

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Казанский национальный исследовательский технический университет им.
А. Н. Туполева - КАИ»
(КНИТУ-КАИ)

**Е.П. КРУГЛОВ, Э.Р. ГАЛИМОВ, А.Г. АБЛЯСОВА,
Н.Я. ГАЛИМОВА, С.Ю. ЮРАСОВ, М.М. ГАНИЕВ,
А.Г. СХИРТЛАДЗЕ, Е.А. РЯБОВ**

ВЫБОР И СПОСОБЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗАГОТОВОК ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Учебник
для студентов машиностроительных специальностей

Казань 2015

УДК 615.49203.07

**Е.П. Круглов, Э.Р. Галимов, А.Г. Аблясова, Н.Я. Галимова,
С.Ю. Юрасов, М.М. Ганиев, А.Г. Схиртладзе, Е.А. Рябов** Выбор и
способы изготовления заготовок для деталей машиностроения. Учебник
для студентов машиностроительных специальностей, 2015.

В книге изложены современные способы изготовления заготовок для деталей машиностроительных производств. Приведены принципы рационального выбора заготовок, обеспечивающие гарантированное качество и высокие эксплуатационные характеристики деталей при минимальной стоимости их изготовления. Показаны достоинства и недостатки различных способов изготовления заготовок.

Учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки бакалавров 22.0301(150100.62) «Материаловедение и технология материалов»

Рецензенты:

докт. техн. наук, профессор И.А. Абдуллин - Казанский национальный
исследовательский технологический университет

докт. техн. наук, профессор В.И. Астащенко - Казанский (Приволжский)
Федеральный университет

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ

ГЛАВА 1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ ЗАГОТОВОК

1.1. Основные факторы, влияющие на рациональный выбор заготовок

1.1.1. Характер производства

1.1.2. Технологические свойства материалов

1.1.3. Размеры, масса и конфигурация детали

1.1.4. Качество поверхности заготовок, обеспечение заданной точности

1.1.5. Возможности имеющегося оборудования

1. 2. Техничко-экономический анализ выбора заготовок

ГЛАВА 2. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЗАГОТОВОК МЕТОДОМ ЛИТЬЯ

2.1. Основные положения по выбору способов литья

2.2. Основные способы изготовления литых заготовок

2.2.1. Литьё в песчано-глинистые формы

2.2.2. Специальные способы изготовления литых заготовок

2.3. Литьё в оболочковые формы

2.4. Литьё по выплавляемым моделям

2.5. Литые заготовки для лопаток газовых турбин

2.5.1. Материалы литых лопаток турбины

2.5.2. Влияние структуры литых заготовок на свойства лопаток турбины

2.5.3. Технологичность конструкций литых лопаток

- 2. 5.4. Изготовление керамических стержней для литых заготовок лопаток турбины
- 2.5.5. Совершенствование технологического процесса равноосного литья заготовок лопаток турбины
- 2.5.6. Оборудование для изготовления литых заготовок лопаток турбины.
- 2.5.7. Особенности получения турбинных лопаток с монокристаллической структурой
- 2.5.8. Направления развития конструкции и технологии литья лопаток с монокристаллической структурой
- 2.5.9. Контроль качества литых охлаждаемых лопаток
- 2.6. Литьё в металлические формы (кокиль)
- 2.7. Литьё под регулируемым перепадом газового давления
- 2.7.1 Литьё под низким давлением
- 2.7.2 Литьё с противодавлением
- 2.7.3. Литьё вакуумным всасыванием
- 2.8. Вакуумно-компрессионное литьё
- 2.9. Литьё с последовательным заполнением и кристаллизацией
- 2.10. Литьё выжиманием
- 2.11. Непрерывное и полунепрерывное литьё
- 2.12. Литьё намораживанием на подвижные и стационарные кристаллизаторы
- 2.13. Литьё с кристаллизацией под давлением (жидкая штамповка)
- 2.14. Штамповка в твёрдожидком состоянии(тиксостамповка)
- 2.15. Электрошлаковое литьё

- 2.16. Центробежное литьё
- 2.17. Литьё по газифицируемым моделям
- 2.18. Литьё под давлением
- 2.19. Применение прототипирования при изготовлении литых заготовок

ГЛАВА 3. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЗАГОТОВОК МЕТОДОМ ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ

- 3.1. Основные положения по выбору способов литья
- 3.2. Способы изготовления заготовок обработкой металлов давлением
 - 3.2.1. Способ изготовления заготовок ковкой
 - 3.2.2. Способ изготовления заготовок штамповкой
 - 3.2.3. Специальные способы изготовления деформированных заготовок.
 - 3.2.3.1. Штамповка на горизонтально-гибочных машинах
 - 3.2.3.2. Поперечно-винтовая прокатка в винтовых калибрах
 - 3.2.3.3. Вальцовка
 - 3.2.3.4. Штамповка на радиально-обжимных и ротационно-ковочных машинах
 - 3.2.3.5. Раскатка кольцевых заготовок
 - 3.2.3.6. Способ накатки заготовок
 - 3.2.3.7. Электровысадка
 - 3.2.3.8. Высокоскоростная штамповка
 - 3.2.3.9. Штамповка в изотермических условиях
 - 3.2.3.10. Штамповка в условиях сверхпластичности

3.2.3.11. Штамповка выдавливанием в разъёмных матрицах

3.3. Листовая штамповка

3.4. Основные технико-экономические положения к выбору способа получения заготовок обработкой давлением

ГЛАВА 4. СПЕЦИАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ ЗАГОТОВОК

4.1. Изготовление заготовок методом порошковой металлургии

4.2. Изготовление заготовок методом сварки

4.2.1. Способы сварки плавлением

4.2.2. Способы сварки давлением

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Приложение 1

ПРЕДИСЛОВИЕ

Современная промышленность располагает большим количеством способов изготовления заготовок. Это позволяет повысить качество и эксплуатационные характеристики деталей, снизить материальные и трудовые затраты на их изготовление.

Рациональный выбор заготовок для изготовления деталей является основополагающих критериев, определяющих стоимость детали, её качество и сроки изготовления.

Однако множество способов изготовления заготовок создаёт большие трудности рационального выбора заготовок. Разнообразие требований, иногда противоречивых, к заготовкам ещё больше усложняет задачу рационального выбора заготовок.

Таким образом, рациональный выбор заготовок является актуальной задачей при проектировании и создании новых машин и другой продукции различного назначения.

В данной книге приведена попытка создания методического пособия для рационального выбора заготовок при проектировании новой продукции, совершенствования действующих технологических процессов изготовления заготовок, технического перевооружения и реконструкции производств.

В основу достижения поставленной задачи положен техника – экономический анализ способов изготовления заготовок. Приведены факторы, влияющие на рациональный выбор заготовок. Показаны возможности, достоинства и недостатки способов изготовления заготовок, параметры технологичности деталей. Показана важность назначения припусков и допускаемых отклонений размеров заготовок с учётом последующей их механической обработки. Особенно это важно в условиях массового и крупносерийного производств, где необходима максимальная

стабильность технологического процесса, в том числе припусков и прочностных свойств заготовок. Показаны возможности автоматизации и механизации способов изготовления заготовок.

При решении реальных задач, приведенные в книге методики выбора заготовок, могут быть откорректированы с учётом конкретных производственных условий.

ГЛАВА 1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ ЗАГОТОВОК

Выбор заготовок всегда сложная и трудная задача. Заготовка должна обеспечить высокое качество изготавливаемой детали и при этом стоимость её изготовления должна быть минимальной. Необходимо учитывать и сроки изготовления заготовки. Оценкой экономической эффективности применения того или иного способа изготовления заготовки являются следующие критерии: себестоимость, качество и сроки изготовления детали. Оценку целесообразности выбора способа изготовления заготовок, следует проводить с учётом множества факторов. Рассматривать достоинства и недостатки каждого способа изготовления заготовки. Максимальное приближение по размерам и форме заготовки к форме и геометрическим размерам детали не всегда является оптимальным вариантом. Сложность выбора рациональной заготовки заключается также в том, что конструкторам и технологам приходится принимать решение о выборе варианта изготовления заготовки, когда они не располагают необходимой исходной информацией, но при этом должен быть выбран предпочтительный вариант конструкторского изделия или технологического процесса, который будет разрабатываться для внедрения в производство. Следовательно, уже на стадии проектирования детали необходимо проводить технико–экономический анализ изготовления заготовки.

При выборе заготовок используются термины «метод» изготовления заготовки и «способ» изготовления заготовки. Под термином «метод» понимается группа технологических процессов, в основе которых лежит единый принцип формообразования. Например, метод обработки металлов давлением, метод изготовления заготовок литьём, метод изготовления

заготовок сваркой, а также комбинация этих методов. Каждый метод содержит большое количество способов изготовления заготовок. При выборе метода изготовления заготовок основную роль играет материал детали и требования к материалу детали с учётом обеспечения эксплуатационных свойств детали. Методика выбора метода и способа заготовки представлена на рис. 1.

1.1. Основные факторы, влияющие на рациональный выбор заготовок

Конструктор, проектируя деталь, исходя из соображений надёжности, прочности, ресурса, назначает материал детали и тем самым в значительной степени предопределяет метод или способ изготовления заготовки. Исходная информация в виде чертежа детали, технических требований на деталь, марки материала являются одним из важных параметров выбора способа изготовления заготовки, т.е. конструкторским фактором выбора заготовки.

Проектируя деталь для конкретного производства, конструктор учитывает характер, культуру, технологическую оснащённость производства. Для вновь создаваемой продукции и вновь создаваемого производства, конструктор принимает во внимание современные методы и способы изготовления заготовок. Таким образом, производственный фактор является также важным фактором при выборе заготовок.

На выбор заготовки, кроме материала, влияют оборудование и технологические процессы их изготовления, т.е. технологический фактор. Технологический фактор выбора заготовок подразделяется на ряд параметров, определяющих, выбор заготовок.

К таким параметрам относятся характер производства, технологические свойства материалов, размеры, масса и конфигурация детали, возможности имеющегося оборудования.

1.1.1. Характер производства.

Для мелкосерийного и единичного производств целесообразно использовать заготовки, изготавливаемые с помощью универсального инструмента или с минимальными затратами на его изготовление.

В качестве заготовок рекомендуется прокат, заготовки полученные ковкой, заготовки полученные литьём в песчано-глинистые формы, сварные заготовки. Заготовки имеют значительные припуски на механическую обработку и большие допускаемые отклонения размеров заготовок. Но в этом случае затраты на материал и на механическую обработку деталей ниже затрат на изготовление специального инструмента, который требуется для изготовления заготовок максимально приближенных по форме и размерам к готовой детали. Однако и для мелкосерийного и единичного производств необходимо применять оптимальный вид заготовки, с целью уменьшения припусков на последующую механическую обработку.

Для этих целей при ковке можно использовать простые подкладные штампы, проводить операции прошивки отверстий, раскатки кольцевых заготовок с помощью универсального инструмента. Выбирать прокат максимально приближенный к готовой детали.

В условиях крупносерийного и массового производств экономически оправдано применение заготовок, изготовленных с

помощью специального инструмента и, как правило, максимально приближенные по форме и геометрическим размерам к готовой детали.

Затраты на изготовление специального инструмента, например, штампов для деформированных заготовок или специальные формы для способов точного литья, оправданы снижением стоимости материала на изготовление детали и снижением затрат на механическую обработку деталей.

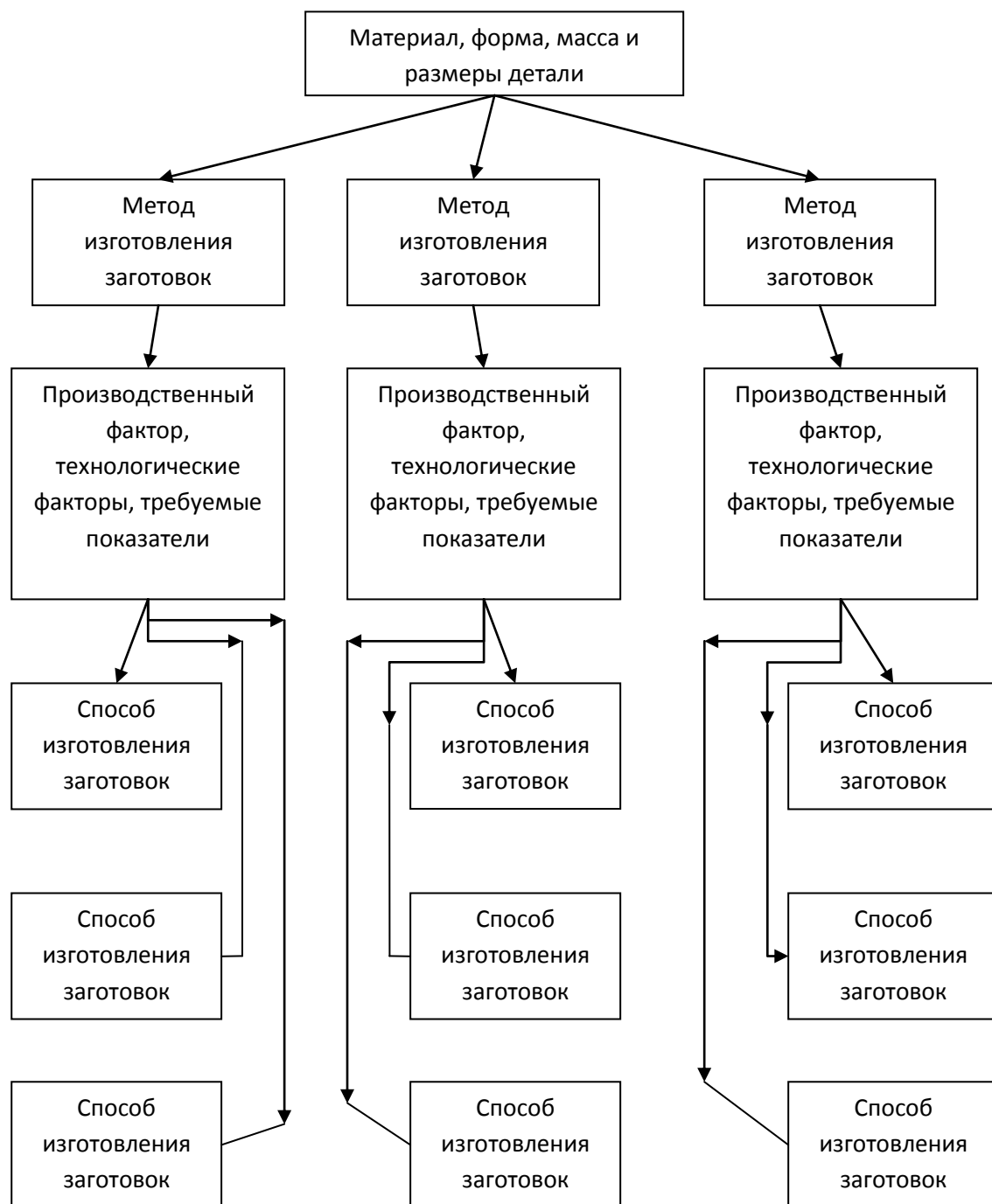


Рис. 1. Схема оптимального выбора заготовок

При любом характере производства необходимо проводить технико-экономический анализ выбора типа заготовок по критерию

себестоимости. При этом учитывать и стоимость изготовления инструмента, его стойкость, а также другие параметры.

В условиях крупносерийного и массового производств экономически оправдано применение заготовок, изготовленных с помощью специального инструмента и, как правило, максимально приближенные по форме и При любом характере производства необходимо проводить технико-экономический анализ выбора типа заготовок по критерию себестоимости. При этом учитывать и стоимость изготовления инструмента, его стойкость, а также другие параметры.

1.1.2. Технологические свойства материалов

Основные тенденции современного машиностроения – это применение материалов, которые обеспечивают конструктивные и эксплуатационные свойства (качество, прочность, надёжность, ресурс и т.д.), при этом не всегда принимаются во внимание их технологические свойства – штампуемость, жидкотекучесть, свариваемость, обрабатываемость, в значительной мере влияющие на выбор заготовок. При выборе способа изготовления заготовок всегда необходимо учитывать технологические свойства.

Чем ниже пластичность, тем сложнее получить качественную заготовку способом горячего, и тем более, холодного деформирования. Например, при изготовлении заготовок из трудно деформированных материалов необходимо учитывать небольшую степень деформации, узкий температурный интервал деформирования, что приводит к дополнительным нагревам при штамповке и соответственно к увеличению себестоимости. Для заготовок из таких материалов очень важно правильно назначить технологические приёмы их изготовления. Используются следующие

приёмы: фасонирование исходных заготовок под последующую штамповку, предварительная штамповка заготовок и другие приёмы.

Если литейный материал обладает пониженными литейными свойствами, то не рекомендуется его применять при литье в кокиль или литье под давлением, так как из-за низкой податливости металлических форм в отливках возникают литейные напряжения, которые приводят к короблению заготовок. Сплавы склонные к ликвации не применяются для заготовок, изготавливаемых центробежным литьём. Литые заготовки из жаропрочных материалов, склонные к окислению, необходимо изготавливать в вакуумных плавильно – заливочных установках.

В технических условиях для ответственных, нагруженных деталей, работающих в условиях знакопеременных нагрузок, специальных средах (валы, диски и лопатки турбин и компрессоров, детали зубчатых соединений) указываются требования к качеству материалов и к механическим, а иногда и к эксплуатационным свойствам. Для подобных деталей целесообразно, как правило, применять кованные или штампованные заготовки, которые обладают повышенными механическими свойствами. Но при этом необходимо учитывать, что заготовки из сложнолегированных материалов, например, жаропрочных сплавов на никелевой или кобальтовой основе, получить штамповкой с минимальными припусками на механическую обработку, практически, очень трудно, а иногда и невозможно. В подобных случаях целесообразно применять литые заготовки, используя специальные приёмы, например, литьё по выплавляемым моделям с направленной или монокристаллической структурой, что позволяет получать заготовки с высокими прочностными и эксплуатационными свойствами.

1.1.3. Размеры, масса и конфигурация детали

Размеры и масса детали в ряде случаев играют решающую роль в выборе заготовок. Так для многих специальных способов литья (литьё под давлением, литьё в кокиль, литьё по выплавляемым моделям) размеры заготовок ограничены техническими возможностями применяемого оборудования и инструмента. Ограничены техническими возможностями по размерам и массе изготовление заготовок способом горячей объёмной штамповки. Для крупногабаритных заготовок в этих случаях применяют кованные заготовки или заготовки, получаемые литьём в песчано-глинистые формы.

На выбор заготовок влияет и конфигурация детали. Такие способы изготовления заготовок, как горячая штамповка, литьё в кокиль, центробежное литьё имеют ограничения по форме детали. Для указанных способов применяют, как правило, литые заготовки сравнительно простой формы. Практически, не имеют ограничений по конфигурации заготовки, получаемые литьём в песчано-глинистые формы, литьём по выплавляемым моделям, литьём под давлением, сваркой.

1.1.4. Качество поверхности заготовок, обеспечение заданной точности.

Использование точных способов получения деформированных заготовок таких, как калибровка штампованных заготовок, холодное выдавливание, обеспечивают высокую чистоту поверхности без последующей механической обработки и получение готовых деталей (болты, гайки, заклёпки). Большинство способов специального литья (литьё в кокиль, оболочковые формы, литьё под давлением, выплавляемым моделям, жидкая штамповка и др.) также позволяют получать точные заготовки без механической обработки по несопрягаемым поверхностям.

1.1.5. Возможности имеющегося оборудования.

Этот параметр при выборе заготовок следует учитывать для таких способов, как центробежное литьё, литьё под давлением, горячая объёмная штамповка. Особенно важно правильно выбирать способ изготовления заготовок при наличии различного оборудования, позволяющего получать практически одинаковые заготовки.

Например, штампованную заготовку можно изготовить на паровоздушном молоте, кривошипном горячештамповочном прессе или на электровинтовом прессе. Стоимость эксплуатации паровоздушного молота значительно ниже стоимости эксплуатации прессы, но полученная заготовка будет иметь значительное смещение формы, из-за смещения штампов и увеличенные размеры припусков на механическую обработку. Стоимость эксплуатации кривошипного горячештамповочного прессы выше стоимости эксплуатации паровоздушного молота, но изготовленная заготовка будет более точной, соответственно меньше припуски на механическую обработку.

Стоимость эксплуатации электровинтового прессы выше стоимости кривошипного горячештамповочного прессы, но полученная заготовка не требует калибровки, а для заготовок с повышенными требованиями по точности калибровку можно выполнить на том же прессе. В этом случае необходимо выполнить технико-экономический анализ рационального выбора заготовки. Качественно этот выбор можно сделать по следующим параметрам. Если заготовка формируется в одной половине штампа и отсутствует факт смещения штампов, тогда штамповку целесообразно изготовить на паровоздушном молоте. Для заготовок с требованиями высокой точности необходимо применить электровинтовой пресс.

Предложенные методики выбора способа изготовления заготовок неточные, так как основаны только на качественных оценках, более обоснованным является применение технико–экономического анализа сопоставимых параметров, основанных на количественных критериях.

1.2. Техничко–экономический анализ выбора заготовок

До проведения технико–экономического анализа необходимо выбрать целесообразные варианты изготовления заготовок. Техничко–экономический анализ основан на одновременном определении затрат в заготовительном, механическом производствах, затратах на изготовление инструмента, т.е. на анализе себестоимости изготовления детали по всему технологическому циклу её изготовления.

При выборе способа изготовления заготовки необходимо всегда сопоставлять различные варианты их изготовления по нормативным показателям себестоимости.

Если при выбранных способах изготовления заготовок объём механической обработки практически одинаков, тогда можно ограничиться сравнением себестоимости только в заготовительных цехах.

Лучшим решением при выборе способа изготовления заготовки является сравнение по производственной себестоимости $C_{пр}$ и технологической себестоимости $C_{т}$. Производственная себестоимость охватывает все затраты предприятия на изготовление детали, в том числе затраты на брак и затраты на освоение.

$$C_{пр} = C_{ц} + C_{осв} + C_{бр} + C_{н.з.,}$$

где $C_{ц}$ – цеховая себестоимость, $C_{осв}$ - затраты на освоение,

$C_{бр}$ - затраты связанные с браком деталей и заготовок, $C_{н.з.,}$ - общезаводские накладные расходы.

В общем виде цеховая себестоимость может быть определена по формуле

$$C_{ц} = C_{м} + C_{т},$$

где $C_{м}$ – затраты на основные и вспомогательные материалы, $C_{т}$ – технологическая себестоимость.

Часто при выборе заготовок достаточно сравнивать технологическую себестоимость

В общем виде технологическая себестоимость одной детали состоит из следующих показателей.

$$C_{т} = M + З + И + О,$$

где M – стоимость материала для изготовления детали (стоимость минимального расчётного расхода материала необходимого для изготовления детали);

$З$ – заработная плата производственных рабочих;

$И$ – расходы, связанные с изготовлением инструмента;

$О$ – расходы, связанные с содержанием и эксплуатацией оборудования, необходимые для изготовления одной детали.

Все показатели технологической себестоимости взаимосвязаны. Изменения массы и конфигурации заготовки вызывают изменение расходов на изготовление инструмента. Изменение объёма производства вызывают изменение типа оборудования и т.д. Из всех рассмотренных вариантов предпочтение следует отдавать тому варианту, технологическая себестоимость которого будет наименьшей.

Несмотря на то, что процессы формообразования заготовок и изготовление инструмента и оснастки для их осуществления довольно трудоемкие, доля затрат материала в структуре себестоимости велика (в некоторых случаях она достигает до 60 себестоимости детали). Поэтому

всегда необходимо искать решения по снижению расхода материала, т.е. выбирать наиболее экономичную, рациональную заготовку.

Технологичность детали в части оценки расхода материала характеризуется следующими показателями:

$K_{и.з.}$ – коэффициент использования заготовки;

$K_{в.г.}$ – коэффициент выхода годного;

$K_{и.м.}$ – коэффициент использования материала;

$K_{и.з.} = M_{д.} / M_з$, где $M_{д.}$ – масса детали;

$M_з$ – масса заготовки, поступающая на механическую обработку;

$K_{в.г.} = M_з / H_p$, где H_p , - норма расхода материала на изготовление детали, т.е. минимальная нормативная масса материала, необходимая для изготовления детали;

$K_{и.м.} = M_{д.} / H_p$.

Коэффициент выхода годного характеризует расход материала в заготовительном цехе, размер брака, технологические отходы и т.д.

Коэффициент использования заготовки характеризует объём механической обработки заготовки.

Коэффициент использования материала отражает общий расход металла на изготовление детали.

Часто для выбора рациональной заготовки используют коэффициент использования заготовки, так как он зависит от конструкции детали и от конструкции и массы заготовки. Например, для изготовления валиков, осей, болтов из проката $K_{и.з.} = 0,4 \div 0,6$, а при изготовлении деталей из той же заготовки типа колец, втулок $K_{и.з.} = 0,15 \div 0,2$. В общем случае, чем меньше отношение длины детали к её диаметру, тем выше $K_{и.з.}$. Однако делать выбор заготовки только по коэффициентам использования заготовки не всегда является обоснованным. Например, литая титановая заготовка максимально

приближена по форме и размерам к готовой детали, имеет высокий коэффициент использования заготовки, а другой более значимый коэффициент использования материала достигает не более 0,1. Такое положение является следствием фактической технологии литья титановых заготовок с расходуемым электродом. В результате кажущееся снижение себестоимости детали не приводит к положительным результатам и литые титановые заготовки необходимо применять только в обоснованных случаях с учётом множества других факторов. Следовательно, уже на стадии проектирования детали необходимо проводить технико-экономический анализ изготовления заготовки.

Современные способы изготовления заготовок обеспечивают высокую точность их изготовления, качество поверхности, что в свою очередь способствует развитию производства. Однако способ получения заготовки не должен рассматриваться в отрыве от технологии последующей механической обработки. Достигнутые успехи в получении точных и качественных заготовок не должны приводить к повышению затрат на механическую обработку.

На практике вопрос рационального выбора заготовок возникает в следующих ситуациях. Первая ситуация, когда конструктор и технолог свободны от требований действующего производства и перед ними ставится задача выбрать из ряда равноценных вариантов изготовления заготовок, выбрать оптимальный и с учётом его особенностей спроектировать деталь.

Во второй ситуации перед конструктором и технологом ставится задача заменить действующий процесс более рациональным. В первом случае задача решается выбором способа изготовления заготовки путём сравнения способов по всем технико-экономическим показателям. Во втором случае

показателем выбора способа заготовки является полученная экономия себестоимости изготовления детали за счёт внедрения нового процесса.

$$\mathcal{E}_r = (C_b - C_n) \times \Pi_r,$$

где \mathcal{E}_r – годовая экономия, получаемая за счёт внедрения нового технологического процесса;

C_b – себестоимость базового варианта;

C_n – себестоимость предлагаемого варианта;

Π_r – годовая программа выпуска заготовок.

Нормативные материалы, используемые при оценке рационального выбора заготовки, во многом зависят от объёмов и серийности производства. Эти параметры больше всего влияют на материальные и трудовые затраты, поскольку они в большей степени влияют на технологию изготовления заготовок и деталей, а также на выбор имеющегося оборудования.

Иногда решающим параметром при выборе заготовок является стоимость инструмента и оснастки. В этом случае необходимо определить срок окупаемости оснастки. При сроке окупаемости оснастки больше нормативной, применение такой оснастки экономически нецелесообразно. Срок окупаемости затрат на более дорогую оснастку определяется по формуле

$$C_o = \Pi_k \times \Phi / \Pi_r,$$

где Π_k – критический объём производства, при котором становится экономически целесообразным использование дорогой оснастки;

Φ – срок службы дешевой оснастки.

При обработке металлов давлением, оптимальный размер партии деталей N , при превышении которой следует переходить отковки к штамповке, определяется по формуле

$$N = (C_{ш} - C_k) / (C_d^k - C_d^{ш}),$$

где $C_{ш}$ и $C_{к}$ – себестоимость штампов и ковочных бойков;

$C_{д}^к - C_{д}^{ш}$ – себестоимость деталей, полученных из штампованной и кованной заготовок с учётом включения затрат на механическую обработку.

В современных условиях при выборе оптимального выбора изготовления заготовок необходимо учитывать одно из основополагающих требований – это качество изготовленной детали. Качество продукции в первую очередь зависит от уровня технологического процесса её изготовления, то есть от применения современного оборудования, специальной оснастки и включением в технологический процесс дополнительных операций и приёмов, что в свою очередь может привести к дополнительным затратам.

Экономическая эффективность от повышения качества продукции - это повышение ресурса деталей, снижение массы деталей за счёт повышения прочностных свойств материала и применения современных технологических процессов.

ГЛАВА 2. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЗАГОТОВОК МЕТОДОМ ЛИТЬЯ

2.1. Основные положения по выбору способа литья

Применение литых заготовок обусловлено следующими достоинствами данного метода:

- получение заготовок практически любой формы, размеров и массы;
- снижение объёма механической обработки при изготовлении деталей;
- изготовление заготовок, за исключением некоторых способов, с высокими коэффициентами использования заготовок и использования материалов;
- изготовление заготовок из сплавов, которые не поддаются пластическому деформированию и из трудно обрабатываемых материалов.

Несмотря на различие способов изготовления литых заготовок общим для данного метода являются: получение жидкого расплава, изготовление формы и заливка расплава в форму.

Изготовление отливок различается множеством способов, в зависимости от размеров, массы, свойств, точности и характера производства заготовок.

Одним из основных показателей рационального выбора способа литья является себестоимость детали, которая в большой степени зависит от стоимости металла. Поэтому при выборе способа литья необходимо рассматривать вопрос об экономии металла. Металлоёмкость литых заготовок зависит от конструктивных и технологических мероприятий, обеспечивающих снижение массы за счёт повышения их прочностных свойств. За счёт изменения конструкции путём образования выемок, изменения толщины стенок, применения коробчатых и тавровых сечений можно значительно снизить расход металла. Применение рациональных радиусов сопряжений, введение рёбер жёсткости позволяет исключить концентраторы напряжений в отливках и увеличить прочностные свойства.

При выборе способа литья необходимо внимательно учитывать эксплуатационные требования и в ряде случаев, возможно, заменить дорогостоящие материалы на менее дорогостоящие материалы. Например, отливки из стали в ряде случаев можно заменить высокопрочным, модифицированным чугуном.

Основные факторы, которые необходимо учитывать при сравнении различных способов литья.

1. Для получения качественных отливок в первую очередь необходимо учитывать технологические свойства сплава (жидкотекучесть, склонность к усадочной и газовой пористости, к ликвации и т.д.). Если сплав обладает

пониженной жидкотекучестью, то нежелательно применение литья в металлические формы. Жидкотекучесть повышается при литье под давлением, центробежном, по выплавляемым моделям, штамповке жидкого металла. Если сплав имеет высокую склонность к усадке, нежелательно применение литья в металлические формы, так как возможно образование трещин из-за низкой податливости формы. Не рекомендуется также применять сплавы склонные к усадке и для получения отливок литьём под давлением, так как повышается трудоёмкость изготовления отливки из-за сложности установки прибылей, усложнения пресс-формы.

2. Способ изготовления литых заготовок должен исключать дефекты литейного происхождения, обеспечивать возможность получения мелкозернистой структуры и соответственно обеспечить высокие механические свойства.

3. При выборе способа изготовления заготовок необходимо учитывать технологичность конструкции детали применительно к каждому из рассматриваемых способов.

Тонкостенные сложные по форме конструкций отливки можно получить литьём по выплавляемым моделям и литьём под давлением. Сложные по форме отливки можно получить литьём в песчано – глинистые формы. При литье в кокиль форма отливки по возможности должна быть простой, центробежный способ литья в основном применяют для отливок тел вращения и отливок с пониженной жидкотекучестью (например, титановых). Необходимо учитывать толщину стенок. Наиболее тонкие стенки отливок можно получить литьём по выплавляемым моделям. При литье в кокиль стенки отливок должны быть более толстые, чем при литье песчано-глинистые формы.

4. При выборе способа нужно учитывать форму, размеры и массу деталей. При литье в песчано - глинистые формы форма, размеры и масса отливок практически не ограничены.

Для повышения точности и чистоты поверхностей, мелких и средних по массе отливок, целесообразно применять специальные способы литья.

5. Специальные способы литья целесообразно применять при крупносерийном и массовом производствах, только в этих случаях окупаются затраты на изготовление оснастки, за счёт снижения объёма механической обработки заготовок.

6. При выборе способа литья необходимо учитывать и качество металла в отливках (наличие дефектов литейного происхождения, плотность, механические свойства и т.д.). Наиболее качественный металл получают при штамповке жидкого металла, при центробежном литье и при литье в кокиль. При выборе способа изготовления литых заготовок необходимо учитывать возможности имеющегося оборудования, уровень литейной технологии и технологии механической обработки. Технологические возможности некоторых способов литья приведены в табл. 1.

Таблица 1

Технологические возможности некоторых способов изготовления отливок

Показатель	ЛПФ	ЛОФ	ЛВМ	ЛК	ЛПД	ЦЛ
Материал отливок	Сталь, чугун, цветные сплавы		Сталь, чугун, цветные и специальные сплавы	Сталь, чугун, цветные сплавы	Цветные сплавы	Сталь, чугун, цветные сплавы
Максимальная масса отливки, кг	200000	150		7000-чугун, 4000-сталь, 500-	100	600

					цветные сплавы		
Толщина стенок, мм	min	3,0	2	0,5	3,0	5,0	2,0
	max	Неогра- чена	12	6,0	100	6,0	4,0
Максимальный размер отливки		Неогра- чен	1500	1000	2000	1200	6000
Класс размерной точности отливок		6-14	4-11	3-8	4-11	3-7	6-15
Шероховатость поверхности, мкм		320-80	160-40	80-20	160-40	40-10	320-80
Группа сложности		1-6	1-5		1-4	1-5	1-4
Коэффициент использования металла %		60-70	80-95	90-95	75-80	90-95	70-90
Относительная себестоимость 1т отливок		1.0	1,5-2,0	2,5-3,0	1.2-1,5	1,8-2,0	0,6-0,7
Экономическая оправданная серийность шт/год		Неогра- ничена	200- 500	1000	400-800	1000	100-1000

Условные обозначения: ЛПФ – литьё в песчаные формы; ЛОФ – литьё в оболочковые формы; ЛВМ – литьё по выплавляемым моделям; ЛК – литьё в кокиль; ЛПД – литьё под давлением; ЦЛ – центробежное литьё.

Наиболее точным показателем, определяющим эффективность применения того или иного способа изготовления литых заготовок, как указано выше, является себестоимость изготовления детали.

Способы изготовления литых заготовок классифицируются по различным признакам.

По литейным формам: формы разового применения (песчано – глинистые формы, оболочковые формы, керамические формы) и формы постоянного применения (металлические формы).

По способам заливки металла: свободная заливка под действием гравитационных сил (литьё в песчано – глинистые формы, в оболочковые формы, литьё в кокиль и т.д.).

Заливка под перепадом газового давления (литьё под низким давлением, литьё с противодавлением, литьё вакуумным всасыванием); заливка металла под действием внешних сил (литьё под высоким давлением, жидкая штамповка, центробежное литьё). Другие способы: литьё с расходуемым электродом (электрошлаковое литьё, вакуумно – дуговая плавка); непрерывное литьё; литьё с регулируемой кристаллизацией. По печам плавки: индукционная плавка, дуговая плавка, вакуумно – индукционная плавка, вакуумно – дуговая плавка. Классификация способов получения литых заготовок приведена на рис.

Таблица 2.

Классификация способов изготовления литых заготовок

Характерный признак способа	Вид характерного признака	Наименование вида характерного признака	Способы и особенности изготовления литых заготовок
Литейная форма	Разовая	Песчано – глинистая форма	Литьё в песчано – глинистые формы
		Оболочковая форма	Литьё в оболочковые формы
		Керамическая форма для литья по выплавляемым моделям	Литьё по выплавляемым моделям
	Постоянная	Металлическая	Литьё в кокиль
			Литьё под высоким давлением, литьё в песчано – глинистые формы и др.
Способ заливки металла под действием		гравитационных сил	Литьё в песчано – глинистые формы
			Литьё в кокиль и др.
		перепада газового давления	Литьё под низким давлением
			Литьё с противодавлением
			Литьё вакуумным всасыванием
		внешних сил	Литьё под высоким давлением
			Центробежное литьё

Печи для плавки металла		Индукционные	Индукционная плавка заготовок из чёрных и цветных сплавов
		Дуговые	Дуговая плавка заготовок из чёрных и медных сплавов
		Вакуумно - индукционные	Вакуумно – индукционная плавка заготовок из жаропрочных сплавов
		Вакуумно – дуговые печи	Вакуумно – дуговая плавка заготовок из титановых и тугоплавких сплавов
Другие способы	Литьё с расходуемым электродом	Электрошлаковое литьё	Заготовки электрошлакового литья из чёрных металлов
		Дуговые и другие вакуумные печи с расходуемым электродом	Литые заготовки из титановых и других тугоплавких металлов
	Непрерывное литьё	Медные профильные заготовки	
	Литьё с регулируемой структурой	Литые заготовки из жаропрочных сплавов	

Основные, наиболее распространённые, способы изготовления литых заготовок и область их применения представлены в таблице 3. (32)

Таблица3.

Наиболее распространённые способы изготовления литых заготовок

Способ изготовления заготовки	Примеры области применения отливок
Литьё в песчано-глинистые формы	Станины, шаботы молотов, корпуса кузнечных машин Рукоятки, шестерни, рычаги, муфты, крышки, маховики
Литьё в оболочковые формы	Фасонные отливки повышенной точности и чистоты поверхности
Литьё по выплавляемым моделям.	Лопатки газовых турбин, детали машин, приборов
Литьё по газифицируемым моделям	Детали газовых турбин, детали машин, рычаги, корпуса, втулки
Литьё в кокиль	Поршни, корпуса, диски, коробки передач
Литьё под высоким давлением	Детали приборов, блоки двигателей, отливки сложной

	конфигурации
Литьё под низким давлением	Головки блока, поршни, гильзы
Литьё с противодавлением	
Литьё способом вакуумного всасывания	Небольшие отливки тел вращения – втулки, гильзы
Литьё выжиманием	Крупногабаритные отливки
Электрошлаковое литьё	
Центробежное литьё	Отливки тел вращения
Непрерывное литьё	Трубы, полосы
Штамповка жидких сплавов (литьё с кристаллизацией под давлением)	Детали арматуры высокой плотности
Последовательно направленная кристаллизация	Тонкостенные отливки длительной протяжённости

При выборе изготовления заготовок методом литья необходимо учитывать недостатки данного метода и необходимые требования для обеспечения заданного качества деталей.

К недостаткам метода литья следует отнести:

- пониженную плотность металла в сравнении с деформированными заготовками и соответственно пониженные прочностные характеристики металла заготовок;
- наличие внутренних дефектов;
- низкая, как правило, пластичность металла заготовок.

Для устранения (уменьшения) указанных недостатков необходимо при проектировании литых заготовок учитывать следующие факторы: - технологические свойства литейных сплавов, технологичность литых деталей.

Технологические свойства литейных сплавов определяют способность точно воспроизводить очертания формы, не образовывать усадочной и газовой пористости и раковин. При проектировании литых деталей

необходимо выбирать способ изготовления заготовок с учётом литейных свойств материалов.

К металлам и сплавам, используемым при изготовлении отливок, предъявляются следующие требования:

1. состав их должен обеспечивать получение в отливке заданных физико-механических и физико-химических свойств; свойства и структура должны быть стабильными в течении всего срока эксплуатации отливки;
2. отливки должны обладать хорошими литейными свойствами (высокой жидкотекучестью, небольшой усадкой, низкой склонностью к образованию трещин и поглощению газов, герметичностью), хорошо свариваться;
3. отливки должны легко обрабатываться режущим инструментом;
4. не должны быть токсичными и вредными для производства;
5. необходимо, чтобы они обеспечивали технологичность в условиях производства и были экономичными, содержали дешевые недефицитные материалы.

В условиях реального производства удовлетворить перечисленные требования являются трудной, а подчас и невыполнимой задачей. Поэтому при выборе сплава следует руководствоваться одним или группой требований, которым подчиняются другие, второстепенные для данных условий.

Литейные сплавы должны удовлетворять эксплуатационным требованиям, т.е. обладать достаточными прочностью, твёрдостью, пластичностью, малой хрупкостью, высокой ударной вязкостью, а также, обладать особыми физическими и физико-механическими свойствами: электропроводностью, магнитной проницаемостью, жаростойкостью и т.д. Это вынуждает применять большое количество различных сплавов.

Наибольшее количество фасонных отливок изготавливают из сплавов на основе железа (стали и чугуны), меди (бронзы и латуни), алюминия, магния и титана. Используются также сплавы на основе никеля, цинка, кобальта, свинца и олова. Однако не все сплавы пригодны для получения фасонных отливок. Получить сложные, качественные, тонкостенные отливки без литейных дефектов можно из сплавов с удовлетворительными литейными свойствами.

К основным литейным свойствам относятся: жидкотекучесть; склонность к поглощению газов; усадка; склонность к образованию усадочных раковин; пор; литейных напряжений и трещин; склонность к ликвации и образованию неметаллических включений, свариваемость.

Жидкотекучесть – способность металлов и сплавов в жидком состоянии заполнять форму и воспроизводить в отливке её очертания.

Природа жидкотекучести очень сложна и зависит от многих факторов.

Жидкотекучесть зависит от природы сплава. Высокой жидкотекучестью обладают силумины, чугуны, безоловянные бронзы. Из этих сплавов можно изготавливать очень сложные, тонкостенные отливки. Средней жидкотекучестью обладают сплавы алюминия с медью и магнием, оловянные бронзы, углеродистые и среднелегированные стали. Пониженная жидкотекучесть у магниевых сплавов. Низкая жидкотекучесть у титановых сплавов.

На жидкотекучесть влияют условия заливки, подвод жидкого металла к форме, т.е. технологические факторы.

На жидкотекучесть влияют также способы литья. При литье под давлением и при центробежном литье жидкотекучесть повышается за счёт принудительного заполнения формы. Жидкотекучесть повышается при литье по выплавляемым моделям, так как металл заливается в горячие формы.

Жидкотекучесть падает при литье в металлические формы, за счёт интенсивного теплообмена между заливаемым металлом и более холодной формой.

Склонность к поглощению газов – способность литейных сплавов поглощать газы, являющимися вредными примесями, которые приводят к браку отливок, по газовой пористости. На образование газовой пористости влияет материал формы, чем выше газопроницаемость формы, тем меньше газовая пористость в отливках.

Усадка – уменьшение линейных и объёмных размеров отливки при её затвердевании и охлаждении. Усадка зависит от химического состава сплава, температуры расплава, материала формы и конструкции расплава. Чем больше усадка, тем больше вероятность получения дефектов усадочного происхождения: пор, раковин, горячих и холодных трещин, коробления и внутренних напряжений. Чем больше усадка металла, тем жёстче требования к технологичности отливки, особенно к наличию тепловых узлов. Отливки из сплавов склонных к большой усадке, не рекомендуется изготавливать в металлических формах. Металлические формы обладают низкой податливостью, и усадка металла может привести к короблению отливок, возникновению внутренних напряжений и трещин.

Ликвация – неоднородность сплава по химическому составу в различных местах отливки. Ликвация возрастает при увеличении в сплаве содержания примесей, имеющих высокую плотность (вольфрам, молибден) или низкую температуру плавления (сера, фосфор). Различают ликвацию зональную, когда различные части отливки имеют различный химический состав, и внутрикристаллическую (дендритную), когда неоднородность химического состава наблюдается в каждом зерне. Зональная ликвация наиболее опасна, так как не устраняется термической обработкой. Чем

больше объём и медленнее охлаждение, тем больше вероятность зональной ликвации. Не рекомендуется применять сплавы склонные к ликвации для центробежного литья. Сильно ликвируют сплавы, компоненты которых не растворимы друг в друге и не образуют ни химических соединений, ни эвтектических смесей (например, свинцовистая бронза). Неметаллические включения в затвердевшем сплаве нарушают сплошность и являются концентраторами напряжений.

Литейные сплавы должны обладать хорошей свариваемостью, так как многие литейные дефекты устраняются заваркой.

Таким образом, при проектировании литых деталей, выбора способа получения отливки необходимо учитывать литейные свойства сплава. Без учета свойств литейных сплавов даже при самом совершенном технологическом процессе литья получить отливку без литейных дефектов практически невозможно.

Из сплавов на основе железа лучшие литейные имеют чугуны, свойства которых приведены в таблице 4

Таблица 4.

Механические свойства чугунов

Марка чугуна	δ_B	$\delta_{0,2}$	$\delta\%$	НВ
	МПа			
Серые чугуны (ГОСТ 1412 – 85)				
СЧ 10	100	-	-	190
СЧ 15	150	-	-	163-210
СЧ 25	250	-	-	180-245
СЧ 35	350	-	-	220-275
Высокопрочные чугуны (ГОСТ 7293 – 85)				
ВЧ 35	350	220	22	140-170
ВЧ 45	450	310	10	140-225
ВЧ 60	600	370	3	192-227

ВЧ 80	800	490	2	248-351
ВЧ 100	1000	700	2	270-360
Чугуны с вермикулярным графитом (ГОСТ 28384 – 89)				
ЧВГ 30	300	240	3	130-180
ЧВГ 35	350	260	2	140-190
ЧВГ 40	400	320	1,5	170-220
ЧВГ45	450	380	0,8	190-250
Ковкие чугуны (ГОСТ 1215 –79)				
КЧ 30-6	300	-	6	100-163
КЧ 35-8	350	-	8	100-163
КЧ 37-12	370	-	12	110-163
КЧ 45-7	450	-	7	150-207
КЧ 60-3	600	-	3	200-269
КЧ 80-1,5	800	-	1,5	270-320

Хорошими литейными свойствами обладают медные сплавы – латуни и бронзы, свойства и область применения которых приведены в табл. 5,6,7,8,9.

Таблица 5.

Механические свойства и область применения литейных латуней (ГОСТ 17711 – 93)

Марка латуни	σ_B , МПа	δ , %	НВ	Область применения
ЛЦ40С	215	12-20	70-80	Арматура, втулки, сепараторы для подшипников качения
ЛЦ40МцЗЖ	390-490	10-18	90-100	Несложные нагруженные детали, гребные винты и лопасти, судовая арматура, работающая при температуре до 300 ⁰ С
ЛЦ38Мц2С2	245-340	10-15	80-85	Антифрикционные втулки, вкладыши, ползуны, судовая арматура
ЛЦ30А3	290-390	12-15	80-90	Коррозионно – стойкие детали
ЛЦ23А6ЖЗМц2	700	7	160-165	Нагруженные детали, нажимные винты и гайки прокатных станов, венцы червячных колёс
ЛЦ16К4	290-340	15	100-110	Сложные по конфигурации детали, работающие при температуре до 250 ⁰ С
ЛЦ14КЗСЗ	245-290	7-15	90-100	Подшипники, втулки

Таблица 6.

Механические свойства литейных оловянных бронз (ГОСТ 613 – 79)

Марка бронзы	σ_B , МПа	δ , %	НВ
БрО3Ц7С5Н1	210	5	60
БрО3Ц12С5	210	5	60
БрО4Ц4С17	150	6	60
БрО5Ц5С5	180	4	60
БрО10Ц2	250	5	80
БрО10Ф1	270	3-10	90

Наибольшее распространение в производстве литых заготовок из цветных сплавов получили литейные алюминиевые сплавы классифицированные по химическому составу (алюминий – кремний, алюминий – медь, алюминий – магний). Лучшими литейными свойствами обладают сплавы алюминий – кремний (силумины).

Механические свойства литейных алюминиевых сплавов приведены в таблице 7.

Таблица 7.

Механические свойства литейных алюминиевых сплавов

Марка сплава	Способ литья, вид термической обработки	σв	σ 0,2	σ -1	δ , %	КСU МДж/м²	НВ
		МПа					
АК12	В песчаную форму	130	20	42	2		50
	В песчаную форму + модифицирование	180	80		6		50
АК9	В песчаную форму + закалка и старение	260	200	75	4	0,5	75
АК7ч	Под давлением	220	120		2		50
	В песчаную форму + закалка и старение	220	160		3		75
АМ4,5	В песчаную	260	200		3		70

	форму + закалка и старение						
AK8M	Под давлением	270	160		3	0,2	80
AM5	В песчаную форму + закалка и старение	360	250		3		100
AMg10	В песчаную форму + закалка	360	180	70	15		75

Механические свойства литейных магниевых сплавов приведены в таблице 8.

Таблица 8.

Механические свойства литейных магниевых сплавов (ГОСТ 2856 – 79)

Марка сплава	σ_B	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ	КСУ МДж/м ²	НВ
	МПа		%			
МЛ5*	255	120	6	15	0,5	25
МЛ8*	255	155	5	13		
МЛ12*	270	160	6	12	0,4	
МЛ9	200	95	8		0,7	
МЛ10	200	95	6		0,5	26
МЛ15	210	130	3	5	0,5	28

* Свойства приведены после закалки и старения, для остальных сплавов – в литом состоянии.

Механические свойства в литом состоянии и после термической обработки с горячим изостатическим прессованием литейных титанового сплава ВТ20Л приведены в таблице 9.

Таблица 9.

Механические свойства титанового сплава

Состояние	Пористость, %	σ_B	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ	КСУ МДж/м ²	σ_{-1} , МПа (на базе 10 ⁷ циклов)
		МПа		%			
Литое	2,8	860	820	8	20	0,6	290
Термообработанное*	1,0	1080	990	8,9	18	0,5	540

*Приведены свойства после горячего изостатического прессования и термической обработки.

При проектировании литых деталей необходимо соблюдать требования технологичности конструкции. Под технологичностью понимают такую конструкцию литой детали, которая обеспечивает получение качественных отливок с высокими эксплуатационными свойствами при возможно допустимой минимальной массе, простоте изготовления литейных форм. Конструкции литых деталей должны обеспечивать следующие принципы формообразования отливок:

- направленное затвердевание;
- объёмное или одновременное затвердевание;
- комбинированное затвердевание;
- направленная кристаллизация.

Направленное затвердевание применяется для литых силовых деталей ответственного назначения, имеющих массивные узлы и стенки небольшой протяженности.

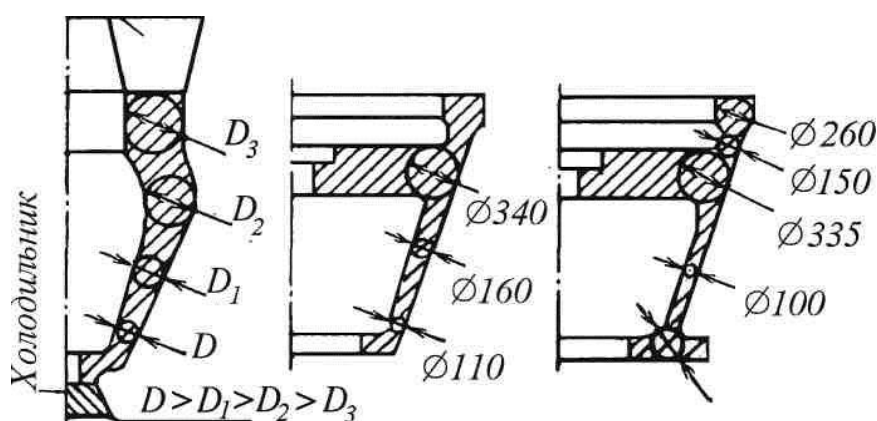


Рис.2. Принцип направленного затвердевания.

Для направленного затвердевания оформляют конструктивные уклоны в направлении затвердевания, устанавливают прибыли, холодильники, обеспечивают направленный теплоотвод другими специальными способами, то есть всё необходимое, чтобы исключить локальное скопление металла, так называемых горячих мест или термических узлов.

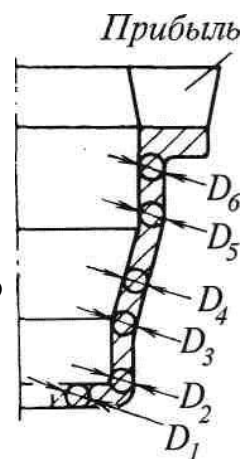
При правильно спроектированном направленном затвердевании отсутствуют усадочные дефекты, и обеспечивается высокое качество литой детали. Принцип направленного затвердевания применяют для всех видов фасонного литья.

Правильность конструкции проверяют методом вписанных окружностей, суть которого заключается в том, что окружность, вписанная в любое сечение отливки, должна беспрепятственно «выкатываться» в направлении прибыли (рис 2.).

