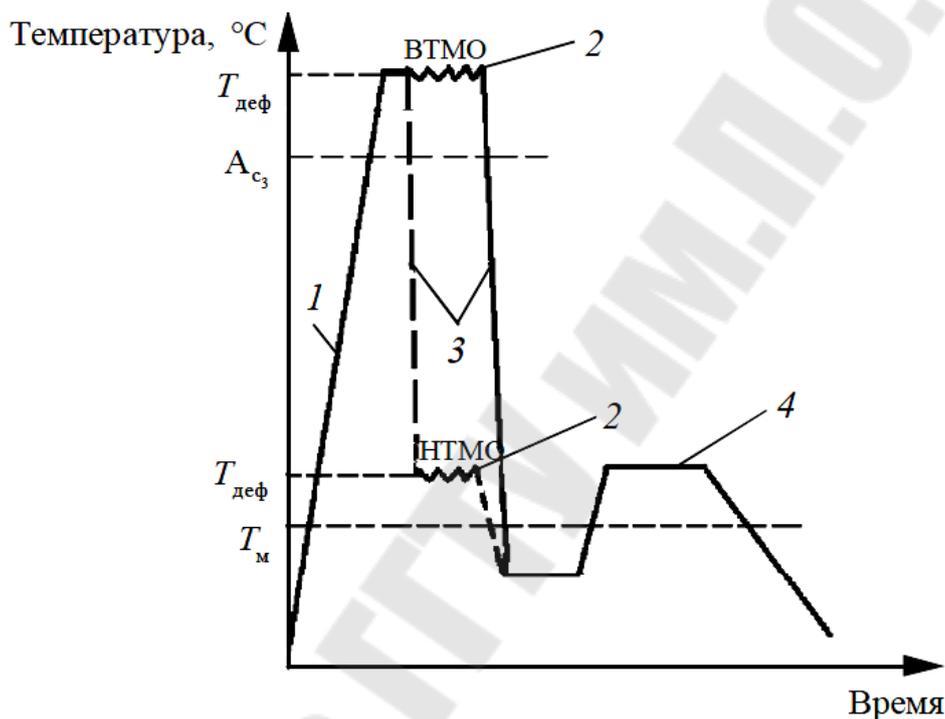


Рис. 18.8. Схемы термомеханической обработки стали:
 1 – нагрев; 2 – пластическая деформация; 3 – ускоренное охлаждение; 4 – отпуск

Сравнение рассмотренных вариантов показывает, что ВТМО обеспечивает несколько меньшую прочность, но большую пластичность и ударную вязкость стали. НТМО требует больших энергетических затрат на проведение пластической деформации в охлажденном состоянии, что приводит к более интенсивному износу оборудования. Поэтому наибольшее промышленное использование получил способ ВТМО в линии многоклетевых прокатных станов, в том числе редуционно-калибровочных для прокатки труб, с охлаждением проката с помощью водных спрейеров.

Литература

1. Титов, Ю. А. Специальные способы обработки металлов давлением (Раздел 2: основные технологии ОМД) : учеб. пособие / Ю. А. Титов, В. Н. Кокорин, А. Ю. Титов. – Ульяновск : УлГТУ, 2013. – 78 с.
2. Гулидов, И. Н. Оборудование прокатных цехов / И. Н. Гулидов. – М. : Интермет Инжиниринг, 2004. – 320 с.
3. Кольцераскатка в производстве деталей машиностроения / В. Е. Антонюк [и др.]. – Минск : Беларус. наука, 2013. – 189 с. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=231217>.
4. Константинов, И. Л. Основы технологических процессов обработки металлов давлением : учебник / И. Л. Константинов, С. Б. Сидельников ; Сибирский федеральный университет. – Красноярск : СФУ, 2015. – 488 с. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=435694>.
5. Константинов, И.Л. Прокатно-прессово-волочильное производство: учебник / И. Л. Константинов, С. Б. Сидельников, Е. В. Иванов ; Сибирский федеральный университет. – Красноярск : СФУ, 2014. – 512 с. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=364611>
6. Некипелов, В.С. Оборудование для намотки сортового проката и катанки: теория и конструкции / В.С. Некипелов. – М. : Вологда : Инфра-Инженерия, 2018. – 144 с. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=493857>.
7. Сидельников, С.Б. Технология прокатки / С.Б. Сидельников, И.Л. Константинов, Д.С. Ворошилов; Сибирский федеральный университет. – 3-е изд., доп. и перераб. – Красноярск : СФУ, 2016. – 180 с. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=497530>.
8. Давильбеков, Н.Х. Оборудование прокатных цехов (учебник) / Н.Х. Давильбеков. - Алматы: КазНТУ, 2002. – 243 с.
9. Колесников, А. Г. Механизмы и устройства рабочих клеток прокатных станков / А. Г. Колесников, Р. А. Яковлев. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2008. – 63 с.
10. Кохан, Л. С. Механическое оборудование цехов по обработке металлов давлением / Л. С. Кохан, О. В. Соколов. – М. : Metallurgia, 1989. – 624 с.

11. Каблов, Е. Н. Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года //Авиационные материалы и технологии. – 2012. – № 5. – С. 7–17.

12. Каблов, Е. Н. Комплексная инновационная технология изотермической штамповки на воздухе в режиме сверхпластичности дисков из супержаропрочных сплавов / Е.Н. Каблов, О. Г. Оспенникова, Б. С. Ломберг //Авиационные материалы и технологии. – 2012. – № 5. – С. 129–141.

13. Эффективность применения изотермической деформации при изготовлении штамповок из титановых сплавов / А. В. Скугарев [и др.]. – Титан. – 2013. – № 1 (39). – С. 31–34.

14. Разуваев, Е. И., Лебедев Д.Ю., Бубнов М.В. Формирование ультрамелкозернистой и наноразмерной структуры в металлах и сплавах методами деформации / Е. И. Разуваев, Д. Ю. Лебедев, М. В. Бубнов // Авиационные материалы и технологии. – 2010. – № 3. – С. 3–8.

15. Солнцев, Ю. П. Специальные материалы в машиностроении : учеб. для вузов / Ю. П. Солнцев. – СПб., 2004. – 640 с.

16. Специальные способы холодной объемной штамповки / К. Н. Богоявленский [и др.]. – М. : Машиностроение, 1986. – 44 с.

17. ППП MSC Simufact. v16.0, модуль Forming (демонстрационные версии)

18. ППП SOLIDWORKS 3D CAD, ППП “Plastics, DFM” (демонстрационные версии)

19. Компьютерные презентации кафедры “МиТОМ”.

20. Компьютерные презентации инофирм по переделам металлургического производства.

Астапенко Игорь Васильевич

**СОВРЕМЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ
ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ ДАВЛЕНИЕМ**

Пособие

**для студентов специальности 1-42 80 01
«Инновационные технологии в металлургии»
дневной и заочной форм обучения**

Подписано к размещению в электронную библиотеку
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного
учебно-методического документа 20.04.23.

Рег. № 40Е.
<http://www.gstu.by>