Одновременное или объёмное затвердевание применяют там, где в полной мере не удаётся осуществить направленное затвердевание.

Принцип одновременного затвердевания (рис 3) используют для получения тонкостенных литых деталей со стенками большой протяженности, и он обеспечивает получение литых высокого качества при всех способах литья, более высокий коэффициент использования металла (КИМ), чем при направленном затвердевании.

Рис. 3. Конструкция стенки, выполненная с соблюдением принципа одновременного или объёмного затвердевания.



$$D_1 = D_2 = D_3 = D_4 = D_5 = D_6$$

Комбинированное затвердевание сочетает два первых принципа формирования литой детали. Он реализуется в направленном затвердевании массивных узлов и прилегающих к ним стенок и в одновременном затвердевании удалённых тонких частей.

Принцип направленной кристаллизации осуществляется на более высоком уровне управления процессом и требует более сложного и дорогого оборудования. Процесс применяется для литья лопаток газовых турбин и исключает обычные литейные дефекты.

Внешние контуры литой детали должны быть плавными, что снижает концентрацию напряжений в местах сопряжений. Необходимо уменьшать высоты выступающих частей, глубоких впадин и поднутрений. Детали должны обеспечивать минимальное количество разъемов литейной формы. Большое значение при проектировании литых деталей имеют толщины стенок, рёбер, фланцев и других конструктивных элементов. Для литых деталей предпочтительны тонкие стенки, однако уменьшать стенки возможно в определённых пределах, исходя из условий прочности и выбранных способов литья.

Оптимальные значения толщин стенок, рёбер и других конструктивных элементов на практике выбираются в зависимости от литейных свойств сплавов, массы отливок, характера производства по нормативным документам, в том числе отраслевого значения или нормативным документам предприятий. Рекомендуемые толщины стенок для различных способов литья на основании практических и нормативных данных (5, 6,) приведены в таблице 10

Таблица 10

Наименьшая толщина стенок отливок, получаемых в песчано-глинистых формах (33)

Материал	Размер отливки	Наименьшая толщина стенки, мм
Сталь	Мелкие Средние Крупные	8 12 20
Серый чугун и чугун с шаровидным графитом	Мелкие (масса до 2кг) Средние (масса до 50кг) Крупные (масса свыше 50кг)	3 – 4 6 – 8 10 – 20
Ковкий чугун	Наибольшая площадь стенки, мм ² : 50 × 50 100 × 100 200 × 200 350 × 350 500 × 500	2,5 – 3,5 3,0 – 4,0 3,5 – 5,5 4,0 – 5,5 5,0 – 7,0
Бронза оловянная	При наибольшей протяжённости стенки, мм: до 50 свыше 50 до 100 ≥ 100 ≥ 250 ≥ 250 ≥ 600	3 5 6 8
Специальные бронзы и латуни	Мелкие Средние	6 8
Кремнистая бронза	-	4
Алюминиевые сплавы	Мелкие отливки с наибольшей протяжённостью стенки, мм не более: 200 800	3 – 5 5 – 8
Магниеые сплавы	Мелкие	4

	Средние с протяжённостью стенки не более 400мм	6
Цинковые сплавы	-	3

Прочность литых деталей следует повышать не за счёт увеличения толщины стенок, а придания стенкам коробчатого, U – образного или ребристого профиля (рис.4), что упрощает литейную технологию и соответственно снижает себестоимость отливки.



Рис. 4. Технологичные сечения литых деталей

Значительная разница в толщинах сопрягаемых стенок может привести к браку литых деталей. На рис.5. приведен пример возможного образования брака и пример его устранения.



Рис.5. Проектирование втулки с фланцем
а- неправильно б- правильно

При проектировании литых деталей необходимо правильно осуществлять сопряжение стенок отливки.

Практикой литейного производства установлены различные типы сопряжений стенок: угловое, тавровое, V-, вилко-, К-, Х-, крестообразное. Нормативными документами регламентируются соотношения переходов сечений в лобовых, угловых и тавровых сопряжениях. Также устанавливаются необходимые размеры радиусов сопряжения. Неправильно выполненные сопряжения могут привести к неисправимому браку (усадочные раковины, рыхлота). На рис 6 представлены типы соединений,

которые могут привести к образованию литейного брака. Малый радиус закруглений приводит к образованию трещин, чрезмерно большой радиус приводит к образованию усадочной рыхлоты.

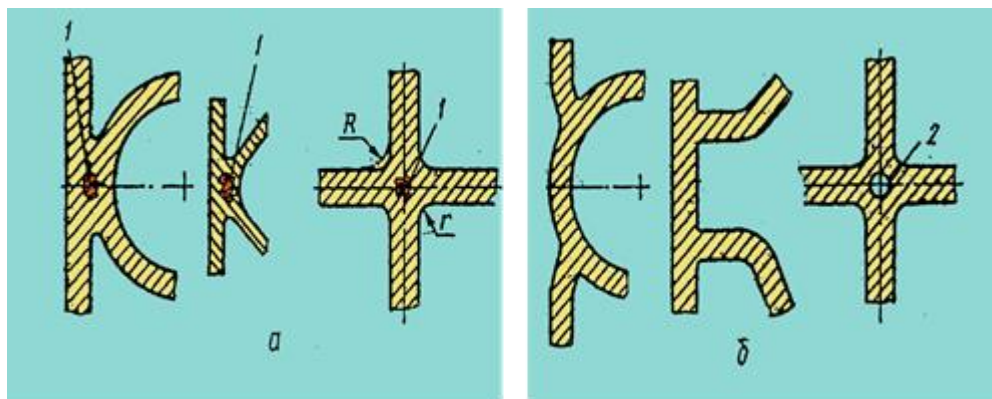


Рис.6. Сечения и конструктивные элементы, приводящие к появлению литейного брака. К - образное и крестообразные сопряжения стенок: а - нетехнологично; б - технологично; 1 - усадочная рыхлота; 2 - разгрузочное отверстие.

Выбор оптимального радиуса зависит от толщины стенки. При этом необходимо соблюдать следующие требования.

Закругления необходимо производить из одного центра как для внутреннего, так и для наружного радиусов, если сопрягаются стенки одной толщины. Внутренние радиусы при сопряжении стенок различной толщины рекомендуется выполнять значениями приведёнными (1) в табл.11

Таблица 11

Значения внутренних радиусов r при сопряжении стенок различной толщины в литых деталях (1)

Отношение толщины	Минимальная толщина				
	До 6	от 6 до 10	от 10 до 15	от 15 до 20	от 20 до 25

сопрягаемых стенок S/S_1	Внутренний радиус				
От 1 до 2	5	8	10	12	15
$\geq 2 \geq 3$	8	10	12	15	20
Свыше 3	10	12	15	20	25

Таблица 12

Радиусы закруглений для отливок из цветных металлов и сплавов, мм (1)

$(S + S_1)/2$	r	$(S + S_1)/2$	r
До 12	6	От 45 до 60	25
От 12 до 16	8	$\geq 60 \geq 80$	32
$\geq 16 \geq 20$	10	$\geq 80 \geq 110$	36
$\geq 20 \geq 27$	12	$\geq 110 \geq 150$	40
$\geq 27 \geq 35$	16	$\geq 150 \geq 200$	50
$\geq 35 \geq 45$	20		

Взаимодействие оптимальных конструктивных и технологических решений могут исключить внутренние напряжения, трещины и коробления литых деталей.

Для увеличения жёсткости и прочности литых деталей применяют рёбра жёсткости. Рёбра жёсткости предотвращают коробление деталей, позволяют уменьшить сечения отдельных элементов деталей, снижают внутренние напряжения в местах сопряжений стенок различной толщины, препятствуют короблению и браку по трещинам. При проектировании рёбер жёсткости необходимо руководствоваться следующим. Толщина наружных рёбер не должна превышать 0,8 толщины сопрягаемой стенки. Внутренние рёбра из – за более медленного охлаждения металла, выполняют менее массивными: толщина их составляет 0,6 – 0,7 толщины сопрягаемой стенки. При большей толщине рёбер возможно наличие рыхлоты или трещин в местах скопления металла на стыке ребра жёсткости и перехода от одной стенки к другой. Форма ребра жёсткости должна обеспечивать их свободную

деформацию при усадке металла во время охлаждения отливки, поэтому им придают криволинейную форму. Примеры расположения ребер приведены на рис.7. Рёбра жёсткости располагают в плоскости разъёма формы или перпендикулярно к ней, для исключения отъёмных частей модели.

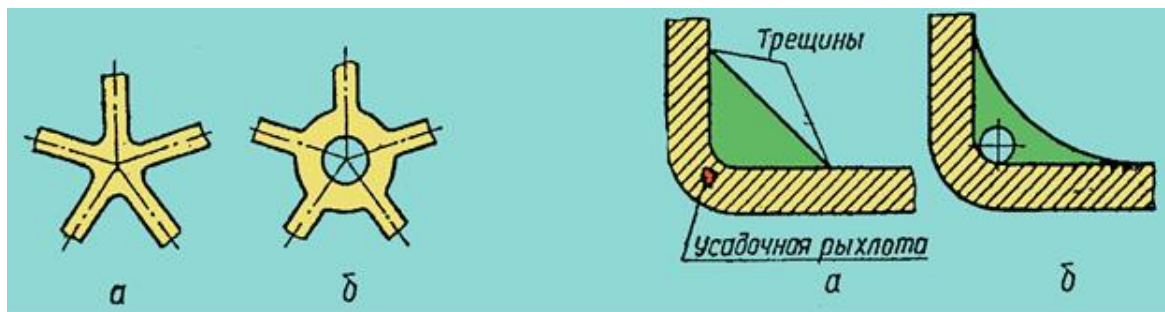
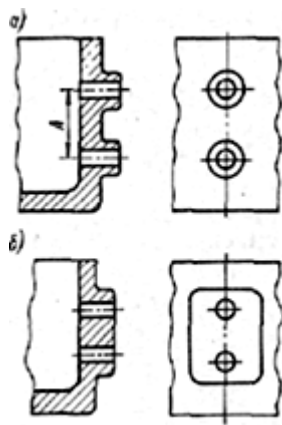


Рис.7 Конструкции рёбер жесткости:
 Пересечение нескольких ребер в одном узле:
 а - нетехнологично; б - технологично
 Ребро жесткости на стыке двух стенок:
 а - нетехнологично; б - технологично

Для повышения жёсткости детали в направлении, перпендикулярном стенкам, вместо рёбер жёсткости применяют двойные стенки (рис.8).

В стенках литых деталей для снижения усадочных напряжений предусматривают конструктивные отверстия – окна овальной или круглой формы (рис. 9). Такие окна особенно необходимы в литых деталях со стенками значительной протяжённости. Конструкция и размеры окон определяются исходя из прочностных расчётов стенки детали.

При проектировании литой детали необходимо предусматривать минимальное количество бобышек, приливов и буртов, так как, образуя локальное скопление металла, они являются причиной возникновения усадочных раковин и рыхлоты, требуют применения отъёмных частей формы, что приводит к повышению себестоимости отливки.



Если расстояния между центрами бобышек равны или меньше, указанных в табл.13, то отдельно стоящие бобышки конструктивно соединяют в одну (рис 10).

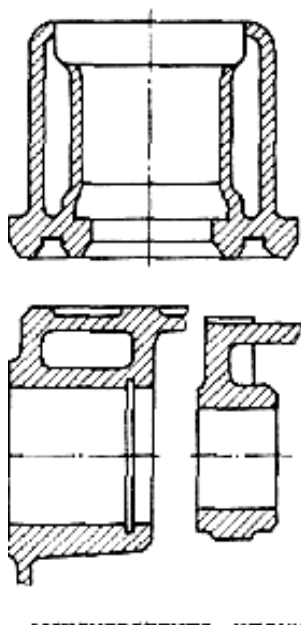


Рис. 8. Использование двойных стенок в конструкции литых деталей

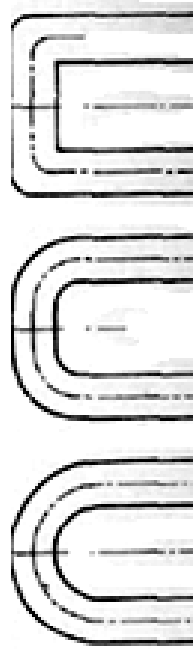


Рис.9. Конструктивные отверстия в литых деталях

Рис.10. Конструкции выступающих частей отливки:

а- нетехнологично, б- технологично

Таблица 13

Минимальное расстояние между центрами бобышек, отливаемых отдельно
(1)

Диаметр резьбовых крепёжных отверстий, мм	Размер А (рис .8) при литье, мм	
	в песчаные формы	в кокиль и под давлением
До 4	25	15
От 4 до 6	30	18
$\geq 6 \geq 10$	30	22
$\geq 10 \geq 14$	40	30
$\geq 14 \geq 18$	50	38

При проектировании литой детали необходимо избегать узких и глубоких впадин. Расстояния между выступающими частями L зависят от высоты этих частей деталей H , включая припуск на механическую обработку (табл.14).

Таблица 14

Расстояние между выступающими частями отливки и их высотой (1)

H , мм	8	9 – 15	16 – 25	26 – 50	50 – 100	> 100
L , мм	1,8 H	1,6 H	1,4 H	1,2 H	60	70

При всех способах литья, за исключением литья по выплавляемым и газифицируемым моделям, применяют разъёмные формы. Для удаления литых деталей из формы необходимо предусматривать конструктивные уклоны, назначаемые на стенки, перпендикулярные плоскости разъёма (табл.15).

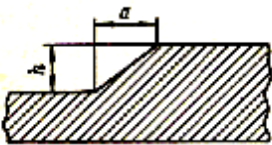
Эскиз	h , мм	a/h	Конструктивный уклон
	До 25	1:5	11° 30'
	От 25 до 500	1:10	5° 30'
		1:20	3°
	Св. 500	1:50	1°

Таблица 15. Конструктивные уклоны в зависимости от высоты элементов поверхности детали

При проектировании деталей типа втулок с фланцами в местах скопления металла после затвердевания металла могут образовываться усадочные раковины. Для исключения данного отклонения необходимо выравнивать сечения за счёт применения рёбер жёсткости или кольцевых канавок. Примеры проектирования типовых деталей приведены на рис 11.

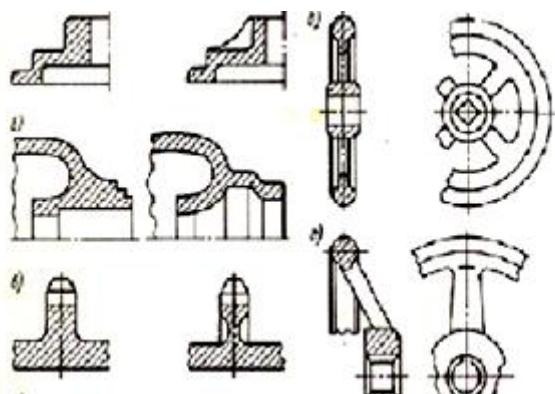


Рис.11.Конструктивные элементы деталей маховиков, шкивов, зубчатых колёс.

Чем ниже технологические свойства сплавов, тем более жёсткие требования к проектированию литой детали, особенно к наличию «тепловых узлов», толщине стенок, радиусам и галтелям. Необходимо обеспечивать направленное затвердевание отливки. Для исключения коробления и трещин литых деталей из сплавов с низкими литейными свойствами следует выполнять следующие правила.

Поперечным сечениям литых деталей необходимо придавать по возможности форму, обеспечивающую свободную усадку. Для исключения коробления литые детали нужно проектировать со стенками, незначительно отличающимися по толщине, со стенками незначительной протяжённости и лучше им придавать не прямолинейную форму, а изогнутую и предусматривать конструктивные или технологические рёбра жёсткости.

Изложенные правила являются важными и обязательными при проектировании литых деталей. Однако каждый способ имеет свои специфические особенности, которые необходимо учитывать при разработке литых деталей.




2.2. Основные способы изготовления литых заготовок

Современные способы изготовления литых заготовок позволяют обеспечивать заданную точность, чистоту поверхности, физические и механические свойства заготовок. При выборе способа изготовления заготовок необходимо оценивать достоинства и недостатки каждого рассматриваемого способа. Без такой оценки невозможно правильно принять решение об оптимальном варианте изготовления заготовки.

2.2.1. Литьё в песчано-глинистые формы (ПГФ)

Литьё в песчано-глинистые формы достаточно простой, отработанный и наиболее распространённый способ изготовления литых заготовок. Указанное распространение объясняется универсальностью способа. Способ экономически оправдан при любом характере производства, для деталей любой массы, конфигурации, размеров, практически для всех литейных сплавов. Для массового производства литья в ПГФ необходимо предусматривать механизацию и автоматизацию технологических операций. Схема литья в песчано – глинистые формы представлена на рис.12

Основой для разработки технологического процесса изготовления отливки является чертеж детали (рис.13).

Поверхности детали, подвергающиеся механической обработке, условно обозначаются знаком  или  без числового или с числовым обозначением параметра шероховатости, например $\sqrt{Ra2,5}$. Знак  означает, что данная поверхность механической обработке не подвергается.

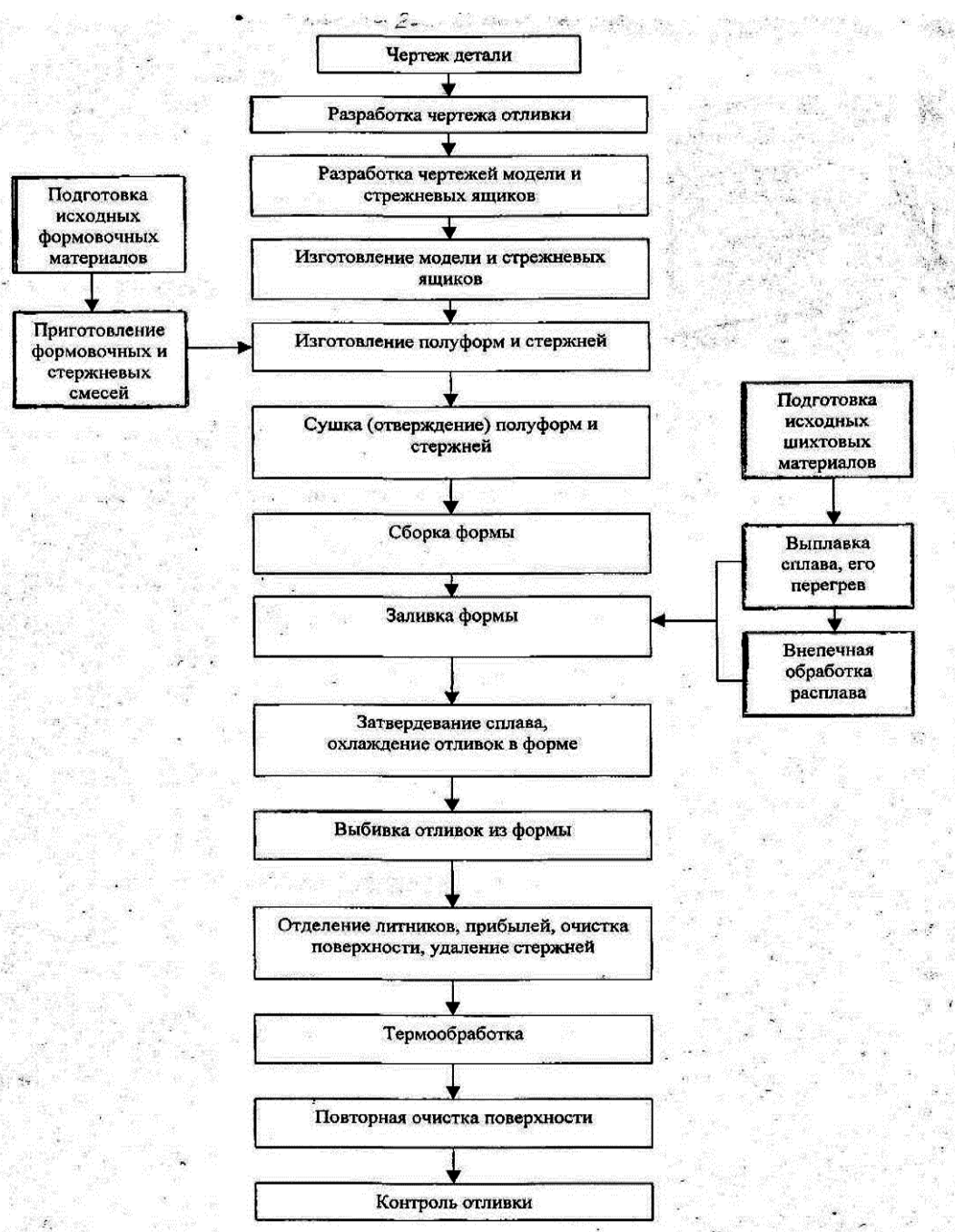


Рис.12.Схема технологического процесса литья в песчано – глинистые формы

Если шероховатость всех поверхностей одинакова, то знак шероховатости помещают только в правом верхнем углу чертежа.

При указании шероховатости поверхности, преобладающей на данном чертеже, в правом верхнем углу чертежа помещают обозначение шероховатости этой поверхности и условное обозначение $\sqrt{\text{ }}$ в скобках, например $\sqrt{R_a 2,5(\sqrt{\text{ }})}$. Это означает, что все поверхности, у которых на чертеже не нанесены обозначения шероховатости, должны иметь шероховатость, указанную перед знаком в скобках.

Если часть поверхности детали надо сохранить в состоянии поставки, то в правом верхнем углу чертежа перед обозначением шероховатости в скобках $(\sqrt{\text{ }})$ помещают знак $\sqrt{\text{ }}$, например $\sqrt{\text{ }}(\sqrt{\text{ }})$. Это означает, что все поверхности, у которых на чертеже не нанесены обозначения шероховатости, должны быть сохранены в состоянии поставки.

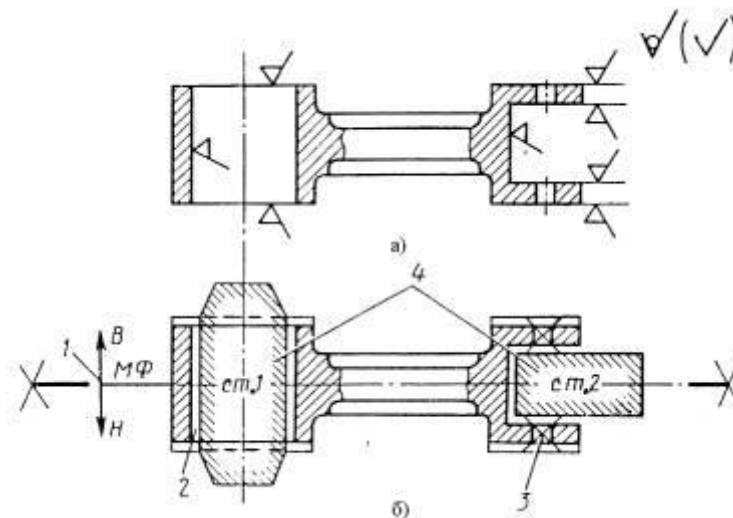




Рис.13. Эскизы детали (а) и детали с элементами литейной формы (б)

По чертежу детали (рис. 13, а) разрабатывают технологический чертеж детали с элементами литейной формы (рис. 13, б) в следующей последовательности:

1) определяется плоскость разъема 1 модели и формы для удобства формовки и извлечения модели из формы. В симметричных деталях плоскость разъема обычно проходит через ось симметрии.

Разъем модели и формы показывают отрезком или ломаной штрихпунктирной линией, заканчивающейся знаком «—», над которой указывается буквенное обозначение разъема – «МФ».

Направление разъема показывают сплошной основной линией, ограниченной стрелками и перпендикулярной к линиям разъема. Положение отливки в форме при заливке обозначают буквами В (верх) и Н (низ). Буквы проставляют у стрелок, показывающих направление разъема формы.

При нескольких разъемах модели и формы каждый разъем показывается отдельно.

Плоскость разъема формы представляет собой поверхность смыкания отдельных полуформ и определяет пространственное расположение отливки в форме. От выбора плоскости разъема зависят конструкция и размеры литейной формы, направление и величина формовочных уклонов, количество необходимых стержней и их конфигурация, расположение литниковой системы и другие технологические характеристики.

Наиболее ответственные части отливки желательно располагать в нижней части формы, так как вверху, при заливке формы металлом, скапливаются шлак и газы.

2) у поверхностей, с которых будет сниматься слой металла при последующей механической обработке (на чертеже детали они обозначены соответствующими знаками шероховатости), наносят сплошной тонкой линией, вынесенной за контур детали, припуски 2 на механическую обработку. Величина припусков определяется по ГОСТ.

Кроме припусков на механическую обработку все размеры детали увеличивают пропорционально величине усадки сплава, из которого будет изготовлена отливка;

3) отверстия, впадины и т.п., не выполняемые при изготовлении отливки, зачеркивают сплошной тонкой линией 3;

4) контуры стержня со стержневыми знаками 4, выполненными заодно со стержнем, изображаются сплошной тонкой линией. В разрезе стержни штрихуются только у контура. Стержни обозначаются буквами и порядковыми номерами, например «ст.1».

При вертикальном расположении стержней обязательно наличие конусности на их знаках; при горизонтальном расположении стержней конусность знаков не выполняется.

Размеры знаков стержней и зазоры между знаками стержней и модели принимаются по ГОСТ.

При разработке технологического процесса используются различные составы формовочных смесей, способы формовки, материалы моделей и способ литья в песчано – глинистые формы обеспечивает следующие показатели:

При изготовлении формы из обычной песчано - глинистой смеси шероховатость поверхности заготовки $R_z = 320 \div 160 \text{ мкм}$, точность соответствует 14 – 17 квалитетам. При улучшенной формовочной смеси шероховатость поверхности $R_z = 320 \div 40 \text{ мкм}$, при использовании песчано-масляной смеси шероховатость поверхности $R_z = 320 \div 80 \text{ мкм}$, магнезитовых смесей шероховатость поверхности может быть $R_z = 80 \div 20 \text{ мкм}$. В крупносерийном и массовом производствах применение металлических моделей позволяет снизить припуски на механическую обработку до 10%.

Литейные уклоны деревянных моделей составляют $1-3^0$, металлических при ручной формовке $1-2^0$, при машинной формовке $0,5-1^0$, что позволяет на 10 – 12 % повысить коэффициент весовой точности (1).

Припуски на механическую обработку назначаются по нормативным документам в зависимости от способа формовки, класса точности, габаритных размеров и материалов отливки, а также от положения обрабатываемой поверхности в форме в момент заливки. Припуски должны быть минимальными. Увеличенные припуски могут привести к разнотолщинности стенок отливки, к снижению качества отливки, из-за появления дефектов отливки. Минимальные припуски дают возможность при механической обработке сохранить наиболее качественный слой металла – литейную корку. Допускаемые отклонения литейных размеров регламентированы нормативами. Допуски не учитывают формовочные уклоны.

Несмотря на изложенные достоинства способа, ему присущи следующие недостатки.

Большой грузопоток вспомогательных материалов, большая трудоёмкость переработки вспомогательных материалов, неблагоприятные условия труда при приготовлении формовочных материалов и формовочных смесей, сравнительно большие припуски на механическую обработку. При литье в песчано-глинистые формы 15 – 25% от массы отливки превращается в стружку при механической обработке. Для устранения указанных недостатков применяются специальные способы литья – кокильное литьё, литьё под давлением, литьё по выплавляемым моделям и др., а также другие специальные технологические приёмы.

Используя различные составы формовочных смесей, способы формовки, материалы моделей способ обеспечивает следующие показатели:

При изготовлении формы из обычной песчано-глинистой смеси шероховатость поверхности заготовки $R_z = 320 \div 160 \text{ мкм}$, точность соответствует 14 – 17 квалитетам. При улучшенной формовочной смеси

шероховатость поверхности $R_z = 320 \div 40 \text{ мкм}$, при использовании песчано-масляной смеси шероховатость поверхности $R_z = 320 \div 80 \text{ мкм}$, магнезитовых смесей шероховатость поверхности может быть $R_z = 80 \div 20 \text{ мкм}$. В крупносерийном и массовом производствах применение металлических моделей позволяет снизить припуски на механическую обработку до 10%. Литейные уклоны деревянных моделей составляют $1-3^\circ$, металлических при ручной формовке $1-2^\circ$, при машинной формовке $0,5-1^\circ$, что позволяет на 10 – 12 % повысить коэффициент весовой точности (1).

Эффективным является применение литья в ПГФ в единичным или мелкосерийном производствах для изготовления крупногабаритных деталей (рис.14)



Рис.14. Крупногабаритная литая заготовка, полученная литьё в песчано – глинистую форму.

Широкое применение способ нашёл для изготовления литых заготовок средних габаритов в крупносерийном и массовом производствах. Типовые заготовки приведены на рис.15.



Рис.15. Типовые литые заготовки в песчано – глинистые формы.

Одним из технологических приёмов, уменьшающих указанные недостатки, является применение литья в песчаные формы с помощью вакуумно-плёночной формовки (рис.16).

Важнейшая характеристика технологии – использование сухого кварцевого песка без связующего и тонкой пластичной плёнки при давлении вакуума 0.3—0,6 бар. Отливки, полученные вакуумно-плёночной формовкой, характеризуются высоким качеством поверхности и высокой размерной точностью.

Другие преимущества процесса: - отсутствие износа модели; возможность изготовления тонкостенных отливок; низкие затраты на зачистку; экологически более чистая технологии.

Способ позволяет резко сократить расход формовочных песков, обеспечивает возможность максимальной механизации и автоматизации технологических операций. Процесс обеспечивает точность получаемых отливок до 12 квалитета, а чистоту поверхности до 80 мкм.

Применение процесса вакуумно – плёночной формовки позволяет снизить себестоимость отливки до 18%.

Однако у вакуумно-плёночной формовки имеются следующие недостатки. Процесс не позволяет изготавливать заготовки сложной геометрической формы, в частности с поднутрениями. Вызывают затруднения применение стержней в отливке.

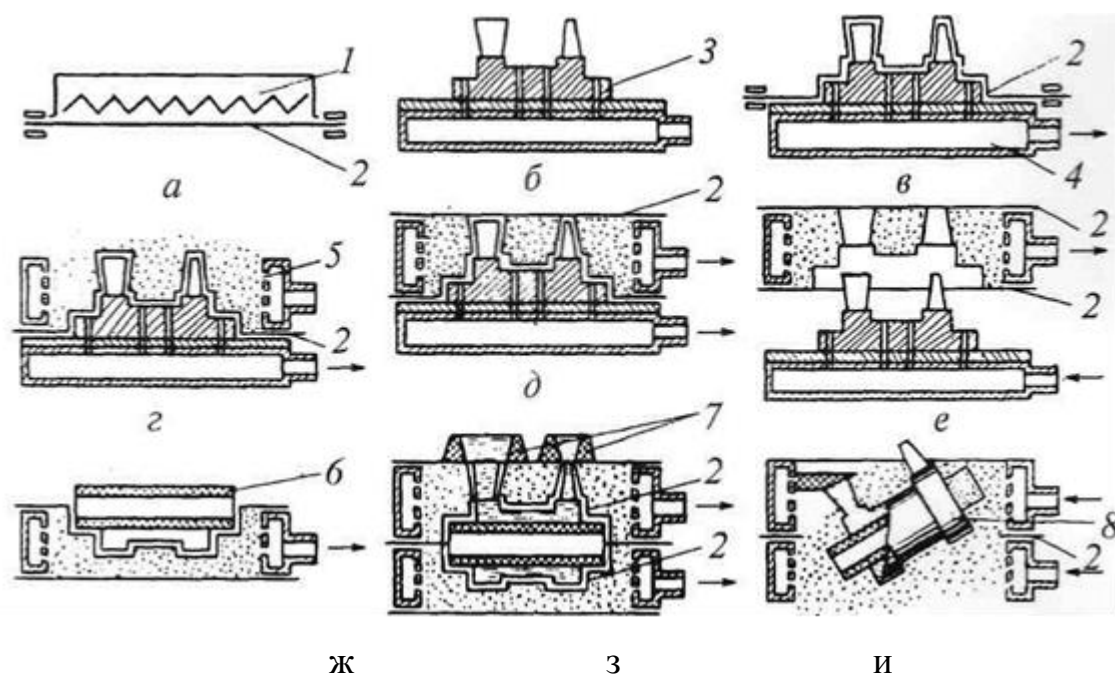


Рис.16 Схема вакуумно-плёночной формовки: 1нагревательное устройство; 2-плёнка; 3-модель; 4и5 плита и опока с вакуумированными полостями; 6-стержень; 7-наращалки;8-отливка; а-нагрев плёнки; б-модельная оснастка; в-обтягивание оснастки плёнкой;г-засыпка опоки песком; д-накрытие опоки плёнкой и вакуумирование; е-протягивание модели; ж-установка стержня; з-заливка формы металлом; и-выбивка

Типовые отливки, полученные вакуумно – плёночной формовкой представлены на рис.17.



Рис.17. Типовые отливки, полученные вакуумно – плёночной формовкой.

Другим приёмом, уменьшающим недостатки литья в песчано – глинистые формы является применение способа изготовления форм воздушным потоком с последующим прессование (метод СЕЙАТСУ).

Сущность процесса заключается в следующем. Машинный стол поднимает модельную оснастку с опокой и наполнительной рамкой и поджимает к прессовой плите. Таким образом, весь объем формы герметично закрывается. Затем кратковременно открывается клапан СЕЙАТСУ. Сжатый воздух проходит через формовочную смесь от ее верха до подмодельной плиты и выходит через венты. Поток воздуха нажимает частицу песка давлением, направленное вниз и передвигает столб песка. Песок течет вместе с потоком воздуха в более глубокие промежутки модели. Полость формы равномерно заполняется частицами песка. Окончательную прочность получает форма при последовательном прессовании плоской прессовой плитой или прессовым устройством с водяной подушкой.

Высота прессового давления, давление и продолжительность потока сжатого воздуха можно регулировать. Этим можно достигать оптимальную твердость формы для каждого случая применения.

Применение данного приёма при изготовлении форм позволяет получить более чистую поверхность отливок, что соответственно приводит к снижению затрат на очистку отливок; снизить уклоны в отливке и соответственно повысить размерную точность отливки; обеспечить равномерную твёрдость формы.

Для изготовления форм по данной технологии применяются специальные прессы (рис.18).

Рис.18. Внешний вид прессы для изготовления форм с помощью воздушного потока с последующим прессованием.

Типовые отливки, изготовленные по формам с помощью воздушного потока с последующим прессованием, приведены на рис.19.

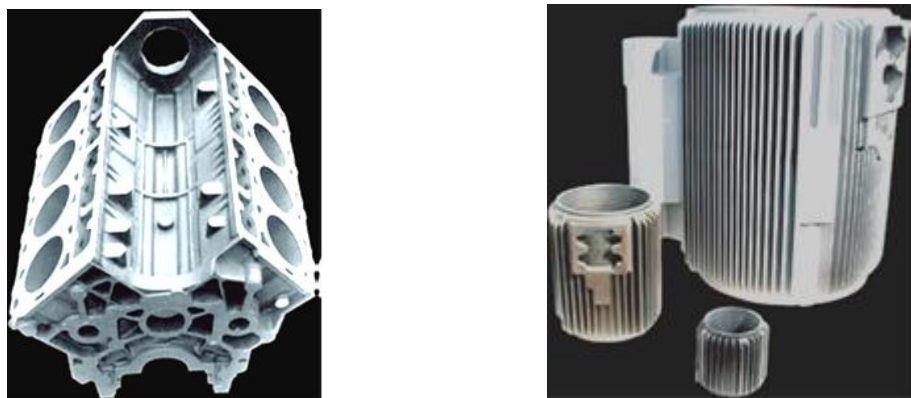


Рис.19. Отливка блока двигателя и корпуса электродвигателей, отлитые по формам, изготовленным с помощью воздушного потока с последующим прессованием.



2.2.2. Специальные способы изготовления литых заготовок.

Переход к специальным способам литья даёт возможность снизить припуски на механическую обработку и количество стружки до 5-7%. Экономичность повышается с увеличением партии отливок, т.е. с переходом от серийного к массовому производству. Преимущество специальных видов литья состоит не только в снижении объёма механической обработки, но и в уменьшении массы литниковой системы и резком снижении расхода формовочных материалов. Технологический процесс изготовления отливок этими способами легко поддаётся механизации и автоматизации, что повышает производительность труда, улучшает качество отливок, снижает их себестоимость.

2.3. Способ литья в оболочковые формы

Несмотря на наличие различных способов литья, ведущее положение в литейном производстве занимает литьё в песчано – глинистые формы.

Принимаемые меры по автоматизации и механизации данного способа не исключают переработки большого количества формовочных и стержневых смесей (от 4 до 12 тонн на 1 тонну годного литья) (38) и соответственно производить операцию уплотнения данных объёмов, в 15 – 20 раз превышающих объём отливок (38).

Однако известно, что высокими технологическими свойствами (прочностью, газопроницаемостью, жаростойкостью и т.д.) должен обладать сравнительно небольшой по толщине рабочий слой смеси, непосредственно прилегающий к модели и фактически образующий полость литейной формы.

Этот слой, именуемый оболочкой формы, является главным элементом, который формирует литую деталь в течение всего процесса от начала заливки до выбивки.

Полученная оболочка должна обладать достаточной податливостью, выдерживать динамический напор металла в процессе заполнения формы статический напор расплава после заполнения её.

Процесс изготовления оболочек и заполнения оболочек расплавом металла принято называть литьём в оболочковые формы.

При данном способе форма изготавливается по горячим металлическим моделям, а формовочная смесь состоит из кварцевого песка и синтетических термореактивных смол.

Применение термореактивных смол в качестве связующих обеспечивает быстрое отверждение форм (от 30 сек. до 1,5 мин.) и высокую прочность (до 45 кг/см² при растяжении).

Повышенная прочность форм позволяет изготавливать их тонкостенными с толщиной стенки от 5 до 12 мм, что позволяет сократить расход смесей.

Процесс литья в оболочковые формы легко подвергается механизации и автоматизации, позволяет повысить производительность труда, по

сравнению с литьём в песчано – глинистые формы, и улучшить условия труда в литейных цехах.

Сущность процесса литья в оболочковую формы состоит в следующем: предварительно нагретую плиту с металлической моделью покрывают смесью из песка и терморезактивной смолы. Под действием тепла смола в слое смеси, прилегающем к модели и плите, плавится и на модельной плите образуется однородная полутвёрдая песчано – смоляная оболочка. После удаления избытка смеси модельную плиту с оболочкой дополнительно нагревают для отверждения оболочки. Полученную оболочку штифтовыми механизмами снимают с модельной плиты и соединяют с соответствующей ей другой оболочковой полуформой. Стержни проставляют как при обычной формовке. Оболочковые полуформы соединяют зажимами или склеивают по разъёму.

Полученную оболочковую форму заливают в вертикальном или горизонтальном положении. После заливки металла форма легко разрушается.

Литьём в оболочковые формы изготавливают ответственные детали, например ребристые цилиндры мотоциклов, коленчатые валы для автомобилей, зубчатые колёса и т.д. Можно получать отливки массой от нескольких сот грамм до ста килограмм. Максимально возможные габариты отливок—500-700мм. Данный способ литья обеспечивает параметр шероховатости поверхности $Rz=160—20$ мкм и точность размеров, соответствующих 14—15-му квалитетам.

Преимущества литья в оболочковые формы по сравнению с литьём в песчано-глинистые формы заключается в следующем:
-значительной экономией металла (до 30—50 %);

- припуски на механическую обработку, примерно в два раза меньше, чем при литье в песчаные формы;
- уменьшается расход формовочных материалов в 10—20 раз;
- увеличивается выход годного литья за счёт снижения брака в 1,5—2 раза.

Тем не менее, способ литья в оболочковые формы не лишен и недостатков. К ним относятся:

- утрата точности формы в разъёме при изготовлении тяжёлых и крупногабаритных отливок;
- необходимы только металлические модели;
- высокая стоимость оснастки, оборудования и материалов;
- наличие в форме только одного разъёма, что не позволяет получать отливки сложной формы, для которых необходимо несколько разъёмов в форме.

Всё это приводит к тому, что стоимость отливок, полученных литьём в оболочковые формы, несколько выше, чем отливок, полученных литьём в песчано-глинистые формы. Однако за счёт снижения припусков на механическую обработку, себестоимость изготовления детали в целом может быть и ниже.

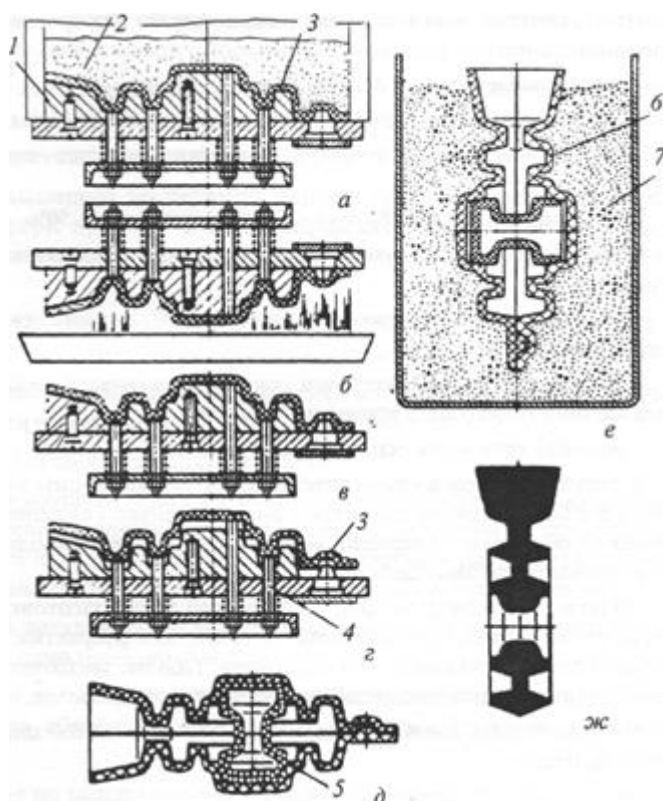


Рис. 20. Схема получения отливок в оболочковых формах:

1-металлическая плита с моделью; 2-песчаная смесь; 3-оболочка; 4-толкатель; 5-стержень; 6-готовая форма; 7-опорный материал; а-засыпка смеси и формирование оболочки; б-удаление излишков смеси; в-отверждение оболочки; г-съем оболочки; д-сборка оболочки; е-заливка оболочки; ж - отливка.

Применение способа литья в оболочковые формы ограничивается условиями производства, массой, сложностью отливки и свойствами сплава.

Например, на стальных отливках средних размеров, получаемых в оболочковых формах, наблюдается пригар, т.е. пропадает основное преимущество оболочкового литья – чистота поверхности отливок. Этот способ не может рекомендоваться и для легкоплавких цветных сплавов, так как в этом случае лучшие результаты в отношении качества отливок и экономических показателей обеспечивает литьё под давлением и в металлические формы.



Конструкция детали для литья в оболочковые формы должна удовлетворять следующим требованиям:

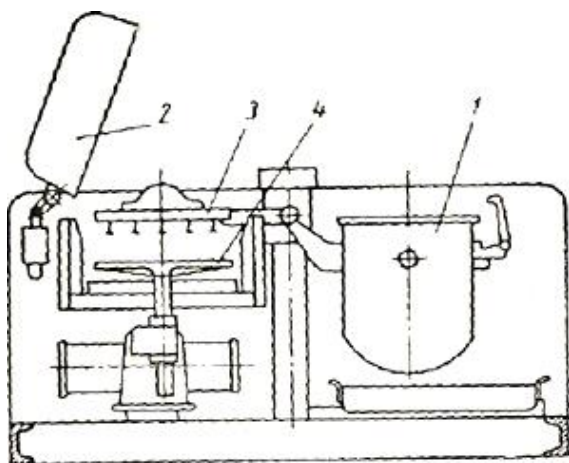
- иметь минимальное количество стержней;
- не рекомендуется переводить на

литьё в оболочковые формы глубокие коробчатые конструкции;

-отливка должна иметь равномерную толщину стенок.

Схема литья в оболочковые формы приведена на рис.20.

Для литья в оболочковые формы применяются различные специальные установки. Основные характеристики оборудования: производительность –



количество съёмов в час, размеры модельной плиты, наибольшая высота модели. Литьё в оболочковые экономически оправдано применять в крупносерийном и массовом производствах.

Рис 21. Однопозиционная механизированная установка

изготовления оболочек: 1- поворотный бункер; 2- колпаковая печь; 3- модельная плита; 4- съёмный механизм.

Типовые отливки, изготавливаемые литьём в оболочковые формы, приведены на рис.22.

Рис. 22. Типовые детали, изготавливаемые литьём в оболочковые формы.

2.4. Литьё по выплавляемым моделям

Литьё по выплавляемым моделям (ЛВМ) — способ получения отливок в многослойных оболочковых неразъемных разовых формах, изготавливаемых с использованием выплавляемых, а также выжигаемых и растворяемых моделей однократного использования.

Применение способа ЛВМ обеспечивает возможность изготовления из любых литейных сплавов фасонных отливок, в том числе сложных по конфигурации и тонкостенных; с шероховатостью поверхности от $Rz = 20$ мкм до $Ra = 1,25$ мкм (ГОСТ 2789—73) и повышенной точностью размеров (до 8—10-го квалитетов по | ГОСТ 25347—82 или до 3—5-го классов точности по ГОСТ 26645—85). Способ позволяет получать отливки массой от нескольких граммов до 100 кг; оптимальная масса отливки 0,2 – 12 кг. Имеются примеры изготовления отливок массой более 100 кг.

Типовые отливки, изготавливаемые литьё по выплавляемым моделям представлены на рис.23

С помощью ЛВМ получают отливки, максимально приближенные по форме и размерам к готовой детали, а в ряде случаев не нуждающиеся в обработке резанием.

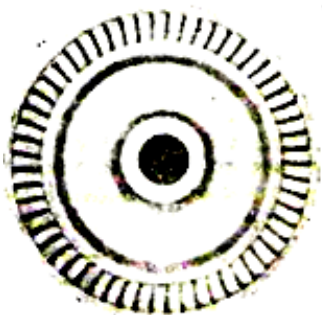


Рис.23. Отливки из конструкционных сталей, жаропрочных алюминиевых и медных сплавов изготовленные по выплавляемым сплавам.

В результате значительно снижаются трудоемкость и стоимость изготовления изделий, сокращаются расход металла и инструмента, потребность в производственных площадях, станочном оборудовании и приспособлениях, уменьшаются энергоемкость производства, а также потребность в рабочих-станочниках высокой квалификации.

Применение ЛВМ позволяет проектировать сложные тонкостенные детали (с толщиной стенки 1 мм и менее), объединять отдельные детали в компактные цельнолитые узлы, уменьшая массу и габаритные размеры изделий, создавать конструкции (например, охлаждаемые лопатки ГТД со сложными лабиринтными полостями газового тракта), невыполнимые какими-либо другими методами обработки. Пример изготовления цельнолитой конструкций приведен на рис.24.

Рис.24.Цельнолитой ротор из жаропрочного сплава на никелевой основе.



ЛВМ позволяет объединить отдельные детали в одну отливку. При изготовлении деталей, механическая обработка которых очень сложна, а иногда и невозможна без разделения детали на простейшие элементы, литье по выплавляемым моделям дает возможность объединять несколько отдельных мелких деталей в

одну общую конструкцию. При этом учитывают экономическую целесообразность получения цельнолитого узла. На рис. 25. приведен пример целесообразной замены одной отливкой сложного сварного узла — корпуса ручек управления, состоящего из пяти деталей, штампованных из стали 50, с последующей механической обработкой. Применение отливки взамен штампованных заготовок, подвергаемых механической обработке и сварке, в 3 раза снизило потери металла в стружку и в 2 раза уменьшило трудоемкость механической обработки (29).

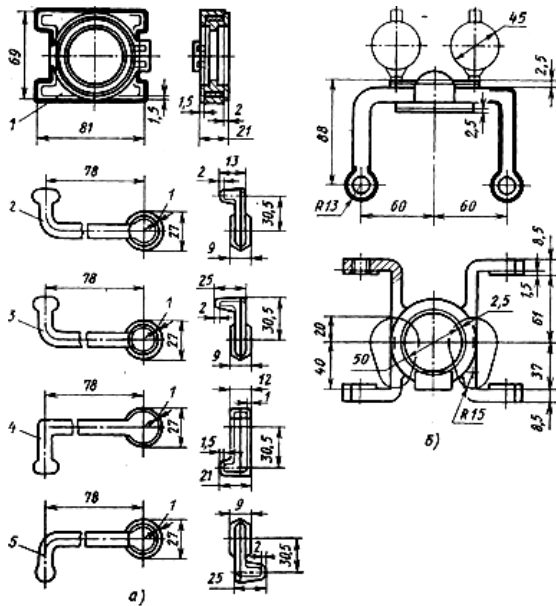


Рис.25. Изготовление детали из пяти заготовок (1-5): а – их сваркой (применяемая технология); б – отливка детали по выплавляемым моделям

Иногда целесообразно расчленить крупногабаритную деталь на несколько литых заготовок меньшего размера, а затем из отливок с помощью сварки изготовить деталь (29).



Рис. 26 Типовые отливки литья по выплавляемым моделям различных вариантов

Технологический процесс получения отливок по выплавляемым

моделям в сравнении с другими способами литья имеют некоторые особенности:

- модель отливки не имеет разъёма, её контуры полностью повторяют форму детали, служат для изготовления только одной литейной формы, в процессе изготовления которой модель уничтожается;
- керамическая оболочка не имеет поверхности разъёма;
- металл заливается в горячие формы.

Процесс изготовления отливок по выплавляемым моделям состоит из следующих этапов. В пресс – формах изготавливают модели деталей и литниковые системы. В качестве материала моделей используют легкоплавкие составы на основе смол, пластмасс, сплавов солей. Модели и литниковые системы соединяют в блоки, на которые слоями наносят суспензии из связующего раствора и пылевидного огнеупорного материала. Слои суспензии для их упрочнения и лучшей взаимной связи обсыпаят песком, а затем сушат. Из полученной многослойной неразъёмной оболочковой удаляют выплавлением, растворением или выжиганием модельный состав. Освобождённые от моделей оболочки прокаливают и заливают металлом. После затвердевания форма разрушается и извлекается заготовка и выполняются отделочные операции отливки. Процесс позволяет объединять в единый блок припаиванием модели и соответственно получать отливки одним блоком (рис27), что позволяет значительно повысить производительность труда



Рис.27. Керамическая оболочка единого блока моделей

Технологическая последовательность процесса представлена на рис.28. При проектировании детали для получения литьём по выплавляемым моделям необходимо выполнять следующие требования:

- рекомендуемая минимальная толщина стенки 0,7—0,8мм;
- отношения толщин сопряженных стенок не должно превышать 1/4;
- не целесообразно в отливках получать резьбы;
- сопряжения стенок следует оформлять по радиусам или галтелям.

На практике удавалось получать минимальную толщину стенки до 0,4 мм.

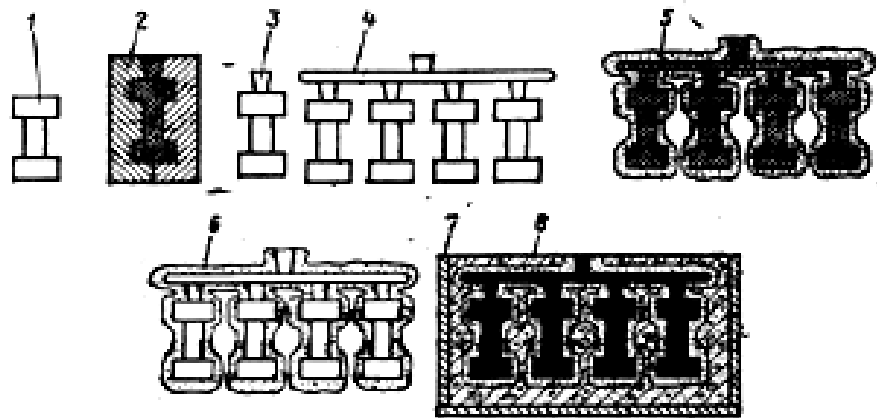


Рис.28. Технологическая последовательность процесса изготовления отливок по выплавляемым моделям: 1-деталь; 2-пресс-форма; 3-модель; 4-литейный блок; 5-огнеупорное покрытие; 6-керамическая оболочка; 7-опока; 8-опорный наполнитель.

При изготовлении более толстостенных отливок необходимо учитывать, что в таких стенках может образовываться осевая пористость усадочного происхождения, поэтому более прочные отливки получают не увеличением толщины стенки, а введением рёбер жёсткости.

Точность размеров отливок оценивают обычно по отклонению действительного размера от номинального, т. е. по полным полям рассеяния размеров, зависящим от допусков на размеры полости пресс-форм, колебания усадки модельной композиции и расплава металла, свойств оболочки формы. Погрешности подразделяют на систематические и случайные. К первым относятся погрешности изготовления пресс-форм (допуски на размеры их рабочих полостей должны соответствовать 8—10-му квалитетам по ГОСТ 25347—82), ко вторым — погрешности, вызываемые колебаниями усадки модельных композиций и металла отливки, объемными изменениями покрытия модели и оболочки формы в процессе их изготовления и эксплуатации. Для отливок поля допусков назначают в соответствии с ГОСТ 26645—85 (для литья по выплавляемым моделям допуск соответствует 3—8-му классам точности) табл.16

Таблица 16

Допускаемые отклонения размеров отливок, мм

Наибольшие габаритные размеры отливки, мм	Группа точности					
	повышенная		средняя		пониженная	
	Класс	Допуск	Класс	Допуск	Класс	Допуск
До 30	4	0,13	5	0,20	6	0,33
30 - 80	5	0,30	6	0,46	7	0,74
80 - 120	6	0,54	7	0,87	8	1,40
120 - 250	6	0,72	7	1,15	8	1,80
250 - 400	7	1,35	8	2,20	9	3,30
400 - 500	7	1,55	8	2,50	9	3,80

Припуски на механическую обработку состоит из суммы минимальных допускаемых припусков и допусков на размеры отливки.

В табл.17 приведены средние значения припусков для отливок, изготавливаемых литьё по выплавляемым моделям.

Для отливок, выполняемых с повышенной точностью, припуски на механическую обработку назначают на 10 – 15% меньше, а с пониженной – на 10 – 15 больше указанных.

Таблица 17

Припуски (мм) на механическую обработку

Габаритные отливки, мм	Номинальные размеры отливки до базы механической обработки (свыше – до), мм						
	До 30	30-80	80-120	120-250	250-400	400-500	500-800
До 30	0,7	-	-	-	-	-	-
30-80	0,8	0,9	-	-	-	-	-
80-120	0,9	1,2	1,3	-	-	-	-
120-250	1,1	1,3	1,4	1,5	-	-	-
250-400	1,3	1,4	1,6	1,8	2,0	-	-
400-500	1,5	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	-
500-800	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,5

Требования к полостям, пазам, отверстиям, в отливках, изготавливаемых ЛВМ. Узких полостей и глубоких пазов следует избегать (для их выполнения необходимы стержни). Исходя из условий прочности и формоустойчивости оболочки формы, необходимо предусматривать во внутренних полостях отливок выходные отверстия, которые должны быть, по возможности, продолжением полости отливки.

Отверстия диаметром до 6 мм можно получать без применения стержней лишь при их глубине до 12 мм. Если в отливке надо получить полость, которую в моделях невозможно выполнить обычным извлекаемым из нее стержнем, применяют разовые стержни (например, из карбамида), устанавливаемые в пресс-форму перед изготовлением модели и удаляемые из последней растворением в воде.

Для извлечения моделей из полостей пресс-форм без поломок и искажений геометрии поверхности моделей, их геометрия должна быть конической или с уклонами (ГОСТ 3212—80). Конусность может быть выполнена тремя способами: увеличением толщины стенки, уменьшением её или одновременным уменьшением и увеличением.

Выступы и бобышки на стенках отливок проектируют для выполнения отверстий. Выступы располагают на внешних поверхностях отливок, чтобы не усложнять конструкцию пресс-формы.

Литые резьбы следует использовать только в том случае, если они специальные и с крупным шагом, так как выполнение резьб литьём представляет большие трудности, особенно при мелком шаге, когда усложняется изготовление моделей, а на отливках в углублениях резьб возникают дефекты в виде металлических приливов.

Шероховатость поверхности отливок, изготавливаемых ЛВМ, зависит от шероховатости поверхностей оснастки и моделей, размеров частиц формообразующих материалов, особенно используемых для изготовления первого (лицевого) слоя формы, способности жидкообразных формообразующих материалов смачивать огнеупорные частицы и поверхность моделей, смачиваемости расплавленным металлом материала формы, а также стойкости материала формы против взаимодействия с расплавом и его оксидами. На шероховатость поверхности отливок влияют также способ их очистки и термической обработки.

Одним из важных показателей достоинства способа также является создание возможности получать заготовки с направленной и монокристаллической структурой, то есть управлять процессом затвердевания и получать отливки с высокими эксплуатационными свойствами, что обеспечивается химической инертностью и высокой

огнеупорностью оболочек формы, выдерживающих температуры выше температуры плавления нагреваемого сплава,

Одновременно литьё по выплавляемым моделям является наиболее длительным и трудоёмким процессом среди всех способов литья, что наглядно представлено на схеме литья ЛВМ, приведенной на рис.29.

Экономичность способа определяется правильно выбранной номенклатурой отливок. Данный способ рекомендуется применять: при крупносерийном и массовом производствах; для деталей сложной конфигурации, которые нельзя изготовить иными способами; для деталей, изготавливаемых из металлов и сплавов, которые трудно поддаются обработке давлением, и сплавов с низкими литейными свойствами.

Одним из потребителей заготовок литья по выплавляемым моделям является производство газотурбинных двигателей, что обусловлено возможностями данного способа – получение сложных конструкций деталей с высокой точностью и низкой шероховатостью поверхности. В основном это отливки из стали, титановых и жаропрочных сплавов.

Стальные отливки – это как, правило, корпусные детали, внутренние полости которых образуются применением керамических или карбамидных стержней или формируются непосредственно в моделях.

Каких – либо значительных особенностей литья от общепринятых в машиностроении нет. Исключением является повышенное требование к качеству отливок. Все отливки подвергаются спектральному контролю на соответствие марки материала, рентгенконтролю, капиллярному и другим видам неразрушающего контроля на наличие дефектов.

Титановые отливки – это корпусные детали, крыльчатки, турбины. Детали, как правило, имеют сложную форму. Изготовление моделей выполняют по известной технологии. При изготовлении форм следует учесть

активное поглощение титаном кислорода формы и наличие на поверхности отливок так называемого альфированного слоя, который обладает высокой твёрдостью, низкой пластичностью, является концентратором напряжений, что в результате может привести к поломке детали в процессе эксплуатации. Наличие альфированного слоя также затрудняет проведение механической обработки отливок. Альфированный слой удаляют специальным травлением. Для уменьшения альфированного слоя титановые сплавы заливают в графитовые формы или в электрокорундовые формы с пропиткой пироуглеродом по способу разработанному проф. В.М.Александровым (42). С целью сокращения технологического цикла изготовления отливок по выплавляемым моделям на практике применяют разъёмные керамические формы, изготавливаемые по постоянным моделям.

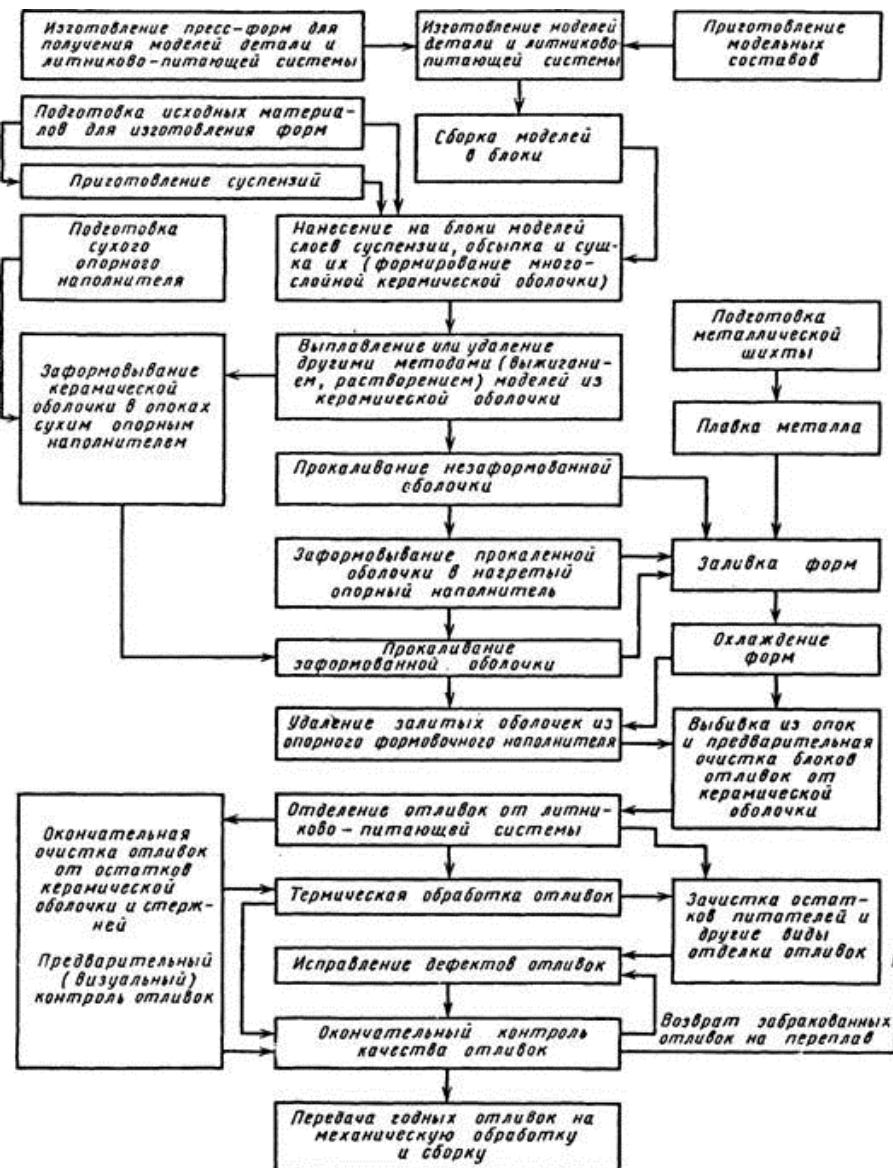


Рис. 29. Схема литья по выплавляемым моделям

Такие формы получают из холодных огеливаемых суспензий (Шоу – процесс).

В Шоу-процессе, как и в процессе изготовления форм по выплавляемым моделям, используют этилсиликатную суспензию. Шоу-процесс имеет ряд отличительных особенностей: а) применены разъемные формы, изготавливаемые по деревянным или металлическим моделям; б) вводятся в суспензию добавки гелеобразователя резко ускоряющие процесствердения, в

)формы газопроницаемы и с повышенной термостойкостью, образующейся из – за наличия сетки трещин, которые образуются при сгорании спирта после отверждения суспензии.

2.5.Литые заготовки для лопаток газовых турбин

Одними из самых нагруженных деталей газотурбинных двигателей (ГТД) являются лопатки турбины. Это связано с условиями их эксплуатации: высокая температура (температура газового потока в высокотемпературных двигателях достигает 1500°C), статические, динамические нагрузки (~ 15000 об/мин), знакопеременные нагрузки, всё это вызывает специальные требования к их конструкции. Лопатки турбины подразделяются на два вида: рабочие и сопловые. К рабочим лопаткам турбины предъявляются требования высокой жаропрочности, а для сопловых лопаток важнейшей характеристикой является жаростойкость.

Первоначально для лопаток ГТД, применялись деформированные жаропрочные сплавы, что при производстве лопаток приводило к значительным материальным и трудовым затратам.

Применение литых заготовок лопаток ГТД позволило не только снизить затраты на их изготовлению, но и открывало новые возможности повышения эксплуатационных свойств, применения новых конструкционных решений.

По ответственности назначения и условиям нагружения литые лопатки не имеют аналогов среди деталей машиностроения. А современные литые охлаждаемые рабочие лопатки рис.30. относятся к номенклатуре самых сложных деталей в машиностроении.

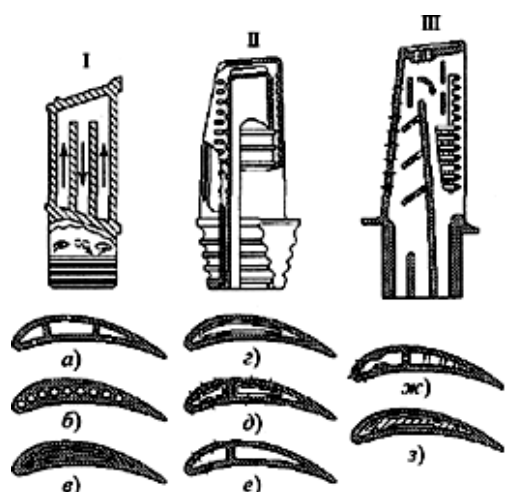


Рис.30. Охлаждаемые рабочие лопатки турбины: I-многоканальные (а-в); II –

дефлекторные (з, д); III- бездефлекторные с перфорацией (е, ж) и пористой оболочкой (з).

Лопатки газотурбинных двигателей представляют собой сложную конструкцию. Возможности повышения температуры газа перед турбиной за счёт увеличения жаропрочности литейных сплавов были исчерпаны на рубеже 1960 – 1970 гг. Единственным путём создания лопаток, работоспособных при современных и запланированных ближайшими прогнозами температурах газового тракта, является снижение рабочей температуры металла эффективным охлаждением его воздухом (11).

К литым заготовкам лопаток турбины предъявляются высокие требования, как к металлургическому качеству, так и к геометрическим размерам. Это связано с самой геометрией лопаток, толщина стенок которых ~ 1мм и менее и исключением механической обработки профиля пера. Дефект с размерами 0,5мм составляет 50% площади сечения. Применяемые материалы для изготовления лопаток вызывают затруднения при механической обработке и целесообразно исключить механическую обработку сложной геометрической формы профиля пера.

Литьё по выплавляемым моделям единственно возможный и экономически оправданный в настоящее время способ позволяющий получать охлаждаемые лопатки ГТД.

Специфика условий работы лопаток ГТД определяет характер требований к материалам, из которых они изготавливаются в зависимости от назначения (сопловые или рабочие лопатки).

Сопловые лопатки работают при более высоких температурах по сравнению с рабочими. Они работают на изгиб под воздействием газового потока, на них воздействуют тепловые нагрузки от неравномерности температурного поля при работе двигателя, особенно при изменении его

режимов работы, однако знакопеременные нагрузки меньше по сравнению с рабочими лопатками. Главные требования к материалам, предназначенным для сопловых лопаток: обеспечение высокого уровня жаропрочности, жаростойкости, термоусталости.

Для рабочих лопаток более сложны требования, предъявляемые к материалам, которые подвергаются различным видам нагружений и повреждений: статическому, вибрационному, термоциклическому, коррозионному и эрозионному. Характерные разрушения рабочих лопаток возникают из-за недостаточной длительной прочности материалов, на которую оказывает отрицательное влияние, вызванное работой двигателя, повторность нагружения. Другим характерным видом разрушения рабочих лопаток является разрушение от усталости. Повышение температуры газа перед турбиной (необходимое требование для повышения эффективности работы двигателя) достигается не только созданием жаропрочных материалов, но в значительной мере совершенствованием эффективности охлаждения.

В современных газотурбинных двигателях лопатки первых ступеней — охлаждаемые. Их внутренняя полость состоит из большого количества штырь-перемычек, которые формируют потоки охлаждаемого воздуха и обеспечивают жесткость лопатки. Соединения штырьков и перемычек с внутренней поверхностью пера являются областями с повышенной концентрацией напряжений, что может привести к возникновению дефектов. Для исключения подобных дефектов необходимо снижение шероховатости внутренней поверхности пера, штырьков и перемычек, а также увеличение радиуса в местах перехода (резкого изменения сечений). Таким образом для рабочих лопаток ГТД необходимы материалы, обладающих высокой пластичностью и низкой чувствительностью к концентраторам напряжений,

т.е. высокими значениями жаропрочности и выносливости при испытаниях образцов с надрезом. Также важнейшим параметром материалов является высокий уровень жаростойкости.

2.5.1. Материалы литых лопаток турбины

Химический состав и жаропрочные свойства наиболее распространённых отечественных и зарубежных сплавов приведены в таблицах 18,19,20.

Табл.18.

Химический состав литейных жаропрочных сплавов для равноосной кристаллизации (РК)

Сплав	C	Cr	Co	W	Mo	Al	Ti	Nb	V	Zr не более	B не более
ЖС6К	0,18	10,6	4,5	5,1	4,0	5,7	2,8	-	-	0,04	0,015
ЖС6У	0,18	9,0	9,8	10,3	1,5	5,4	2,6	1,0	-	0,04	0,025
ВЖЛ12У	0,18	9,5	14,0	1,4	3,1	5,4	4,5	0,75	0,8	0,02	0,011
ЖСЗДК	0,09	12,0	9,5	4,3	4,1	4,5	2,9	-	-	-	0,012
ВЖЛ12Э	0,18	9,4	9,0	1,5	3,1	5,4	4,5	0,75	0,75	0,02	0,011
IN100	0,18	10,0	15,0	-	3,0	5,5	4,7	-	1,0	0,06	0,014
B1900	0,10	8,0	10,0	-	6,0	6,0	1,0	-	-	0,10	0,015
MARM200	0,15	9,0	10,0	12,5	-	5,0	2,0	1,8	-	0,05	0,015

Табл.19.

Длительная прочность литейных жаропрочных сплавов с равноосной структурой

Сплав	T=800 ⁰ C			T=900 ⁰ C			T=1000 ⁰ C		
	σ_{100}	σ_{500}	σ_{1000}	σ_{100}	σ_{500}	σ_{1000}	σ_{100}	σ_{500}	σ_{1000}
	МПа								
ЖС6К	530	470	-	320	230	190	160	115	-
ЖС6У	560	490	-	350	280	245	170	120	100
ВЖЛ12У	530	420	-	300	220	-	150	100	90
ВЖЛ12Э	530	455	-	300	235	-	150	100	90
ЖСЗДК	500	40	-	300	190	-	140	-	-
	T=816 ⁰ C						T=982 ⁰ C		
IN100	510	-	385	-	-	-	175	-	105
B1900	510	-	385	-	-	-	180	-	108

MARM200	530	-	420	-	-	-	190	-	130
---------	-----	---	-----	---	---	---	-----	---	-----

2.5.2. Влияние структуры литых заготовок на свойства лопаток турбины

Для дальнейшего улучшения свойств литейных жаропрочных сплавов использован способ литья по выплавляемым моделям с направленной кристаллизацией (НК) и применены новые сплавы. Направленная кристаллизация позволяет получать литые заготовки со столбчатой, монокристаллической и ориентированной эвтектической структурами.

Применение сплавов с направленной кристаллизацией позволяет снизить уровень термических напряжений и повысить сопротивление термоусталости сплавов НК примерно в 2-3 раза по сравнению со сплавами с равноосной структурой (11).

Другим преимуществом сплавов НК в сравнении со сплавами РК является отсутствие поперечных границ зерен (перпендикулярно к действующей нагрузке), что существенно повышает их жаропрочность и уменьшает темп разупрочнения.

Пластические свойства сплавов НК в продольном направлении выше, чем сплавов РК, а в поперечном направлении они, как правило, находятся на уровне свойств металла РК. Скорость распространения усталостной трещины при высоких температурах в направлении, перпендикулярном направлению кристаллизации, значительно меньше, чем в сплавах РК. Таким образом, сплавы с направленной столбчатой структурой обладают лучшим комплексом механических свойств по сравнению со сплавами РК (11).

Расчеты показывают, что использование лопаток с направленной структурой: вместо лопаток с равноосной структурой позволяет повысить рабочую температуру металла на 30—60°C, в результате чего расход воздуха на

охлаждение лопаток может быть снижен на 30% с соответствующей экономией топлива 1% (58).

Табл.20.

Свойства некоторых литейных жаропрочных сплавов с направленной (столбчатой) и монокристаллической структурой

Сплав	T=900 ⁰ C		T=1000 ⁰ C	
	$\bar{\sigma}_{100}$	$\bar{\sigma}_{500}$	$\bar{\sigma}_{100}$	$\bar{\sigma}_{500}$
ЖС26	410	305	200	135
ЖС26У	410	305	200	135
ЖС30	400	315	200	145
ЖС28 МОНО <001>	475	360	225	160
ЖС30 МОНО <001>	420	325	220	165
ЖС32 МОНО <001>	495	380	255	190
ЖС36 МОНО <001>	490	390	250	190
ЖС40 МОНО <001>	440	350	240	190

Макроструктура жаропрочных сплавов. Количество макрозерен в отливке определяется температурными условиями у донной стенки керамической формы. При расстоянии между дном формы и охлаждающей средой 50 мм, например, для установки В-1790, дно формы легко прогревается до температуры, превышающей температуру ликвидус сплава.

При последующем перемещении формы с залитым в нее металлом вниз для кристаллизации, резкого переохлаждения сплава в донной части формы не происходит, соблюдается условие - скорость роста значительно превышает скорость образования центров кристаллизации. В этих условиях зарождается и растет небольшое количество зерен (от 1 до 3) в отливке диаметром 15 мм или лопатке с размером замка 20x60 мм. Изменяя расстояние между дном формы и охлаждающей средой, можно регулировать температуру дна формы, практически не меняя температуру остальной ее части. Это создает условия для зарождения различного количества зерен

произвольной кристаллографической ориентации, дальнейший рост которых также определяется внешними температурными условиями. На рис. представлены основные типы структур, визуально наблюдаемые на протравленной поверхности лопаток. Таковыми являются: равноосная (рис.31 а), характеризующаяся наличием мелких зерен по всей высоте лопатки; направленная тонкостолбчатая (рис.31,б), имеющая множество (> 10) вытянутых в одном направлении, параллельном оси лопатки, зерен; направленная (рис.31 в), содержащая 2—3 зерна с границей, совпадающей с продольной осью отливки или расположенной под углом до 20° к ней; монокристаллическая (рис.31 г), не имеющая на протравленной поверхности каких-либо границ; смешанная (рис.31 д), отличительным признаком которой является, например, монокристаллическое перо и равноосный замок. Для достижения максимальных свойств жаропрочных сплавов после НК необходимо стремиться к получению отливок с монокристаллической макроструктурой заданной кристаллографической ориентацией.

Монокристаллической лопаткой или отливкой называют изделие, «выросшее» из одного зародыша и не имеющее границ зерен на протравленной поверхности.

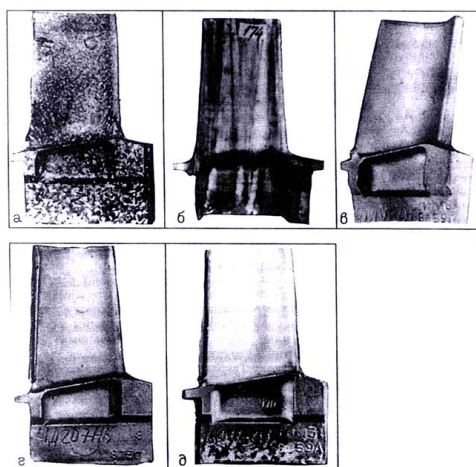


Рис.31.Макроструктура лопаток:
а – равноосная; б – направленная тонкостолбчатая; в – направленная; г – монокристаллическая; д –

монокристаллическое перо и равноосный замок.

Для достижения максимальных свойств жаропрочных сплавов после НК необходимо стремиться к получению отливок с монокристаллической макроструктурой заданной кристаллографической ориентацией.

Монокристаллической лопаткой или отливкой называют изделие, «выросшее» из одного зародыша и не имеющее границ зерен на протравленной поверхности. При этом в матрице монокристаллического изделия имеются включения первичных фаз с другим параметром или типом кристаллической решетки (карбиды, бориды и др.) и вторичные выделения γ' -фазы, когерентно связанные с матрицей. Таким образом, монокристалл жаропрочного сплава не отвечает классическому определению монокристалла как объекта с непрерывной кристаллической решеткой.

Микроструктура жаропрочных сплавов. Микроструктура жаропрочных сплавов чрезвычайно чувствительна к скорости охлаждения в процессе НК. На рис.32. представлены характерные микроструктуры ($\times 100$) сплава ЖС6У в поперечном (рис.32. а) и продольном (рис.32.б) к оси образца направлении в зависимости от скорости кристаллизации. Диапазон исследованных скоростей кристаллизации 4, 20 и 40 мм/мин (на рис.32. этим скоростям соответствуют столбцы I, II, III). Все исследованные образцы имеют ориентацию $[001]$. Морфология карбидов ($\times 500$) и упрочняющей γ' -фазы ($\times 27000$) представлена на рис. в, г соответственно (11).

При увеличении скорости кристаллизации отмечается резкое измельчение всех структурных составляющих сплава: дендритов, карбидов, эвтектики.

Так как стоимость производства монокристаллических лопаток выше, чем лопаток со столбчатой структурой, продолжают работы по совершенствованию составов жаропрочных сплавов для НК (11).

Производство лопаток с направленной и монокристаллической структурой более трудоёмко по сравнению с отливкой лопаток с равноосной структурой, но обеспечить работоспособность наиболее нагруженных лопаток 1-ой ступени можно, лишь используя эти способы литья. Лопатки, отлитые способами направленной кристаллизации, наибольшее преимущество имеют при рабочих температурах выше 900°C ; при меньших температурах их превосходство, по сравнению с лопатками, полученными равноосным литьём, незначительно.

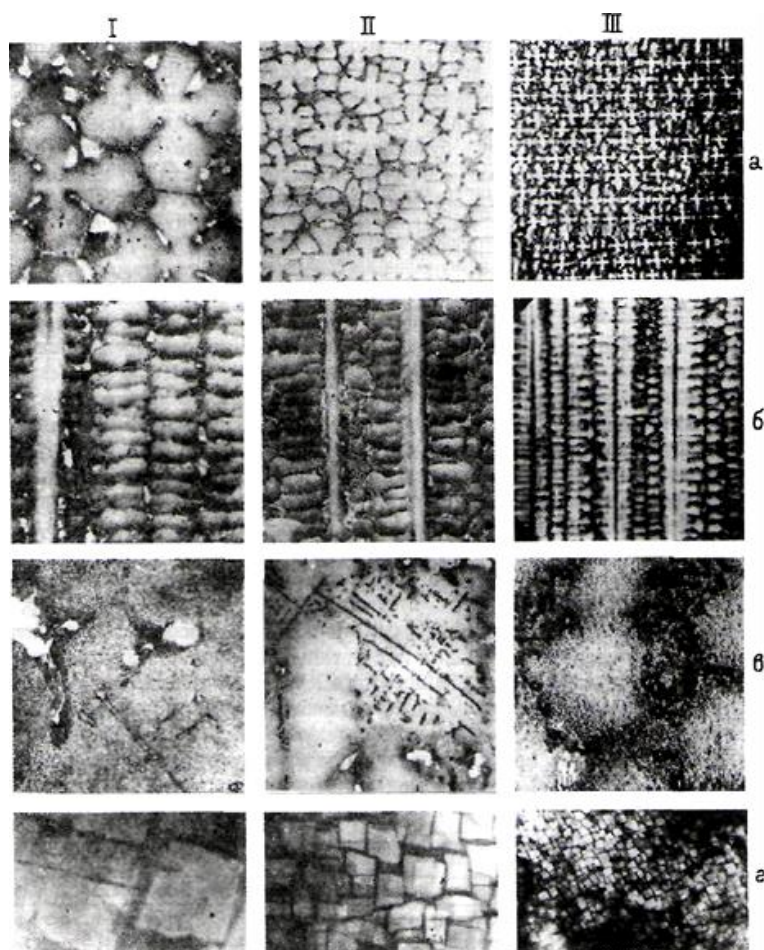


Рис. 32. Характерные микроструктуры жаропрочного сплава (монокристаллы с ориентацией [001]) в зависимости от скорости направленной кристаллизации: а, б — поперечные и продольные сечения (хЮО); в, г — морфология карбидов (х500) и -фазы (х27000) соответственно; I, II, III — скорости кристаллизации 4, 20, 40 мм/мин соответственно.

В связи с этим способы направленной кристаллизации применяют преимущественно для литья лопаток первых ступеней, лопатки остальных ступеней изготавливаются с равноосной структурой (11).

2.5.3. Технологичность конструкций литых лопаток

Технологичность литых лопаток турбины регламентируется нормативно – технической документацией.

Некоторые параметры технологичности литых лопаток ГТД.

1. В конструкции лопаток необходимо предусматривать радиусы скруглений (галтели). В местах перехода от пера к замковой части и полке радиус скруглений R должен быть 3—5 мм (рис.). Галтели предусматриваются во избежание возникновения трещин на моделях и при кристаллизации лопаток.

2. Толщину стенок следует выполнять с уклоном по длине не менее 0,5 мм на каждые 100 мм длины пера. Толщина стенок пера допускается не менее 0,6 мм.

Уклон по толщине стенок необходим для создания направленности затвердевания, лучшего питания отливки и, соответственно, обеспечения плотности и механических свойств металла в зоне пера. Ограничения по минимальной толщине стенки связаны не столько с заполняемостью металлом тонких стенок, сколько со снижением механических свойств металла в тонких стенках (рис.33.).

3. Места сопряжения штырьков с корытом и спинкой пера следует оформлять галтелями. Величина галтелей (радиусов) выбирается в зависимости от диаметра штырьков и толщины стенок пера.

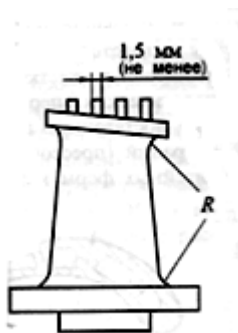


Рис.33. Скругление острых углов между элементами лопатки

Оси штырьков необходимо располагать предельно близко к нормали профиля в месте расположения штырьков (рис.34).

Галтели на штырьках требуются, чтобы исключить появление горячих трещин в зоне сопряжения штырька со стенкой пера. Расположение осей штырьков по нормали к профилю необходимо для удобства изготовления пресс-формы и работы с ней.

4. Толщина лабиринтных ребер на полке пера лопатки допускается не менее 1,5 мм (см. рис.33.). Это ограничение связано с прочностью модельной массы при прессовании моделей и окраске блоков.

5. Необходимо предусматривать технологические отверстия для фиксации керамических стержней в полости литейной формы. Величина и форма отверстий определяются в зависимости от размеров полости лопатки и ее конструкции при условии четкой фиксации стержня на его знаках, что необходимо для обеспечения требуемой толщины стенок пера лопатки.

6. Ширина щели по выходной кромке лопаток, оформляемая в литье керамическим стержнем, должна быть не менее 0,6 мм (рис.35). Это требование связано с прочностью стержня и возможными его поломками при запрессовке моделей и деформации при заливке литейных форм металлом.

7. В технических условиях чертежа лопатки следует предусматривать заварку или запайку технологических отверстий для выхода знаков стержня(11).

Приведенные выше требования к конструкции лопатки, получаемой литьем, корректируются при проектировании новых конструкций внутренней полости лопаток, совершенствовании технологии литья и изготовления стержней,



Рис. 34. Пример оформление
штырьков и галтелей относительно
спинки и корыта



Рис.35 Предельный размер щели по
выходной кромке пера

Разработка чертежа литой заготовки лопатки

Чертеж литой заготовки лопатки разрабатывается по чертежу детали и является основным документом для проектирования модельной и стержневой пресс-форм, приспособлений для контроля геометрии стержней и отливок, приспособлений для крепления заготовок лопаток при шлифовке технологических баз для последующей механической обработки.

На литейном чертеже указываются: линия разъема модельной и стержневой пресс-форм; припуски на механическую обработку; технологические базы для механической обработки отливки; технические требования, предъявляемые к отливке, передаваемой из литейного цеха на механическую обработку: чистота поверхности, контролируемые

геометрические размеры, виды контроля металлургического качества и допустимые отклонения при контрольных операциях.

В зависимости от геометрии лопаток и принятой технологии механической обработки расположение технологических баз для механической обработки и величина припусков на механическую обработку могут существенно различаться. Во всех случаях сохраняется лишь главный принцип — газовый тракт (перо лопатки) является литейной базой, выполняется без припуска на механическую обработку; операции контроля геометрии литой заготовки и изготовления технологических баз для механической обработки производятся от профиля пера в сечениях, назначенных в литейном чертеже заготовки лопатки.

Так как профиль пера лопатки является базой для механической обработки замка и полки лопатки — элементов, по которым осуществляется крепление лопатки в пространстве колеса турбины, — геометрия профиля должна в максимальной степени соответствовать теоретическому профилю чертежа лопатки. Допуск на профиль рабочих и сопловых лопаток регламентирован ОСТ 1.02571—86. Допуски различаются в зависимости от высоты и длины профиля и класса точности лопатки. Для лопатки средних размеров с профилем высотой 100—160 мм и длиной 60—100 мм допуск составляет $\pm 0,3$ мм.

2.5.4. Изготовление керамических стержней для литых заготовок лопаток турбины

Наибольшие технологические трудности при производстве лопаток связаны с изготовлением стержней. Конструкция стержня должна обеспечивать достаточную жесткость в сыром состоянии до проковки для проведения технологических операций (съема с пресс-формы, рихтовки,

укладки в короба и др.), достаточную прочность после проковки для проведения технологических операций (прессования моделей и др.) и устойчивость стержня при заливке литейных форм металлом.

Основные требования к керамическим материалам стержней

Материалы стержней должны обладать достаточно высокой огнеупорностью, причем, при монокристалльном литье должны быть использованы материалы высшей огнеупорности.

Материалы должны отличаться химической инертностью к жаропрочным сплавам, что исключает образование пригара на поверхности отливок и изменение химического состава в приповерхностных слоях металла. Наличие открытой пористости в материале необходимо для уменьшения напряжений в металле при его кристаллизации и для облегчения удаления керамики.

Прочность при комнатной температуре определяет технологические характеристики, а высокотемпературная прочность — эксплуатационные свойства материала. От температуры начала деформации зависят предельные температуры службы материала.

При направленной кристаллизации керамическая форма и стержень постепенно нагреваются до температур проведения процесса литья и поэтому необходимо выполнять требование примерного равенства коэффициентов термического расширения материала формы и стержня для уменьшения деформации последнего и снижения разностенности лопаток.

Материал керамических форм менее чувствителен к величине коэффициента термического расширения, так как обладает слоистой структурой. Отсутствие полиморфных превращений, сопровождаемых объемными изменениями, — необходимое требование ко всем материалам, используемым в литье.

Чистота поверхности керамического материала определяет качество поверхности отливки, при этом шероховатость литой поверхности ниже, чем поверхности стержня или формы.

В настоящее время стержни изготавливаются из порошка электрокорунда, а в качестве связующего используется тонкомолотый технический глинозём. Для различных групп стержней разрабатываются оптимальные электрокорундовые шихты. Типовые электрокорундовые стержни представлены на рис.36.

Технология и оборудование для удаления стержней.

Необходимость изыскания ускоренных методов удаления стержней из отливок продиктована возрастанием производства литых охлаждаемых лопаток сложной внутренней полостью.

Наиболее эффективным оказался так называемый химико-гидравлический метод, сочетающий обработку отливок со стержнями щелочными растворами в автоклаве с промывкой струей воды высокого давления и обеспечивающий эффективное удаление практически всех видов стержней.

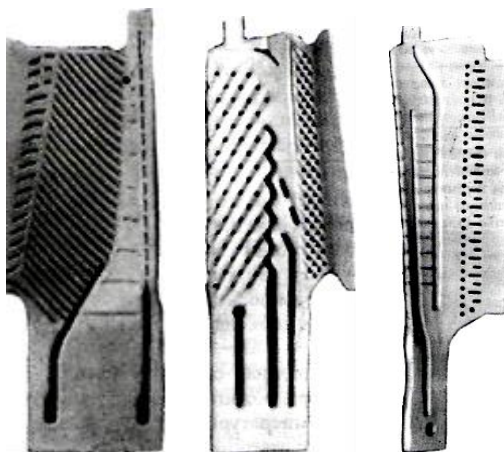


Рис.36. Типовые конструкции электрокорундовых стержней.

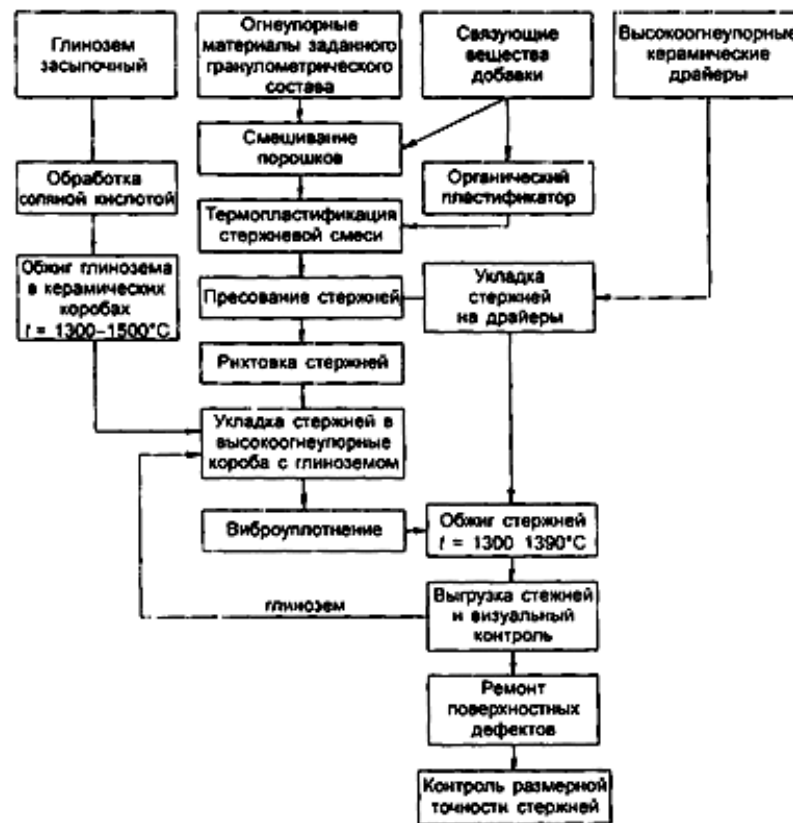


Рис.37. Схема технологического процесса изготовления керамических стержней для литья охлаждаемых лопаток ГТД

Для удаления стержней этим методом используется агрегат, который состоит из двух независимых установок: для разупрочнения стержней и удаления остатков разупрочненных стержней струей воды высокого давления.

Схема гидродинамической установки представлена на рис.38.

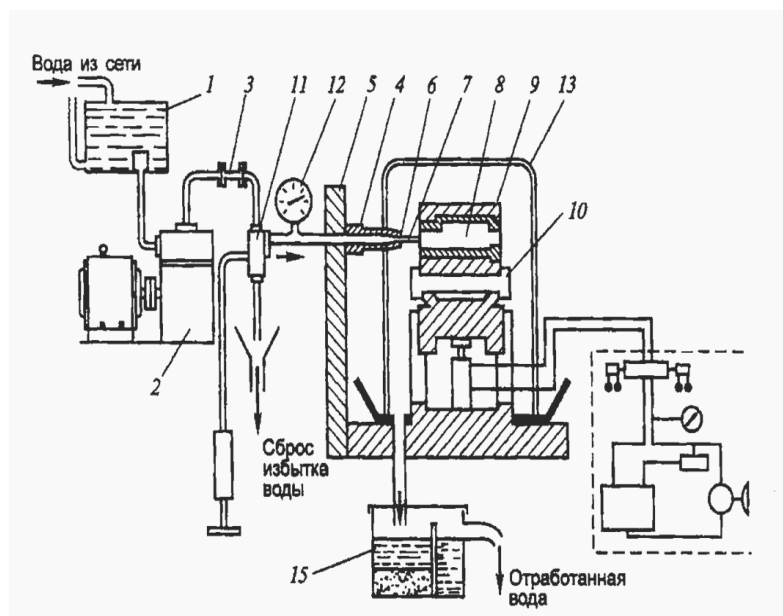


Рис.38. Схема гидродинамической установки для удаления стержней: 1-бак с водой, 2-насос высокого давления, 3-трубопровод, 4-сопло, 5-опорная плит 6-насадки, 7-струя воды, 8-стержень, 9-отливка, 10-зажимное устройство, 11-перепускной клапан, 12-манометр, 13-кожух, 14-ванна с отработанной водой, 15-отстой керамики.

Установка для разупрочнения стержней представляет собой автоклав с системой насосов и бак. Бак заполняют раствором щелочи, подогреваемой до 90-120°C. В автоклав загружают литые детали, из которых требуется удалить стержни, герметически закрывают его и вакуумируют до остаточного давления 10-20 мм.рт. ст. Затем открывают кран на трубопроводе, соединяющем с автоклавом, и щелочь из бака поступает в автоклав. Для полной гарантии заполнения автоклава щелочью в бак подается сжатый воздух давлением 50 МПа из заводской воздушной системы или баллона. После этого кран перекрывают и включают нагрев автоклава.

В зависимости от состава стержневой массы и конфигурации внутренней полости детали устанавливают технологические параметры: температуру, давление и концентрацию водного раствора щелочи.

Конструкция автоклава предусматривает регулировку температуры и давления без сброса последнего в атмосферу. Его герметичность позволяет нагревать водный раствор щелочи до значительно более высоких температур, чем в открытых ваннах, с сохранением заданной концентрации. В автоклаве происходит разупрочнение стержня и частичное или полное вымывание его из полости. Выпавшие остатки собирают и после отмывки от щелочи используют в производстве.

2.5.5 Совершенствование технологического процесса равноосного литья заготовок лопаток турбины

Основные свойства жаропрочных сплавов (прочность, пластичность, сопротивление усталости и др.), определяющие работоспособность материала в эксплуатации, являются структурно-чувствительными характеристиками. Под структурой жаропрочных сплавов следует понимать фазовый состав, размер макрозерен, ориентировку и строение границ зерен, размеры и морфологию первичных (кристаллизационных) и вторичных фазовых составляющих, степень ликвационной неоднородности.

Структура литейных жаропрочных сплавов формируется в процессе кристаллизации, термическая обработка позволяет лишь оптимизировать структуру вторичных фаз, в то же время первичная (кристаллизационная) структура во многом определяет свойства сплавов.

Совершенствование технологии литья лопаток с равноосной структурой позволяет стабилизировать теплофизические параметры кристаллизации, обеспечивает стабилизацию структуры отливок и является предпосылкой для разработки методов регламентирования литой структуры при равноосной кристаллизации.

Эффективным способом совершенствования технологического процесса лопаток с равноосной структурой является поверхностное модифицирование. Физический смысл процесса заключается в создании на поверхности литейной формы кристаллических соединений с кристаллографической структурой, близкой к структуре заливаемого металла. Такие соединения согласно принципу размерного и структурного соответствия являются зародышами кристаллизации расплава. Они имеют ГЦК решетку, являются соединениям атомов переходных металлов — железа, никеля, кобальта — с оксидами алюминия и кремния (11). В промышленности нашли применение технологические процессы поверхностного модифицирования с использованием в качестве модификатора алюмината кобальта $\text{CoO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$.

Известно, что технологические параметры заливки литейных форм (температура металла и температура литейной формы, скорость заливки, тип литниковой системы), характеризующие температурные параметры системы металл—форма к моменту охлаждения расплава до температуры ликвидуса сплава, существенно влияют на процесс возникновения центров кристаллизации в локальных объемах отливки и скорость их роста, и определяют в конечном счете макроструктуру металла отливки.

Макроструктура лопаток с поверхностным модифицированием с одинаковой температурой формы и различной температурой расплава приведена на рис.39.

Для конкретных жаропрочных сплавов в зависимости от интервала кристаллизации при литье лопаток ГТД определенных конструкций при применении процесса поверхностного модифицирования необходимо определять минимально возможные значения перегрева металла и

температуру литейной формы, обеспечивающие хорошую заполняемость формы и получение качественной плотной отливки.

Размер зерна жаропрочного сплава ЖС6У с поверхностным модифицированием 0,1 – 1 мм, при литье без модифицирования – 4 – 10 мм.

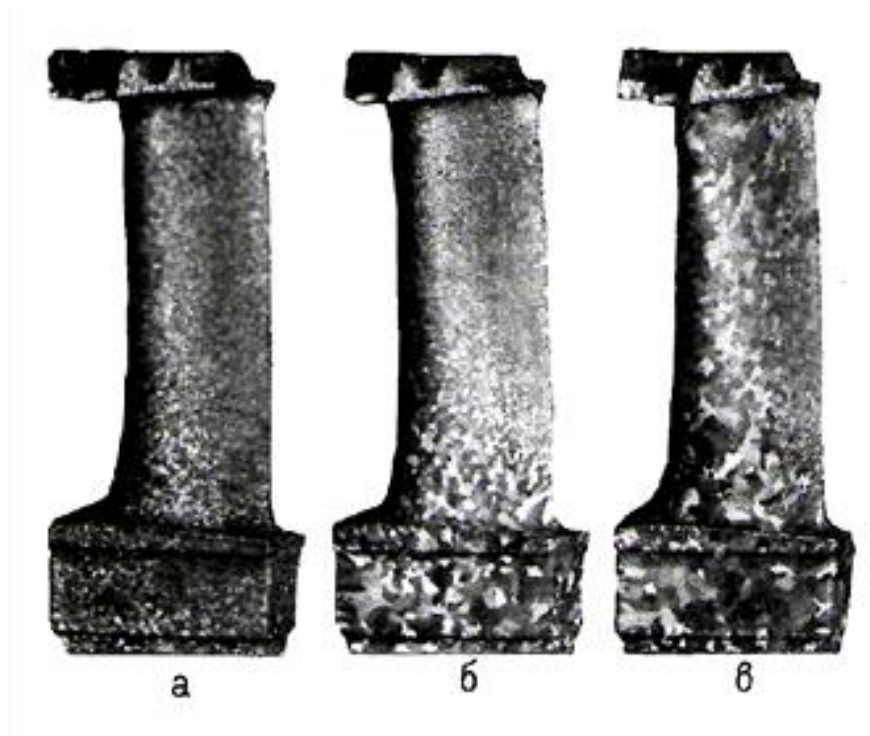


Рис.39. Макроструктура металла лопаток, отлитых с поверхностным модифицированием при $T_{\text{ф}} = 950^{\circ}\text{C}$ и $T_{\text{м}} = 1480^{\circ}\text{C}$ (а); $T_{\text{м}} = 1540^{\circ}\text{C}$ (б); $T_{\text{м}} = 1600^{\circ}\text{C}$ (в).

Поверхностное модифицирование обеспечивает повышение предела выносливости на 30-40%. Оптимальный размер зерна модифицированной структуры 0,1- 0,2мм. Поверхностное модифицирование сплава ЖС6У позволило повысить при 20 и 900°C соответственно: пластичность – с 3,6 до 5,2% и с 4,0 до 5,6%; предел прочности - с 1010 до 1130 МПа и 827 до 898 МПа; предел текучести - с 936 до 1000 МПа и с 783 до 820 МПа. При этом коэффициент вариации предела прочности и предела текучести в 1,5 – 3,5 раза ниже для материала с поверхностным модифицированием, чем для

сплава ЖС6У без модифицирования. Влияние поверхностного модифицирования на длительную прочность сплава ЖС6У при $T=975^{\circ}\text{C}$ и $\tilde{\sigma}_p = 230 \text{ МПа}$ показано в табл.21.

Табл.21.

Влияние поверхностного модифицирования на длительную прочность сплава ЖС6У

Состояние материала	$T_{\text{час}}$	$\tilde{\sigma}, \%$	$\phi, \%$
Поверхностное модифицирование	102-00	6,6	6,7
	95-00	6,6	7,2
	94-15	5,0	3,6
	98-00	6,4	7,2
	78-00	5,0	4,0
	100-15	6,6	4,3
	$T_{\text{час, сред.}}=95-00$	$\tilde{\sigma}, \%_{\text{сред.}} = 6,0$	$\phi, \%_{\text{сред.}} = 5,5$
Без модифицирования	70-00	4,6	5,6
	32-45	2,0	3,6
	66-00	4,3	4,5
	41-25	2,3	4,5
	86-00	3,5	7,0
	75-15	4,0	5,4
	$T_{\text{час, сред.}}=62-00$	$\tilde{\sigma}, \%_{\text{сред.}} = 3,1$	$\phi, \%_{\text{сред.}} = 5,1$

Поверхностное модифицирование приводит к увеличению термостойкости с 1800 до 2600 циклов и в целом позволяет в 2-5 раз повысить ресурс лопаток на двигателях различной конструкции (11).

2.5.6. Оборудование для изготовления литых заготовок лопаток турбины.

В настоящее время производство литых лопаток газовых турбин осуществляется по следующим технологическим вариантам.

1. Технология равноосного литья на установках плавильных с подогревом формы (УППФ).

2. Направленная кристаллизация на установке ПМП (печь методическая проходная) с температурным градиентом G менее $20^{\circ}\text{C}/\text{см}$.
3. Высокоскоростная направленная кристаллизация (ВНК) на установках типа УВНК с температурным градиентом $G = 60 - 80^{\circ}\text{C}/\text{см}$.
4. Направленная кристаллизация способом прямого электронагрева затвердевающей отливки.
5. В стадии опытного освоения находится способ высокоградиентной направленной кристаллизации (ВГК) на установках типа УВНЭС с температурным градиентом G более $200^{\circ}\text{C}/\text{см}$ (11).

Установка УППФ включает несколько функциональных блоков (рис.40.):

- блок плавильной камеры с индуктором 10, закрепленным на вращающейся платформе, обеспечивающей поворот плавильного узла при сливе металла в форму 3;
- блок шлюзовой камеры с печью подогрева литейных форм 11, обеспечивающей технологическую температуру формы в момент заливки металлом 1. Для загрузки формы под заливку шлюзовая камера откатывается от плавильной камеры;
- между шлюзовой и плавильной камерой расположен затвор 2, обеспечивающий герметизацию плавильной камеры при загрузке и выгрузке залитых литейных форм;
- блок загрузки шихты 5, обеспечивающий вакуумирование шихты и загрузку ее в тигель без разгерметизации плавильной камеры;
- с противоположной стороны от шлюзовой камеры на плавильной камере имеется крышка с запорами, смотровым стеклом и натекателями. Крышка открывается при обслуживании и ремонте плавильной камеры 4;

- блок вакуумной системы включает два форвакуумных (7) и один бустерный насос и обеспечивает создание разрежения в плавильной камере до $13 \cdot 10^{-3}$ мм рт.ст. (8);
- блок силового электропитания, обеспечивающий плавку металла (9):
- блок электропитания (6), обеспечивающий управление параметрами технологического процесса и их регистрацию.

Регистрируемыми параметрами технологического процесса с записью на самописец являются: глубина вакуума в плавильной камере, температура металла по ходу плавки (замеряемая радиационным или термоэлектрическим пирометром), температура металла перед сливом в литейную форму, замеряемая термопарой погружения, температура печи подогрева.

Технология получения лопаток с направленной кристаллизацией является дальнейшим развитием производства литых лопаток турбины.

Принципиальный технологический процесс осуществляется в проходных методических печах (ПМП) рис.41

Форму устанавливают в печь, перемещают её и при этом нагревают до температуры, превышающей точку плавления металла, заполняют расплавом и затем перемещают перпендикулярно направлению роста кристаллов через наклонный под углом f тепловой фронт печи. Между скоростью роста кристаллов $Y_{кр}$ и скоростью перемещения формы Y_z устанавливается взаимосвязь $Y_p = Y_{кр} \cdot \text{ctg } f$. Угол наклона, в зависимости от длины отливаемых лопаток, меняется в пределах 5-10 градусов.

Конструкция печи (рис.42) представляет собой ряд последовательных камер, при помощи которых осуществляется загрузка контейнеров с формами, их нагрев, плавка мерной шихты, заливка, кристаллизация залитой отливки в переменном по высоте и длине температурном поле, охлаждение контейнеров с залитыми формами, их выгрузка. Печь оснащена

вспомогательными системами: вакуумной, напуска аргона, гидравлической, пневматической, охлаждения.

Управление печью осуществляется тремя режимами:

- ручной;
- автоматический;
- автоматически от комплекса технических средств АСУТП.

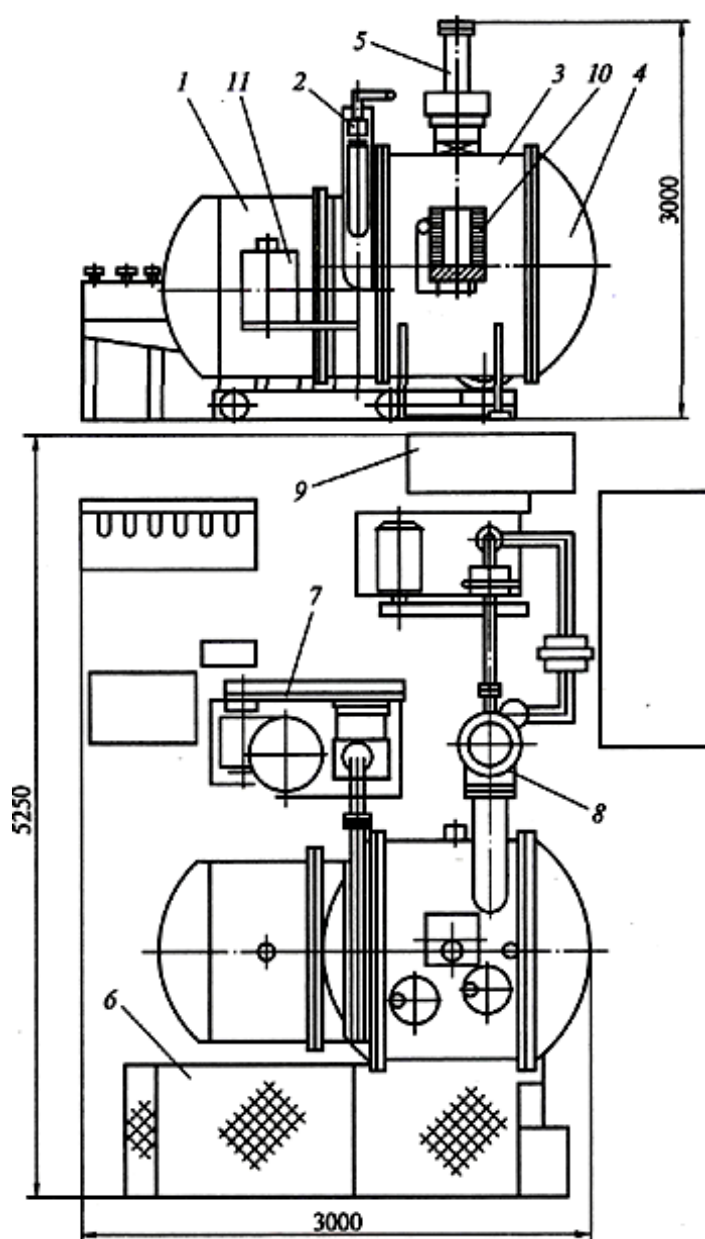


Рис.40. Схема установки УППФ

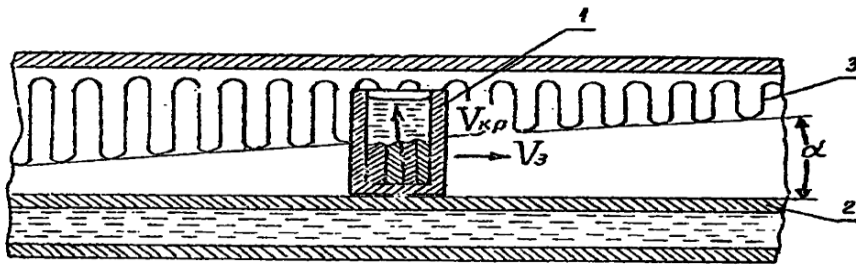


Рис.41. Технологическая схема непрерывной кристаллизации
в горизонтальной камере ПМП.

АСУТП решает следующие задачи:

- обеспечение требуемых режимов - температурных, вакуумных, временных;
- обеспечение автоматизированного контроля неисправностей основных узлов печи;
- устранение субъективных факторов при управлении и регистрации технологического процесса;
- предоставление оператору-технологу информации о ходе протекания технологического процесса и возможных перемещениях;
- повышение качественных характеристик изготавливаемых лопаток;
- показатели макроструктуры, механические характеристики и д.р.
- повышение выхода годного.

Недостатком печи является низкая скорость кристаллизации, что проявляется при получении в ряде случаев лопаток с равноосными зёрнами, а также трудности при отработке технологии вновь осваиваемых конструкций лопаток.

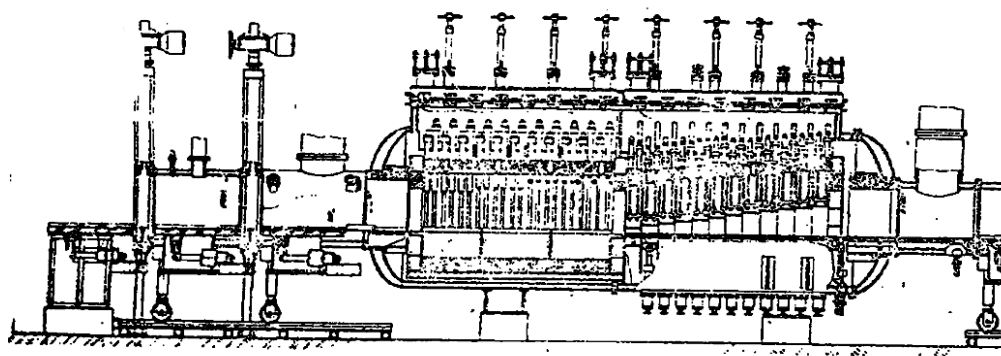
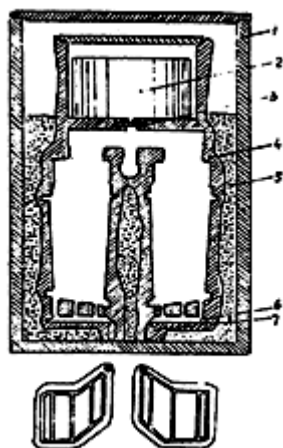


Рис. 42. Продольный разрез печи ПМП-2

Рис. 43. Схема плавки –заливки лопаток в печи

ПМП-2: 1 – опока; 2 –заготовка; 3 – стопор; 4 – форма; 5 – наполнитель; 6 – стартовая полость; 7 –затравка.

3.Высокоскоростная направленная кристаллизация (ВНК) на установках типа УВНК с температурным градиентом $G = 60 - 80^{\circ}\text{C}/\text{см}$.

Дальнейшим развитием способа направленной кристаллизации явилось применение высокоскоростной направленной кристаллизации, сущность которого заключается в охлаждении залитых лопаток в жидком металлоохладителе. Получение лопаток методом высокоскоростной

кристаллизации осуществляется в специальных установках УВНК (установка высокоскоростной направленной кристаллизации).

Установка УВНК (рис.44.) состоит из следующих основных узлов:

- плавильная вакуумная камера 1 предназначенная для размещения в жидкометаллического кристаллизатора 2,
- печь подогрева форм 3,
- каретки с подвесками форм 4,
- механизм вертикального перемещения форм 5.

Индукционная плавильная печь устанавливается на кронштейне и предназначена для плавки мерной шихтовой заготовки.

Печь подогрева форм - двухзонная, прямоугольной формы (в плане) .
Максимальная рабочая температура -1750 градусов.

Термопара погружения предназначена для замера температуры металла.

Блок откатной представляет собой тележку со сферической крышкой и предназначен для размещения конденсаторной батареи, печных трансформаторов, токоподвода и двухзонной печи, укрепленной на кронштейнах.

Механизм вертикального перемещения 5 обеспечивает подачу блоков форм из зоны нагрева и заливки в зону кристаллизации и обратно с заданной скоростью.

Вакуумно-газовая система обеспечивает создание рабочей среды в плавильной камере. Система состоит из форвакуумного и бустерного насосов, а также агрегатов управления системы.

Электрочасть предназначена для питания и управления установкой.

Шлюзовая камера обеспечивает возможность загрузки форм и выгрузки залитых блоков без нарушения вакуума в плавильной камере.

Загрузочное устройство, установленное на плавильной камере позволяет осуществлять загрузку мерной шихтовой заготовки в плавильный индуктор без разгерметизации плавильной камеры.

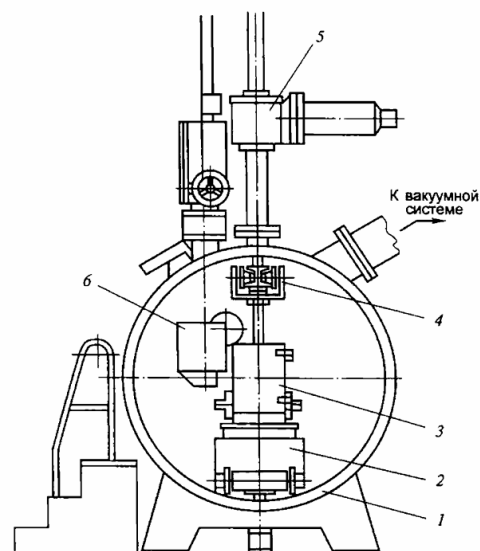
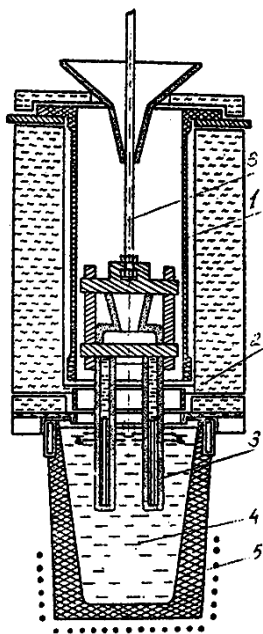


Рис. 44 Схема установки УВНК: 1- вакуумная плавильная камера, 2 - жидкометаллический кристаллизатор, 3- печь подогрева форм, 4-каретки с подвесками форм, 5- привод вертикального перемещения форм, 6- плавильный индуктор для плавки мерной шихтовой заготовки.

Производительность установки-144 лопатки в сутки.

Рис.45. Схема процесса для осуществления ВНК с жидкометаллическим охладителем и двухзонным нагревателем формы: 1-плавильная камера, 2- теплоизоляция, 3-керамическая форма, 4-расплав охладителя,6-подвеска для формы



Применение конвективного охлаждения формы в ванне относительно легкоплавкого металла позволяет повысить коэффициент теплоотдачи. Охладитель должен обладать низкой температурой плавления, малой величиной парциального давления при температурах контакта с формой, высокой температурой кипения, должен быть инертным по отношению к форме, иметь низкую стоимость.

В промышленности в качестве охладителя для высокоскоростной кристаллизации применяется алюминий марки А99.

Применение двухзонного нагревателя позволяет сократить расстояние между фронтами кристаллизации и охладителя до 15-20 мм. Недостатком установок УВНК является сравнительно низкая производительность (по сравнению с установками ПМП).

ОАО «Рыбинские моторы» разработан способ и создано оборудование для направленного затвердевания крупногабаритных лопаток турбины способом прямого электронагрева затвердевающей отливки.

Сущность способа направленного затвердевания лопаток газовых турбин, схема которого представлена на рис. 46, состоит в следующем. Литейная П-образная форма с открытым дном 1 устанавливается на двухсекционный кристаллизатор 2, каждая из секций которого является

электродом. В соответствии с традиционной технологией литья сталей и жаропрочных сплавов по выплавляемым моделям форма нагревается в печи 5 до 800...1000°C. После заливки формы замыкается цепь между электродами и

по отливке течет ток. Вблизи кристаллизатора образуется зона твердого металла 3. Так как удельное электросопротивление жидкого металла 4 примерно в 1,5...2,5 раза больше твёрдого, то жидкий металл разогревается интенсивнее, чем твердый. Для надежного сохранения жидкой зоны в прибыльной части отливки во время кристаллизации в устройстве предусмотрен индуктор б, который охватывает верхнюю литниковую систему и поддерживает металл в жидком состоянии. Так как температура печи подогрева форм ниже температуры плавления металла (солидуса сплава), то в области затвердевания происходит постоянный отвод теплоты отливки к поверхности печи. Это приводит к образованию положительного температурного градиента в области фронта затвердевания и созданию, таким образом, условий для направленного затвердевания. Принцип управления таким процессом основан на поддержании постоянной температуры жидкого сплава в верхней части отливки. В зависимости от значения температуры жидкого сплава возможны три состояния: плавление, затвердевание и динамическое равновесие, когда скорость затвердевания равна скорости плавления (нулевая скорость).

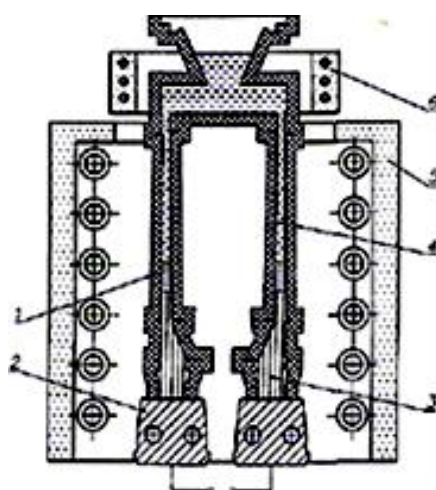


Рис.46. Схема устройства для направленного затвердевания.

Преимуществом предложенного способа направленного затвердевания по сравнению известными является возможность обеспечения процесса без вытягивания формы с отливкой из зоны нагрева, отсутствие графитовой нагревательной оснастки, теплоизоляционного керамического войлока, короткий технологический цикл.

Для изготовления крупногабаритных отливок лопаток турбины изготовлена специальная установка, схема которой представлена на рис.47.

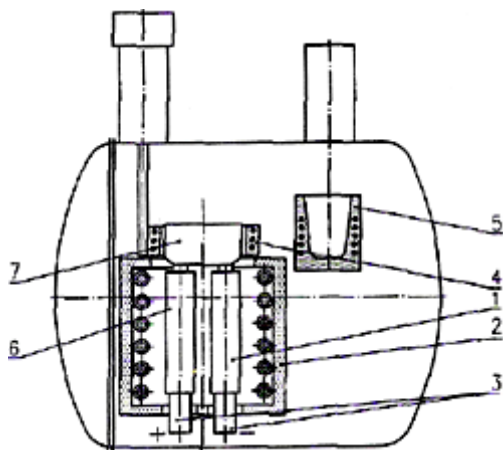


Рис.47.Схема плавильно-заливочной установки УПВ6-НК для отливки крупногабаритных лопаток турбины.

Принцип работы плавильно-заливочной установка УПВ6-НК следующий. Прокаленную литейную корундовую форму I, которая не имеет оболочки со стороны дна, извлекают из прокалочной печи при температуре 950°С и устанавливают в печь подогрева 2 установки с такой же температурой. Дном печи подогрева служит двухсекционный водоохлаждаемый кристаллизатор 3. Камера печи закрывается, на прибыльную часть отливки надевается специальный индуктор 4, производится откачка воздуха и плавка сплава в плавильном индукторе 5 печи. После расплавления металла на электроды - кристаллизаторы подают напряжение 5...12 вольт, заполняют литейную форму 6 сплавом и включают малый индуктор 4, окружающий заливочную чашу 7. При этом электрическая цепь между электродами замыкается, и через лопатки

проходит постоянный электрический ток силой от 10000 до 1500А в зависимости от момента времени кристаллизации в течение 30...40 мин.

Управление процессом ведется путем регулирования, как температуры печи подогрева, так и напряжения на электродах-кристаллизаторах.

Технологический цикл получения отливки из двух лопаток составляет 1...1,5 часа. Данный технологический процесс обеспечивает получение плотной структуры металла, которая достигается не только путем создания тепловых условий, но и благодаря электросиловому воздействию на металл в процессе его кристаллизации.

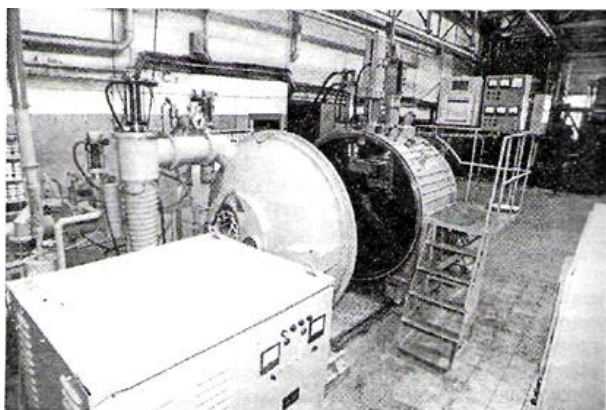


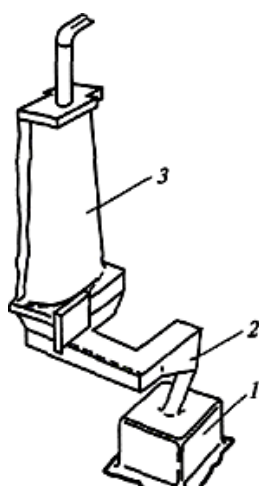
Рис.48. Внешний вид плавильно-заливочной установки УПВ6-НК

Проведенные испытания на образцах сплава ЧС88, полученных способом затвердеванием прямого электронагрева, отмечается повышение механических свойств сплава на 10% при испытаниях кратковременную прочность при температуре 600° С, на 140% увеличение пластичности, а время до разрушения при испытании на длительную жаропрочность при 900° С и напряжении 280МПа составило 170 часов, что на 70 часов превышает требования действующих технических условий(45).

2.5.7. Особенности получения турбинных лопаток с монокристаллической структурой

Для успешного решения проблем промышленного производства лопаток с монокристаллической структурой необходим комплексный подход, включающий: создание специальных жаропрочных сплавов; разработку высокоавтоматизированного литейного оборудования; развитие технологии: изготовления керамических форм; производства и контроля затравок; литья и кристаллизации отливок; совершенствование операций контроля макро- и микроструктуры, включая контроль кристаллографической ориентации лопаток.

Дальнейшее развитие технологии НК привело к разработке процесса получения монокристаллических отливок сложной формы. В основу способа положен принцип геометрического отбора одного кристалла из множества зародившихся и растущих от плиты-холодильника. Для осуществления такого отбора было разработано стартовое устройство, позволяющее «прорасти» в полость отливки только одному зерну с ориентацией [001] (рис.49а). В дальнейшем прямоугольные, многоповоротные литниковые ходы были заменены на спиральный литниковый ход, преимущественно в виде «геликоида» (рис.49 б).



а



б

Рис.49. Кристаллоотборник при литье монокристаллических лопаток ориентации [001]: а – схема 1 стартовое основание; 2 — многоповоротный канал для отбора одного кристалла из множества первоначально зародившихся; 3 — монокристаллическая лопатка); б — кристаллоотборник в виде геликоида.

Путем охлаждения тонкого искусственно созданного места, так называемого «стартового козырька», получают один зародыш, который «обегает» в дальнейшем по периферии слитка, распространяется затем по всей горизонтальной плоскости, не позволяя появиться другим зародышам. Для надежного получения заданной ориентации в место естественного зарождения вводится затравка из жаропрочного сплава. Для надёжного получения монокристалла на лопатках разрабатывают коническую «законцовку», показанную на рис.50.

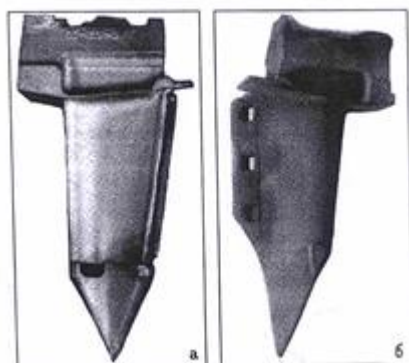


Рис.50. «Законцовка» пера лопатки (а) и стартовый конус и «валик» на выходной кромке, применяемые в серийном производстве монокристаллических лопаток.

Важнейшим элементом технологии получения монокристаллических отливок, заданной кристаллографической ориентации является применение затравок.

Затравки в основном используют из более тугоплавкого сплава, чем сплав отливки.

Литые заготовки монокристаллических лопаток турбины получают на установках направленной кристаллизации (в основном на установках ВНК) с использованием некоторых технологических приёмов.

Форма с затравкой должна располагаться в печи подогрева таким образом, чтобы затравка не могла полностью расплавиться, но и не была бы настолько холодной, чтобы выполнять роль обыкновенного холодильника.

Нагрев форм осуществляется до температур на 100—200°С выше температуры ликвидус сплава отливки. Чем выше эта температура, тем ниже вероятность появления «паразитных» зерен на монокристаллических отливках печах типа УВНК.

Температура расплава, заливаемого в форму из индукционной печи, тоже является важным фактором технологического процесса. Оптимальной является температура залитого в форму расплава, равная температуре оболочковой формы.

Требования к технологии и оборудованию

Технологический процесс серийного производства лопаток должен обеспечивать выход годного по структуре на уровне 90—95%. Это обеспечивается точным соблюдением технологии и надежной работой оборудования в течение длительного времени. Основными технологическими параметрами процесса являются:

- температура предварительного нагрева формы с находящейся в ней затравкой. Точность поддержания температуры должна быть не ниже 1% измеряемой величины, т.е. $< 15\text{—}16^{\circ}\text{C}$. Перепад температур в горизонтальных сечениях ППФ на всех уровнях должен обеспечиваться в пределах 1—2% от максимальной рабочей температуры;
- температура заливаемого в форму расплава и скорость заполнения формы крупногабаритных лопаток;
- скорость перемещения формы из зоны нагрева в зону охлаждения должна быть переменной, зависящей от площади поперечного сечения отливки, и поддерживаться с точностью $+ 1\%$ от измеряемой величины;
- градиент температур на фронте роста $> 50^{\circ}\text{C}/\text{см}$;
- высота твердожидкой зоны $< 10\text{ мм}$;
- исходное положение донной части формы в нагревателе ППФ ($> 70\text{ мм}$ от поверхности охладителя для установок типа УВНК-8П);
- применяемые шихтовые заготовки должны соответствовать требованиям на сплав и иметь определенную массу с допустимым отклонением $+ 100\text{ г}$;
- степень вакуума — в пределах 1—5 мкм рт. ст.

Все технологические параметры должны поддерживаться, управляться и фиксироваться с помощью специализированной компьютерной системы, являющейся неотъемлемой частью установки.

Кроме требований непосредственно к технологическому процессу литья и кристаллизации, важнейшими составляющими цикла производства лопаток являются керамические стержни (точность их изготовления, прочность, формоустойчивость); удаляемые модели; керамические оболочковые формы; контроль всех операций технологического процесса, включая контроль самих отливок.

Создание литниково-питающих систем

Основным элементом литниково-питающих систем при получении монокристаллических отливок является «стартовое основание», которое в дальнейшем стали называть «стартовым конусом», хотя конусом оно является только для цилиндрических образцов. Применительно к лопаткам без бандажных полок «стартовое основание» проектируется как продолжение профиля пера лопатки в виде его конической законцовки (рис.51.а)

Оптимальным углом при вершине конуса является угол в 30° . Однако при увеличении хорды лопатки высота «стартового основания» становится соизмеримой с высотой самой лопатки. Поэтому целесообразно сохранить угол в $\sim 30^\circ$ на высоте ~ 10 мм от вершины конуса, далее по плавной кривой вывести этот размер на величину, равную приблизительно ширине лопатки и плавно соединить образующую стартового основания с торцом лопатки. Общая высота стартового основания (без затравки) должна быть не менее 70 мм, что равно расстоянию между нижним срезом нижнего нагревателя уровнем охладителя в серийных установках типа УВНК. Эта высота выбирается из условия, чтобы неустановившаяся стадия процесса кристаллизации проходила в стартовом основании, в котором допускается развитие осе второго порядка. Часто образующие конуса выполняют прямолинейными. Криволинейные поверхности R1, R2 обеспечивают лучшие условия роста кристалла от затравки по двум причинам:

- в начальный момент роста обеспечивают меньший угол при вершине стартового основания, что облегчает прораствание кристалла в отливку:
- изменяют угол падения лучей от нагревателей, способствуя меньшему притоку тепла к развивающемуся фронту кристаллизации.

Переход от вершины «стартового основания» к затравке осуществляется двумя способами в зависимости от применяемых затравок:

- при использовании тугоплавких затравок - через цилиндрический переход диаметром 2 мм к цилиндру диаметром 8 мм и высотой 8—16 мм;
- при использовании затравок из того же материала, что и сплав отливки (т.е. сплав типа ЖС), затравка непосредственно заделывается в вершину стартового основания модели на глубину 5—8 мм. При этом должно быть обеспечено плотное прилегание модельной массы к затравке только в местах ее заделки. Остальная часть затравки должна быть очищена от следов модельной массы. Параллельность вертикальных осей затравки и модели обеспечивается пресс-формой.

Для лопаток с бандажной полкой стартовое устройство имеет более сложную геометрическую форму. Однако ее легко разложить на простые составляющие элементы, сконструированные так, чтобы обеспечить рост кристалла без зарождения новых зерен. Так, для лопатки с тремя лабиринтными гребешками на полке стартовое основание имеет вид, представленный на рис.51 б. Оно состоит из трех треугольных пластин, вершины которых соединены в одной точке диаметром 2 мм, а основания этих пластин, по ширине равные протяженности лабиринтных гребешков, присоединены к торцам соответствующих гребешков. Угол между крайними пластинами, образующими стартовое основание, не должен превышать 35° .

При литье монокристаллических лопаток с бандажной полкой, «опущенной» в сторону охлаждающей среды, как у входной, так и у выходной кромки, хорошие результаты обеспечивает стартовое устройство «коробчатого» типа, представленное на рис.51, в.(11).

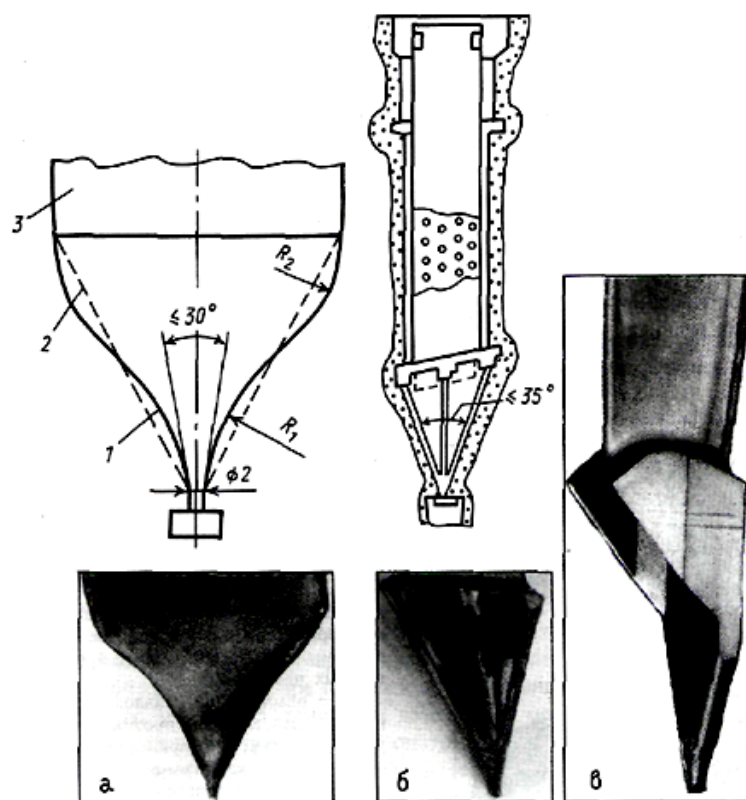


Рис.51 Стартовые устройства (схемы и общий вид) для получения монокристаллических лопаток: а -без бандажной полки: 1,2-оптимальный и допустимый вариант профиля стартового устройства соответственно; 3 - профиль пера лопатки; R_1 и R_2 - радиусы, образующие профиль; б, в — с бандажной полкой (б - с тремя лабиринтными гребешками на ней); в — с отрицательным углом наклона части полки к горизонтальной плоскости фронта роста.

2.5.8. Направления развития конструкции и технологии литья лопаток с монокристаллической структурой

Для повышения температуры газа на входе в турбину 2200—2300 К необходимы новые конструктивные и технологические решения. Одним из перспективных решений является создание лопаток турбины с проникающей (транспирационной) системой охлаждения. Для создания такой конструкции

лопаток требуется разработка новых жаропрочных материалов. Создание таких материалов позволит создать «стехиометрический» двигатель, в котором температура газа в камере сгорания достигнет теоретической температуры горения топлива. При одинаковой рабочей температуре для работы деталей с проникающей системой охлаждения (в силу ее эффективности) требуется на 30—50% меньшее количество охлаждающего воздуха, чем для деталей, с традиционными видами охлаждения. Если же для охлаждения использовать одинаковое количество охлаждающего воздуха, то детали с проникающей системой охлаждения будут работать при более низкой температуре, что позволит увеличить их ресурс в 2—4 раза по сравнению с ресурсом деталей с иными системами охлаждения. По мнению зарубежных экспертов, материалы с проникающей системой охлаждения будут определять облик ГТД XXI века (11).

В новом литом жаропрочном материале с проникающей системой охлаждения используются последние достижения в трёх областях:

- разработка конструкций эффективной проникающей системы охлаждения;
- создания сверхжаропрочных литейных сплавов;
- технологии монокристаллического литья.

На рис.52 представлены фотографии опытных монокристаллических лопатой проникающим охлаждением: авиационная лопатка (а), система охлаждения которой получена с помощью закладных керамических элементов: лопатка энергетической турбины (б), полости для охлаждения стенки которой выполнены дополнительными керамическими вставками, изготовленными по и технологии керамических стержней; лопатка ГТУ (в), входная кромка которой на высоте 50 мм имеет проникающую систему охлаждения, сформированную «гибким» керамическим стержнем с двухсторонними штырьками.

Направлением дальнейшего развития монокристаллического литья является высокоградиентная направленная кристаллизация.

Развитие авиационного двигателестроения наряду с необходимостью постоянного повышения эксплуатационных свойств жаропрочных сплавов для рабочих лопаток ГТД требует совершенствования существующих и создания новых технологий. Способ направленной кристаллизации позволил значительно повысить свойства используемых жаропрочных сплавов вследствие устранения поперечных границ зерен.

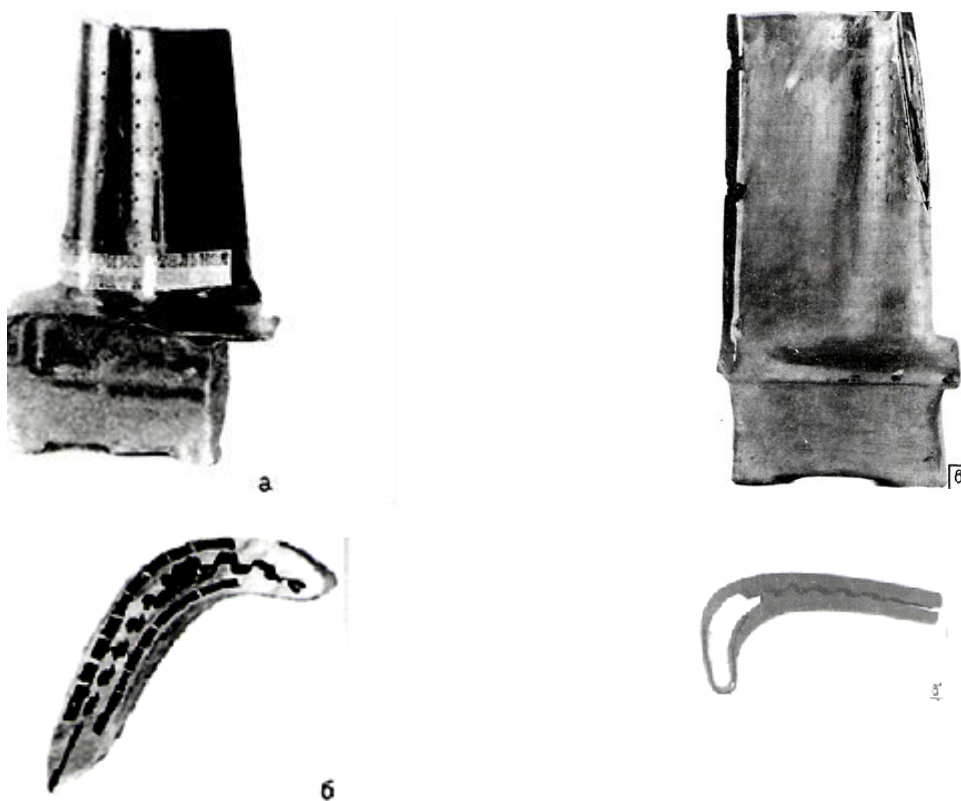


Рис.52. Лопатки с проникающей (транспирационной) системой охлаждения.

Естественным развитием этой технологии стал способ получения монокристаллической структуры, позволивший вследствие полного устранения границ зерен решить проблему межкристаллитной прочности

улучшить эксплуатационные характеристики рабочих лопаток ГТД.

Последующие исследования, направленные на поиск оптимальных параметров процесса направленной кристаллизации позволили установить, что повышение температурного градиента на фронте кристаллизации содействует получению более качественной структуры жаропрочного сплава. Используя, способ литья по выплавляемым моделям жаропрочных сплавов и применяя определённые технологические приёмы и специальное оборудование возможно получать литые лопатки турбины ГТД с заданной структурой и соответственно получать заданные их эксплуатационные свойства.

Технологические процессы изготовления отливок лопаток с заданной структурой автоматизированы и механизированы с применением компьютерного управления.

2.5.9 Контроль качества литых охлаждаемых лопаток

Литые охлаждаемые лопатки имеют сложную форму, характеризующуюся переменной толщиной, криволинейными поверхностями переменной кривизны, закруткой вдоль оси, и внутренний рельеф, характеризующийся наличием штырьков, перемычек и перегородок, что очень усложняет проведение неразрушающего контроля.

Для обеспечения заданной надёжности двигателя надёжность лопаток должна быть на порядок выше, поэтому и контроль их должен проводиться на самом высоком уровне требований к качеству

Рентгенографический метод

100% литых охлаждаемых лопаток из жаропрочных сплавов подвергают рентгенографическому контролю с целью обнаружения таких дефектов объёмного характера, как остатки керамики, пористость,

инородные включения, искажения геометрии внутренних полостей системы охлаждения и т. д.

Физической сущностью метода контроля является ослабление мощности дозы рентгеновского излучения, взаимодействующего с материалом объекта контроля, в зависимости от плотности материала и толщины объекта контроля.

Практическую оценку чувствительности осуществляют с помощью индикаторов качества изображения (эталонов чувствительности), искусственно задающих изменение просвечиваемой толщины. Наборы эталонных проволок, канавок или отверстий на пластине, выполненные из того же материала, что и контролируемый объект, располагают на его поверхности и проводят экспонирование. По изображению минимальных элементов эталона на рентгеновском снимке судят о достижимой чувствительности контроля.

Для литых охлаждаемых лопаток, имеющих переменное сечение и двухстороннюю кривизну поверхностей применяют контрольный образец, представляющий собой лопатку исследуемой партии со сдвоенными отверстиями диаметрами: 0,25; 0,5; 1,0; 2,0; 2,5 мм. Глубина отверстий равна их диаметру. Отверстия расположены в критических зонах (на входной и выходной кромках, в зоне перехода от пера к замку, в полке и т.п.).

Капиллярный метод

Одним из наиболее чувствительных методов НК является метод проникающих жидкостей (капиллярный метод). Сущность метода заключается в том, что на предварительно очищенную поверхность контролируемой детали наносится слой индикаторной жидкости пенетранта). Под воздействием капиллярных сил жидкость проникает в поверхностные дефекты и удерживается в них, благодаря капиллярному давлению,

возникающему в полости трещины (рис.53. а). Через промежуток времени, необходимый для заполнения полости дефекта индикаторной жидкостью, ее остатки удаляют с поверхности детали, причем часть проникшей жидкости остается в дефектах (рис.53. б). Затем на деталь наносится проявляющий состав (проявитель). За счет сорбционных сил часть оставшегося в полостях дефектов пенетранта извлекается проявителем, образуя на поверхности последнего индикаторный след (рис.53. в). Ширина индикаторных следов в десятки раз больше, чем раскрытия поверхностных трещин. Это даёт возможность видеть следы невооруженным глазом и судить о наличии невидимых до этого трещин. Улучшению видимости следов дефектов способствует также высокая контрастность их на фоне поверхности контролируемой детали.

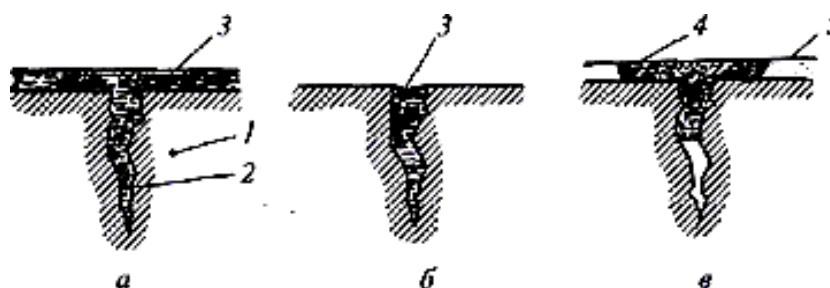


Рис.53 Принципиальная схема капиллярного контроля:

1 — контролируемый объект; 2 — полость трещины; 3 - пенетрант; 4 след дефекта; 5 — проявитель

В качестве пенетранта применяют либо красители, либо люминесцентные жидкости, обладающие высокой проникающей способностью. При использовании люминесцентных пенетрантов осмотр деталей осуществляют под ультрафиолетовым освещением. При этом индикаторные следы за счет явления люминесценции светятся, в то время как вся остальная поверхность деталей остается темной. В зависимости от типа

пенетранта капиллярная дефектоскопия делится на цветную и люминесцентную.

Высокая чувствительность капиллярного метода контроля позволяет в производственных условиях выявлять трещины, расслоения, рыхлоты и поры шириной раскрытия на поверхности менее 1 мкм. Метод применяется при 100%-ном контроле лопаток.

Ультразвуковой метод Ультразвуковой метод основан на регистрации изменения параметров (амплитуды, фазы, частоты) ультразвуковой волны, проходящей через контролируемую деталь, либо на регистрации ее скорости (времени) прохождения через материал. В первом случае ультразвуковой метод используется для определения структурных границ, выявления несплошностей, включений и других дефектов; во втором – для измерения толщины контролируемой детали. Таким образом, основные области применения ультразвукового метода - дефектоскопия и толщинометрия.

Контроль на выявление трещин и других несплошностей в лопатках проводят ручным способом по шаблонам или с использованием механизированных средств точной установки преобразователей.

Ультразвуковой метод контроля обеспечивает выявление дефектов по отражательной способности ультразвуковых колебаний эквивалентных контрольным отражателям в виде прорезей; в зоне стенки лопатки толщин от 1 до 1,9 мм, глубиной $0,7+0,05$ мм, протяженностью $5 \pm 0,5$ мм, шириной $0,1 \pm 0,05$ мм; в зоне стенки лопатки толщиной более 1,9 мм: $1+0,5$ $5 \pm 0,5$ мм, $0,1 \pm 0,05$ мм соответственно.

Метод рентгеновской вычислительной томографии

Для получения объёмного изображения контролируемого объекта необходимо провести многократное просвечивание с последующей обработкой изображений. Такую задачу решает томограф.

В современном томографе обработка информации, получаемой при просвечивании объекта, перемещающегося относительно источника и преобразователя, осуществляется на ЭВМ. Это позволяет получать послойное и объёмное изображения; выделять аномальные участки и измерять их координаты; получать изображение, окрашенное в различные цвета; получать изображение с увеличением или уменьшением. Схема томографа представлена на рис.54.

Тепловизионный метод Из-за сложной технологии изготовления охлаждаемых лопаток не исключается возможность появления дефектов в системе охлаждения (засорение каналов керамикой, уход размеров и смещение каналов, залив отверстий и т.д.) уже в процессе производства

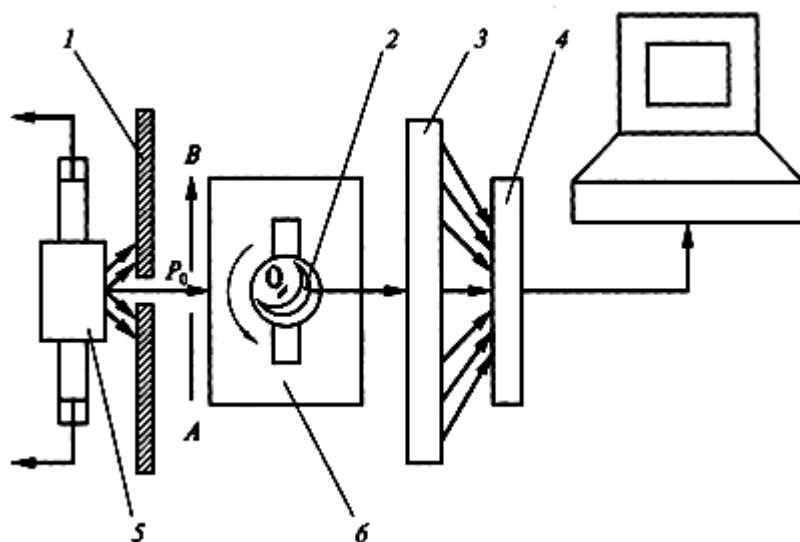


Рис.54. Структурная схема томографа:

1 - коллиматор; 2 - объект контроля; 3 - детектор излучения; 4- ЭВМ; 5- источник излучения; 6 - устройство перемещения объекта контроля

Обнаружить дефекты в системе охлаждения, приводящие к локальному нарушению однородности теплового поля на поверхности лопатки, а также определить эффективность системы охлаждения, в частности ее степень и равномерность, можно путем изучения аномалий температурного поля, возникающих при достаточно интенсивном нагреве (охлаждении) лопатки воздушным потоком через ее систему охлаждения.

Тепловые методы основаны на взаимодействии теплового поля объекта с термометрическими чувствительными элементами (термопарой, фотоприемником, термоиндикатором и т.д.) и преобразовании параметров поля (интенсивности, температурного градиента и др.) в параметры электрического или другого сигнала и передаче его на регистрирующий прибор. При тепловизионном методе термометрическим элементом является фотоприемник тепловизора, который регистрирует инфракрасный (ИК) поток с поверхности контролируемого объекта. С учетом излучающей способности данной точки объекта поступающий от нее на фотоприемник тепловизора ИК поток пропорционален температуре в этой точке, то есть тепловизор на своём мониторе позволяет получить изображение (термограмму), воспроизводящее температурное поле поверхности контролируемого объекта (59).

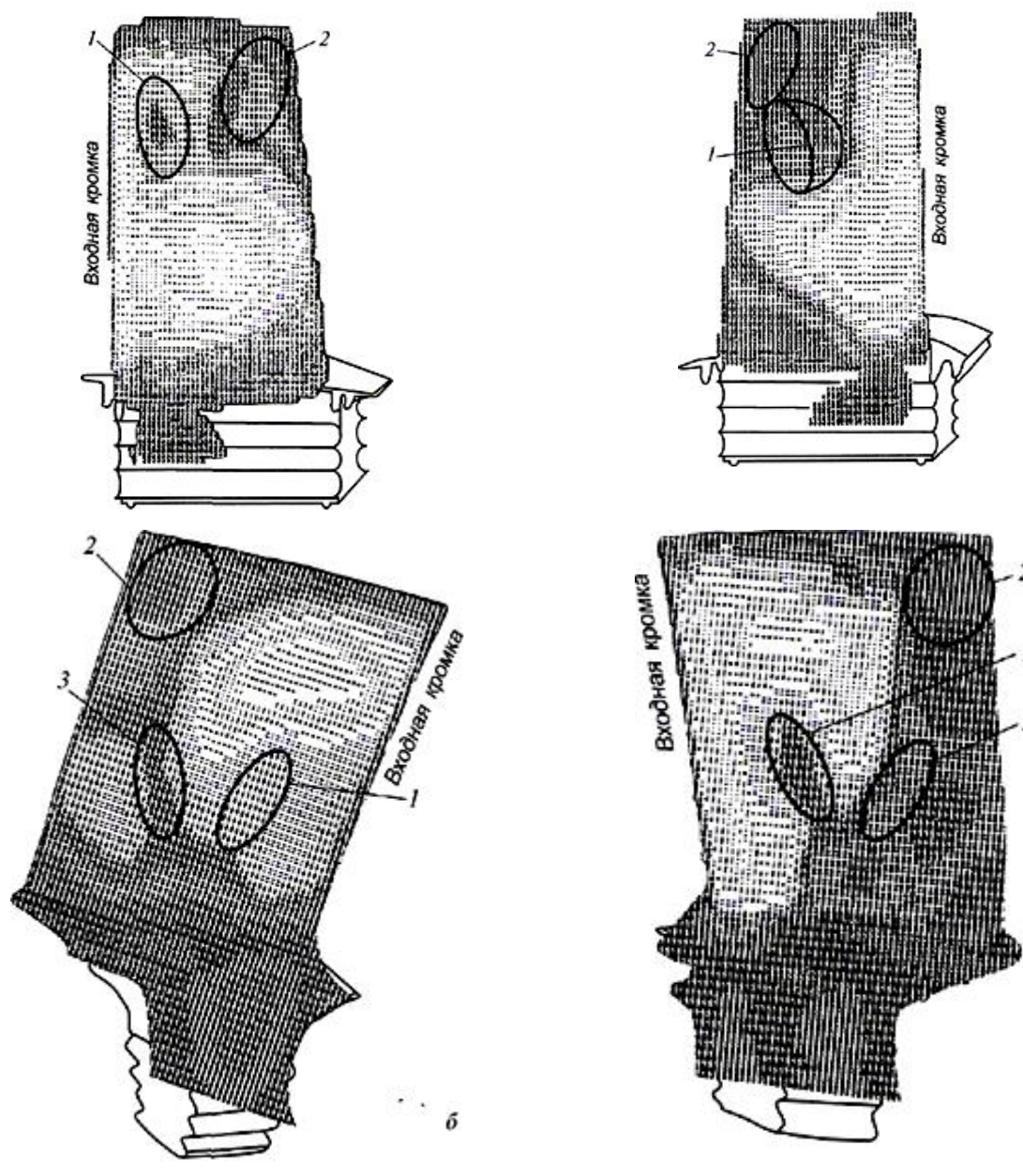


Рис. 55. Символьная распечатка термограммы спинки и корыта лопаток двигателя АЛ31Ф (а) и фирмы «Pratt and Whitney» (б)

На этих распечатках каждому символу соответствует перепад $0,2^{\circ}\text{C}$. Видно, что на обеих лопатках имеются характерные зоны, например зона 3 у лопатки фирмы «Pratt and Whitney» и зона 1 на лопатке АЛ31Ф. В зоне 2 на обеих лопатках наблюдается существенное уменьшение (до 20 %)

эффективности работы системы охлаждения. Вместе с тем градиент температур в зоне превышает $1,5^{\circ}\text{C}/\text{мм}$ при экспериментах без внешнего обдува и в 3 раза меньше при внешнем обдуве, так как перед этой зоной на лопатке находится ряд перфораций, образующих в зоне 1 пограничный слой более горячего газа в модельных двигателях и более холодного - в реальных.

При общем сравнении система охлаждения лопатки фирмы «Pratt and Whitney» более активно работает в средней и верхней зонах лопатки, а лопатки изделия АЛ31Ф - в средней и нижней.

Электропотенциальный метод

Физической основой электропотенциального метода является изменение электрического сопротивления на участке, по которому пропускают ток, при появлении на нем поперечных направлению тока трещин или изменении его геометрических размеров.

Сущность электропотенциального метода состоит в следующем. На зачищенную электропроводящую поверхность устанавливаются на определенном расстоянии один от другого четыре электрода, смонтированные в преобразователе. Два из этих электродов являются токовыми - по ним пропускают ток от источника переменного или постоянного тока, а два других электрода (потенциальных) — измерительными и используются как начальное звено цепи, служащей для определения электрического сопротивления участка испытуемой детали. Так как величина сопротивления на участке контролируемой стенки между двумя потенциальными электродами определяется не только свойствами материала (его удельным электрическим сопротивлением), но и конфигурацией и размерами измеряемого участка, то при соответствующих условиях электропотенциальный метод применяется для измерения толщины стенок металлических листов и пустотелых деталей.

Реолого-резистивный метод

Реолого-резистивный метод основан на способности тел оказывать реологические сопротивления внешним воздействиям. Метод позволяет определять прочностные свойства на натурных объектах.

Метод был применен для интегральной оценки годности керамических стержней. При их изготовлении возможно образование трещин, включений, между тем от стержней зависит качество изготовления лопаток. Учитывая то, что в технологическом процессе в наибольшей степени на стержень воздействуют изгибающие усилия, для нагружения использована схема изгиба консольной балки сосредоточенным усилием, приложенным к свободному концу. Керамические стержни из-за достаточно высокой хрупкости являются сложными объектами для контроля данным методом, поэтому для реализации метода разработано специальное устройство (рис.56.), включающее блок крепления 1, нагружения 2 и регистрации деформационных смещений. В блоке крепления предусмотрено ограничение давления крепежа на стержень 3. Использована оптическая система регистрации деформационных смещений: на стержень укреплен зеркальный отражатель 4, на который направлялся луч лазера 5. Регистрация деформационных смещений осуществляется путем измерения по шкале 6 величины смещения отраженного луча, которая коррелируется с деформационным смещением стержня в точке крепления отражателя.

В таблице 22 приведены результаты измерения смещения отражённого луча и рассчитанные по ним углы поворота оси стержня, а также указан характер дефекта, обнаруженного контролёром визуальным методом.

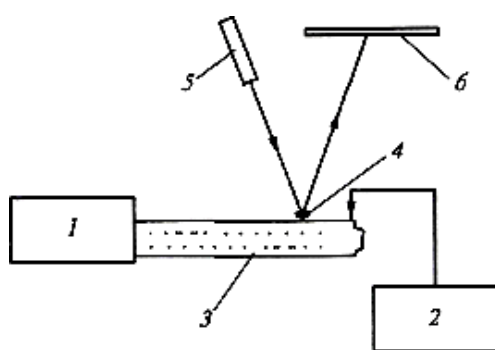


Рис.56. Схема устройства для контроля керамических стержней реолого-резистивным методом: 1-блок крепления, 2-блок нагружения, 3-керамический стержень, 4-отражатель, 5-лазер, 6-измерительная шкала.

Табл.22.

Величина сигнала в зависимости от характера дефекта

Образец №	Смещение луча по шкале, см	Угол поворота оси стержня, рад	Характер дефекта
1	2.1	0,021	Трещина
2	1.9	0,019	Трещина
3	1.3	0,013	Незапрессовка
4	1.4	0,014	Незапрессовка
5	1.0	0,010	Включение
6	1.8	0,018	Включение и трещина
7	1.5	0,015	Утяжка
8	1.3	0,013	Утяжка
9	1.6	0,016	Утяжка
Контрольный (бездефектный)	0,8 – 1.0	0,008 – 0,010	-

Для повышения качества литых лопаток турбины ГТД проводится также контроль механической прочности стержней и оболочковых форм на образцах, изготовленных по технологическим процессам стержней и оболочковых форм.

Проводится контроль температуры начала деформации керамики на специальной установке.

Проверяется также плотность, пористость, водопоглощение керамических материалов.

2.6. Литьё в кокиль

Литьё в кокиль (ГОСТ 18169-86) – это процесс получения отливок свободной (под действием сил тяжести) заливкой расплавленного металла в металлические формы – кокили.

Сущность процесса заключается в многократном применении металлической формы, имеющей гораздо более высокую стойкость, чем обычная песчано-глинистая. Полости в отливке выполняют при помощи металлических или песчаных стержней, которые извлекают из отливки после её затвердевания и охлаждения до заданной температуры.

Литьё в кокиль нашло применение в производстве отливок из серого и высокопрочного чугунов, алюминиевых, магниевых, цинковых и медных сплавов. Известно изготовление деталей в кокиль из чугуна с вермикулярным графитом, а также из стали. Масса отливок изменяется от единиц до сотен и даже нескольких тысяч килограммов. Конструкции отливок получаемые литьём в кокиль разнообразны. Это простые по форме отливки типа опорных плит, колосников, болванок и втулок и сложные — типа картеровдвигателей, головокблоковцилиндров, ребристых корпусов электродвигателей. Литьем в кокиль получают детали с особыми эксплуатационными свойствами - повышенной герметичностью, износостойкостью, окалиностойкостью и др.



Рис.57. Типовые отливки, изготавливаемые литьём в кокиль

По сравнению с литьём в песчано-глинистые формы, литьё в металлические формы имеет ряд преимуществ:

- многократное использование формы;
- повышение точности отливок, уменьшение шероховатости поверхности позволяет снизить припуски на механическую обработку;
- увеличение выхода годного до 75—95%;
- повышение механических свойств на 15—30 %;
- исключение трудоёмких операций формовки, сборки и выбивки форм,
- повышение съёма литья с 1м² производственной площади в 2 – 4 раза,
- повышение производительность труда в 3 – 4 раза.

В следствие вышеуказанных преимуществ, себестоимость отливок снижается на 10 – 15 % (в условиях крупносерийного производства).

Вместе с тем изготовление отливок в металлические формы имеет и свои сложности:

- неподатливость и не газопроницаемость формы;
- плохая заполняемость формы металлом вследствие его большой теплоотдачи и быстрой потери жидкотекучести при заливке;
- трудно получать отливки с поднутрениями и отливки с тонкостенками;
- высокая стоимость литейных форм, сложность и длительность их изготовления.

Экономическая целесообразность литья в металлические формы во многом зависит от стойкости форм, их долговечности и стоимости.

Наибольшее распространение для литья в кокиль получили цветные сплавы, имеющие более низкую температуру плавления, а, следовательно, более высокую стойкость форм. Серийность при литье в кокиль должна

составлять не менее 20 крупногабаритных отливок или более 400 мелких чугунных отливок в год, а при литье из алюминиевых сплавов –400—700 отливок в год.

При проектировании детали для литья в кокиль необходимо учитывать особенности формирования отливок:

- интенсивность теплообмена между отливкой и кокилем в 3—10 раз выше, чем при литье в разовые песчано-глинистые формы;
- металл отливок имеет более мелкую структуру, что повышает их механические свойства;
- высокая скорость охлаждения может привести к неравномерным по сечению стенки отливки свойствам.

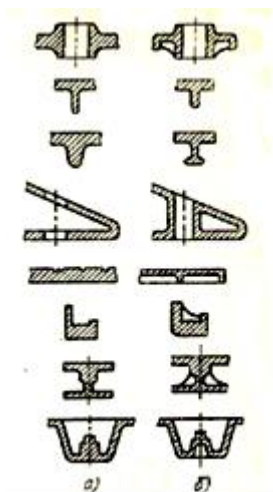
Схема литья в кокиль представлена на рис.58.

Общие требования к отливкам, получаемым в кокилях следующие: габаритные размеры отливок должны быть как можно меньшими, а их конфигурация должна обеспечивать возможность использования кокилей с плоскими разъемами и металлическими стержнями (для оформления внутренних полостей отливок), число формы и число стержней быть минимальными;

Необходимо предусмотреть обтекаемую конфигурацию отливок, т. е. конфигурацию без острых углов, резких переходов от одной поверхности к другой, без высоких ребер к выступов, глубоких отверстий и карманов;

Правильно выбирать толщины и уклоны стенок отливок, чтобы обеспечить заливку и условия питания всех элементов;

В отливках должно быть предусмотрено такое сочетание конструктивных элементов, при котором уменьшается торможение усадки и обеспечивается легкая разборка формы.



Чем полнее конструкция отливки удовлетворяет перечисленным требованиям, тем она технологичнее. Примеры нетехнологичного и технологичного выполнения элементов отливок в кокиль и примеры улучшения конструкций отливок приведены на рис.58. Схема литья в кокиль представлена на рис.59.

Рис. 58. Конструктивные элементы отливок: а- нетехнологичные, б- технологичные.

Минимальные толщины стенок отливок δ_1 , получаемые в кокилях рекомендуется принимать по табл. 23., уклоны стенок отливок по табл.24., предельные размеры отверстий, получаемых в отливках представлены в табл.25. (12).

Радиусы закруглений при сопряжении стенок. Радиус закруглений при угловом сопряжении стенок принимают равным $R = (\delta_1 + \delta_2)/2$, при этом для чугуна $R > 3$. Для уменьшения внутренних напряжений в равностенных крестообразных сочленениях отливок из высокопрочного чугуна $R < \delta_1$. В случае разностенного крестообразного сочленения R должен быть не более толщины тонкой стенки.

В металлических формах целесообразно изготавливать отливки с повышенными требованиями к герметичности.

Минимальное физико-химическое взаимодействие материала отливки и формы способствует повышению качества поверхности отливки и полностью устраняет пригар. Высокая прочность материала металлической формы позволяет получать отливки с точностью до 15-го качества. Параметр шероховатости отливки может достигать $R_z = 80\text{—}20\text{ мк}$.

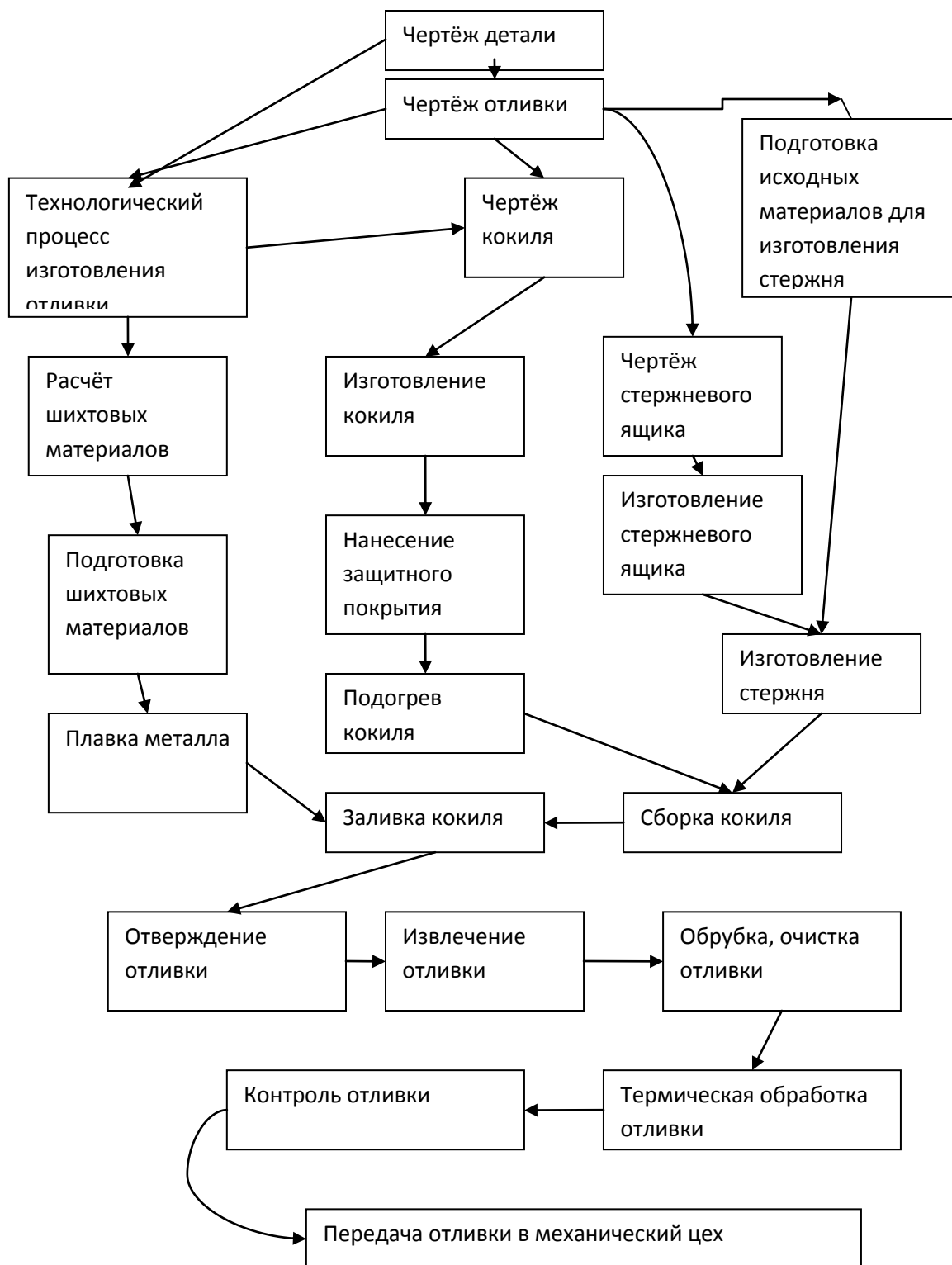


Рис.59. Схема технологического процесса литья

Минимальное физико-химическое взаимодействие материала отливки и формы способствует повышению качества поверхности отливки и

полностью устраняет пригар. Высокая прочность материала металлической формы позволяет получать отливки с точностью до 15-го качества. Параметр шероховатости отливки может достигать $R_z = 80\text{—}20\text{ мк}$.

Таблица 23.

Минимальная толщина стенок отливок

Материал отливки	Параметр стенки отливки	
	Площадь поверхности см^2	Минимальная толщина B_1 мм
Чугун	До 25 25 – 125	4 – 6 6 – 7
Сталь	25 – 125	8 – 10
Алюминиевые сплавы	100 – 250	2,2 – 4,0
	250 – 900	2,5 – 4,5
	Св. 900	3,5 – 5,5
Магниевого сплавы	До 30	3
Бронза	До 30	4 – 6

Таблица 24.

Уклоны стенок отливок

Материал отливки	Уклон поверхности отливки, %		
	Наружный	Внутренний (со стороны металлического стержня) при высоте стенки, мм	
		До 50	Св. 50
Чугун	1,0 – 7,0	-	-
Углеродистая сталь	5,0	-	-
Алюминиевые сплавы	1,0 – 1,5	5,0	2,0 – 2,5
Магниевого сплавы	2,5	3,0	2,0 – 3,0
Медные сплавы	1,5	7,0	3,0 – 3,5
Цинковые сплавы	0,5	2,0	1,0

Примечание.

Уклон стенки отливки из чугуна зависит от её высоты.

Высота стенки, мм	До 50	51 – 100	101 – 500
Уклон, % высоты стенки	4,0 – 7,0	2,0 – 5,0	1,0 – 3,0

Таблица 25.

Пределные размеры отверстий, получаемые в отливках.

Материал отливки	Минимальный диаметр, мм	Максимальная длина отверстий		Уклон стержня, % его длины
		Глухих	Сквозных	
Чугун и медные сплавы	10	$(1,5+2,0)*d$	$(2,0+3,0)*d$	1,5
Углеродистая сталь	12			
Алюминиевые сплавы	8	$2,0*d$		
Цинковые сплавы	6	$(2,0+3,0)*d$	$(3,0+6,0)*d$	2,0 – 3,0

Для сборки и разборки кокилей применяются стационарные и нестационарные кокильные машины с вертикальным и горизонтальным разъёмами. Нестационарные кокильные машины применяются в массовых производствах.

Процесс литья в кокиль может быть полностью автоматизирован, начиная с операции подачи жидкого расплава в кокиль и кончая выдачей литой заготовки из формы.

Для получения литых отливок со стабильными качественными показателями необходимо термостатировать кокили.

При изостатической обработке кокильных отливок их свойства приближаются к деформированным заготовкам. Целесообразно применять изостатическую обработку для нагруженных литых деталей с повышенными требованиями по герметичности.

Одним из направлений развития литья в кокиль является изготовление графитовых кокилей для плавки цветных и чёрных сплавов, в том числе тугоплавких.

На практике для литья тугоплавких сплавов с температурой 2500 – 3500⁰С в качестве материала формы, в том числе материала кокиля, применяют исключительно только графиты.

Другим эффективным направлением развития кокильного литья является применение автоматизированной системы управления технологическим процессом.

2.7. Литьё под регулируемым перепадом газового давления

К литью под регулируемым перепадом газового давления относятся три способа литья. Схемы способов литья представлены на рис.60.

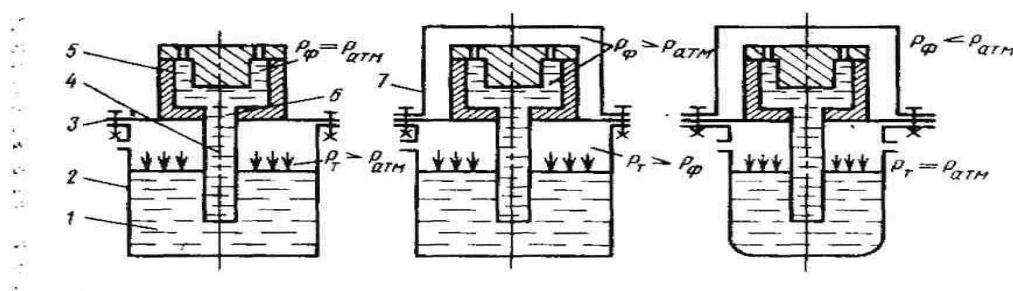


Рис.60. Схемы способов литья

а—под низким давлением; б— с противодавлением; в — вакуумным всасыванием; 1- расплав; 2 — камера, герметизирующая тигель с расплавом; 3 — крышка камеры; 4 - металлопровод; 5 — литейная форма; 6 — литник; 7 — камера, герметизирующая форму

1. При наличии в полости формы давления газа, соответствующего атмосферному ($P_{\phi} = P_{атм}$), заливка осуществляется благодаря избыточному давлению газа ($P_{изб} > P_{атм}$) над зеркалом расплава в тигле

$$\Delta P = P_{т} - P_{\phi} = P_{изб} - P_{атм},$$

где P_T – давление над зеркалом расплава в тигле.

Этот способ получил название литья под низким давлением (ЛНД).

2. При давлении газа в полости формы, превышающим атмосферное давление ($P_\phi > P_{атм}$), для надёжного заполнения литейной формы расплавом перепад давлений над зеркалом расплава в тигле должен составлять

$$\Delta P = P_T - P_\phi = P_{изб} - (P_{атм} + \Delta P_\phi).$$

Способ заполнения форм расплавом вопреки препятствию находящегося в её полости сжатого газа (ΔP_ϕ) получил название литья с противодавлением (ЛПД).

3. Способ литья вакуумным всасыванием (ЛВВ) основан на прямо противоположном эффекте — устранении противодавления газа в полости формы путём её вакуумирования и достижения соотношения

$P_\phi < P_{атм}$ - В итоге жидкий металл поступает снизу вверх полость формы под действием перепада давлений:

$$\Delta P = P_T - P_\phi = P_{атм} - P_{изб}.$$

Скорость заполнения форм жидким металлом при всех рассматриваемых способах литья зависит от скорости нарастания ΔP во времени t

2.7.1. Литье под низким давлением

При литье под низким регулируемым давлением (ЛНД) (рис. 60. а) тигель (ковш) с жидким металлом помещают в корпус, который герметично закрывают крышкой с встроенным в нее металлопроводом. Литейную форму устанавливают над заливочным устройством и стыкуют посредством литника (питателя) с верхним торцом металлопровода. Нижний торец, герметичного металлопровода погружают до заданного уровня в тигель с жидким металлом.

В отличие от большинства известных способов литья, основанных на заливке дозы жидкого металла непосредственно в форму или в промежуточное заливочное устройство [например, камеру прессования машин литья под давлением (ЛД)], в условиях ЛНД жидкий металл, находящийся в тигле, металлопроводе и полости литейной формы, в течение всего процесса формирования отливки составляет единую гидравлическую, тепловую, силовую и концентрационную замкнутую систему.

Способ ЛНД имеет следующие преимущества.

Повышаются качества отливок за счёт:

- улучшения условия длительного термостатирования расплава, так как тигель расположен в закрытой теплоизолированной и обогреваемой камере агрегата заливки;
- точного дозирования жидкого металла и его транспортирования в полость литейной формы, выполняющей функции дозатора;
- снижения окисленности жидкого металла и исключения вероятности захвата шлака и флюса с зеркала расплава в тигле, так как жидкий металл забирается металлопроводом с заданного уровня и отсутствует его открытый перелив в процессе заполнения форм.

Снижается расход металла и упрощается литниково – питающая система за счёт:

- возможности управления гидродинамическими параметрами процесса заполнения полости форм расплавом в результате изменения по заданной программе скорости нарастания перепада давлений, что в свою очередь, позволяет предельно упростить конструкцию литниково-питающих систем (ЛПС) при одновременном улучшении качества заполнения форм жидким металлом;
- повторного использования сливаемых из него остатков незатвердевшего

расплава; что позволяет сократить расход жидкого металла на литниково-питающую систему в 3—10 раз (по сравнению со свободной заливкой в кокиль).

Повышаются механические свойства отливок за счёт:

- повышения плотности литого металла в результате устранения газовой пористости и усадочных дефектов при принудительном питании затвердевающей отливки под избыточным давлением жидкой фазы;
- увеличения на 20 – 30% скорости затвердевания, благодаря интенсификации под действием перепада, что способствует измельчению структуры металла отливки. Повышение плотности и измельчение структуры литого металла сопровождается ростом прочностных (на 15—25%), пластических (в 1,5- 2 раза) и эксплуатационных (циклическая прочность, коррозионная стойкость, износ и др.) свойств.

В 1,5—2 раза увеличивается производительность труда за счёт сокращения продолжительности затвердевания отливки и отсутствия затвердевающих прибылей;

Повышается точность размеров отливок на 1—2 класса по сравнению с кокильным литьем, в 1,5—2 раза уменьшаются припуски на обработку резанием. Шероховатость поверхности отливок может быть уменьшена по сравнению с кокильным литьем с $R_z = 160 - 80$ до $R_z = 40 - 20$ мкм.

ЛНД обеспечивает получение отливок с толщиной стенок 1,5- 2 раза меньше, чем при литье в кокиль.

Возможна полная механизация и автоматизация всего технологического цикла, начиная от операции заливки вплоть до удаления из формы отливки; полная автоматизация процесса позволяет применять ЛНД в гибких автоматизированных производствах.

Тяжелый ручной труд заливщика заменен функциями оператора и наладчика

машин ЛНД.

Снижение на 30 – 50% потребности в выплавляемом металле, отсутствие открытого зеркала и переливание жидкого металла в процессе изготовления отливок улучшают условия труда и экологическую обстановку в целом.

Медленное развитие этого технологического процесса объясняется по утверждению зарубежных специалистов затратами на организацию производства ЛНД в 2,5 раза выше по сравнению с затратами на организацию литья в кокиль (37).

Основные недостатки способа ЛНД:

- невысокая стойкость части металлопровода, погруженной в расплав, что затрудняет использование этого способа литья для сплавов с высокой температурой плавления;
- сложность системы регулирования скорости потока расплава в форме, вызванная динамическими процессами, происходящими в установке при заполнении ее камеры воздухом,
- нестабильностью утечек воздуха через уплотнения, понижением уровня расплава в установке по мере изготовления отливок;
- возможность ухудшения качества сплава при длительной выдержке в тигле установки;
- сложность наладки установок.

Основную номенклатуру ЛНД составляют отливки из цветных сплавов, к которым предъявляются повышенные требования по плотности, герметичности и прочности.

Типовые отливки представлены на рис.61



Рис.61. Типовые отливки литья под низким давлением

Для литья под низким давлением применяются специальные установки различных конструкций. Внешний вид одной из множества конструкций литейной установки приведён на рис.62.

Рис.62. Внешний вид литейной установки

Основными конструктивными параметрами установок являются: объем



рабочего пространства
камеры, площадь
поперечного сечения
отверстия металлопровода,
площадь зеркала расплава в
тигле.

Требования к пресс – формам для литья под низким давлением.

Использование низких давлений и малых скоростей потока расплава при заполнении форм позволяет существенно уменьшить толщину плит и вес пресс-формы по сравнению с литьём под давлением. Пресс-формы можно изготавливать из недорогих, легко обрабатываемых материалов.

Преимущества и недостатки способа определяют практическую область его применения и перспективы использования. Литье под низким давлением наиболее широко применяют для изготовления сложных фасонных и особенно тонкостенных отливок из алюминиевых и магниевых сплавов, простых отливок из медных сплавов, чугунов и сталей в серийном и массовом производстве.

Нормативным документом для назначения припусков на механическую обработку и допускаемых отклонений является ГОСТ Р 53464-2009 «Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку».

Производственный цех литья заготовок под низким давлением представлен на рис.63.



Рис.63. Производственный цех литья заготовок под низким давлением

2.7.2 Литье с противодавлением

Основой способа литья с противодавлением является литье под низким давлением. После смыкания полуформ и герметизации формы (см. рис. б) с помощью кожуха в камерах заливочного и формы синхронно увеличивают давление газа до рабочего P_p . При этом движение расплава отсутствует. Необходимый для заполнения полости формы жидким металлом перепад давлений ΔP образуется при уменьшении на эту величину в камере с формой ($P_\phi = P_p - \Delta P$) или соответствующего повышения давления газа над зеркалом расплава в тигле установки ($P_t = P_p + \Delta P$). В итоге при ЛПД (как и при ЛНД) заполнение форм расплавом осуществляется в результате создания соответствующего перепада давлений $\Delta P = P_t - P_\phi$. Скорость заполнения форм в обоих процессах зависит от скорости нарастания перепада давлений, а не его абсолютной величины.

Кристаллизация металла отливки в полости формы протекает в условиях воздействия на него газового давления P_ϕ . Таким образом, процесс ЛПД совмещает в себе на стадии заливки способ ЛНД, а в период кристаллизации способ автоклавного литья под всесторонним газовым давлением. технологии. Одна из особенностей технологии ЛПД состоит в том, что при заливке полости формы жидкий металл находится в сжатом состоянии под действием избыточного давления газа. Такой технологический приём препятствует выделению растворённых в металле газов не только при затвердевании отливки, но и в процессе заливки. В результате продолжительность затвердевания при ЛПД (по сравнению с продолжительностью затвердевания при ЛНД) сокращается на 10—20%, что является следствием увеличения применяемых давлений (от 0,05- 0,1 Мпа при ЛНД до 0,4-0,6 Мпа при ЛПД).

Способом ЛПД получают отливки, шероховатость поверхностей которых незначительна, так как газовое противодействие со стороны формы препятствует заполнению расплавом микронеровностей ее поверхности, что особенно важно при изготовлении отливок с песчаными стержнями. Наибольший эффект воздействия давления на структуру и свойства металла достигается при изготовлении массивных отливок с расположенными с разных сторон многочисленными тепловыми узлами. Следствием интенсификации теплоотвода и улучшения условий питания отливки при ЛПД является заметное измельчение структуры, повышение физико-механических и эксплуатационных свойств литого материала. Сравнительные данные о влиянии способа литья на прочностные свойства отливок из сплава АЛ9 приведены в табл. Анализ таблицы показывает, что термообработка при литье с применением давления позволяет прочность отливок повысить на 25—35%.

Типовые отливки, полученные литьём, с противодействием представлены на рис.64.



Рис.64. Типовые отливки, полученные литьём с противодействием.

Таблица 26.

Значения предела прочности отливок из сплава АК9, полученных различными способами литья

Способ литья	Состояние материала	Предел прочности
Литьё в кокиль	Литое	130 - 150
	После термообработки T5	200 - 220
ЛНД	Литое	165 - 180
	После термообработки T5	220 - 225
ЛПД	Литое	170 - 185
	После термообработки T5	225 - 250

Важным показателем процесса ЛПД является не только рост прочности и пластичности материала отливки, но и выравнивание значений этих величин по сечению отливки. Улучшение однородности литого материала положительно сказывается на его эксплуатационных характеристиках. Так, например, циклическая прочность полученная способом ЛПД по сравнению с литьём в кокиль повышается в 1,5 -4 раза (12).

Для ЛПД используются специальные машины. Схема и внешний вид машины представлены на рис.65 и на рис.66

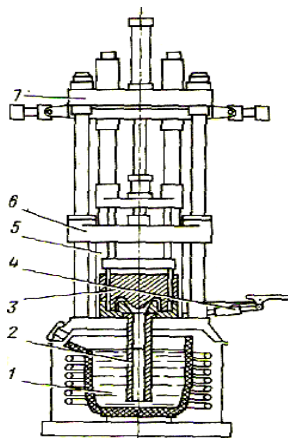


Рис. 65. Схема машины литья с противодавлением типа ВП:1- герметичная печь с расплавом; 2 - металлопровод; 3 -форма; 4 - съемник отливок; 5 - герметичный кожух; 6-подвижная плита машины; 7 - механизм вертикальных перемещений.

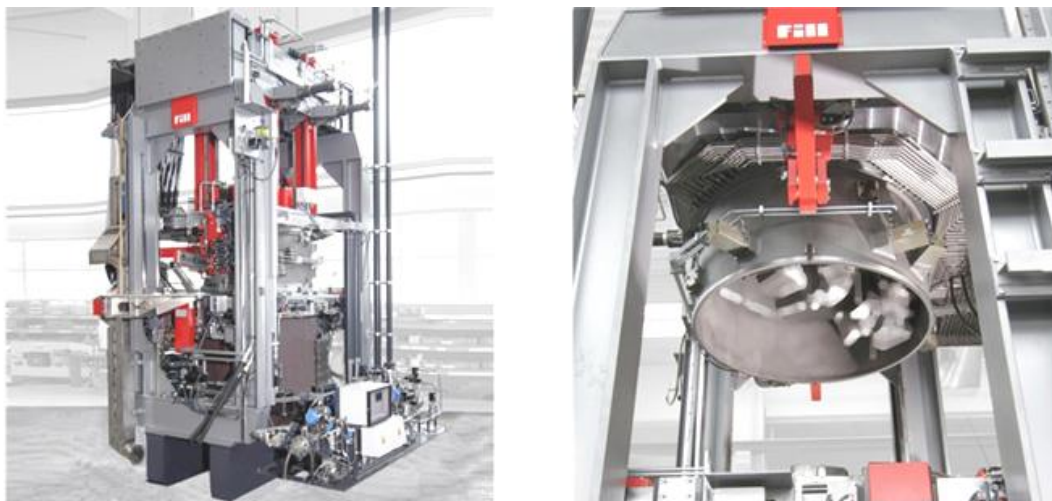


Рис.66. Внешний вид машины ЛПД.

2.7.3.Литьё вакуумным всасыванием

При литье вакуумным всасыванием (ЛВВ) получают полые заготовки всасыванием расплава в форму с последующим сливом незатвердевшего остатка обратно в тигель. Способом ЛВВ могут быть получены и сплошные отливки и слитки в водоохлаждаемых кристаллизаторах (12)

При ЛВВ полость формы заполняется жидким металлом под действием перепада давлений - атмосферного над зеркалом в ковше и создаваемого при вакуумировании полости литейной формы, сообщаемой с расплавом в тигле через металлопровод.

Наиболее широко применяют схему ЛВВ для изготовления полых и сплошных заготовок, а также слитков в водоохлаждаемый кристаллизатор. Благодаря герметичному кожуху снимаются какие-либо ограничения по материалу формы и способам их изготовления.т. е. могут быть использованы формы, полученные практически любым из известных способов, в том числе формы из песчаных смесей, керамические, гипсовые, графитовые, а также

формы из сыпучих и неметаллических материалов, изготавливаемые методом вакуумно-пленочной формовки по газифицируемым моделям. В последнем случае в условиях ЛВВ достигается дополнительный положительный эффект - принудительное удаление из формы газов, образующихся вследствие разложения полистирола.

Кроме общих преимуществ способов литья под регулируемым перепадом газового давления для процесса ЛВВ характерны следующие преимущества: увеличенная заполняемость жидким металлом полости формы позволяет получать наиболее тонкостенные отливки (до 1 мм и менее); практически отсутствуют ограничения по газопроницаемости применяемых литейных форм, что позволяет использовать для их изготовления более мелкозернистые материалы, способствующие улучшению качества поверхности отливок; достигается минимальное газонасыщение и окисление поверхности поступающего в полость формы расплава; вакуум в полости формы изменяет условие затвердевания отливки, влияя на характер теплообмена в зоне ее контакта с поверхностью формы; количество выделяющихся из жидкого и кристаллизующегося сплава газов зависит от глубины вакуума и продолжительности затвердевания отливки.

Однако значительного улучшения качества отливок под влиянием дегазирующего действия вакуума не происходит. Наиболее сильное влияние вакуум оказывает на улучшение условий заполнения полости форм жидким металлом. В целом же улучшение качества отливок и слитков достигается не под влиянием вакуума, а в результате изменений самой технологии формирования отливки в условиях ЛВВ.

Формирование отливок под действием перепада атмосферного давления и пониженного давления газа в полости формы (создание вакуума)

способствует значительному улучшению качества (особенно тонкостенных отливок с толщинами вплоть до 0,5 мм), измельчению структуры и повышению физико-механических и эксплуатационных свойств, таких, как герметичность, пневмо- и гидропрочность и др.

Установлено [12], что для отливок из алюминиевых сплавов с толщинами стенок 10 - 40 мм увеличение разрежения до 60 кПа способствует увеличению предела прочности материала отливки на 20—70%, а относительного удлинения - в 2 раза и более. Дальнейший рост разрежения может вызвать снижение механических свойств при неизменных тепловых параметрах.

Изготовление отливок способом ЛВВ (например, тонкостенных крышек, крыльчаток и т. п.) взамен литья в кокиль позволяет снизить: шероховатость поверхности отливок (в 5—8 раз), расход металла на литниковую систему и увеличить в 1,2 раза производительность труда за счет сокращения продолжительности технологического процесса.

Для литья вакуумным всасыванием применяются специальные машины. Схема установки для литья вакуумным всасыванием представлена на рис.67.

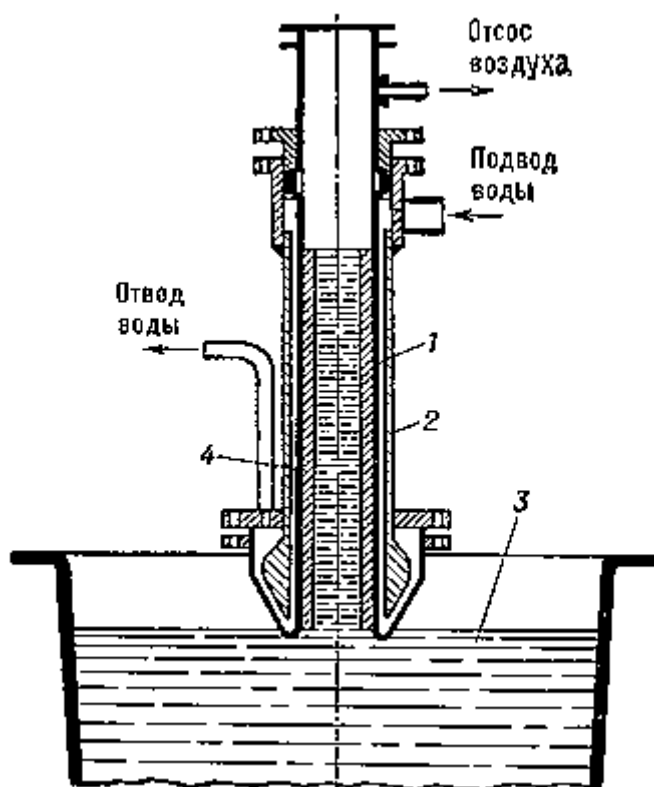


Рис.67.Схема литья вакуумным всасыванием: 1 кристаллизатор; 2 водоохлаждаемая рубашка; 3 расплав; 4 металлическая форма



Рис.68. Внешний вид машины литья вакуумным всасыванием

Типовые заготовки, изготавливаемые способом литья вакуумного всасывания, представлены на рис.69.



Рис.69.Типовые тонкостенные отливки крыльчаток, изготовленные вакуумным всасыванием

2.8. Вакуумно – компрессионное литьё

Данный способ литья совмещает процесс предварительного вакуумирования расплава для снижения содержания в нём растворённых газов, заливку расплава в форму вакуумным всасыванием и воздействие всестороннего давления воздуха на отвердевающую отливку.

Схема установки для вакуумно – компрессионного литья представлена на рис.70.

Принцип работы установки. Установка состоит из двух камер. В верхней камере располагается форма 1 (металлическая или песчаная). Литниковая система соединяется с верхней частью металлопровода 3. Форма закрыта стальным колпаком 2. Герметичность соединения обеспечивается специальными затворами. В нижней камере размещают тигель с расплавом 4. Нижнюю камеру герметично закрывают крышкой. Камеры формы и тигля соединяются с вакуумной системой трубопроводами 7 и 8 для дегазации сплава и формы. По окончании дегазации гидроцилиндр 6 поднимает тигель с расплавом и металлопровод погружается в расплав. Затем давление в камере формы постепенно снижают, создавая разность давлений в нижней и верхней камерах, за счёт чего происходит всасывание расплава из тигля в полость формы. Разность давлений в камерах формы и тигля, как правило, не превышает 25 кПа.

После заполнения формы отверстие металлопровода перекрывается, и в камеру формы по трубопроводу 8 подаётся сжатый воздух, отливка затвердевает под всесторонним давлением. Избыточное давление в верхней камере выше давления газов в растворе, поэтому оставшиеся в расплаве после вакуумирования газы из него не выделяются и газовая пористость не образуется. Данный способ обеспечивает повышение механических свойств

материала отливки. Способ применяется для получения сложных отливок без пористости с высокими механическими свойствами.

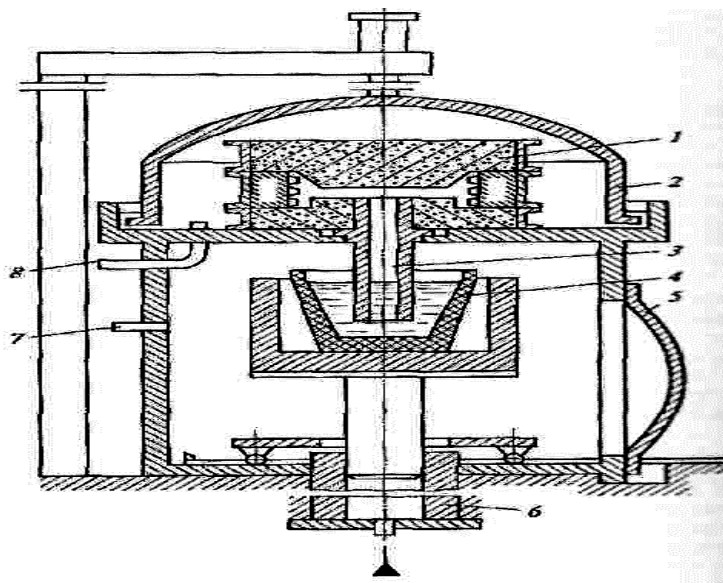


Рис.70. Схема установки для вакуумно-компрессорного литья 1 — форма; 2 — стальной колпак; 3 — металлопровод; 4 — тигель с расплавом; 5 - крышка нижней камеры; 6 — гидроцилиндр подъема тигля с расплавом; 7, 8 — трубопроводы пневмосистемы установки

2.9. Литьё с последовательным заполнением и кристаллизацией

Способ применяется для изготовления крупногабаритных фасонных отливок типа оболочек, корпусов с толщиной стенки до 3 – 4 мм из алюминиевых и магниевых сплавов. Многие магниевые и высокопрочные алюминиевые сплавы имеют широкий интервал кристаллизации и в следствии этого при затвердевании, особенно в песчаных формах, в отливках образуются усадочные дефекты – пористость, рыхлоты. Для создания условий направленного затвердевания и улучшения условий питания сложных крупногабаритных отливок предложен способ литья с последовательным заполнением формы (42).

Схема литья с последовательным заполнением формы представлена на рис.71.

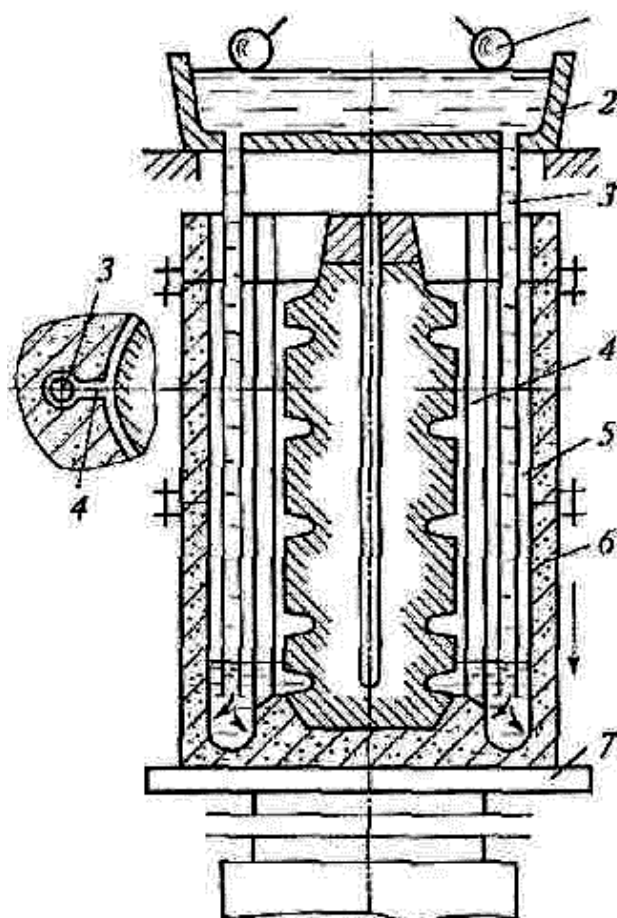


Рис.71. Схема литья с последовательным заполнением формы:

1- стопор, 2-литниковая чаша, 3- трубки для подвода расплава в форму, 4- щелевые питатели, 5- колодец, 6-форма, 7-стол.

Литейная форма 6 крупной отливки устанавливается на столе, имеющем гидравлический привод. Литниковая система состоит из вертикальных 4 и вертикальных колодцев 5, расположенных по периметру отливки. Внутри колодцев расположены обогреваемые трубки 3, закреплённые в обогреваемой литниковой чаше 2. Отверстия трубок в чаше закрыты стопорами 1 и после того, как концы трубок окажутся затопленными, стол опускают. Скорость опускания стола с формой, расход



расплава через трубки из чаши и скорость отвода тепла рассчитывают так, чтобы обеспечивалась последовательная кристаллизация отливки.

Способ позволяет получать плотные отливки без усадочных дефектов и пористости.

Рис. 72. Типовые отливки, изготовленные литьём с последовательным заполнением и кристаллизацией

2.10. Литьё выжиманием

Способ применяется для улучшения заполнения формы и повышения качества отливки. Процесс литья осуществляют так, чтобы геометрические размеры полости формы изменялись по мере заполнения расплавом и затвердевания отливки. Это позволяет уменьшить потери теплоты расплавом и заполнять формы тонкостенных крупногабаритных отливок, а также осуществлять компенсацию усадки отливки путем уменьшения ее объема при кристаллизации.

Первая из указанных особенностей формирования и в значительной мере вторая реализуются при литье выжиманием тонкостенных крупногабаритных отливок(42). Процесс может быть осуществлен по двум

схемам: поворотом подвижной полуформы вокруг неподвижной оси (рис.73. а) и плоскопараллельным перемещением одной или двух подвижных полуформ (рис.73. б).

После подготовки и сборки формы расплав заливают в нижнюю часть (металлоприемник) литейной установки (этап 1). Затем подвижную полуформу поворачивают (этап 2) и расплав поднимается в установке, заполняя полость между полуформами и боковыми стенками, закрывающими установку с торцов. В начальный момент сближения полуформ конфигурация объема расплава такова, что потери им теплоты в форме минимальны. В момент окончания сближения полуформ (этап 3) расстояние между ними соответствует толщине тела отливки, а движение излишка расплава, сливающегося из установки в приемный ковш, способствует уменьшению потерь теплоты и хорошему заполнению форм отливок с весьма малой (до 2 мм) толщиной стенки при их значительных (1000 х 3000 мм) габаритных размерах. После затвердевания отливки подвижная полуформа возвращается в исходное положение, а отливка извлекается из установки. Схема технологического процесса литья выжиманием представлена на рис.73.

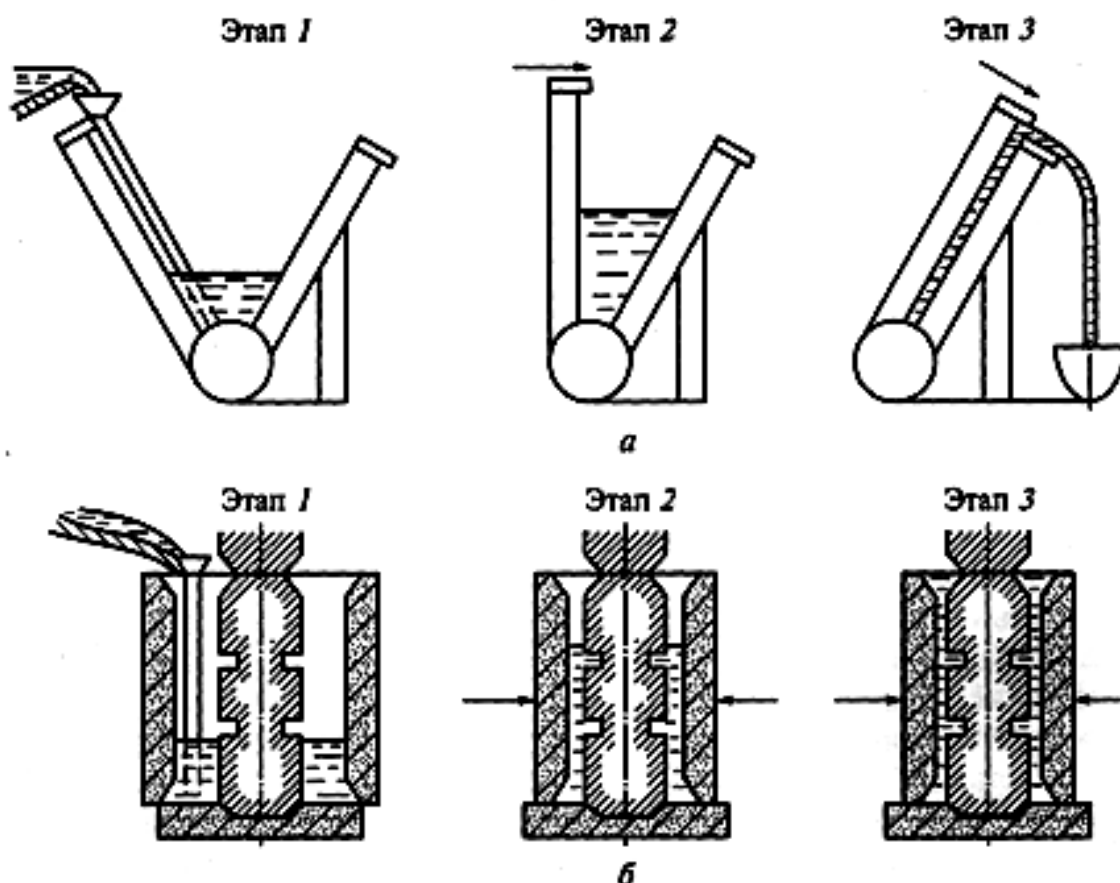


Рис.73. Схема технологического процесса литья выжиманием

Машины с поворотом подвижной полуформы применяют для изготовления тонкостенных крупногабаритных отливок типа панелей из алюминиевых сплавов, на машинах с плоскопараллельным перемещением полуформы получают отливки типа оболочек.

Способ применяют для тонкостенных отливок, поэтому для предъявляются повышенные требования к технологической оснастке, в части исключения её коробления при эксплуатации, а также предусматриваются устройства для регулирования положения стержней и металлических форм при сборке, что требуется для обеспечения заданной точности отливок.

Отливки, полученные литьем выжиманием, имеют хорошие показатели структуры и механических свойств благодаря тому, что формирование отливки происходит одновременно с заполнением литейной формы и заканчивается в основном в момент завершения ее заполнения. Это обеспечивает питание затвердевающей отливки. Способ чаще всего применяют для отливок из алюминиевых сплавов АЛ4, АЛ9 и др.

Экономическая эффективность процесса литья выжиманием тонкостенных крупногабаритных отливок достигается благодаря исключению трудоемких операций штамповки, сварки, клепки, сборки многочисленных деталей в один узел, уменьшению массы конструкции таких узлов.

2.11.Непрерывное и полунепрерывное литьё

Сущность способа непрерывного и полунепрерывного литья заключается в изготовлении отливок большой протяженности свободной непрерывной заливкой расплавленного металла в водоохлаждаемую форму-кристаллизатор, дальнейшем затвердевании металла и вытягивания из него сформированной части отливки. Процесс непрерывного литья осуществляется на горизонтальных или вертикальных установках непрерывного литья

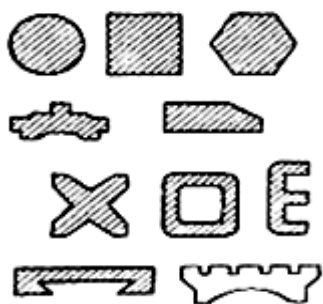
Горизонтальное непрерывное литьё используется для изготовления сплошных круглых, прямоугольных и фасонных заготовок простой и сложной конфигурации. Вертикальное непрерывное литьё применяется для получения, как для сплошных, так и полых отливок.

Профили заготовок, получаемые непрерывным литьём, представлены на рис.77.

Непрерывное горизонтальное литьё

Отличительной особенностью данного способа является — горизонтальное расположение на одной технологической линии металлоприемника, кристаллизатора, формирующей отливки, зоны охлаждения, вытягивающего устройства, механизмов порезки и складирования заготовок.

Рис.77. Профили заготовок, получаемые непрерывным литьём.



Непрерывное горизонтальное литьё

Отличительной особенностью данного способа является — горизонтальное расположение на одной технологической линии металлоприемника, кристаллизатора, формирующей отливки, зоны охлаждения, вытягивающего устройства, механизмов порезки и складирования заготовок.

Горизонтальное расположение технологической оси имеет ряд преимуществ перед вертикальным: низкие капитальные и эксплуатационные затраты (не требуется строительства башен или колодцев, поскольку все оборудование размещено на полу цеха); наличие металлоприемника, соединенного непосредственно с кристаллизатором, уменьшает окисление металла, загрязнение его неметаллическими и шлаковыми включениями, предотвращает дефекты от воздействия падающей струи.

Для литья фасонных профилей, квадратных, круглых, с отверстиями используют установки горизонтального типа с графитовым водоохлаждаемым кристаллизатором. Схема кристаллизатора представлена на рис. 78.

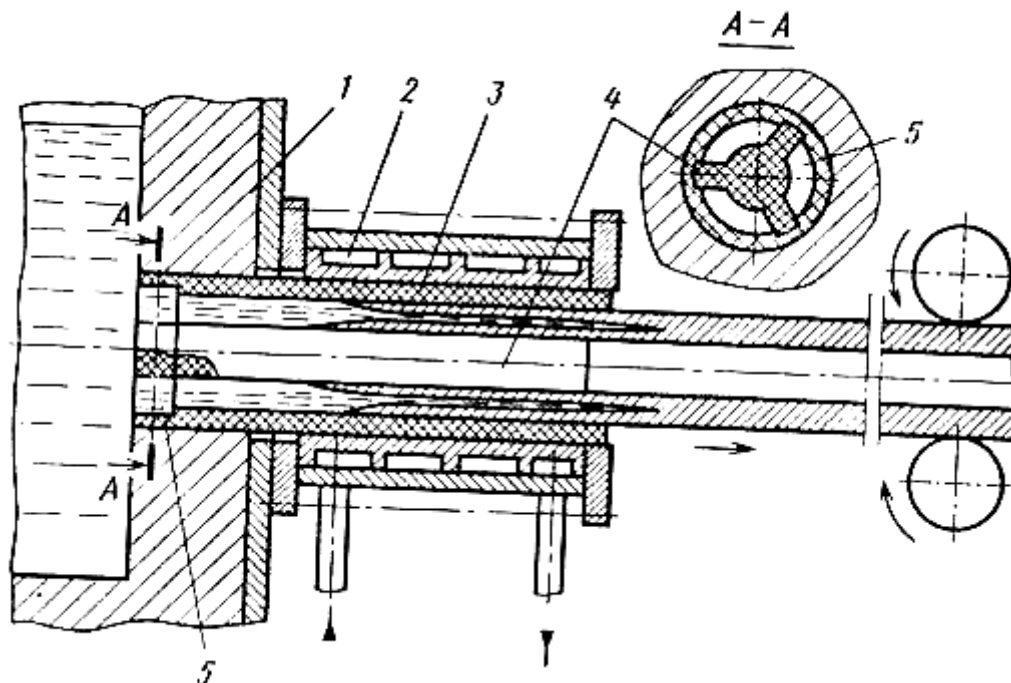


Рис.78. Схема кристаллизатора для горизонтального непрерывного литья трубчатых заготовок и профилей 1-раздаточная печь; 2-водоохлаждаемая рубашка; 3-графитовый вкладыш; 4-стержень; 5- отверстия для подвода расплава

В стенке раздаточной печи 1 установлены кристаллизаторы, состоящие из водоохлаждаемой рубашки 2 и графитовых вкладышей 3, а при необходимости получения отверстия в отливке устанавливается стержень 4 с отверстиями 5 для прохода расплава. В начале процесса внутрь кристаллизатора вводят затравку-захват. Расплав заливают в разогретую печь и выдерживают для формирования отливки в кристаллизаторе, а затем начинают извлекать ее из кристаллизатора за затравку-захват. Получаемую непрерывную отливку разрезают на мерные заготовки.

Вертикальное непрерывное литьё

Вертикальное непрерывное литьё используют для получения сплошных и полых цилиндрических заготовок, а также для заготовок сложного профиля. Но наиболее этот способ эффективен для получения полых заготовок.

Схема вертикальной установки для полунепрерывного литья показана на рисунке 79.

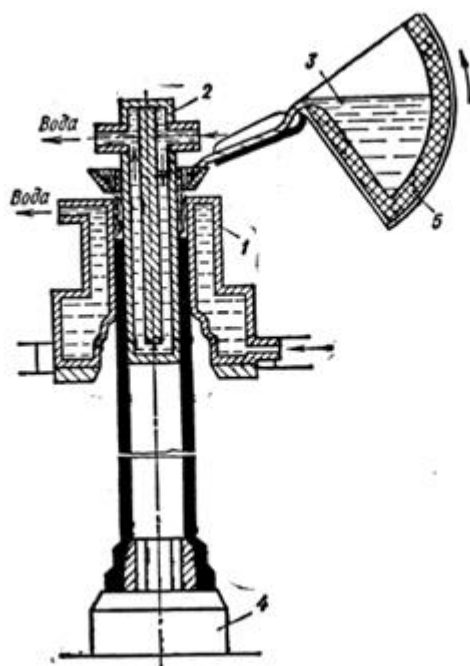


Рис. 79. Схема вертикальной установки для полунепрерывного литья: 1 – кристаллизатор (литейная форма); 2 – пустотелый (охлаждаемый водой) стержень; 3 – жидкий сплав; 4 – ложное дно-затравка; 5 – ковш.

После затвердевания металла в захватывающих элементах затравки и образования со стороны кристаллизатора прочной корки начинается вытягивание затвердевающей заготовки при непрерывном поступлении жидкого металла и погружении в расплав непрерывно подаваемого стержня.

Процесс осуществляется в непрерывном и полунепрерывном режимах. При полунепрерывном процессе ограничивается ход механизма вытягивания и периодически прекращается подача металла.

Отливку разделяют на мерные заготовки либо обычными методами резки, либо отламывают по местам перемычек, выполняемых фланцем стержня. Стержень затем выбивается из заготовки.

При проектировании чертежей отливок, в частности чугунных, необходимо учитывать следующее: затвердевание и охлаждение отливки со стороны кристаллизатора происходит значительно интенсивнее, чем со стороны стержня; наружная поверхность заготовки не должна иметь поперечных выступов, рёбер, уклонов и поднутрений, т. е. должна иметь так называемое проходное сечение, внутренняя полость должна быть сквозной с минимальным габаритным размером 30 мм, толщина стенки заготовки не менее 12 мм.

Припуски на обработку назначают соответственно габаритным размерам отливки, профилю ее сечения техническим условиям на неё. Для заготовок с размерами сечения 50 – 500 мм принимают припуски 2—6 мм на сторону по наружной поверхности, на внутренней поверхности – по рекомендациям для соответствующей группы стержней. Припуск на обработку торцов заготовки назначают на основании общих положений литье в постоянную форму.

Длину отливаемой заготовки выбирают кратной длине детали с учётом верхнего технологического припуска, компенсирующего усадку в конце заливки, припусков на механическую обработку и разрезку.

К недостаткам непрерывного литья следует отнести невозможность получения отливок сложной конфигурации. Конфигурация отливки определяется возможностью её непрерывного извлечения из кристаллизатора.

Непрерывным литьём изготавливают слитки различных размеров и форм для последующей прокатки и других способов обработки давлением.

Однако поверхность слитков перед прокаткой механически обрабатывают для устранения неслитин, ликвационных наплывов, приводящих к образованию дефектов в прокате.

2.12. Литъё намораживанием на подвижные и стационарные кристаллизаторы

Сущность процесса литъё намораживанием состоит в том, что отливка полностью кристаллизуется в условиях последовательного затвердевания на рабочей поверхности кристаллизатора (кокиля), причем объем расплава, участвующего в формировании отливки, больше объема твердой фазы.

Процесс, схема которого представлена на рис.80., может быть осуществлен в условиях взаимного покоя отливки и кристаллизатора, их относительного движения, а также в условиях покоя или движения расплава относительно фронта затвердевания.

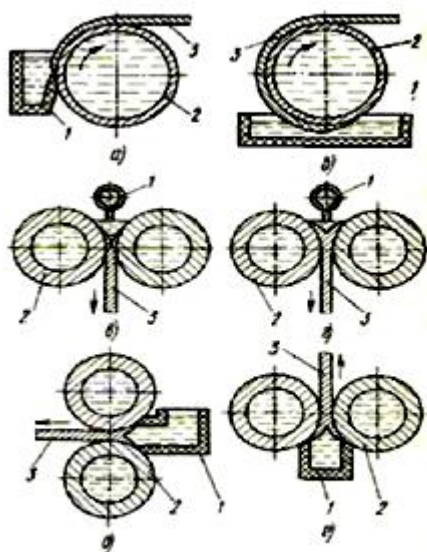
К достоинствам процесса относятся: возможность получения гидроплотных отливок с мелкозернистой структурой без неметаллических включений и изготовления лент из хрупких материалов, высокая производительность, наличие условий для создания непрерывных автоматизированных технологий.

Предпочтительной областью применения является получение тонких и полых цилиндрических заготовок.

Рис.80. Рабочие схемы литья намораживанием на валках – кристаллизаторах:
а – литьё намораживанием на один валок; б – литьё с нижней ванной; в – литьё в валковый кристаллизатор; г – е – литьё в валковый кристаллизатор с прокаткой; 1 – распределитель расплава (питатель), 2 – валок

кристаллизатор; 3 – лента.

К недостаткам процесса можно отнести: неравномерность толщины отливки, шероховатость и бугристость свободной поверхности, неравномерность структуры по толщине стенки отливки, наличие пористой зоны прилитьё сплавов, а в некоторых случаях и неоднородности химического состава.



Общим элементом рассматриваемых технологических схем литья на подвижный кристаллизатор является затвердевание (намораживание) из перегретого расплава корок на участках рабочих поверхностей непрерывно вращающихся водоохлаждаемых валков кристаллизаторов. В процессе литья

поддерживают постоянными: температуру заливки; скорость вращения и условия охлаждения кристаллизатора; протяжённость зоны теплообмена отливки с валком.

Формирование отливки может осуществляться по различным схемам. При литье намораживанием на один валок (рис.80 а, б) отливка формируется в результате намораживания на валке корки в процессе перемещения валка в ванне с расплавом и затвердевания наносного слоя жидкости после выхода из расплава.

После выхода из жидкой ванны отливка некоторое время перемещается вместе с валком. На этой стадии она полностью затвердевает и охлаждается до температуры, при которой обеспечивается её съём с вала без разрушения или образования трещин.

Основные преимущества литья по данной схеме: получение дешевой тонкой ленты, высокая производительность, малая энергоёмкость и простота конструкции технологического оборудования. Недостатки: формирование неравномерной по толщине ленты, наличие, бугорков и шероховатостей на свободной поверхности, образование пористой зоны при литье сплавов, неустойчивость процесса литья сплавов, кристаллизующихся в интервале температур.

Схема процесса с боковой ванной (см. рис.80. а) позволяет получать ленты из алюминия высокой и технической чистоты (толщина ленты 1— 3,5 мм, ширина — до 600 мм). Схема с нижней ванной (см. рис. 80. б) позволяет получать свинцовую ленту в рулонах. Толщина ленты 0,25—1,25 мм, ширина — 900 мм, масса рулона — до 3т.

Сущность литья в валковый кристаллизатор (см. рис.80.в) состоит в том, что отливка в виде ленты формируется в результате сварки под давлением двух корок, намерзших в ванне с расплавом на поверхностях двух вращающихся в противоположные стороны валков. В выходящей из валков отливке может содержаться некоторое количество жидкой фазы, так как срastaются фронты кристаллизации с неравномерным профилем; не полностью выдавливается жидкость в зоне обжатия из твердожидкой части. Процесс позволяет получать ленты толщиной 0,5—2,5 мм из сплавов, близких к эвтектическому составу, которые пластичны вблизи температуры кристаллизации (чугун, некоторые медно-фосфористые припои, быстрорежущая сталь Р9).

Преимущества технологической схемы: высокая производительность; получение лент малой толщины из хрупких материалов; высокая скорость затвердевания, обеспечивающая формирование мелкокристаллической структуры; малая энергоемкость; низкая стоимость и простота конструкции оборудования. Основные недостатки: узкая область применения, неравномерность толщины и структуры отливок, низкая стойкость кристаллизаторов при литье высокотемпературных сплавов.

При литье в валковый кристаллизатор с прокаткой (бесслитковая прокатка листа) (см. рис.80,г-е) лента формируется в результате прокатки корок, намерзших в ванне с расплавом на поверхностях вращающихся в противоположные стороны валков.

В условиях совмещения литья с прокаткой скорость движения корок в зоне намораживания меньше скорости движения валков, а скорость ленты на выходе валков больше, т. е. имеется присущее прокатке опережение порядка 5 - 30%.

Способ пригоден для литья металлов и узко интервальных сплавов. Его используют для лент из алюминия и некоторых сплавов на его основе с толщиной ленты 4,5 - 12 мм; цинковых сплавов с толщиной ленты 3.2 - 8 мм; свинца и свинцовых сплавов с толщиной ленты 1 – 6 мм, хлористого серебра с толщиной ленты 0,3 – 0,4 мм.

Преимущества способа: получение непосредственно из расплава точной заготовки, пригодной для прокатки на фольгу, или для непосредственного использования вместо проката, повышение выхода годных отливок и снижение энергетических затрат по сравнению с производством проката из слитков. Недостатки: значительная неоднородность химического состава по толщине ленты из сплавов,

практическая невозможность получения лент из высокотемпературных цветных сплавов, низкая производительность.

Литьё в стационарный кристаллизатор. Отличительными особенностями процесса литья в стационарный кристаллизатор являются сифонный подвод металла к кристаллизатору, отсутствие стержня и извлечение отливки вверх. Для получения длиномерных заготовок применяют схему литья, обеспечивающую непрерывное формирование отливки в виде трубы (рис.81.).

Жидкий металл с температурой заливки из ковша 1 через металлопровод 2 и стакан 3 подают в водоохлаждаемый кристаллизатор 4. Образующую тело отливки корку 5 непрерывно извлекают вверх. Уровень металла в литниковой системе поддерживают постоянным. Процесс может быть непрерывным и полунепрерывным. В первом случае отливку разрезают на мерные части в процессе литья над тянущим устройством 6 с помощью специального механизма 7. Извлечение отливки осуществляют по циклическому режиму, при котором ее движение на высоту чередуется с остановкой относительно неподвижного кристаллизатора.

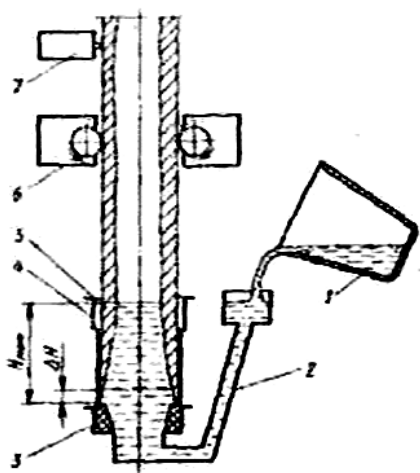


Рис.81. Схема непрерывного литья намерзанием: 1-ковш; 2 – металлопровод; 3 – стакан; 4 – водоохлаждаемый кристаллизатор; 5 – корка отливки; 6-тянущее устройство; 7-устройство для отрезки отливки

Литье намерзанием в стационарные кристаллизаторы обеспечивает снижение трудоемкости изготовления отливок и увеличение

производительности труда по сравнению с литьем в разовые песчано-глинистые формы и центробежным способом. Способ позволяет практически полностью отказаться от формовочных и связующих материалов, существенно улучшить санитарно-гигиенические условия работы в литейных цехах благодаря ликвидации таких операций, как смесеприготовление, изготовление форм и стержней, выбивка, обрубка и очистка литья. Высокая эффективность способа состоит в том, что практически устраняет такие дефекты отливок, как газ усадочная пористость, газовые раковины и неметаллические включения. Заготовки имеют повышенную плотность и прочность, а детали, получаемые из них, — высокие эксплуатационные характеристики.

Так, поршневые кольца диаметром 150 мм из серого чугуна, изготовленные из маслот, отлитых намораживанием, имеют на 10—40% лучшие механические свойства по сравнению кольцами из маслот, отлитых в стержневые формы. Использование таких колец для ремонта дизелей приводит к увеличению их межремонтного ресурса в 2—3 раза и снижению расхода масла на угар в 2—2,5 раза (12).

2.13. Литьё с кристаллизацией под давлением (жидкая штамповка)

Литьем с кристаллизацией под давлением (ЛКД) (ГОСТ 18169—86) получают плотные заготовки с уменьшенными припусками на обработку резанием и высокими физико-механическими и эксплуатационными свойствами. Схема технологического процесса представлена на рис.82. Выход годных изделий по жидкому металлу до 95% [37, 38].

Отливки изготавливают в формах (пресс-формах, штампах), состоящих из пуансона (прессующего узла), матрицы, толкателей и съемников. Верхнюю плиту с закрепленными на ней деталями прессующего узла монтируют на

ползуне пресса, а нижнюю плиту с размещенными на ней матрицей и механизмом выталкивания отливки - на столе пресса.

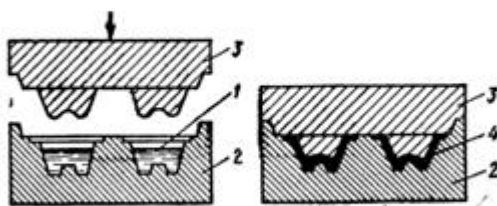


Рис. 82. Схема жидкой штамповки. а) – заливка металла; б) - штамповка
1 – жидкий металл; 2 – нижняя часть

металлической формы (матрица); 3 – верхняя часть формы (пуансон); 4 – заготовка (отливка).

Процесс ЛКД заключается в том, что расплав под действием собственной силы тяжести заливают в матрицу, затем пуансоном осуществляют окончательное оформление контуров отливки и последующее ее уплотнение (выдержку под давлением) до окончания затвердевания. После извлечения из пресс-формы (ПФ) отливку можно подвергать различным видам дующей обработки (термической и механической).

Способом ЛКД изготавливают простые и сложные по конфигурации заготовки из чистых металлов и сплавов на основе алюминия, железа, меди и цинка, используя для этого как специализированные, так и неспециализированные гидравлические прессы и машины.

Основные схемы процесса

Различают следующие схемы процесса ЛКД: 1- под поршневым давлением (поршневое прессование); 2 -под пуансонным давлением (пуансонное прессование); 3 - под пуансонно - поршневым давлением (пуансонно - поршневое или комбинирование прессование); 4 – выдавливание расплава в закрытые полости (прессование через питатели).

При поршневом прессовании давление кристаллизующемуся расплаву передаётся через пуансон, перекрывающий открытую полость матрицы и действующий на верхний торец, формирующийся отливки в течение времени необходимого для ее затвердевания.

При пуансонном прессовании под действием выступающей рабочей части пуансона незатвердевший сплав выдавливается вверх до полного заполнения рабочей полости пресс – формы. Особенностью этой схемы является то, что пуансон вначале соприкасается с расплавом, удаленным от боковых стенок матрицы, и вытесняет его выше уровня заливки. Пуансон не соприкасается с вертикальной коркой, образовавшейся до его внедрения в расплав. Таким образом, формообразование отливки частично происходит при заливке расплава в матрицу и выдержке его в матрице до подхода пуансона, а заканчивается после внедрения пуансона в кристаллизующийся расплав.

При пуансоно-поршневом (комбинированном) прессовании формообразование отливки частично осуществляется во время заливки расплава в матрицу и выдержке его в ней до соприкосновения с пуансоном, а заканчивается после вытеснения части незатвердевшего сплава в полости, ограниченные пуансоном и расположенные выше уровня заливки расплава в матрицу. Перемещение незатвердевшего сплава происходит как при сжатии вертикальной корки, так и при выдавливании его вверх выступающими элементами пуансона.

При прессовании через питатели (выдавливании расплава в закрытые полости) расплав заливают в металлоприемник. Из этого металлоприемника металл пуансоном вытесняется в закрытые полости пресс - формы, в которых могут быть изготовлены одновременно одна или несколько отливок.

Движение расплава из металлоприемника в рабочие полости пресс -

формы осуществляется по питателям в матрице или пуансоне через отверстия в специальной раздвижной диафрагме или непосредственно из металлоприемника (безиспользования питателей и диафрагм).

Литьё с кристаллизацией под давлением изготавливают отливки с толщиной стенки 2—100 мм, а также слитки 30—600 мм. Для ЛКД предпочтительны такие отливки, для которых быть использованы пресс – формы с неразъёмной матрицей. Желательно, чтобы на наружных боковых поверхностях заготовок не было больших выступов и поднутрений. Вместе с тем плоскости детали, оформляемой пуансоном, и на нижнем торце, соприкасающемся с дном матрицы, возможны различные выступы и углубления, для выполнения которых в обычных условиях необходимо большое количество операций фрезерования. Классификация отливок для ЛКД приведена в табл. 26.

Таблица 26

Классификация отливок для ЛКД

№ группы	Подгруппа	Отливки	Прессование при ЛКД
1	---	Без внутренних полостей и отверстий, слитки	Поршневое
2	А	С внутренними полостями и отверстиями	Поршневое или пуансонное
	Б		Пуансонное
3	А	С полостями или выступами на верхнем торце	Пуансонное или пуансоно - поршневое
	Б	С выступами на верхнем торце	Пуансоно - поршневое
4	---	Мелкие разной конфигурации (детали приборов и т.д.)	пуансоно – поршневое или через литники - питатели
5	---	С развитой боковой поверхностью (для шестерен с зубом и т.д.)	Через литники - питатели

Примеры отливок различных групп и подгрупп приведены на рис.83.

При проектировании отливок необходимо предусматривать равномерность толщин стенок и плавность переходов между ними, обеспечиваемую радиусами закруглений. Сопряжения необрабатываемых наружных поверхностей оформляют радиусами не менее 1,5 мм, внутренних – не менее 2,5 мм; для обрабатываемых поверхностей соответственно не менее 2 и 3,5 мм. Радиусы не предусматриваются в местах сопряжения поверхностей, оформляемых боковыми стенками матрицы и пуансоном (например, между боковыми поверхностями и верхним торцом отливки при поршневом, пуансонном или пуансоно – поршневом прессовании).

Когда деталь имеет небольшие габаритные размеры (например, малую высоту — детали типа колец) или массу, а также когда велико усилие используемого пресса, целесообразно проектировать одну отливку для нескольких деталей. Иногда это связано с необходимостью придания симметричности отливке для удобства изготовления пресс – форм и самих отливок (например, для деталей типа полуколец, уголков и т.д.).

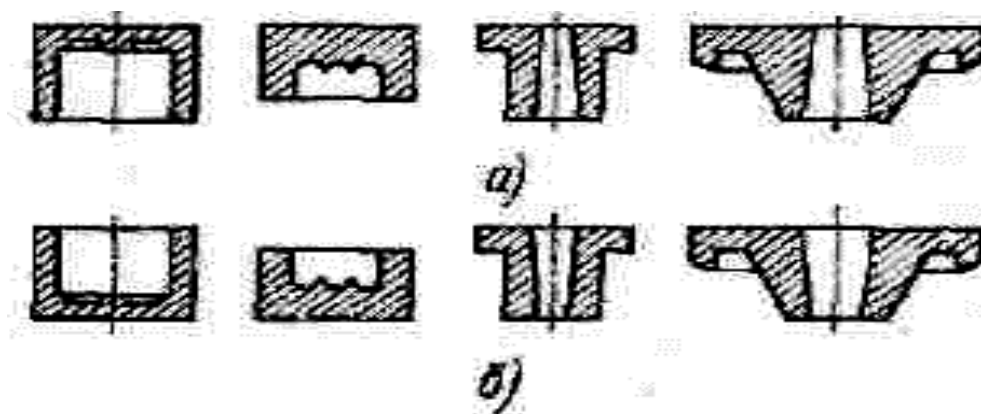


Рис.83. Отливки группы 2 (подгруппа А) для поршневого (а) и пуансонного (б) прессования.

Припуски на обработку зависят от габаритных размеров и конфигурации отливок и составляют 0,5-5мм. При литье заготовок для

деталей, к которым предъявляются требования по герметичности, допускается увеличение припуска со стороны дна отливки, но не более чем в 2—3 раза.

Поверхность литых втулок будет иметь малую шероховатость при назначении припусков, указанных в табл.27.(12).

Таблица 27

Размер отливок	Сплавы отливок	
	Алюминиевые и цинковые	Медные
Наружный диаметр	0,6 – 0,8	1,0 – 1,5
Внутренний диаметр	0,5 – 0,6	0,8 – 1,0
Высота	0,6 – 1,0	1,0 – 1,2

Припуски на обработку резанием в зависимости от точности размеров отливок, изготовленных ЛКД, приведены в табл. 28.

Таблица 28.

Припуски на сторону (мм) на обработку резанием (12)

Наибольший габаритный размер отливки мм	Сплавы отливок					
	Алюминиевые и цинковые			Медные		
	Класс точности					
	3	4	5	3	4	5
До 100	0,5	0,8	1,0	0,8	1,0	1,2
100 – 150	0,8	1,0	1,2	1,0	1,2	1,5
150 – 250	1,2	1,5	2,0	1,5	2,0	2,0
250 – 400	1,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,5
400 – 650	2,0	2,5	3,0	----	---	---

Для отливок применяют уклоны в направлении движения при их извлечении из пресс – форм.

Уклоны назначают в зависимости от габаритных размеров отливки и отношения ее высоты к диаметру (или ширине). При изготовлении отливок типа колец, фланцев и имеющих $H/D < 1$ (H — высота, D — диаметр),

уклоны на наружных поверхностях можно не предусматривать. При $H/D > 1$ следует назначать уклоны до $0,5^\circ$ по наружной поверхности и $1—5^\circ$ на внутренней. Уклон в указанных пределах назначают, исходя из усилия выталкивателя пресса.

Таблица 29.

Глубина внутренней поверхности отливки, мм	Уклон (\dots°) внутренней поверхности отливки при использовании пуансона	
	без съёмника	со съёмником
До 30	2,5	0,50
31 – 50	3,5	0,75
51 – 80	4,0	1,50
81 – 110	5,0	1,75
Св.110	5,0	2,0

Отливки, полученные ЛКД, как правило, имеют литую структуру. В зависимости от состава сплава, давления, температурных режимов и других параметров эта структура может быть транскристаллической (с зоной столбчатых кристаллов по всему сечению), равноосной или смешанной.

С повышением давления прессования (при прочих равных условиях) структура отливок измельчается.

Измельчение структуры и устранение газоусадочной пористости приводит к повышению физико – механических и эксплуатационных свойств отливок.

В таблице 30. приведены механические свойства алюминиевого сплава АЛ3М в слитках, изготовленных литьём в изложницу под атмосферным давлением и ЛКД.

Таблица 30.

Механические свойства сплава АЛ3М в зависимости от способа изготовления отливки (12)

Состояние	σ_B , МПа	δ %	НВ
-----------	------------------	------------	----

сплава	Литьё под атмосферным давлением	ЛКД	Литьё под атмосферным давлением	ЛКД	Литьё под атмосферным давлением	ЛКД
Литое	242	246	4,2	5,3	79	72
После закалки	364	388	8,6	14,8	121	111
После закалки и искусственного старения	426	441	4	10	138	143

Свойства сплава АЛ25 при литье в кокиль и ЛКД приведены в таблице 31.

Таблица 31.

Механические свойства сплава АЛ25

Свойства сплава	Литьё в кокиль	ЛКД при p_n , МПа	
		100	200
Бв, МПа	200	215	245
δ %	0,5	1,3	1,5
Жаропрочность σ_{100}^{200} , МПа	50	65	80

Известно освоение ЛКД композиционных сплавов. В качестве металлической основы используют алюминиевые сплавы, а в качестве неметаллических наполнителей – графит, карбид кремния, оксид алюминия и т.д.

В таблице 32 приведены механические свойства композиционного материала LM30 на основе алюминиевого сплава с наполнителем – графитом. Сплав используется для изготовления поршней автомобильных двигателей.

Таблица 32.

Механические свойства композиционного сплава

Содержание графита в сплаве LM30, %	Бв, МПа	
	Литьё в кокиль	ЛКД
0	182	224

1,9	154	181
3,7	119	129
8,15	44	71

Литьё с кристаллизацией под давлением целесообразно применять для отливок из цветных сплавов, в частности из алюминиевых сплавов, в серийном производстве, когда литьё под высоким давлением и литьё в кокиль не обеспечивают заданных механических свойств литых деталей.

2.14. Штамповка в твёрдожидком состоянии (тиксостамповка)

Штамповка (переработка) в твёрдожидком состоянии построена на придании металлу новых свойств, позволяющих осуществлять сложное формообразование, как и при литье, за одну операцию, но при значительно меньшей температуре металла. Что вызывает совмещения технологий литья и штамповки:

- превращение порции твердого или жидкого сплава в суспензию до начала заполнения штампа (вне формообразующей полости) через осуществление незавершенного фазового перехода, т.е. за счет собственной твердой α -фазы содержащейся в порционной заготовке и находящейся в большом количестве и находящейся в таком физическом состоянии, которое обеспечивает более высокую, чем ранее технологичность сплава;
- использование в период формообразования и при завершении фазового превращения необходимого давления для проявления эффектов сверхпластичности;
- использование течения под небольшим избыточным давлением, характерного для вязких жидкости, для заполнения сложных полостей металлом.

В качестве примера применения эффективности тиксоштамповки приведен технологический процесс изготовления кронштейна передней подвески автомобиля. По традиционной технологии получение заготовки осуществляется за несколько переходов (рис.84.).

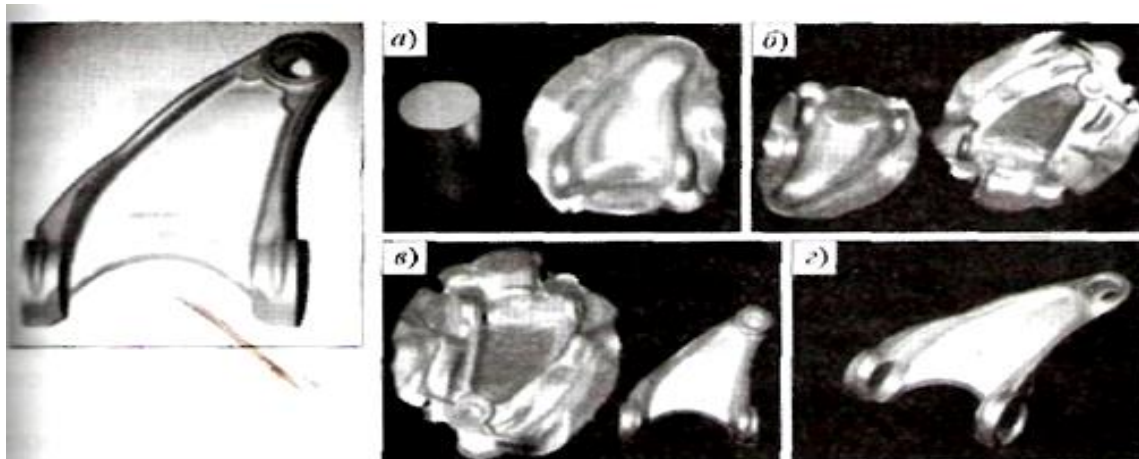
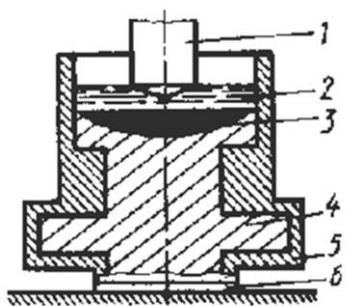


Рис84. Объёмная штамповка кронштейна передней подвески автомобиля.

Тиксоштамповка позволяет получить данную заготовку за один переход от состояния слитка (рис. а) до состояния г (фасонная заготовка).

Преимущество тиксоштамповки выразилось в незначительном уменьшении массы готовой детали, но снижение стоимости механической обработки и резкое снижение стоимости исходных материалов привели к снижению затрат предприятия на производство этой детали. Техническая эффективность технологий переработки сплавов в твердожидком состоянии проявляется в уменьшении толщины стенок изделия при одновременном повышении герметичности, снижении массы детали, одновременном росте пределов текучести и прочности, пластичности и ударной вязкости материала, уменьшении количества дефектов при сохранении высокого качества поверхности и близкой к традиционным технологиям себестоимости производства.



К недостаткам тиксоштамповки следует отнести длительное время подготовки суспензии.

Для устранения данного недостатка ведутся разработки технологических процессов, так называемых технологий «суспензии по заказу». В результате удаётся перерабатывать 8 – 10 кг жидкого алюминия в суспензию за 15 – 20 с, что сравнимо с циклом машины литья под давлением.

2.15. Электрошлаковое литьё

К электрошлаковым способам относятся следующие способы получения отливок: электрошлаковое литьё в водоохлаждаемый кристаллизатор (ЭШЛ) и электрошлаковая тигельная плавка (ЭШТП) с последующей разливкой металла во вращающийся кокиль (электрошлаковое центробежное литьё) или стационарный кокиль (электрошлаковое кокильное литьё).

Электрошлаковое литьё основано на электрошлаковом процессе плавления расходуемого электрода, изготовленного из металла обычного производства. Электрод расплавляют с использованием теплоты, выделяющейся в электропроводном шлаке при прохождении через него электрического тока. Жидкий металл с оплавленного конца электрода, погруженного в шлаковую ванну, поступает в литейную форму, не соприкасаясь с воздухом.

Схема ЭШЛ представлена на рис.85.

Рис.85. Схема ЭШЛ

1-расходуемый электрод, 2-шлаковая ванна, 3-металлическая ванна, 4-отливка, 5-литейная форма, 6-поддон

При ЭШЛ полностью исключается взаимодействие жидкого металла с материалом формы. Ванна расплавленного синтетического шлака, температура которого на 150 – 200 °С выше температуры плавления металла электрода, служит рафинирующей средой и очищает жидкий металл от неметаллических включений и газов.

Отливку выполняют без прибыльной части, так как условия её формообразования и кристаллизации исключают возможность образования усадочной раковины и осевой рыхлости. Объединение плавильного агрегата с литейной формой и последовательное наплавление отливки позволяют отказаться от применения литниковых систем, питателей, выпоров и других конструктивных элементов литейной формы.

Электрошлаковые отливки отличаются разнообразием, как по форме, так и по назначению. Их масса колеблется от нескольких десятков граммов (зубные протезы, коронки) до нескольких десятков тонн (коленчатые валы судовых дизелей, бандажи цементных печей и т.д.).

Типовые отливки ЭШЛ представлены на рис.86.



Рис. 86. Типовые отливки, получаемые электрошлаковым литьём.

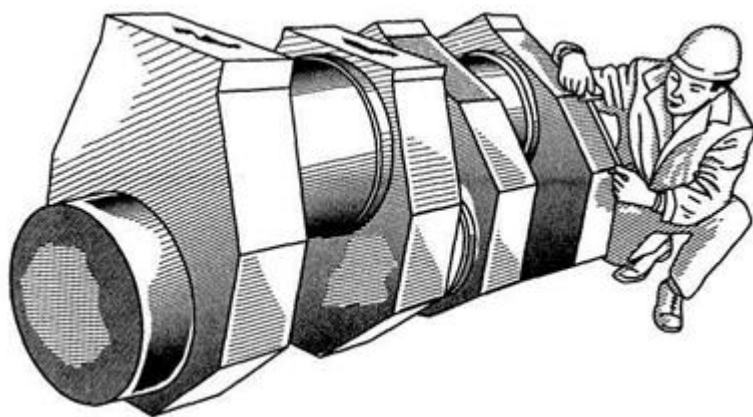


Рис. 87. Коленчатый вал судового дизеля, изготовленный способом ЭШЛ

Высокое качество электрошлакового металла позволяет при проектировании отливок не назначать излишние припуски для придания будущим изделиям соответствующей конструктивной прочности в наиболее опасных сечениях, как это имеет место при проектировании обычных отливок, когда необходимо учитывать особенности их производства и возможные, часто скрытые дефекты в их структуре. В этих отливках допускаются также резкие переходы от одного сечения к другому, наличие острых углов.

При проектировании электрошлаковых отливок необходимо учитывать, что при этом способе литья в полость литейной формы вводят расходные электроды. Например, если отливка корпуса арматуры выплавляется по схеме «вверх дном» (рис. 88.а), то донная часть будет иметь в продольном сечении прямоугольную форму. Если же отливка выплавляется в том положении, в каком работает корпус, т.е. дном вниз (рис.88. б), то это дно может иметь сферическую форму. Электрошлаковые отливки могут иметь полости, формируемые дорнами специальной конструкции

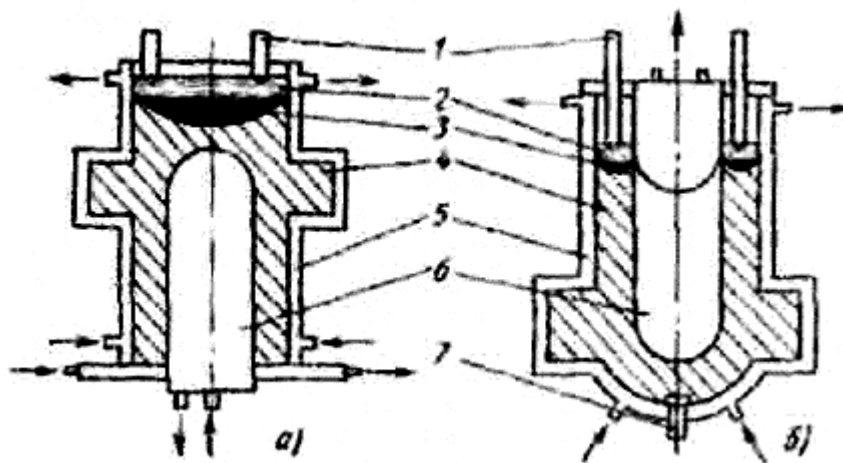


Рис.88.Схема получения отливки корпуса запорной арматуры:

1-расходуемый электрод, 2-шлаковая ванна, 3-металлическая ванна, 4-отливка, 5-литейная форма, 6-дорн, 7-затравка, стрелками показаны подвод и отвод охлаждающей среды

Для вытеснения шлаковой ванны из ниш литейной формы в ее центральную часть наружные части приливов должны быть выполнены конической формы расширением к телу отливки (рис.89. а). Выполняемые на приливах уклоны не превышают $2—3^{\circ}$ (к горизонтали). Проектирование приливов с противоположным уклоном (рис.89. б) недопустимо, так как в верхней части ниш будет скапливаться шлак, который не может быть вытеснен жидким металлом в общую шлаковую ванну.

Не рекомендуется также проектировать приливы цилиндрической или прямоугольной формы на боковых поверхностях отливки. В этих случаях затрудняется вытеснение шлака, который может оставаться в нишах в результате, например, перекосов литейной формы во время сборки. Следует избегать наличия в отливках днищ сферической формы (рис.89 г). Это

приводит к необходимости начинать и вести плавку при очень глубокой шлаковой ванне, в результате чего в донной части отливки могут образоваться дефекты. Для облегчения извлечения неподвижных дорнов внутреннюю поверхность полых отливок выполняют с небольшой ($2\text{--}4^\circ$) конусностью. Чтобы не образовывалась усадочная рыхлость под дорном, внутреннюю поверхность днищ выполняют сферической (рис.89. д), а при большом радиусе сферы (рис.89. з) или радиусе сферы не более 100 мм — переходящей в коническую часть (рис. 89. ж).

Не допускается конструировать днища с плоской внутренней поверхностью (рис.89. ё), так как в центральной части днища может образоваться усадочная рыхлость.

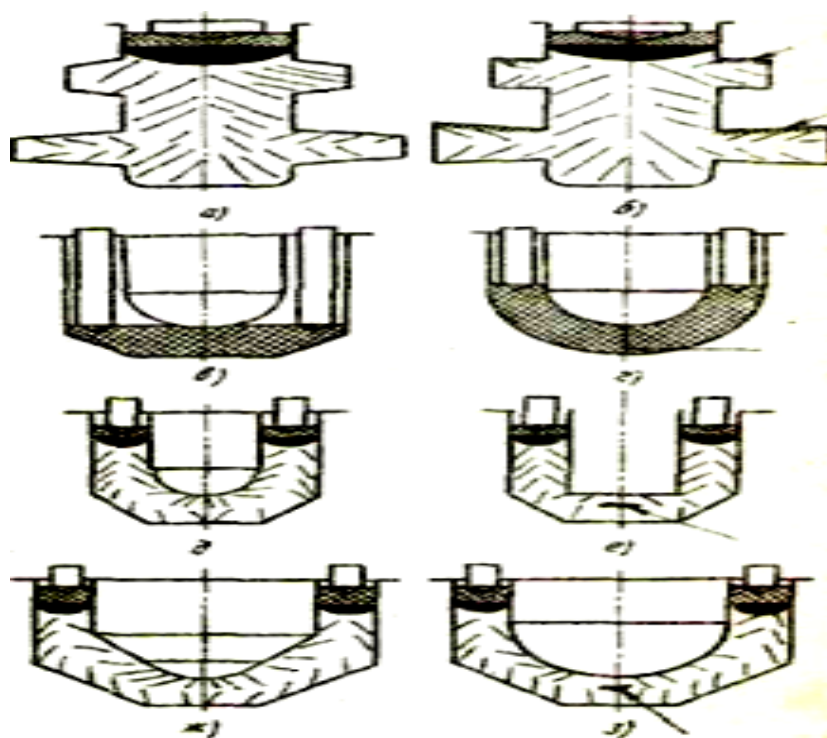


Рис.89. Конструкции электрошлаковых отливок:

а, в, д, ж — технологичные; б, г, е, з нетехнологичные; стрелками указаны места образования дефектов

Проектирование электрошлаковых отливок облегчается тем, что к объединяющей части будущей отливки можно приплавлять те её части, которые нельзя сформировать непосредственно при выплавке отливки. Так, например, ЭШЛ заготовки коленчатого вала достаточно просто изготовить методом последовательного приплавления. (рис.90.). Приплавляемые части изготавливают из проката, поковок отливок (обыкновенных или электрошлаковых).

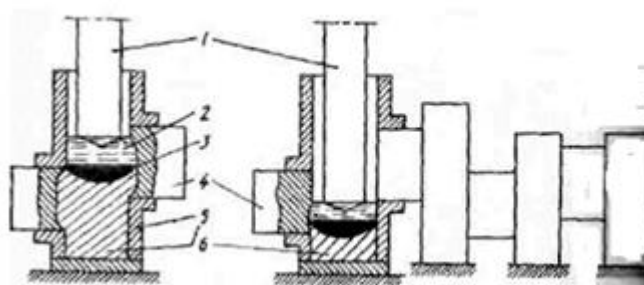


Рис.90. Схема получения заготовки коленчатого методом приплавления: 1- расходуемый электрод, 2- шлаковая ванна, 3- металлическая ванна, 4- приплавляемая заготовка шейки, 5- литейная форма, 6- отливка щеки.

В конструкции отливок, получаемых ЭШЛ с переливом необходимо учесть особенности процесса. Так, на поверхности отливки, обращенной к подвижной ёмкости не должно быть приливов или полостей. Они могут быть получены на тех поверхностях отливки, которые формируются в неподвижной литейной форме (рис.91.).

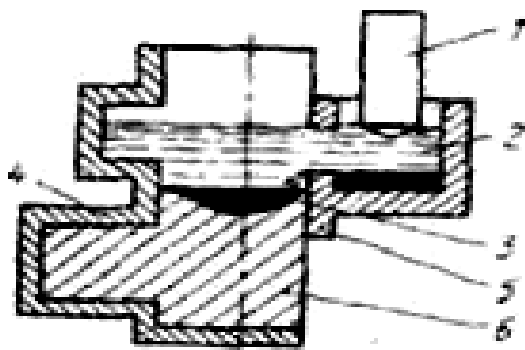


Рис.91. Схема ЭШЛ с переливом металла:
1- расходуемый электрод, 2-шлаковая

ванна, 3- металлическая ванна, 4- литейная форма, 5- подвижная ёмкость, 6- отливка.

Минимальная толщина стенок электрошлаковых отливок, выплавляемых в неподвижных литейных формах, составляет 50—60 мм. Диаметр используемых в этом случае электродов не превышает 20-25 мм. При уменьшении толщин необходимо соответственно уменьшить диаметр электродов, что приведёт к повышению трудоемкости их сборки и затруднит применение.

ЭШЛ в подвижных литейных формах получают отливки с минимальной толщиной стенки 15—20 мм. Максимальная толщина стенки электрошлаковых отливок практически не ограничивается.

При проектировании электрошлаковых отливок из цветных металлов (меди, бронзы и алюминия) нужно учитывать возможность их литья в охлаждаемые формы из графита (углерод не взаимодействует с жидкой медью или алюминием) с использованием расходуемых электродов из соответствующего материала.

Эффективность применения ЭШЛ

Производство заготовок ЭШЛ взамен поковок и стальных отливок имеет следующие преимущества: экономится значительное количество металла; возможен переход к новым, более экономичным конструктивным решениям; отменяется дорогостоящий передел — ковка, что ведет к снижению приведенных затрат; значительно сокращается объем обработки резанием, что также ведет к снижению приведенных затрат; резко снижается потребность в кузнечно-прессовом, металлорежущем и крановом оборудовании; высвобождаются рабочие дефицитных специальностей для выполнения других работ; высвобождаются производственные площади; повышается культура производства, улучшаются техника безопасности и

гигиена труда; уменьшаются отходы металла, снижается трудоемкость механической обработки заготовок.

Удельный расход металла на изготовление изделий из поковок и отливок ЭШЛ приведён в таблице 33. (12)

Таблица 33.

Удельный расход металла (т) на изготовление 1т изделий из поковок и отливок ЭШЛ

Передел			Итого на 1т изделий	Использование металла %
Ковка	ЭШЛ	Резание		
1,5	-	2,5	3,75	27
-	1,1	1.3	1,40	70

К недостаткам ЭШЛ следует отнести:

- ограничения по конфигурации отливок (с большим отношением высоты к площади сечения);
- высокую стоимость оснастки;
- большой расход электроэнергии,
- сложность и высокая стоимость медных охлаждаемых кристаллизаторов.

Уменьшить указанные недостатки удаётся при разделении процесса ЭШЛ на две стадии: получение жидкого металла в тигельной печи электрошлаковым способом (рис.92.) и заливка его в неохлаждаемую литейную форму вместе со шлаком, использованным в процессе плавки или без него (рис.93.). Возможна заливка металла из электрошлаковой тигельной печи со шлаком, приготовленным в отдельном агрегате.

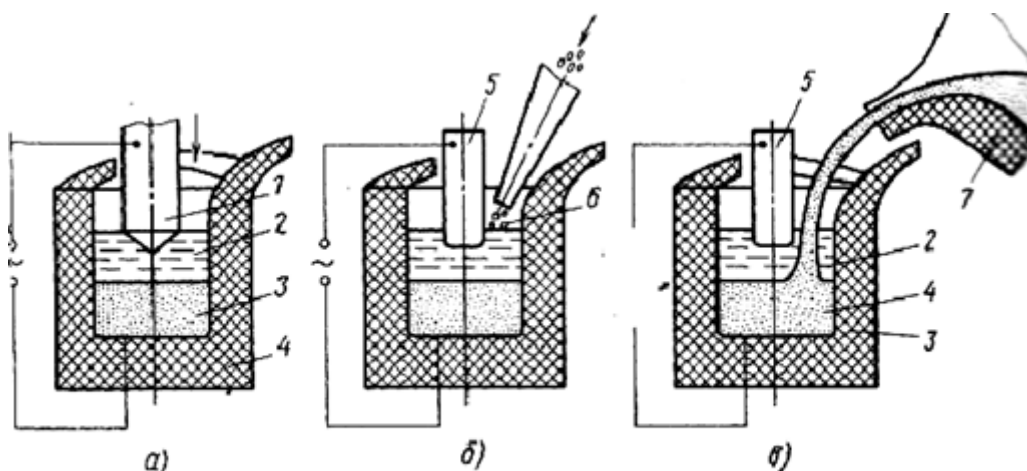


Рис.92. Схема приготовления жидкого металла в процессе электрошлаковой тигельной плавки:

а — переплав расходуемого электрода; б — переплав кусковой шихты с помощью расходуемого электрода; в — жидкая завалка; 1- расходуемый электрод, 2- жидкий шлак; 3- плавильный тигель; 4 — жидкий металл; 5 — не расходуемый электрод; 6 — кусковая шихта; 7 — сталеразливочный ковш.

Такое разделение является основой технологии электрошлакового центробежного (ЦЭШЛ) и кокильного (ЭКЛ).

Технологии ЦЭШЛ и ЭКЛ отличаются тем, что при ЭКЛ литейная форма (кокиль) неподвижна относительно плавильного тигля (см. рис.93. а), а ЦЭШЛ — вращается вокруг своей оси (см. рис.93. б и в). С помощью ЦЭШЛ и ЭКЛ просто и экономично получают отливки достаточно сложной конфигурации, физико-механические свойства которых удовлетворяют требованиям, предъявляемым к соответствующим поковкам.

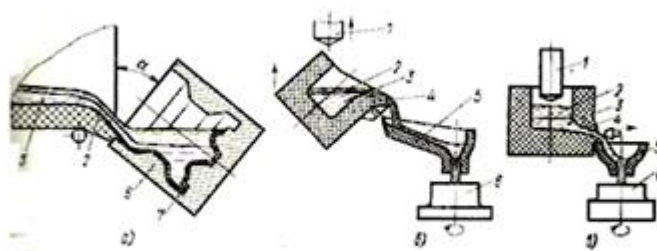


Рис. 93. Схема заливки жидкого металла в литейную форму при повороте плавильного тигля (а и б) или через отверстие в донной части тигля (в):

1- расходуемый электрод; 2 - жидкий шлак; 3 - жидкий металл; 4 - плавильный тигель; 5 - заливочная воронка; 6 - литейная форма; 7 - шлаковый гарнисаж

Электрошлаковые тигельные печи по основным технико – экономическим показателям (удельному расходу электроэнергии, стойкости огнеупоров, производительности) не уступают индукционным печам аналогичной ёмкости, но значительно превосходят открытые сталеплавильные индукционные и дуговые печи по степени рафинирования и стабильности химического состава сплава. Содержание серы в сталях при плавке в электрошлаковых тигельных печах снижается в 1,5 – 2 раза при неизменном содержании основных легирующих элементов до и после плавки.

Мощное гравитационное поле уплотняет металл, способствуя образованию заготовок без характерных для способов литья пор и рыхлот, что значительно улучшает свойства получаемых заготовок. Вовлекаемый во вращение жидкий металл отжимается центробежными силами на периферию. При этом вдоль оси отливки образуется полость без использования стержней, дорнов и других приспособлений.

Масса отливок колеблется от нескольких килограммов до тонны и более. Их конфигурация разнообразна. Типовые заготовки приведены на рис. 94.

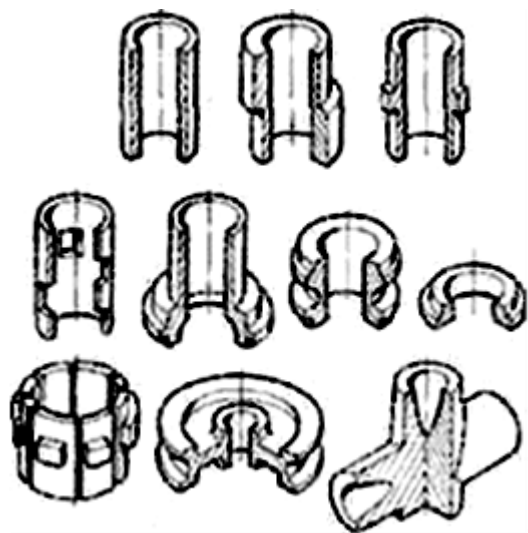


Рис.94. Отливки различной конфигурации ,
получаемые ЦЭШЛ

В зависимости от массы заготовок и от их серийности возможно применение той или иной из существующих схем ЦЭШЛ и ЭКЛ. При массе заготовок 50 кг и более и серийности от нескольких сотен до нескольких тысяч штук в год, как правило, применяют схему одна плавка — одна отливка, т. е. такую технологическую схему, когда весь накопленный в плавильном тигле металл заливают со шлаком в одну литейную форму. При меньшей массе заготовок и большей серийности применяют технологические схемы, предусматривающие использование «многоручьевой» разливки или центробежных машин карусельного типа. Возможно осуществление непрерывного процесса, когда электрошлаковая плавка исходного металла идет без остановки, а по мере накопления необходимой порции жидкого металла плавку выпускают или «вычерпывают» из тигля (ЭКЛЧ).

Высокое качество поверхности и требуемые механические свойства отливок при ЦЭШЛ и ЭКЛ позволяют изготавливать этими способами литые заготовки (взамен поковок) с небольшими (3-5 мм) припусками и широко

использовать новые технологии при производстве заготовок самых разнообразных машиностроительных деталей основного производства, а также для штампового или другого специального инструмента.

Материал отливок ЦЭШЛ и ЭКЛ — стали (конструкционные углеродистые, легированные, инструментальные штамповые, быстрорежущие, валковые стали, коррозионно-стойкие, жаропрочные) и сплавы, чугун, медь и её сплавы.

При проектировании отливок вначале необходимо определить какое число деталей изготавливают из каждой литой заготовки.

Крупные отливки (массой 70 – 80 кг и более) с развитой наружной поверхностью целесообразно получать в отдельных формах. Примеры таких отливок приведены на рис.95.



Рис.95. Отливки ЦЭШЛ: а – крановое колесо, б – каток тяжёлого бульдозера

Отливки меньшей массы формируются в многоместных формах.

Примером могут быть приведенные, на рис.96. отливки штампованных вставок, изготовленные в одной форме.

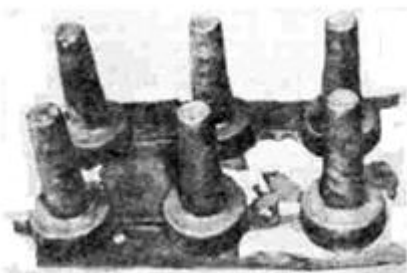


Рис.96. Отливки штампованных

вставок , полученные способом ЭКЛ

2.16. Центробежное литьё

Центробежное литьё – это способ изготовления отливок, при котором заливаемый в форму металл подвергается действию центробежных сил, возникающих в жидком металле при заливке во вращающуюся форму. При центробежном литье используются как разовые, так и постоянные формы. Это даёт возможность комбинировать центробежное литьё с другими видами литья, например с литьем, по выплавляемым моделям, в частности для изготовления титановых отливок.

Схемы центробежного литья приведены на рис. 97.

Наибольший технико-экономический эффект даёт применение центробежного литья при крупносерийном и массовом производстве отливок типа тел вращения.

В процессе затвердевания при центробежном литье происходит утяжеление частиц сплава (за счёт центробежных сил), что является самой характерной особенностью данного способа. Однако химическая неоднородность (ликвация) у центробежных отливок выражена значительно более резко, чем у стационарных отливок.

К основным преимуществам этого способа относятся:

- высокая плотность отливок;
- меньший расход металла из-за отсутствия литниковых систем;
- исключение затрат на изготовление стержней для получения полостей в цилиндрических отливках;
- возможность получения двух, многослойных, а также армированных изделий.

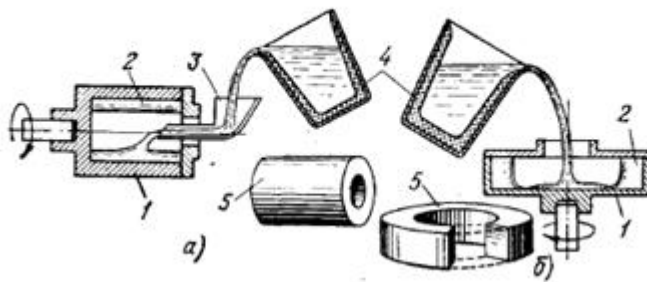


Рис. 97. Схема центробежного литья на различных машинах.

а) – с горизонтальной; б) – с вертикальной осью вращения

1 - вращающаяся форма; 2 – расплавленный металл;

3 – металлоприемник; 4 – ковш; 5 – отливка

Процесс центробежного литья может быть полностью механизирован или автоматизирован.

Центробежному литью свойственны и недостатки:

- неточность диаметра полости отливок со свободной поверхностью;
- загрязнение свободной поверхности отливок неметаллическими включениями;
- для получения отливок требуются специальные машины.

Технологичность литых деталей, получаемых способом центробежного литья, зависит от типа формы. Если это постоянная металлическая форма, то необходимо соблюдать все требования, предъявляемые к отливкам, получаемым литьем в кокиль. Если это разовая форма, то требования к конструкции детали определяются возможностями литья в песчано-глинистые формы.

Центробежным литьем получают:

- трубы для химической промышленности размером 150X16X350 из стали 45X25H20C; рабочая температура труб 900—1000°C;

- трубы для трубчатых печей установок по производству аммиака размером 134 X (20÷22) X 3500 мм, из сплава типа супертерма и размером 324 X19X3500 мм из сплава X20H35C2; рабочая температура труб 900 – 1000⁰С, давление до 4,0 МПа;
- полые заготовки различных размеров из многих высоколегированных сталей и сплавов для роликов термических печей и заготовки другого назначения; рабочая температура заготовок до 900 – 1100⁰С;
- радиационные трубы для термических агрегатов автомобильной, машиностроительной, газовой и других отраслей промышленности размером (126÷ 168) X (6÷10) X (1500÷3000) мм из жаропрочных сталей и сплавов X25H20C2, X20H35C2 и др.;
- трубы размером 226 X13X (4000÷5000) мм из сплавов 40X25H35B2C и 40X28H48B5, используемых для конверсии природного газа в реформерах;
- отливки диаметром 285 и 320мм из стали X18H12M2T для прокатки на автоматических установках с получением труб диаметром 273 и 325мм для нужд химического машиностроения;
- крупногабаритные отливки из углеродистой стали диаметром до 1,5 – 2м для бумагоделательного машиностроения.

Центробежное литьё применяют также для фасонных отливок.

Фасонные отливки изготавливают центробежным литьём в тех случаях, когда литьём в разовые формы эти отливки не могут быть получены, либо их получают с плохими технико - экономическими показателями. Для фасонных отливок используют песчано - глинистые, металлические, керамические и графитовые формы. Наибольшее распространение фасонное литьё получило при производстве шарошек для установок колонкового бурения, корпусов клапанов, авиационных компрессоров и газовых турбин, фасонных барабанов

и крышек энергетических установок высокого давления, турбинных колес, роторов коротко замкнутых двигателей.

В табл.33. приведены механические свойства венцов, изготовленных ковкой и центробежным литьём (12).

Таблица 33.

Механические свойства венцов зубчатых колёс.

Способ изготовления	Б _в	Б _т	δ	Υ
	МПа		%	
Ковка	817	634	16,7	57
Центробежное литьё	872÷1090	660÷885	12,3÷14	30,6÷45,3

Преимущества изготовления заготовок центробежным литьём по сравнению с ковкой является сокращение расхода металла и механической обработки, что приводит к снижению себестоимости.

При производстве фасонных отливок центробежным способом повышается плотность и прочность литого металла, устраняется брак по усадочной пористости и газовым раковинам.

2.17. Литьё по газифицируемым моделям

Суть способа. Эту технологию можно отнести к группе способов получения отливок в неразъемных формах по разовой модели как литье по выплавляемым моделям. Но в отличие от данных сходных способов модель удаляется (газифицируется) не до заливки, а в процессе заливки формы металлом, который, вытесняя (замещая) «испаряющуюся модель» из формы, занимает освободившееся пространство полости формы.

Современные варианты технологического процесса заключаются в следующем.

Разовые пенополистироловые модели изготавливают либо засыпкой в специальные металлические пресс-формы (массовое и крупносерийное производство) суспензионного полистирола в виде подвешенных гранул, либо механической обработкой нормализованных пенополистироловых плит (мелкосерийное, единичное производство). Сложные модели делают по частям. Отдельные части и литниковую систему соединяют в единый блок склеиванием или сваркой.

Собранную модель (рис.98.а) окрашивают слоем огнеупорной краски и сушат на воздухе. В итоге получается огнеупорная газопроницаемая оболочка, прочно связанная с пенополистироловой моделью.

Готовую модель устанавливают в специальную опоку-контейнер, засыпают зернистым огнеупорным наполнителем без связующего, уплотняют его вибрацией, закрывают металлической крышкой с отверстиями, нагружают и устанавливают литниковую чашу (рис98. б). При изготовлении отливок, более сложных, чем показано на рис 98., контейнер после подачи опорного материала закрывают сверху полиэтиленовой пленкой, как при вакуумной формовке. Чтобы уменьшить вероятность разрушения формы в ней создают разрежение до 0,04-0,05 МПа. При изготовлении крупных массивных отливок используют обычные холоднотвердеющие жидкоподвижные или сыпучие формовочные смеси.

Приготовленную форму заливают жидким металлом (рис.98. в). Из-за относительно низкой температуры газификации пенополистирола (около 560 °С) модель газифицируется под воздействием теплоты заливаемого металла и таким образом полость формы постепенно освобождается для жидкого металла.

После затвердевания и охлаждения отливки опоку-контейнер переворачивают, наполнитель высыпается, отделяясь от отливки, и она

(отливка) (рис98.г) поступает на финишные операции. В случае использования обычных формовочных смесей форму выбивают на выбивных решетках.

При проектировании литых деталей по газифицируемым моделям необходимо учитывать технологические требования, применяемые для традиционных отливок. Это относится к сочетаниям в детали стенок различной толщины, радиусов сопряжений и переходов одной поверхности к другой, расположения бобышек, рёбер жёсткости и т.д.

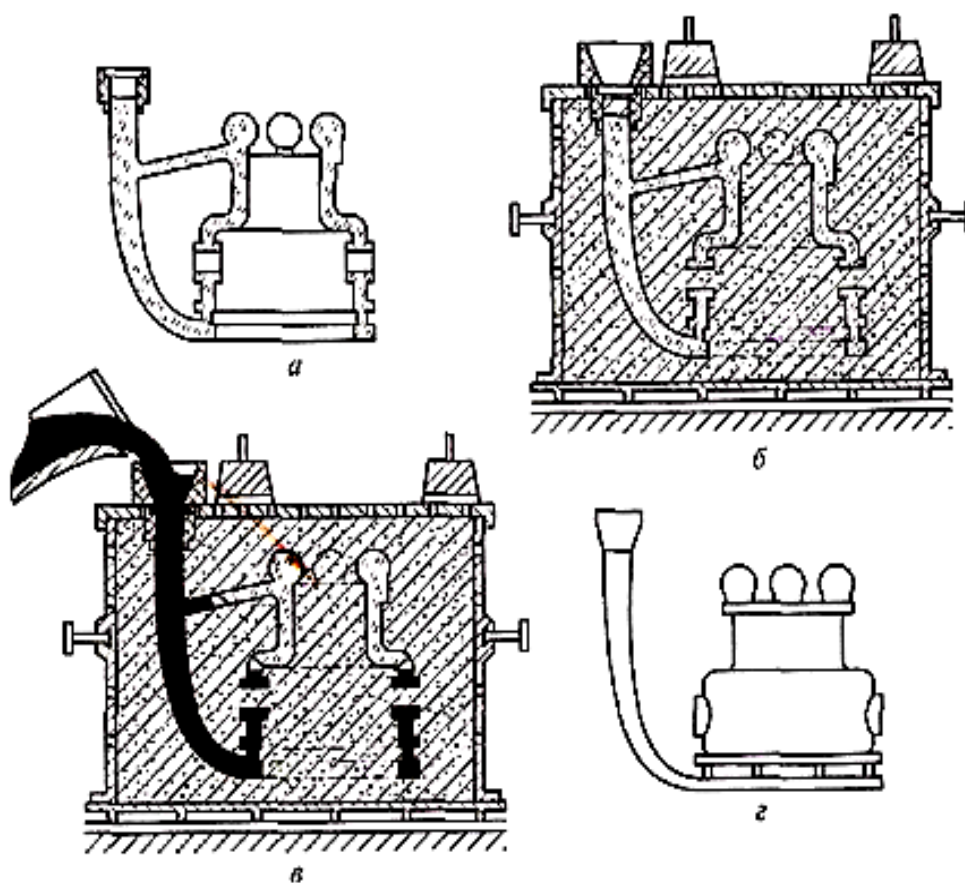


Рис.98. Схема изготовления отливки по газифицируемой модели: а - пенополистироловая модель отливки; б — форма, подготовленная к заливке;

в — заливка формы, газификация модели; г — отливка с элементами
литниковой системы

Также необходимо учитывать технологические требования с особенностями литья по газифицируемым моделям. Если для конструкции литой детали по извлекаемым моделям по возможности необходимо применять при формовке минимальное количество стержней, то при литье по газифицируемым моделям необходимо применять минимальное количество её составных частей. При литье деталей по газифицируемым моделям наиболее трудоёмкой и ответственной операцией всего технологического цикла изготовления отливок является изготовление модели, так как качество модели, её геометрическая форма определяют качество литой детали. Поэтому от технологичности литой детали зависит трудоёмкость и качество газифицируемой модели. Количество составных частей модели зависит от способа её изготовления, который определяется в свою очередь серийностью производства. Таким образом, технологичность литой детали по газифицируемым моделям необходимо увязывать со способом изготовления модели.

При единичном производстве, как правило, газифицируемая модель изготавливается из плит пенополистирола механической обработкой и, следовательно, технологические требования изготовления модели должны учитывать этот фактор.

При литье по газифицируемым моделям, как глухие, так и сквозные отверстия в отливке следует выполнять литыми без стержней (35). Размер отверстий в отливках назначать в соответствии с данными приведенными в табл.34.

Таблица 34

Чугунные	Диаметр	25	26-30	31-40	41-80	81-120	
----------	---------	----	-------	-------	-------	--------	--

отливки	отверстия, мм						
	Протяжённость отверстий, мм	25	26-40	42-100	100-200	200-800	
Стальные отливки	Диаметр отверстий, мм	30-60	61-70	71-90	91-140	141-280	281-360
	Протяжённость отверстий, мм	До 60	25-50	50-100	100-200	200-400	400-1000

Диаметр глухих отверстий увеличивается на 20%. Тепловые узлы в отливках разгружать отверстиями и полостями. Нельзя допускать расположение на деталях рёбер, бобышек и других выступающих частей, затрудняющих усадку отливки в форме при её охлаждении после заливки. Большие верхние плоские поверхности целесообразно заменять наклонными или располагать рёбра жёсткости так, чтобы уменьшить возможность образования углеродистых раковин на чугунных отливках и газовых – на стальных. Не допускаются резкие переходы от одной стенки детали к другой при разной толщине, острые углы сочленения стенок детали. В зависимости от серийности производства модели могут изготавливаться автоклавным или машинным способом в пресс – формах. Однако при автоклавном процессе пресс – форма может иметь разъёмных и отъёмных частей, то при машинном производстве, как правило, один разъём. Поэтому и требования к конструкции детали различные.

При изготовлении модели автоклавным способом, необходимо, чтобы модель отливки была выполнена в одной пресс – форме с минимальным количеством разъёмов и отъёмных частей.

При машинном изготовлении модели, конструкция детали должна быть такой, чтобы модель была выполнена в пресс – форме с одним простым плоским разъёмом. При невозможности выполнить данное требование, необходимо, чтобы конструкция детали позволяла разделить модель на минимальное количество простых элементов, последующая сборка которых в

единую модель не требовала бы сложных кондукторов и других приспособлений.

Учитывая, что форма изготавливается из сыпучих материалов, необходимо предусмотреть возможность заполнения внутренних полостей детали и отверстий сыпучим формовочным материалом (песком). Если невозможно изменить конструкцию детали, имеющей закрытые полости и отверстия, которые невозможно заполнить песком, надо предусматривать технологические отверстия, которые впоследствии подлежат заварке или заделке пробками

Главная особенность способа (применение неразъемной формы) определяет его основное преимущество для качества готовых отливок — повышение точности отливок благодаря сокращению числа частей формы, стержней, а следовательно, и возможных искажений конфигурации и размеров отливок, связанных с изготовлением и сборкой этих элементов формы. Точность отливок при литье по газифицируемым моделям в песчаные формы без связующего и с ним характеризуется ГОСТ 26645 — 85 (изм. № 1, 1989) идентично точности отливок, получаемых в кокиль или в облицованный кокиль со стержнями. Отливки с размерами до 500 мм могут иметь точность от 7-го до 12-го класса по ГОСТ 26645 — 85 (изм. № 1, 1989). Шероховатость поверхности $R_z = 25-10$ мкм. Стабильность размеров модели, отсутствие разъемов формы и постоянство технологических параметров позволяют поднять точность отливок до уровня точности отливок по выплавляемым моделям. Кроме того, способ позволяет существенно снизить затраты и сократить время процесса, особенно в мелкосерийном и единичном производстве средних и крупных отливок.

Несомненное преимущество литья по газифицируемым моделям перед литьём по выплавляемым моделям—простота его осуществления. Этим способом получают отливки массой от нескольких килограмм до 10 тонн.

Себестоимость отливок в два раза ниже, по сравнению с отливками по выплавляемым моделям.

Способу присущи и недостатки:

- однократное использование модели;
- сильное газовыделение, что требует интенсивной вентиляции или спецвакуумирования форм.

К настоящему времени областями применения литья по газифицируемым моделям являются следующие:

- изготовление средних и крупных массивных отливок в условиях опытного и мелкосерийного производства;
- изготовление сложных отливок массой до 50 кг с повышенной точностью размеров в условиях серийного и крупносерийного производства из черных и цветных сплавов. К таким отливкам можно отнести, например, отливку типа «блок цилиндров» для автомобильного двигателя.

2.18. Литьё под давлением

Литьё под давлением по технологическим и экономическим показателям занимает ведущее место среди способов получения отливок, так как при наибольшем приближении формы и размеров отливки к готовой детали, высокой точности и чистоты поверхности этот способ обеспечивает и наиболее высокий уровень производительности труда, возможность полной автоматизации технологического процесса.

Литьём под давлением изготавливают сложные тонкостенные отливки из цветных сплавов на основе алюминия, магния, меди, цинка. Масса

отливок от нескольких граммов до десятков килограммов, производство, как правило, крупносерийное или массовое.

Точность отливок может достигать 10-го качества, а шероховатость поверхности $R_z = 40—20 \text{ мкм}$.

Основные преимущества литья под давлением по сравнению с литьём в песчано-глинистые формы следующие:

- многократное использование литейных форм;
- полное исключение формовочных и стержневых смесей;
- высокая точность размеров и чистота поверхности, практически не требующих механической обработки;
- возможность получения отливок с малой толщиной стенок большой протяженности;
- полное исключение трудоёмких операций формовки, сборки и выбивки форм;
- возможность комплексной автоматизации производственного процесса.

К недостаткам способа литья под давлением относятся следующее:

- высокая стоимость пресс-форм, сложность и длительность их изготовления;
- трудность выполнения отливок со сложными полостями и поднутрениями.

При проектировании деталей для изготовления литьём под давлением необходимо учитывать следующее:

- толщина стенки не должна превышать 10 мм;
- на отливке возможно образование заусенца из-за не плотного примыкания плоскостей пресс-форм;
- возможность армирования отливки.

Минимальная толщина стенок в литых деталях, изготавливаемых литьём под давлением (31)

Таблица 35

Площадь поверхности отливки, см ²	Сплавы			
	Цинковые	Магниевые	Алюминиевые	Медные
До 25	0,8	1,3	1,0	1,5
От 25 до 100	1,0	1,8	1,5	2,0
> 100 >225	1,5	2,5	2,0	3,0
>225 > 400	2,0	3,0	2,5	3,5
> 400 > 1000	-	4,0	4,0	-

К недостаткам литья под давлением следует отнести также сравнительно высокую пористость, особенно при толщине стенки более 8мм, что исключает возможность применения упрочняющей термической обработки.

Уменьшить пористость отливок и повысить их герметичность возможно за счёт применения вакуумирования при заливке расплава жидкого металла или применения изостатической обработки отливок

Типовые заготовки, изготавливаемые литьём под давлением представлены на рис. 99.

Армирование при литье под давлением

Литьё под давлением является одним из основных способов получения

особо точных и тонкостенных

армированных отливок из цветных сплавов.



Рис.99. Типовые заготовки, изготовленные литьём под давлением.

Типовая армированная отливка представлена на рис.100.

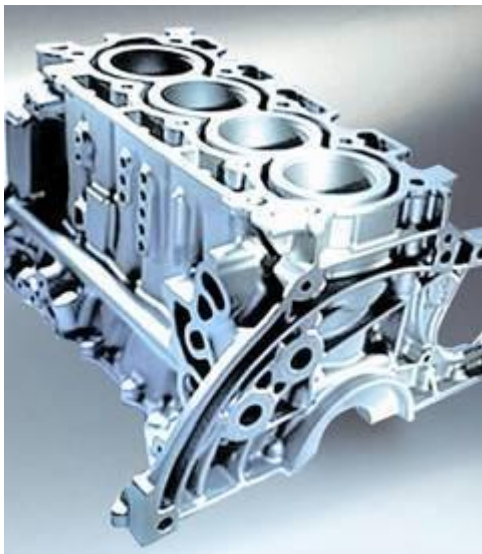


Рис.100. Армированная отливка

Армирование выполняют в следующих целях: для сообщения отдельным частям или всей отливке в целом особых физико-механических свойств - прочности, износоустойчивости, эластичности, способности к пайке, электро-магнитных свойств и т.д., а также для придания определенной конфигурации, которую невозможно получить при литье другими способами;

-для соединения в один узел без сборочных операций нескольких деталей путем заливки их на общий вкладыш;

-для облегчения последующей сборки заливкой в тело детали резьбовых и других крепежных изделий;

-для уменьшения массы отливок и экономии металла благодаря получению тонких стенок, образованию замкнутых полостей и пр.

Для армирования используют вкладыши: различной конфигурации штифтовые (резьбовые шпильки, болты, оси и штифты), втулочные (гайки,

резьбовые и гладкие втулки, подшипники), трубчатые, прямолинейные, криволинейные, плоские, фигурные; из различных материалов — металлов и их сплавов (черных, цветных, магнитных, с большим электросопротивлением и др.) и неметаллов (пласт-массы, керамики, прессованного картона, дерева, фибры, ткани и др.); изготовленные разными способами — обработкой резанием (на револьверных, токарных, винторезных фрезерных и других станках), холодной обработкой давлением (главным образом штамповкой), литьем под давлением и по выплавляемым моделям; методами порошковой металлургии.

В массовом производстве с помощью ЛПД получают армированные отливки следующей номенклатуры:

- шкивы к комбайнам, армированные центральными втулками (отливки производят на оборудовании с электронным управлением и высокой степенью автоматизации);
- тормозные барабаны для легковых автомобилей;
- клапанные кронштейны из силумина с чугунным опорным вкладышем (при литье используют вакуум; большинство операций автоматизировано);
- трубчатые электрические нагреватели с литыми штуцерами, ребрами для рассеяния тепла или плитами;
- головки и блоки цилиндров новой конструкции с залитыми гильзами или фигурными патрубками;
- детали электронных приборов и устройств, включая волноводы, магнитные и другие узлы;
- роторы и статоры электродвигателей и приборов; для их производства внедрены комплексы с оснасткой усовершенствованной конструкции, освоенные технологические режимы обеспечивают улучшение качества армированных отливок.

При проектировании армированных отливок следует учитывать, что используемое оборудование дает возможность в широких пределах варьировать выполнение конструктивных элементов армированных отливок. Поэтому часть выработанных теорией и практикой правил в случае проектирования армированных отливок влияют преимущественно на технико-экономические показатели.

Наиболее общие рекомендации сводятся к следующему:

- заливаемое сечение металлического вкладыша должно быть небольшим по сравнению с сечением отливки, чтобы избежать образования трещин из-за внутренних напряжений, возникающих при усадке;
- вкладыш должен достаточно прочно фиксироваться в пресс-форме (ПФ), чтобы противостоять течению металла при заливке;
- заливаемую часть вкладыша необходимо поджимать частями ПФ.

Другой вариант заключается в том, чтобы иметь в стенке армированной отливке отверстие, как след поджимающего вкладыш стержня. Если заливаемая часть не проходит через всю стенку отливки, то ее следует располагать на глубине одного-двух диаметров. Торец заливаемой части при этом должен иметь фаску, чтобы уменьшить вероятность образования трещины.

На заливаемых частях вкладышей должны быть предусмотрены элементы, обеспечивающие повышенную прочность сцепления: накатка, канавки, всевозможные подрезы и т. п. Оценка прочности сцепления арматуры в условиях особо тонкой литой стенки без приливов для семи

вариантов штифтовой арматуры приведена на рис. 101.

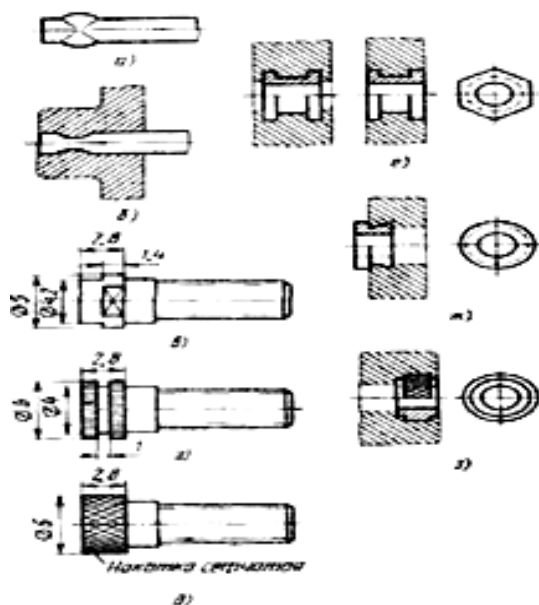


Рис.101. Примеры армированных узлов с штифтовыми (а – д) и втулочными (е – з) вкладышами

Если штифтовый вкладыш имеет резьбу, то она не должна доходить до литой стенки на расстояние не менее полудиаметра, чтобы предотвратить заливку резьбы. Если этого выполнить нельзя, приходится удлинять процесс и ввёртывать предохранительную втулку.

Для исключения коррозионных явлений вкладыш следует покрывать защитным слоем. Покрытие большое влияние оказывает на герметичность отливки.

Для литья под давлением применяют специальные машины с горячей камерой прессования (рис102) и холодной камерой прессования (рис103).

Литейные машины с горячей камерой прессования высокопроизводительны (производительность машин 250÷1000 отливок в час), но применяются для литья сплавов с низкой температурой плавления, например, цинковые.

Литейные машины с холодной камерой прессования используют для литья сплавов, имеющих более высокие температуры плавления, например сплавы на основе алюминия, магния, меди. Известны примеры литья под давлением сплавов на основе титана.

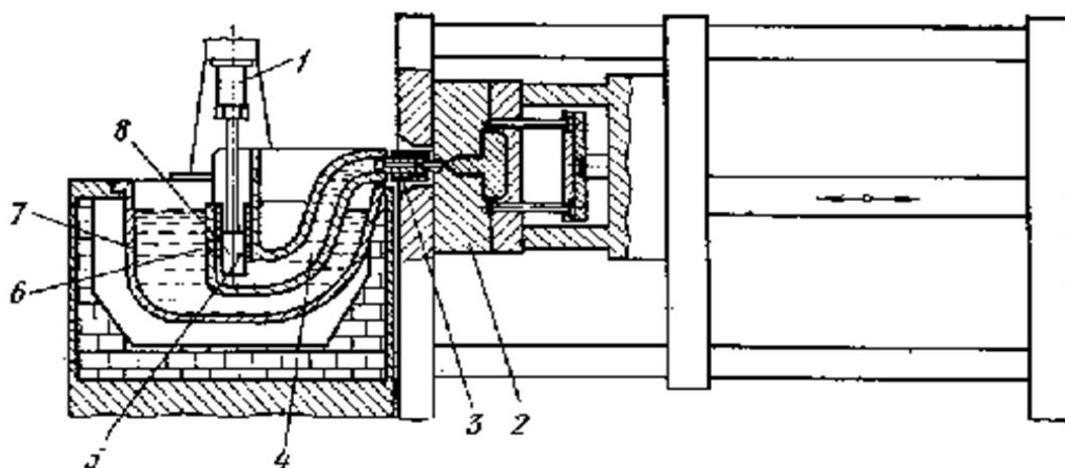


Рис.102.Литейная машина с горячей камерой прессования: 1 – цилиндр; 2 – пресс-форма; 3 – мундштук; 4 – канал; 5 – полость цилиндра; 6 - отверстие; 7 - чугунный тигель; 8 – поршень.

Основой получения стабильно качественных отливок является термостатирование литейных форм и полная автоматизация процесса, начиная от подачи расплава в форму и заканчивая отделочными операциями полученной отливки.

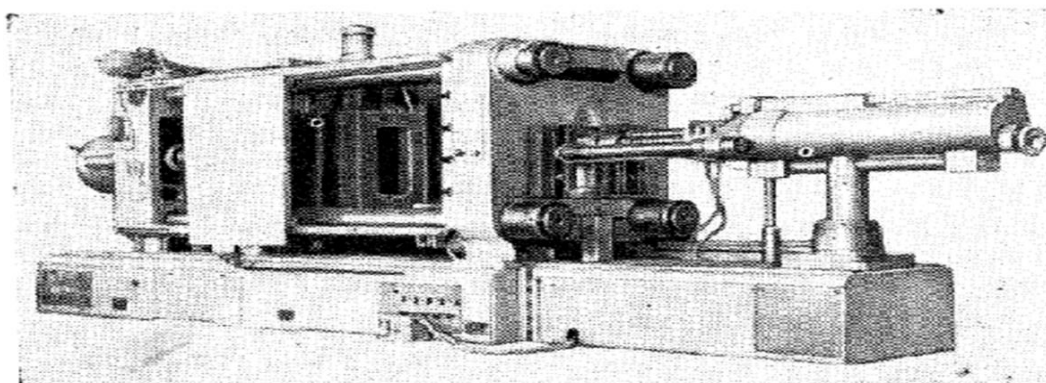


Рис.103.Литейная машина с холодной камерой прессования

2.19. Применение прототипирования при изготовлении литых заготовок

Примерно с начала 1980-х начали интенсивно развиваться технологии формирования трёхмерных объектов не путём удаления материала (точение, фрезерование, электроэрозионная обработка) или изменения формы заготовки (ковка, штамповка, прессовка), а путём постепенного наращивания (добавления) материала или изменения фазового состояния вещества в заданной области пространства. Эти технологии известны под разными терминами, например, SFF (SolidFreeform Fabrication), FFFF (FastFree Form Fabrication) или CARP (Computer AidedRapid Prototyping), однако наибольшее распространение получил термин RP (Rapid Prototyping) – Быстрое прототипирование. Эти технологии нашли применение для изготовления опытных партий отливок, в том числе литьём по выплавляемым моделям, деталей разного назначения в автомобилестроении, авиастроении, ракетной и космической технике, для медицинских целей и получения художественных изделий

Существует большое разнообразие методов «выращивания» изделий, наиболее широкое применение нашли следующие из них:

- метод лазерной стереолитографии.

Лазерная стереолитография (ЛС) основана на полимеризации, фотоинициированной лазерным излучением, а также излучением ртутных или люминесцентных ламп. В основе этой технологии - создание с помощью инициирующего (например, лазерного) излучения в жидкой реакционноспособной среде активных центров (радикалов, ионов,

активированных комплексов), которые, взаимодействуя с молекулами мономера, вызывают рост полимерных цепей, т. е. процесс полимеризации.

Вследствие полимеризации происходит изменение фазового состояния среды — в обработанной области образуется твердый полимер.

Особенности технологического процесса. Технология предусматривает создание трехмерной электронной модели будущей отливки системой CAD, которая разбивается на тонкие слои. На лазерной стереолитографической установке эти слои реально воссоздаются и соединяются воедино. В результате выстраивается физический объект в виде мастер-модели из фотополимера для литья по выплавляемым моделям.

Полученная модель с литниковой системой формуется в гипсодинасовой смеси. Форму прокаливают до полного удаления мастер-модели. Заливают в форму металл. Затем форму разрушают, отделяя литниковую систему и зачищая отливку.

Преимущества процесса — резкое (в 5—10 раз) сокращение времени на разработку и внедрение новых изделий; значительное сокращение времени и средств на технологическую подготовку производства, полное исключение ручного труда при изготовлении мастер-модели; изготовление сложных деталей (моделей оснастки, спроектированных в разных САПР; достижение высокой точности изготавливаемых отливок).

Схема установки приведена на рис.104. Техническая характеристика установки: отклонения размеров моделей не более 0,1 мм; габаритные размеры до 250 x 250 x 250 мм; масса модели не более 5 кг. Отливки могут быть изготовлены из любого литейного материала.

Нанесение термопластов (FDM — Fused Deposition Modeling)

Принцип создания моделей-прототипов по технологии FDM (Fused Deposition Modeling) заключается в послойной укладке расплавленной

полимерной нити. Нить подаётся с катушки в экструзионную головку. Нанесенный на поверхность материал охлаждается и отвердевает. В качестве поддержки используется дополнительная головка со специальным материалом. Прототипы обладают практически теми же свойствами, что и изделия, полученные из этих материалов методом литья под давлением (до 80% прочности в сравнении с отливкой).

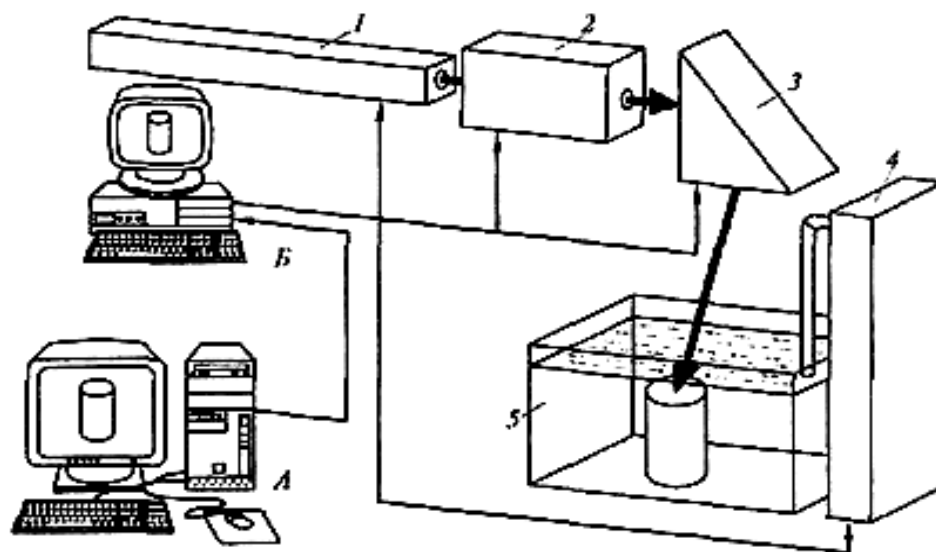


Рис. 104.Схема установки для изготовления моделей с использованием

лазерной стереолитографии:

1 — HeCd-лазер; 2 — акустико-оптический затвор; 3 — двухкоординатный сканатор ; 4 — элеватор; 5 — емкость с жидким фотополимером; А - компьютерное моделирование и подготовка данных для системы управления установкой; Б - управляющий компьютер.

Прототип может быть подвергнут разнообразной механической обработке, легко клеится и подвергается ультразвуковой сварке.

Преимущества FDM:

- Возможно изготовление элементов типа «защелка»

- изготовление сложных узлов в сборе
- использование ABS и PC материалов для построения прототипа
- возможность производить испытания на собираемость, функциональность и климатику
- изготовление стойких (50-150 съёмов) моделей для литья в песчаные формы.

Лазерное спекание металлических порошков (SLS — Selective Laser Sintering)

Суть метода заключается в спекании частиц порошкового материала. Порошок укладывается тонким слоем, далее в соответствии с текущим сечением прототипа, слой порошка выжигается лазером. В местах прохода лазера порошок оплавляється, образуя твердую массу, поверх текущего слоя укладывается следующий. Процесс повторяется.

В качестве материалов используются полиамид, полистирол, песок и порошки некоторых металлов. Особенностью метода является отсутствие необходимости в структурах поддержки, т.к. прототип находится в однородной массе порошка.

Прототипы могут быть обработаны специальной пропиткой, чтобы обеспечить водонепроницаемость, а так же могут быть подвержены различной механической обработке.

Спекание металлического порошка происходит в рабочей камере установки под воздействием лазерного луча высокой мощности. При попадании лазерного пятна на порошок, происходит связывание соседних частиц текущего слоя между собой в единую кристаллическую решетку и с уже отвержденным предыдущим слоем. Процесс идет без перехода металла в жидкую фазу при стабильной температуре. Нагрев металла носит локальный

характер, чтобы избежать перегрева металла в одной области и обеспечить надежную связь между слоями, используются специальные стратегии экспонирования слоя порошка лазерным лучом.

Для того, чтобы в процессе спекания избежать окисления металла, перед началом рабочего процесса из рабочей камеры удаляется кислород и камера заполняется инертным газом. При спекании изделий из различных марок стали и бронзы, рабочая камера заполняется азотом, который вырабатывается подсистемой сепарации азота из воздуха. Эта подсистема является составной частью установки лазерного спекания. При изготовлении деталей из титана, алюминия и других цветных металлов, в качестве наполнителя среды используется аргон.

При нагреве металла в процессе спекания происходит сублимация небольшой части порошка в пространство рабочей камеры. Эти продукты «горения» могут оседать на внутренних поверхностях рабочей камеры и образовывать нежелательные включения в изготавливаемой детали. Поэтому во время рабочего процесса производится постоянная рециркуляция газа в рабочей камере. Вентилятор отсасывает газ из рабочей камеры и направляет его на фильтры рециркуляции газа, где газ очищается от примесей и вновь подается в рабочую камеру.

Поскольку в процессе спекания отсутствуют химические реакции, обеспечивается высокая химическая чистота материала, из которого изготавливается деталь. Плотность выращенной детали практически соответствует плотности литого изделия. При спекании очень важно точно подобрать и стабильно выдерживать режим работы лазера, который должен быть сопоставлен со спекаемым металлом. Также большое значение имеет качество порошка. Сложность физических процессов, происходящих в металле при спекании его порошковой формы в твердое тело, накладывают

свой отпечаток на технологию. Круг металлов, которые доступны для производства по технологии селективного лазерного спекания, пока ограничен.

На сегодняшний день доступные для спекания металлы и сплавы включают:

титан, алюминий, никель, бронза, сплав кобальт + хром.

Преимущества процесса прототипирования при изготовлении заготовок и пресс – форм для изготовления моделей литья по выплавляемым моделям:

- возможность производить испытания на собираемость и функциональность,
- возможность изготавливать рабочие шарниры,
- изготовление сложных узлов в сборе,
- высокая скорость построения детали,
- возможность создания металлических изделий, металлокерамических (например, из карбида вольфрама);
- возможность быстрого выпуска пилотных партий изделий.

Проблемы технологий быстрого прототипирования:
относительно высокая цена установок и расходных материалов;
невысокая точность получаемых изделий, связанная с размерами частиц материала, применяемого для прототипирования.

ГЛАВА 3. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЗАГОТОВОК МЕТОДОМ ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ

3.1. Основные положения по выбору способов литья

В современном машиностроении одним из основных методов изготовления заготовок из металлических материалов является обработка давлением.

Все процессы обработки металлов давлением основаны на способности металлических материалов, в твёрдом состоянии устойчиво, изменять форму и размеры под действием приложенных внешних сил, т.е. пластически деформироваться. Обработка давлением позволяет в процессе пластической деформации придавать заготовкам не только заданную форму, но и изменять структуру (форму и размеры зёрен, направленность макроструктуры) и физико-механические свойства.

Метод обработки металлов давлением разделяется на две основные группы-процессы металлургического и машиностроительного производства.

К первой группе относятся процессы металлургического производства, в основе которых лежит принцип непрерывности технологического процесса. Сортамент машиностроительных профилей составляет миллионы типоразмеров и его разделяют на четыре основные группы: сортовые профили, листовой металл, трубы и периодические профили.

Сортовые профили (рис.105.а) делят на профили простой геометрической формы (круг, квадрат, шестигранник, прямоугольник) и фасонные (швеллер, рельс, угловой, тавровый профили и т.д.).

Листовой металл из стали и цветных металлов используют в различных отраслях промышленности. Листовую сталь, например, делят на автотракторную, трансформаторную, кровельную жёсть и т.д.

Трубы делят на бесшовные и сварные. Бесшовные трубы используют в наиболее ответственных случаях - в трубопроводах, работающих под внутренним давлением, в агрессивных средах.

Периодические профили имеют периодически изменяющуюся форму и площадь поперечного сечения вдоль оси заготовки (рис.110. б); их применяют как фасонную заготовку для последующей штамповки и как заготовку под окончательную механическую обработку.

Для изготовления машиностроительных профилей применяют различные виды обработки металлов давлением: прокатку, прессование, волочение, профилирование листового металла. Поэтому кроме группирования по приведенным геометрическим признакам профили разделяют и по способу их изготовления.

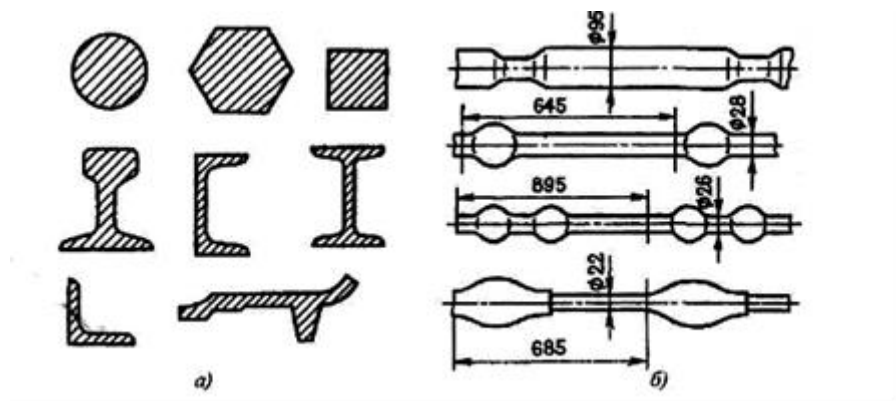


Рис.105. Примеры сортовых а и периодических б профилей

Во вторую группу входят такие процессы, как ковка, штамповка (горячая и холодная), листовая штамповка и другие специальные способы изготовления заготовок (калибровка, раскатка и т.д.). Эти способы обеспечивают высокую точность заготовок и в ряде случаев для изготовления деталей не требуют последующей механической обработки. Обработке давлением могут подвергаться, как правило, те металлы и сплавы, которые обладают запасом пластичности, т.е. обеспечивать деформацию без нарушения сплошности материала. На пластичность оказывает влияние ряд факторов — химический состав материала, температура и скорость деформации, форма очага деформации и т.д. Создавая соответствующие условия деформирования, можно получить требуемую технологическую пластичность.

В зависимости от температуры и скорости различают холодную и горячую деформации.

Холодная деформация происходит при таких температурно-скоростных условиях, когда в материале протекает только один процесс – упрочнение (или наклёп) металла. В процессе холодной деформации образуется волокнистая структура, повышается прочность и снижается пластичность материала, возникает преимущественная ориентация кристаллографических осей зёрен, образуется так называемая текстура, что является причиной повышения анизотропии механических свойств материалов.

Горячая деформация осуществляется при таких температурно-скоростных условиях обработки, когда в материале протекают одновременно два процесса: наклёп и рекристаллизация (упрочнение и разупрочнение), причём скорость разупрочнения равна или выше скорости упрочнения. При горячей деформации улучшаются все механические свойства материалов: прочность, пластичность, ударная вязкость. После горячей деформации, как правило, микроструктура равноосная, мелкозернистая, макроструктура волокнистая. Используя определённые операции деформации, можно получить макроструктуру, совпадающую с направлением максимальных напряжений в детали при её эксплуатации. Это явление особенно важно при изготовлении ответственных, нагруженных деталей типа турбинных дисков, валов, роторов и т.д.

Деформируемые заготовки в зависимости от конструктивных характеристик по точности изготовления (табл.36.). Класс точности устанавливается в зависимости от особенностей технологического процесса и оборудования.

Классы точности деформируемых заготовок представлены в табл.36 (43).

Таблица 36.

Основное деформирующее оборудование	Технологические процессы	Класс точности				
		T1	T2	T3	T4	T5
Кривошипные горячештамповочные прессы	Открытая (облойная) штамповка				+	+
	Закрытая штамповка		+	+		
	Выдавливание			+	+	
Штамповочные молоты					+	+
Горизонтально – ковочные машины					+	+
Прессы винтовые, гидравлические					+	+
Горячештамповочные автоматы			+	+		
	Калибровка объёмная (горячая и холодная)	+	+			
	Прецизионная штамповка	+				

Примечания: 1. Прецизионная штамповка – способ штамповки, обеспечивающий устанавливаемую точность и шероховатость одной или нескольких функциональных поверхностей заготовки, которые не подвергаются окончательной обработке.

2. При пламенном нагреве заготовок для классов T2 – T4 точность снижается на один класс.

3. При холодной или горячей плоскостной калибровке точность принимают на один класс выше.

Допуски, припуски и напуски на деформируемые заготовки, штампуемые на молотах, прессах и горизонтально – ковочных машинах назначают по ГОСТ 7505 – 89; по отраслевым стандартам, предусматривают техническими условиям согласованными между заказчиком и потребителем.

При указанных достоинствах, метод обладает рядом недостатков:

- ограничение размеров, формы и массы заготовок, особенно при штамповке;
- форма заготовок должна быть более простой по сравнению с литой заготовкой;

- деформированные заготовки, в частности штампованные, имеют большие припуски на механическую обработку по сравнению с литыми заготовками;
- для деформирования необходимо применять материалы, обладающие определённой пластичностью.

Для изготовления заготовок методом обработки давлением используются углеродистые и легированные конструкционные стали, высоколегированные стали и коррозионно-стойкие, жаростойкие сплавы, алюминиевые сплавы, магниевые сплавы, медные сплавы, титановые сплавы, жаропрочные сплавы.

Некоторые материалы, применяемые для деформированных заготовок, и область их применения представлены в табл.37.

Таблица 37.

Механические свойства деформируемых латуней после отжига (ГОСТ 15527 – 70)

Марка латуни	σв	σ 0,2	δ	ψ	КСУ МДж/м ²	НВ
	МПа		%			
Л90	260	120	45	80	1,76	53
Л68	320	90	55	70	1,68	55
Л63	330	110	50	66	1,37	56
Л60	380	160	25	62	0,78	77
ЛА77-2	400	140	55	58		60
ЛАН59-3-2	380	300	50		0,5	75
ЛН-65-5	400	170	65			60
ЛЖМц59-1-1	450	170	50	58	1,18	88
ЛМц58	400	160	40	52,5		85
ЛО70-1	350	100	60	70	0,6	60
ЛК80-3		200	58	55	0,4	100

Латуни применяют для деталей глубокой вытяжки типа радиаторных трубок, снарядных гильз, а также для штамповки тройников, втулок, гаек.

Деформируемые оловянные бронзы обладают высокими упругими свойствами и сопротивлением усталости (8). Их используют для

изготовления круглых и плоских пружин в точной механике, электротехнике и других областях промышленности. Свойства некоторых деформируемых бронз приведены в табл.38.

Таблица 38.

Механические свойства деформируемых оловянных бронз (ГОСТ5017-74)

Марка бронзы	σ_B	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ	КСУ МДж/м ²	НВ
	МПа		%			
БрОФ6,5-0,15	400	250	65	80	0,49	70
БрОФ6,5-0,4	400	250	65	80	0,59	80
БрОФ4-0,25	340		50	85		63
БрОЦ4-3	350	65	40	62	0,39	60
БрОЦС4-4-2,5	350	130	40	34	0,36	60

Высокой пластичностью обладают деформируемые алюминиевые сплавы. Механические свойства некоторых деформируемых алюминиевых сплавов приведены в таблице.

Таблица 39.

Механические свойства деформируемых алюминиевых сплавов

Марка сплава	Вид полуфабриката	σв	σ 0,2	σ -1	δ %	НВ
		МПа				
АМц	Листы	130	50	55	20	30
АМг2	Листы	190	100	125	23	45
АМг6	Листы	340	170		20	70
Д1	Листы	400	240	105	20	95
	Прессованные прутки	480	320	125	14	
Д16	Листы, плиты	440	330	115	18	105
	Прессованные прутки	530	400	140	11	
Д18	Проволока	300	170	95	24	70
В95	Листы, плиты	540	470	150	10	150
	Прессованные прутки	600	560	150	8	100
АК6	Поковки	400	299	125	12	100

AK8	Поковки	480	380	130	9	135
-----	---------	-----	-----	-----	---	-----

Механические свойства деформируемых магниевых сплавов приведены в табл.40.

Таблица 40.

Механические свойства деформируемых магниевых сплавов (ГОСТ 14957 – 76)

Марка сплава	σв	σ 0,2	δ %	КСУ МДж/м ²	НВ
	МПа				
МА5	320	220	14		55
МА11	280	140	10	0,35	
МА14	350	300	9	0,6	60
МА19	380	330	5	0,5	80

В промышленности широкое применение нашли деформируемые титановые сплавы, механические свойства некоторых сплавов приведены в табл.41.

Таблица 41.

Механические свойства деформируемых титановых сплавов.

Сплав	Структура	σв	σ 0,2	δ %	КСУ МДж/м ²
		МПа			
BT5	α - сплавы	700-950	660-850	10-15	0,3-0,5
BT5-1		750-950	650-850	10-15	0,45
OT4-1	Псевдо- α - сплавы	600-750	470-650	20-40	0,5
OT-4		700-900	550-650	12-20	05
BT20		950-1150	850-1000	8	0,4-0,5
BT6	(α +β) сплавы	1100-1150	1000-1050	14-16	0,3
BT14		1150-1400	1080-1300	6-10	
BT16		1250-1450	1100-1200	4-6	0,4-0,6
BT22		1100-1250		9	0,4

3.3 Способы изготовления заготовок обработкой металлов давлением

В настоящее время известны сотни способов, изготовления заготовок обработкой металлов давлением.

Схема основных способов изготовления заготовок обработкой давлением на машиностроительных заводах представлена на рис.111.

Как указывалось ранее, большую группу составляют заготовки, изготавливаемые металлургической промышленностью. Это листы, ленты, полосы, периодический и профильный прокат, трубы, проволока и т.д.

Указанные заготовки применяются как в единичных, так и в массовых производствах.

Заготовки, изготавливаемые на машиностроительных предприятиях, классифицируются по различным признакам. В зависимости от течения металла и применяемого инструмента заготовки изготавливаются ковкой и штамповкой. Штамповка в свою очередь подразделяется на горячую и холодную, и специальную. К специальным видам относятся высокоскоростная штамповка, штамповка в изотермических условиях, условиях сверхпластичности, калибровку горячую и холодную.

Горячая штамповка в зависимости от вида штампов подразделяется на штамповку в открытых и закрытых штампах, штамповку выдавливанием.

В зависимости от применяемого оборудования горячая штамповка подразделяется: - на молотовую штамповку, прессовую, специальную. К специальным способам штамповки относятся штамповка на ротационных и радиально – ковочных, гибочных машинах. Штамповка на раскатных машинах, сферодвижных прессах и т.д.

Холодная штамповка подразделяется на объёмную штамповку и листовую.

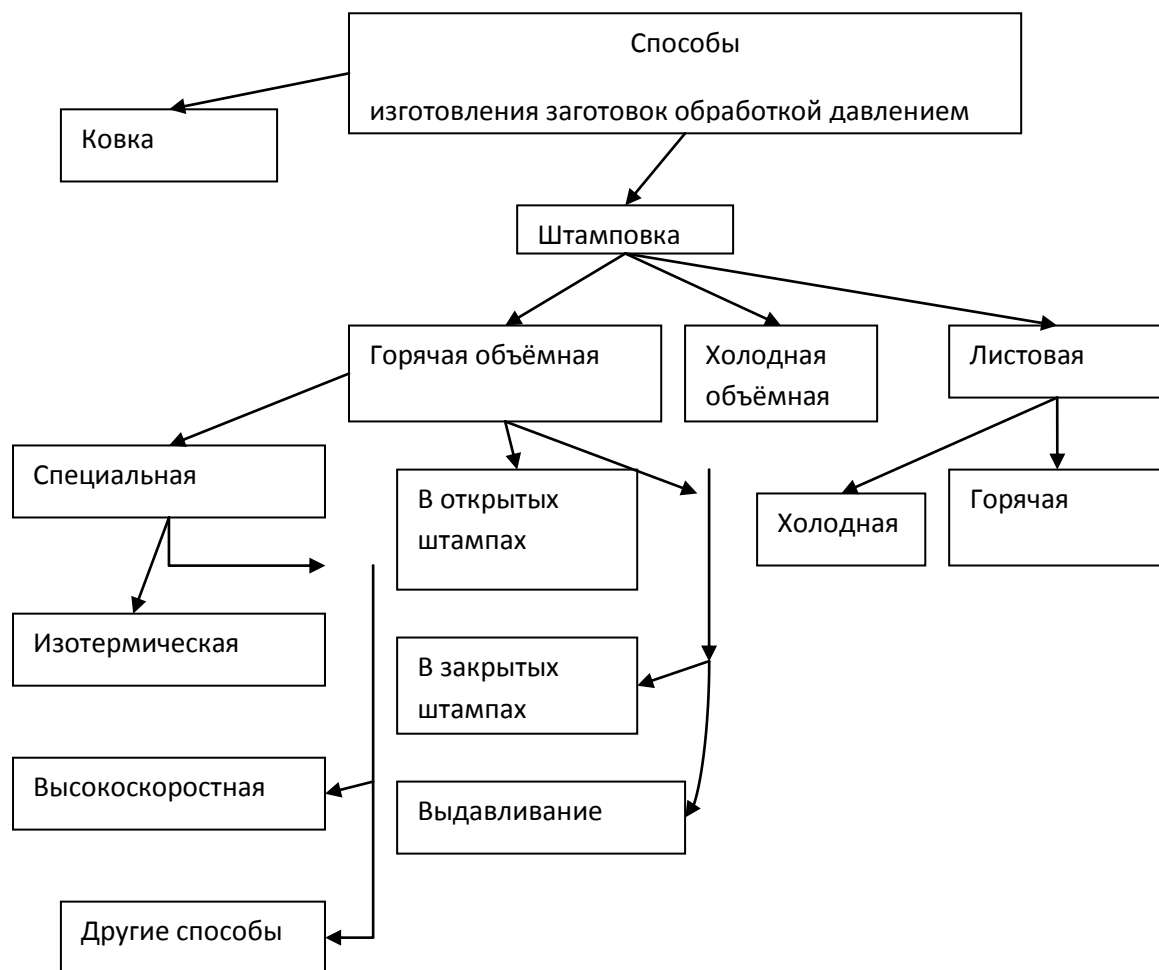


Рис. 106. Схема основных способов изготовления заготовок обработкой давлением на машиностроительных заводах.

Операции холодной штамповки подразделяются на разделительные когда одна часть металла отделяется от другой. Формоизменяющие операции, при которых без разрушения заготовок изменяется их форма.

Комбинированные, когда сочетаются разделительные и формоизменяющие операции. Штампосборочные операции, при которых механически соединяют отдельные листовые штампованные детали.

Очень важно при рациональном выборе способа изготовления заготовки знать их технологические характеристики и соответственно назначать требования к их изготовлению.

3.3.1. Способ изготовления заготовок ковкой металлов.

Ковкой называют вид обработки металлов давлением, при котором исходной заготовке придают необходимую форму с помощью универсального инструмента, не ограничивающего течение металла в плоскости, перпендикулярной действию силы.

Ковкой достигают две основные цели: придают заготовке форму, приближающуюся к форме готового изделия; улучшают механические свойства материала заготовки, вследствие чего повышается качество полученного полуфабриката или изделия.

Ковку подразделяют на ручную и машинную. При ручной ковке используют кувалды и наковальни с набором инструмента (гладилок, обсечек, клещей и т. д.). Ручную ковку иногда применяют для ремонтных целей и гибочных работ.

Ковка является одним из экономичных способов получения заготовок. При ковке формоизменение происходит вследствие течения металла в стороны, перпендикулярные к движению деформирующего инструмента-бойка. Применяемый при ковке инструмент не создаёт значительного сопротивления течению металла при деформировании, что и отличает ковку от других видов обработки давлением.

Ковка имеет ряд преимуществ перед другими видами обработки:
-возможность изготовления крупногабаритных поковок массой до 250 тонн и более (для поковок типа валов гидроагрегатов, турбинных дисков) ,
получение которых другими способами обработки металлов давлением

невозможно, причём при обработке таких поковок используется сравнительно маломощное оборудование;

- применение универсального оборудования и универсального инструмента позволяет получать поковки широкого ассортимента;

- в процессековки значительно улучшается качество металла поковок, повышаются его механические свойства.

Недостатки способа изготовления заготовок ковкой металлов:

- низкая производительность по сравнению с производительностью горячей объемной штамповки;

- необходимость назначения больших напусков, припусков и допусков на поковках и, как следствие, большую последующую обработку резанием;

- ограниченные возможности в получении изделий сложной формы без напусков;

- большой отход металла;

- использование рабочих высокой квалификации

Примеры назначения припусков и допускаемых отклонений для некоторых типов поковок приведены на рис.107. и в табл.42. (43)

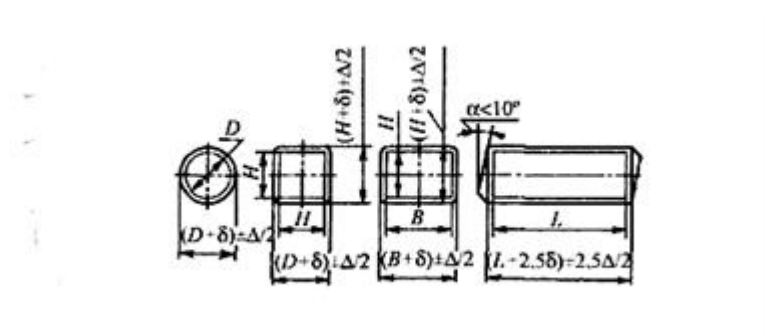


Рис. 107. Схема назначения припусков и допускаемых отклонений для
ПОКОВОК.

Таблица 42.

Размеры, мм

Длина детали L	Диаметр детали D и размер сечения В, Н								
	до 50	св.50 до 70	св. 70 до 90	св.90 до120	св.120 до 160	св.160 до200	св.200 до 250	св.250 до 300	св. 300 до 360
	Припуски ($\delta, \delta_1, \delta_2, \delta_3$) и предельные отклонения ($\pm\Delta/2, \pm\Delta_1/2 \pm \Delta_2/2 \pm \Delta_3/2$)								
До 250	5 \pm 2	6 \pm 2	7 \pm 2	8 \pm 3	9 \pm 3	—	—	—	—
Св.250 до 500	6 \pm 2	7 \pm 2	8 \pm 2	9 \pm 3	10 \pm 3	11 \pm 3	12 \pm 3	13 \pm 4	14 \pm 4
Св.500 до 800	7 \pm 2	8 \pm 2	9 \pm 3	10 \pm 3	11 \pm 3	12 \pm 3	13 \pm 4	14 \pm 4	15 \pm 4
Св.800 до 1200	8 \pm 2	9 \pm 3	10 \pm 3	11 \pm 3	12 \pm 3	13 \pm 4	14 \pm 4	15 \pm 4	16 \pm 4
Св.1200 до 1700	—	10 \pm 3	11 \pm 3	12 \pm 4	13 \pm 4	14 \pm 4	15 \pm 4	16 \pm 5	17 \pm 5
Св.1700 до 2300	—	11 \pm 3	12 \pm 3	13 \pm 4	14 \pm 4	15 \pm 4	16 \pm 5	17 \pm 5	18 \pm 5
Св.2300 до 3000	—	—	13 \pm 4	14 \pm 4	15 \pm 4	16 \pm 5	17 \pm 5	18 \pm 5	19 \pm 5
Св.3000 до 4000	—	—	—	15 \pm 5	16 \pm 5	17 \pm 5	18 \pm 5	19 \pm 5	20 \pm 6
Св.4000 до 5000	—	—	—	16 \pm 5	17 \pm 5	18 \pm 5	19 \pm 5	20 \pm 6	21 \pm 6
Св.5000 до 6000	—	—	—	—	18 \pm 5	19 \pm 5	20 \pm 6	21 \pm 6	22 \pm 6

В качестве исходных заготовок используют слитки массой до 320 тонн, а также прокат квадратного, круглого или прямоугольного сечений.

Ковка является рациональным и экономически выгодным процессом получения качественных заготовок с высокими механическими свойствами в условиях мелкосерийного и единичного производства. Иногда ковку целесообразно применять и при серийном производстве, в частности для кольцевых деталей. Показателем эффективностиковки в сравнении с штамповкой является коэффициент использования материалов. Ковкой изготавливают валы и диски турбин, коленчатые валы и другие детали, к

которым предъявляются высокие требования по качеству металла и механическим свойствам

При горячей деформации происходит заваривание пузырей, трещин, пор, и металл уплотняется. Кроме того, при горячей обработке давлением вследствие протекания диффузионных процессов происходит некоторое выравнивание химического состава. В результате горячей обработки давлением металл становится более прочным и пластичным. Однако вследствие образования волокнистой макроструктуры металл приобретает анизотропию. При сравнительно неизменных во всех направлениях характеристиках прочности характеристики пластичности (в особенности ударная вязкость) металла вдоль волокон получается выше, чем поперек волокон. Увеличение коэффициента уковки приводит к повышению характеристик пластичности металла вдоль волокон и падению их в поперечном направлении.

В связи с анизотропией механических свойств металла после его деформирования его в горячем состоянии при разработке технологического процесса изготовления деталей необходимо учитывать направление волокна в зависимости от условий их работы. Волокна должны или огибать контур детали, или совпадать с направлением максимальных нормальных напряжений, возникающих в детали во время её работы, и по возможности не должны перерезаться.

Шероховатость поверхности поковок не превышает $R_z=320—80$ мкм.

При использовании подкладных штампов шероховатость поверхности поковок может быть доведена до $R_z=80—40$ мкм.

Схемы основных операций свободнойковки приведены на рис.108.

К основным операциям свободнойковки относятся: осадка, вытяжка, гибка, закручивание, рубка, прошивка и штамповка в подкладных штампах.

Осадкой называется операция увеличения площади поперечного сечения исходной заготовки за счет уменьшения ее высоты. Осадка применяется при изготовлении поковок с большими поперечными сечениями и относительно малой высотой (шестерни, диски и т. п.).

При изготовлении пустотелых поковок типа колец, барабанов и подобных им осадка применяется как предварительная операция.

Разновидностью осадки является высадка, заключающаяся в местном увеличении поперечного сечения (рис.108. б). Высадка обычно применяется для получения, головок болтов, буртов, фланцев и т. п.

Вытяжкой называется операция увеличения длины исходной заготовки за счет уменьшения ее поперечного сечения (рис.108. в). Вытяжка применяется при изготовлении поковок с удлиненной осью (валов, рычагов, шатунов, тяг и т. п.) и является наиболее распространенной операциейковки.

Разновидностями вытяжки являются: раскатка (раздача), разгонка (расплющивание, уширение) и т. п. Вытяжка на оправке представляет собой операцию увеличения длины пустотелой поковки за счет уменьшения ее наружного диаметра и толщины стенок.

Эта операция применяется при изготовлении пустотелых поковок типа оружейных стволов, котельных барабанов, турбинных роторов и др. Этой операции подвергаются предварительно прошитые заготовки, которые надеваются на оправку и обжимаются, как сплошные заготовки, при помощи вырезных или плоских бойков. На рис.108. г изображена вытяжка трубы на оправке с помощью вырезного и плоского бойков.

Раскатка на оправке (раздача) представляет операцию увеличения наружного и внутреннего диаметров пустотелой заготовки за счет уменьшения толщины ее стенок (рис.108. д) и применяется при изготовлении колец, бандажей, барабанов и т. п.

Гибкой называется операция, посредством которой заготовке придают изогнутую форму по заданному контуру. Этой операцией изготавливаются угольники, скобы, крюки, кронштейны и т. п. При гибке происходит изменение площади поперечного сечения заготовки в зоне изгиба.

Вследствие сжатия внутренних и растяжения наружных ее слоев, называемое утяжкой. Для компенсации утяжки в месте изгиба заготовке придают увеличенный размер по толщине. При изгибе возможно образование складок по внутреннему контуру и трещин по наружному. Во избежание этого явления подбирают соответствующий радиус закругления и угол изгиба.

Закручивание представляет операцию поворота одной части поковки относительно другой вокруг продольной оси. Закручивание применяется при развороте колен коленчатых валов (рис.108. ж), при изготовлении сверл и т. п. При закручивании обычно одну часть поковки зажимают между бойками молота или пресса, а другую разворачивают с помощью различного рода приспособлений — воротков, ключей, лебедок и др.

Рубкой называется операция отделения одной части заготовки или поковки от другой (рис.108. з). Применяется рубка для получения из заготовок большой длины нескольких коротких, для удаления излишков металла на концах заготовок или поковок, для удаления излишков металла во внутреннем контуре поковки (вырубка), для удаления прибыльной и донной частей слитка и т. п. Рубка производится при помощи топоров различной формы.

Прошивкой называется операция получения в заготовке отверстия (рис.108. и, к, л). Инструментом для прошивки является прошивень, который может быть сплошным или пустотелым. При сквозной прошивке сравнительно тонких поковок применяются подкладные кольца (рис.108 и),

для высоких поковок — помимо прошивки применяются еще надставки (рис.108. к). Отверстия до 400—500 мм в диаметре прошиваются сплошными прошивками. Отверстия диаметром 300-900 мм прошиваются пустотелыми прошивками. Прошивка пустотелыми прошивками во многих случаях имеет цель удалить из заготовки центральную ликвационную зону и использовать более качественный металл периферийных зон слитка.

При изготовлении в условиях мелкосерийного производства партии поковок с относительно сложным контуром, который трудно выполнить перечисленными выше операциями, применяется так называемая штамповка в подкладных штампах (рис.108. м). В подкладных штампах могут изготавливаться головки гаечных ключей, головки болтов, валики с буртиками и другие поковки.

Для свободнойковки применяются пневматические (Рис109.) и паровоздушные молоты (Рис.110.) и гидравлические ковочные прессы (Рис.111

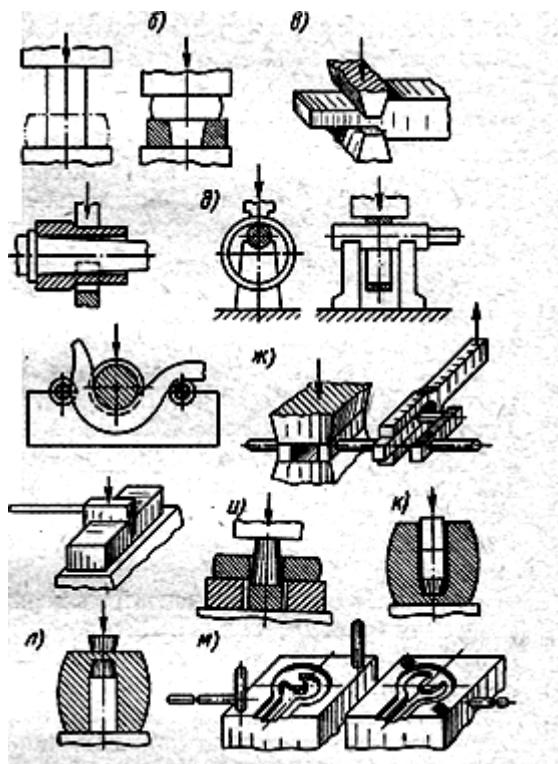


Рис.108. Схемы основных операций свободнойковки.

Для свободнойковки применяются пневматические (Рис109.) и паровоздушные молоты (Рис.110.) и

гидравлические ковочные прессы (Рис.111.)

Управление молотом производится с помощью рукоятки или педали, которые связаны с цилиндрическими золотниками. Пневматические молоты применяют дляковки сравнительно небольших поковок, масса падающих частей молотов от 75 до 1000 кг, а число ударов молотов от 210 до 95 в минуту.

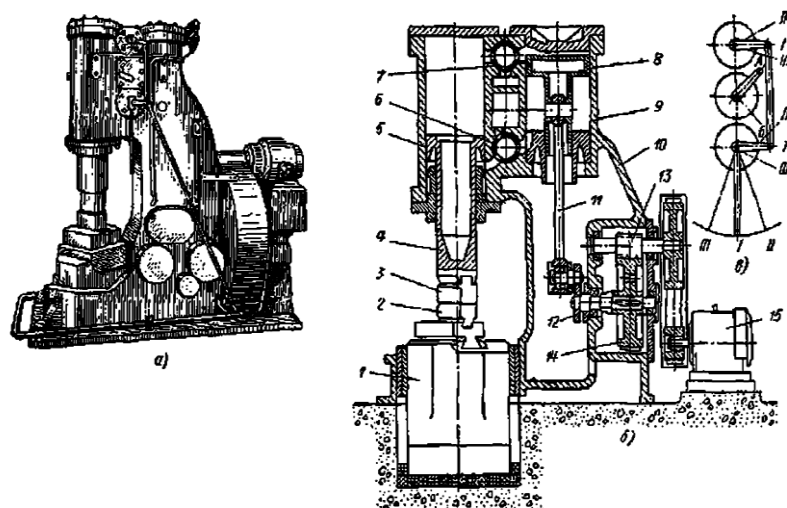


Рис.109. а - общий вид и б - схема пневматического молота :1 – шабот; 2 – нижний боек; 3 – верхний боек; 4 – рабочий поршень; 5 – рабочий цилиндр; 6 – нижний кран; 7 – верхний кран; 8 – компрессорный поршень; 9 – компрессорный цилиндр; 10 – станина; 11 – шатун; 12 – кривошип; 13 – зубчатая шестерня; 14 – зубчатая шестерня; 15 – электродвигатель

Управление паровоздушными молотами осуществляется при помощи парораспределительного устройства, регулирующего впуск пара в рабочий цилиндр и выпуск его из цилиндра вручную рукоятками.

Гидравлические прессы приводятся в действие с помощью жидкости (воды, масла) и относятся к механизмам, не имеющим жесткого хода. В период рабочего хода гидравлических прессов энергия подводится

непрерывно и скорость их подвижных частей возрастает.

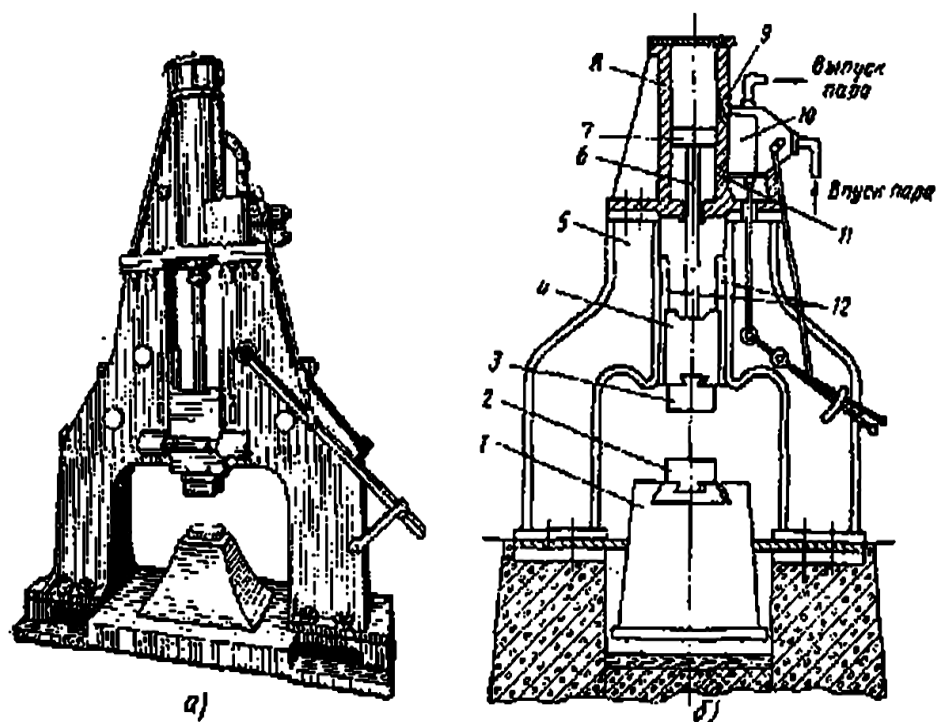


Рис.110. а - общий вид и б - схема паровоздушного молота: 1 – шабот; 2 – нижний боек; 3 – верхний боек; 4 – баба; 5 – станина; 6 – шток; 7 – поршень; 8 – цилиндр; 9 – канал; 10 – распределительное устройство; 11 – канал; 12 – направляющие.

Гидравлический пресс представляет собой сложный агрегат, включающий: пресс, устройство, питающее пресс жидкостью высокого давления, привод, устройства для наполнения всей установки жидкостью (баки, клапаны, трубопроводы) и устройства для управления прессом (распределители).

Гидравлические прессы имеют усилия от 5Мн до 150Мн и более. Пресса с усилием 10Мн позволяют ковать слитки массой до 8 тонн, а на прессе с усилием 100Мн – слитки до 250 тонн.

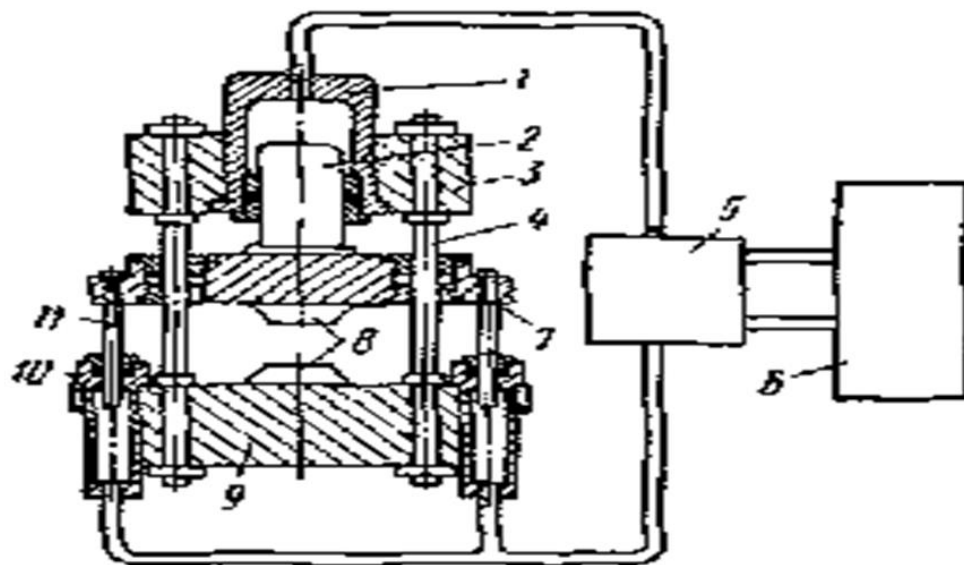


Рис.111. Схема ковочного гидравлического прессы: 1 – рабочий цилиндр; 2 – плунжер; 3 – неподвижная поперечина; 4 – колонны; 5 – система управления; 6 – привод; 7 – подвижная поперечина; 8 – бойки; 9 – неподвижная поперечина.

Чертёж поковки, полученной на ковочном прессе, представлен на рис.112.

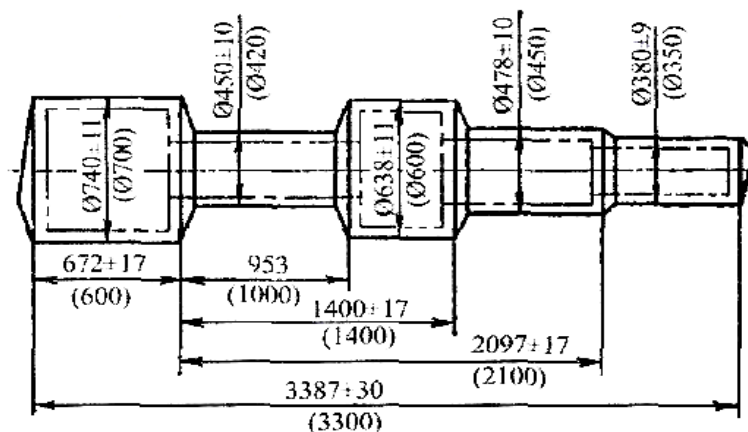


Рис. 112. Чертёж поковки вала, полученный ковкой на гидравлическом прессе.

3.2.2. Способы изготовления заготовок штамповкой

Горячая объёмная штамповка

Этот способ широко распространён для получения качественных заготовок. Горячей объёмной штамповкой получают заготовки для ответственных деталей двигателей, автомобилей, самолётов, станков и т.д. Этот способ наиболее эффективен при массовом, крупносерийном и серийном производствах деталей массой от нескольких граммов до нескольких тонн (примерно до 3 тонн). Однако иногда в серийном производстве вместо штамповки целесообразно применять ковку, в частности для кольцевых деталей. Показателем эффективностиковки в сравнении с штамповкой является коэффициент использования материалов. Наиболее целесообразно изготовление штамповок массой до 50—100 кг.

По сравнению с ковкой горячая объёмная штамповка имеет следующие преимущества:

- штамповки имеют более сложную форму и лучшее качество поверхности (шероховатость поверхности $R_z=80—20$ мкм, а при применении холодной калибровки $R_z=10—1,6$ мкм);
- штамповки имеют припуски и допуски, которые можно подвести под классы точности, получаемые при обработке резанием (как правило, механической обработке подвергаются только сопрягаемые поверхности);
- значительно повышается производительность труда (десятки и сотни штамповок в час).

К недостаткам горячей объёмной штамповки относятся:

- ограничения по массе получаемых штамповок;
- отход металла в заусенец;
- необходимость больших усилий деформирования, по сравнению с ковкой;
- необходимость индивидуального штампа (более сложного и дорогого, по сравнению с универсальным инструментом дляковки).

В зависимости от типа штампа штамповка подразделяется на следующие виды: в открытых штампах, в закрытых штампах, в штампах для выдавливания

В зависимости от оборудования разделяют штамповку: на штамповочных паровоздушных молотах, кривошипных горячештамповочных прессах, горизонтально-ковочных машинах, гидравлических прессах, высокоскоростных молотах и на специальных машинах (ковочные вальцы, электровысадочные машины, раскатные машины и т.д.). Для изготовления одних и тех же деталей применяют различное оборудование, при этом можно значительно изменять конфигурацию штамповки, размеры припуска и точность изготовления.

Штамповка в открытых штампах (схема штампа приведена на рис.113.

- а) характеризуется тем, что штамп в процессе деформирования остаётся

открытым. Зазор между подвижной и неподвижной частями штампа является переменным, в него затекает (выдавливается) металл при деформировании, образуя заусенец, т.е. технологический припуск, размеры которого рассчитывают при проектировании технологии в зависимости от размеров штамповки. Основное назначение этого заусенца – компенсация колебаний исходных заготовок по массе. Этот тип штампа можно применять для деталей любой конфигурации. Однако наличие заусенца увеличивает расход металла, кроме того, необходимо применение специальных обрезных прессов и штампов. Штамповку в открытых штампах применяют для заготовок сложной формы, с ломаной линией разъема.

При штамповке в закрытых штампах (схема штампа представлена на рис.113. б). Штамп в процессе деформирования остаётся закрытым, т.е. металл деформируется в закрытом пространстве. Зазор между подвижной и неподвижной частями штампа незначительный (он только предохраняет штамп от заклинивания). Отсутствие заусенца сокращает расход металла, отпадает необходимость в обрезных прессах и инструменте. Однако этот тип штампа применяется для сравнительно простых деталей, в основном тел вращения. Кроме того, отсутствие заусенца вызывает необходимость использовать точные заготовки из калиброванного проката или предварительно механически обработанные.

Макроструктура заготовок, изготовленных в закрытых штампах более качественная, так как процесс формообразования штамповок в полости штампа протекает без нарушения сплошности волокон.

У заготовок, изготавливаемых в открытых штампах, при обрезке заусенца волокна оказываются перерезанными, что снижает прочность детали.

Штамповка в штампах для выдавливания (схема штампов представлена на рис.114.) – наиболее прогрессивный технологический процесс горячей штамповки. При использовании штампов для выдавливания значительно снижается расход металла (до 30%), повышается коэффициент использования материалов, штамповки максимально приближены к готовой детали по форме и размерам, увеличивается производительность труда в 1,5 – 2 раза.

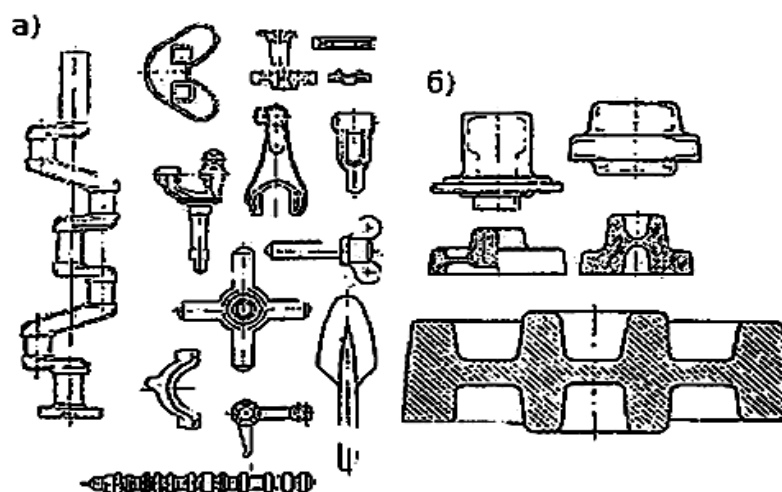


Рис.113. Типовые штамповки изготовленные в открытых штампах (а) и закрытых штампах (б)

Для выдавливания наиболее целесообразны следующие типы штамповок: стержень с фланцем, клапаны двигателей, полые детали типа стаканов и т.д. Заготовки соответствуют по точности 12-му качеству. Основные недостатки штамповки выдавливанием — высокие удельные усилия деформирования, большие энергозатраты на реализацию процесса и низкая стойкость штамповой оснастки.

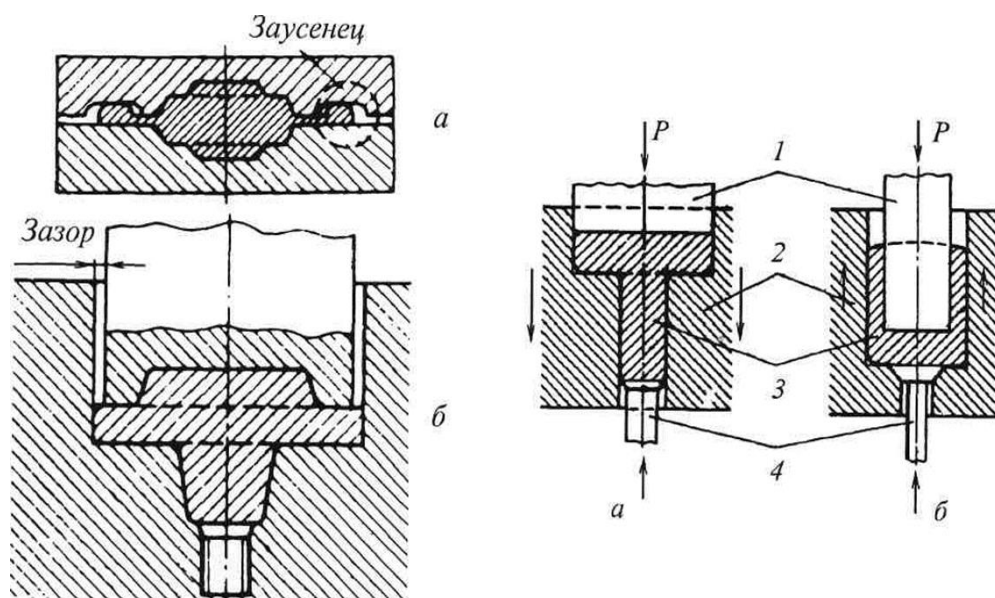


Рис.114. Типы штампов: а-открытый штамп, б- закрытый штамп, штампы для выдавливания- прямое выдавливание и обратное

Выбор штампа — открытый, закрытый или для выдавливания — определяется:

- конфигурацией и сложностью детали;
- массой и материалом детали;
- характером производства.

Необходимо учитывать различия в макроструктуре материала штамповок, полученных в различных штампах.

Следует учитывать следующие требования, предъявляемые к особенностям процесса горячей штамповки.

1.Сопряжения поверхностей заготовок должны быть оформлены радиусами, которые необходимы для лучшего заполнения металлом полостей штампа (внутренние радиусы) и повышения стойкости штампов

(наружные радиусы). Значения радиусов регламентированы нормативными документами.

Таблица 43

Радиусы закруглений наружных углов штампованных заготовок

Масса штамповок, кг	Минимальные значения радиусов закруглений, мм, при глубине полости ручья штампа, мм			
	До 10 вкл.	10 – 25	25 – 50	Св. 50
До 1,0 вкл.	1,0	1,6	2,0	3,0
Св.1,0 до 6,3 вкл.	1,6	2,0	2,5	3,6
Св.6,3 до 16,0 вкл.	2,0	2,5	3,0	4,0
Св.16,0 до 40,0 вкл.	2,5	3,0	4,0	5,0
Св.40,0 до 100,0 вкл.	3,0	4,0	5,0	7,0
Св.100,0 до 250,0 вкл.	4,0	5,0	6,0	8,0

2. На поверхностях, перпендикулярных к плоскости разъёма штампа следует применять штамповочные уклоны, которые необходимы для свободного удаления штамповки из полости штампа. Штамповочные уклоны зависят от типа штампов и оборудования. Штамповочные уклоны, как правило, устанавливают в пределах от 1 до 10⁰. Минимальные уклоны применяют для заготовок, штампуемых на прессах имеющих выталкиватели. Заготовки, штампуемые на горизонтально – ковочных машинах, имеющие разъемные матрицы, уклоны ещё меньше.

Таблица 44

Штамповочные уклоны

Оборудование	Штамповочные уклоны	
	на наружной поверхности	на внутренней поверхности
Штамповочные молоты, прессы без выталкивателей	7	10
Прессы с выталкивателями	5	7
Горячештамповочные автоматы	1	2

Примечания:

1. На поверхностях отверстий в заготовках, изготовленных на горизонтально – ковочных машинах, штамповочных уклон не должен 3° .
2. У изготовленных на штамповочных молотах и прессах без выталкивателей заготовок, имеющих элементы в виде ребра, выступа, реборда с отношением их высоты к ширине более 2,5, допускается штамповочный уклон до 10° на внешней поверхности и до 12° на внутренней.
3. Для упрощения конструкции штамповки, в отдельных случаях, целесообразно деталь делить на две или больше частей, штампуемых порознь, которые затем соединяют сваркой или другими способами. В других случаях, целесообразно объединять различные детали в одну.

Например, при штамповке детали I (рис.115.) как целое приходится предусматривать большие напуски; отход металла при последующей обработке резанием составляет более 50 % от массы поковки. Та же деталь II сварной конструкции значительно проще для штамповки по частям; в этом случае можно отштамповать наметки отверстий, уменьшить отход металла.

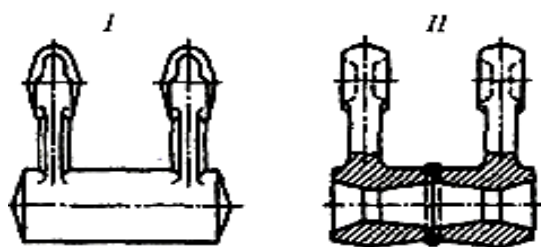


Рис.115. Упрощение способа штамповки путём последующей сварки отдельных частей заготовки

4. Важное значение имеет правильный выбор линии разъёма штампа. Деталь технологична, если она легко извлекается из полости штампа. При проектировании линии разъёма штампа необходимо учитывать объём заусенца, удаляемого после штамповки, и напуски, назначаемые для упрощения формы штамповки.

При назначении линии разъёма необходимо выполнять следующие условия:

- заготовка должна свободно удаляться из верхней и нижней частей штампа, для чего разъём располагают в плоскости сечения заготовки с наибольшим периметром, что обеспечивает наименьшую глубину и наибольшую ширину ручья;
- взаимное расположение поверхности разъёма и заготовки должны исключать поднутрения на боковых поверхностях заготовки;
- ручки штампа ориентировать таким образом, чтобы их заполнение осуществлялось за счёт осадки, а не выдавливания, при этом полости под тонкие и высокие рёбра, бобышки и приливы располагать в верхней половине штампа.

Штампованная заготовка без облоя обладает лучшими эксплуатационными качествами, так как отсутствуют перерезанные при удалении облоя волокна.

Положения поверхности приведены на рис.116.

Правильно выбранная линия разъёма не должна усложнять конструкций ковочного и обрезного штампов.

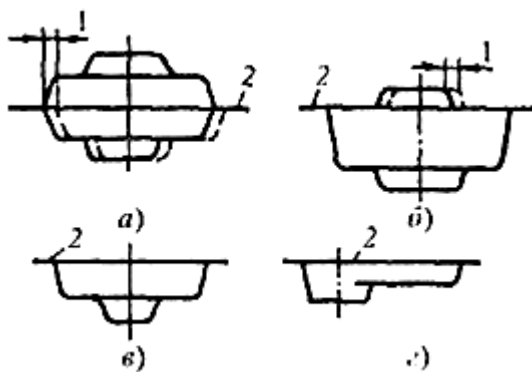


Рис.116. Положение поверхности разъёма: а- правильное; б - неправильное; в - смещенное для плоской круглой заготовки; г – смещенное для плоской удлиненной в плане заготовки; 1 – смещение половин штампа; 2 –

поверхность разъёма.

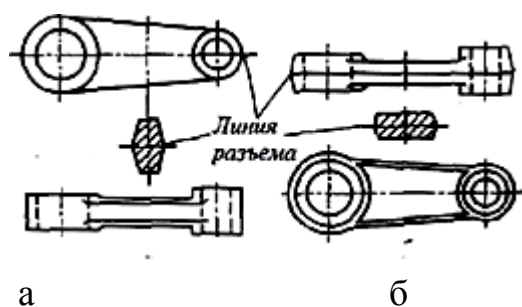


Рис.117. Варианты линий разъёма рычага: а – нетехнологичный, б – технологичный.

В некоторых случаях целесообразно отступить от этого правила, когда ломаная линия разъёма снижает массу штампованной заготовки и обеспечивает получение некоторых поверхностей без штамповочных уклонов.

Например, штамповка лопаток компрессора. Детали, конфигурация которых нужно изготавливать с ломаной линией разъёма, необходимо проектировать таким образом, чтобы участки ломаной линии были наклонены к горизонтальной плоскости под углом, не превышающим 60° . Наклон более 60° способствует быстрому износу штампа и получению неточного среза облой (рис118.).

В деталях коробчатых и угловых сечений линии разъёма должны проходить через вершины стенок. При расположении линии разъёма по дну штамповка волокон менее благоприятна и механические свойства таких деталей в местах выхода в облой будут хуже.

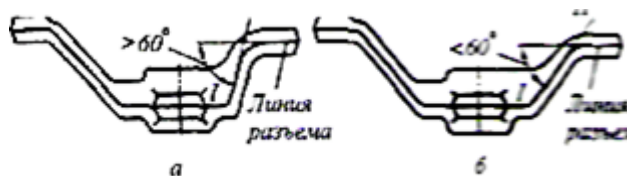


Рис.118. Вариант ломаной линии разъёма: а – нетехнологичный, б – технологичный.

технологичный.

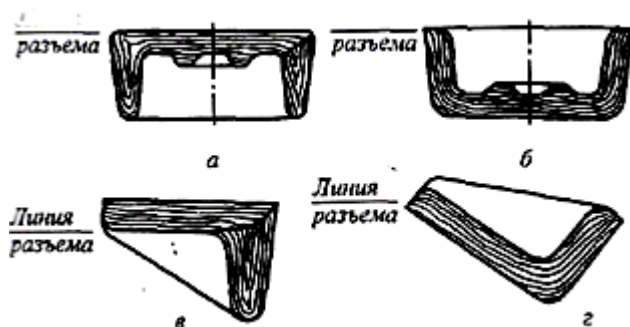


Рис.119. Нерекомендуемые (а,в) и рекомендуемые (б,г) линии разъёма в коробчатых (а,б) и угловых (в,г) сечениях

5. Припуски на механическую обработку и допускаемые отклонения размеров штампованных заготовок регламентированы нормативными документами. ГОСТ 7505-89.

На конфигурацию заготовок, получаемых горячей объёмной штамповкой, их точность и последующий объём механической обработки большое влияние оказывает не только тип штампа, но и применяемое оборудование для штамповки.

Штамповку на молотах применяют при серийном и крупносерийном производствах для изготовления заготовок массой от 0,01 до 1000кг.

Чертёж типовой штамповки на молоте представлен на рис.120.

Основным фактором, при выборе этого оборудования, является наличие молотов в действующих производствах. Достоинством данного способа изготовления заготовок является простая конструкция молота и сравнительно дешёвая его эксплуатация.

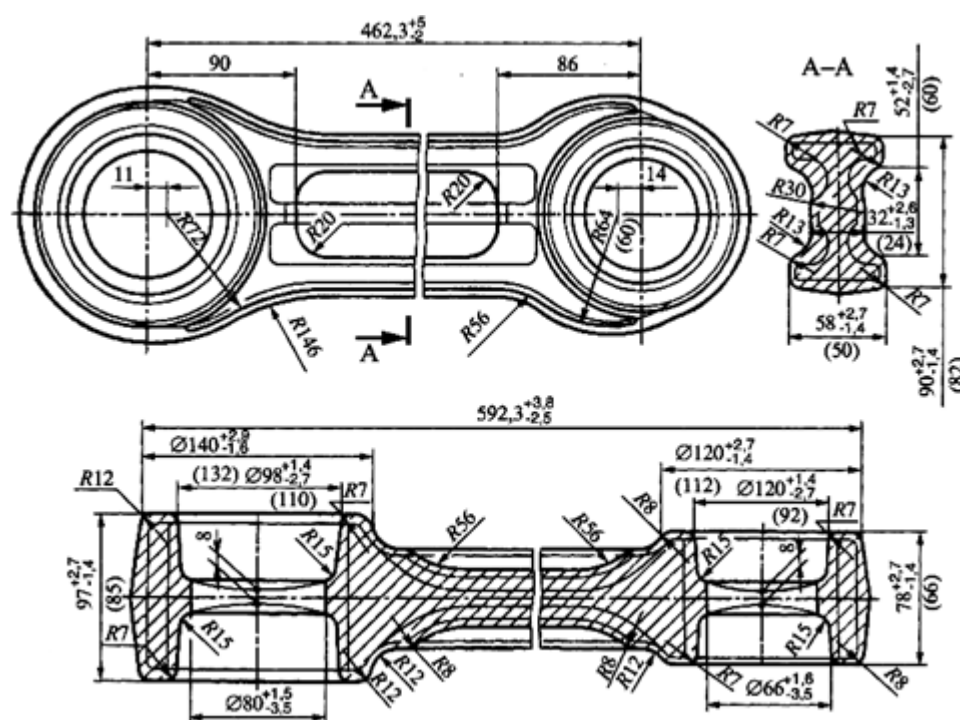


Рис. 120. Чертёж типовой молотовой штамповки шатуна в открытом штампе.

Схема паровоздушного штамповочного молота, представлена на рис.122.

Однако способ имеет следующие недостатки.

Ударный характер работы молота исключает возможность применения выталкивателей, что приводит к увеличению штамповочных уклонов и соответственно к увеличенному расходу металла на изготовление заготовки.

Сравнительно возможно большое смещение штампов относительно друг друга также требует увеличения расхода металла заготовки для компенсации данного отклонения.

Процесс штамповки на молотах трудно подвергается комплексной механизации.

Наибольшая эффективность применения штамповочных молотов достигается при изготовлении штамповок типа тел вращения (рис.121.) в закрытых штампах, когда полость штампа выполнена в одной верхней

половине штампового блока и соответственно смещение штампов никакой роли не играет. В этом случае точность штамповки определяется точностью изготовления штампа.

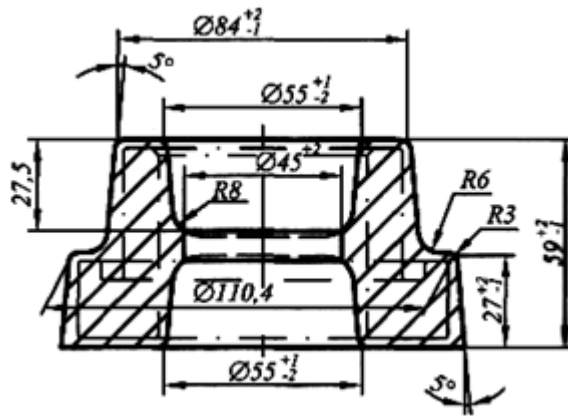


Рис.121. Чертёж молотовой штамповки в закрытом штампе.

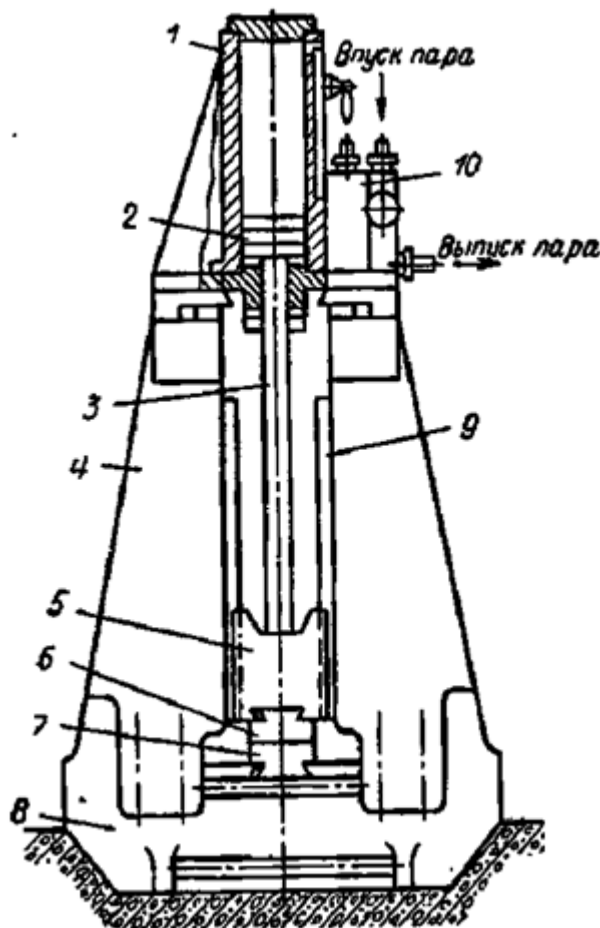


Рис.122. Схема паровоздушного штамповочного молота: 1 – цилиндр; 2 – поршень; 3 – шток; 4 – стойки; 5 – баба молота; 6 – верхний штамп; 7 – нижний штамп; 8 – шабот; 9 – направляющие; 10 – золотниковая коробка.

Молотовые штампы, как правило, цельноблочные, что приводит к значительному расходу штамповой стали (Рис123.).

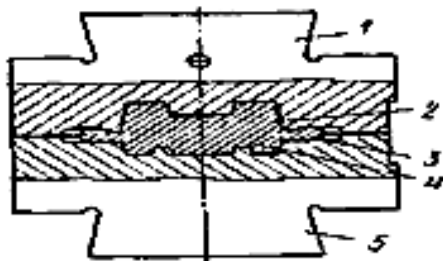


Рис. 123. Цельноблочный штамп: 1 – верхний штамп; 2 – ручей; 3 – заусенец; 4 – нагретая заготовка; 5 – нижняя часть штампа.

Штамповка на кривошипных горячештамповочных прессах (КГШП) имеет ряд технологических и эксплуатационных преимуществ по сравнению со штамповкой на молотах:

-относительно высокая точность получаемых заготовок, особенно по высоте, при штамповке на молотах пределы допусков 0,8 – 1,0мм, а при штамповке на КГШП – 0,2 – 0,5мм;

-по сдвигу заготовки имеют меньшие отклонения, так как конструкция пресса обеспечивает высокую их точность вследствие надежного направления ползуна в направляющих станины и наличия направляющих колонок и втулок в штампе для точного совпадения верхней и нижней половин штампа.

-меньшие припуски на механическую обработку, а также штамповочные уклоны из-за наличия выталкивателей для удаления штампованных заготовок из штампов. При этом экономится металл и уменьшается последующая обработка резанием поковок. Снижение расхода металла и сокращение объёма механической обработки за счёт снижения припусков (в среднем на 20 – 30 %) и штамповочных уклонов (в два – три раза);

-более высокая производительность: в среднем в 1,4 раза и в 2 раза при

штамповке заготовок шестерен. Это объясняется тем, что деформация на прессе в каждом ручье происходит за один ход; а на молоте за несколько ударов.

-возможность применения автоматических переключателей заготовок и автоматизации процесса штамповки.

-экономичный расход энергии: молот работает на паре или сжатом воздухе, КГШП - на электроэнергии. КПД прессов в 4 раза выше, чем молотов.

-относительно спокойный безударный характер работы, позволяющий устанавливать КГШП в зданиях облегченной конструкции. Лучшие условия работы: менее сильные шумовые эффекты, вибрации и сотрясения почвы в цехе.

-при изготовлении заготовок на КГШП меньше затраты на штамповую оснастку.

-при штамповке заготовок на КГШП обеспечивается снижение себестоимости изготовления заготовок на 10 – 30% по сравнению со штамповкой на молоте.

Штамповка на кривошипных горячештамповочных прессах наиболее целесообразна при крупносерийном и массовом производствах деталей сложной формы массой до нескольких сот килограмм.

К недостаткам штамповки на КГШП следует отнести следующее.

1. Меньшая универсальность, из-за жесткого хода ползуна не применяют протяжку и подкатку заготовок.

2.Необходимость очистки заготовок от окалины перед штамповкой, так как деформация происходит за один ход пресса, и окалина может быть заштампована в поверхность поковки.

3.Сложнее регулирование положений штампов.

4. Более высокая (в 3 - 4 раза) стоимость при сопоставимых мощностях КГШП и молота.

5. Заклинивание при перегрузке ползуна в нижнем положении.

Для исключения возможного заклинивания прессы в нижнем положении, как правило, верхний и нижний штампы между собой не смыкают.

Пример чертежа штампованной заготовки на КГШП приведён на рис.124.

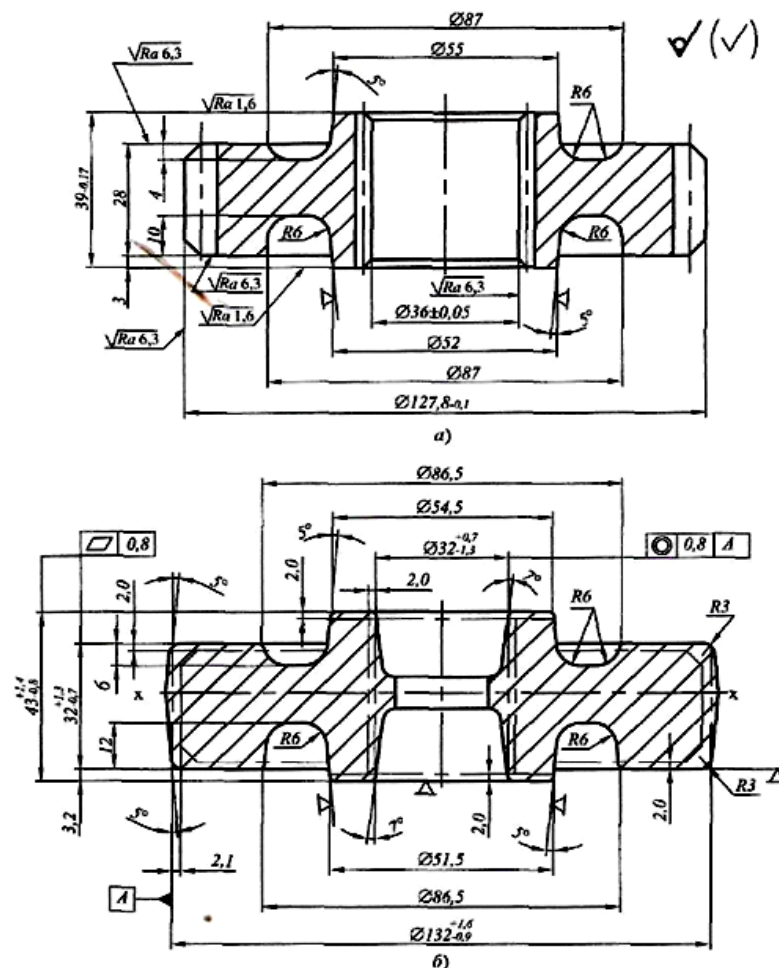


Рис.124. Деталь-«шестерня»(а) и штампованная заготовка на КГШП (б).

Схема кривошипного горячештамповочного прессы представлена на рис.125.

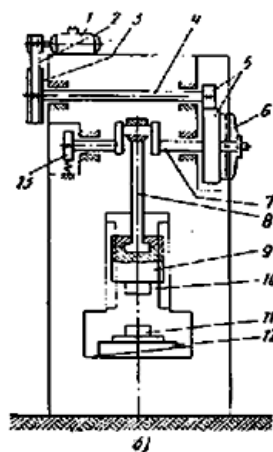
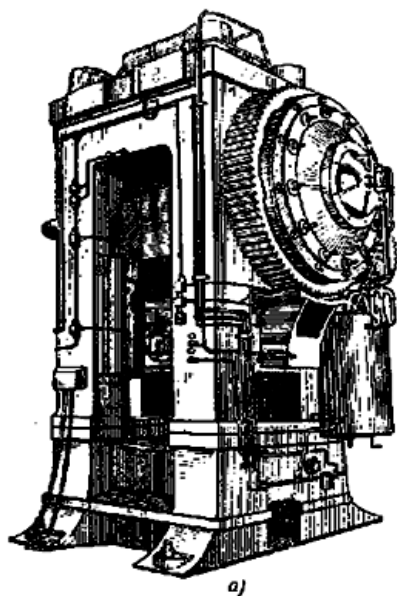


Рис.125. а - общий вид и б - схема КГШП: 1 – электродвигатель; 2 – клиноременная передача; 3 – маховик; 4 – вал; 5 – зубчатая передача; 6 – муфта; 7 – кривошипный вал; 8 – шатун; 9 – ползун; 10 – верхний штамп; 11 – нижний штамп; 12 – стол; 13 –

тормоз.

Штамповка на гидравлических прессах обеспечивает безударный характер работы, однако они значительно тихходнее и менее производительны по сравнению с молотами и КГШП.

Гидравлические прессы (Рис.126.) применяют при штамповке:

- крупногабаритных заготовок, для которых масса падающих частей самых мощных молотов оказывается недостаточной, например, для штамповки дисков турбин;
- малопластичных жаропрочных сплавов, не допускающих больших скоростей деформирования;
- выдавливанием, где требуется большой ход рабочего инструмента; для штамповки заготовок цилиндрической формы типа втулок, стаканов и очень сложной формы в разъёмных матрицах.

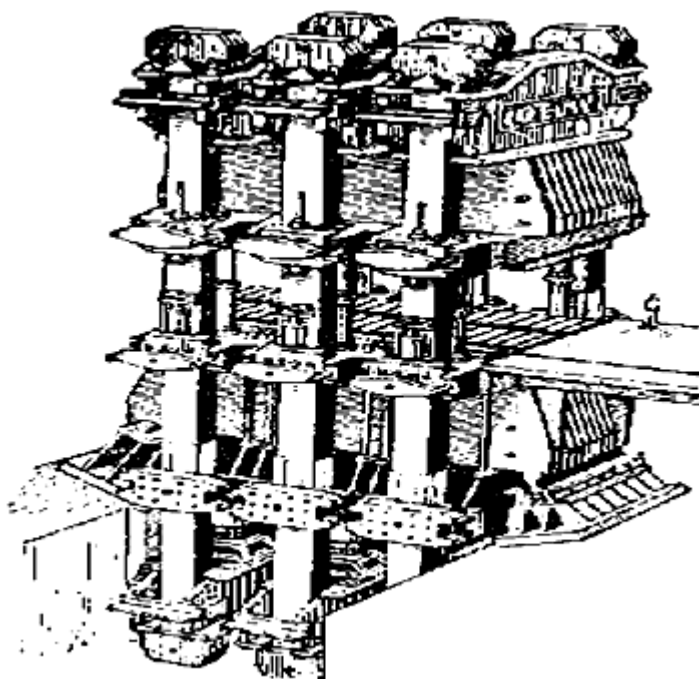


Рис.126. Общий вид
гидравлического
штамповочного прессы
усилием 450МН.

Применение разъемных матриц позволяет получать заготовки без заусенцев и штамповочных уклонов. Точность размеров таких заготовок достигает 11-го, 12-го квалитетов. Коэффициент использования материалов увеличивается с 0,2 до 0,6, трудоёмкость механической обработки уменьшается на 15 – 20%.

Штамповка на фрикционных винтовых прессах занимает промежуточное положение между прессом и молотом.

Фрикционные винтовых прессы применяют для штамповки мелких и средних заготовок, типа колпаков, стаканчиков, стержней с утолщением, а также для штамповки сложных заготовок, требующих разъемных штампов, в частности корпуса вентиля, тройников деталей трубопроводов (Рис.127.).

Достоинством фрикционных винтовых прессов по сравнению с кривошипными горячештамповочными прессами является отсутствие заклинивания при перегрузке ползуна в нижнем положении, что позволяет получать штампованные заготовки с высокой точностью.

Основной недостаток фрикционных винтовых прессов – их небольшая мощность, поэтому они применяются исключительно для штамповки мелких и средних заготовок.

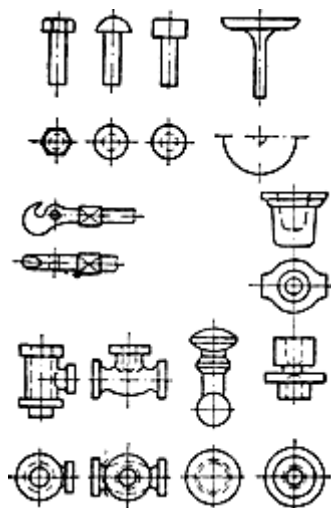


Рис. 127. Типовые штамповки, изготавливаемые на винтовых фрикционных прессах.

Схема фрикционного винтового пресса представлена на рис.128.

Дальнейшим развитием винтовых прессов являются винтовые прессы с электрическим приводом, так называемые дугостаторные прессы.

Схема дугостаторного пресса представлена на рис.129.

Дугостаторные прессы являются наиболее эффективным оборудованием для штамповки деталей.

В отличие от штамповочных молотов, дугостаторные прессы обеспечивают безударный характер работы, практически не имеют смещения штампов.

Винтовой привод, в отличие от кривошипного привода не имеет заклинивание при перегрузке ползуна в нижнем положении и соответственно штампы работают на смыкание.

По сравнению с гидравлическими прессами винтовые прессы более быстроходны.

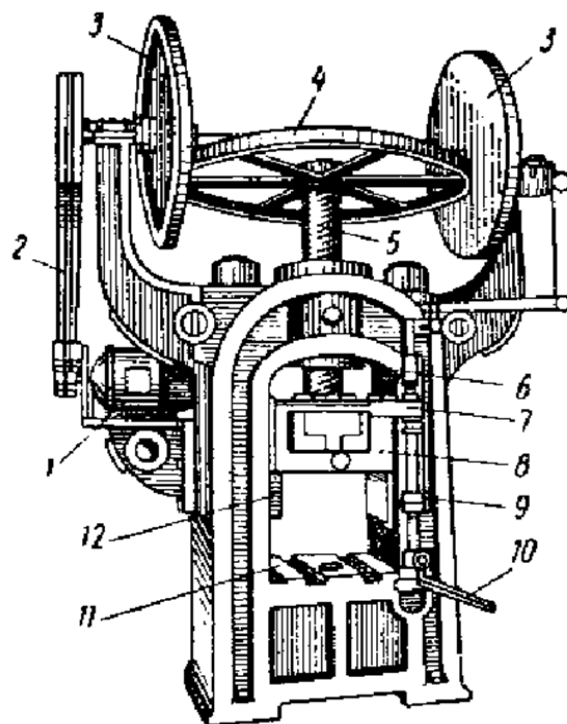


Рис.128.Винтовой фрикционный пресс: 1 – электродвигатель; 2 – ременная передача; 3 – фрикционные диски; 4 – маховик; 5 – винтовой шпиндель; 6 – неподвижно-закрепленная гайка; 7 – специальный выступ; 8 – ползун; 9 – кулачок; 10 – рукоятка управления; 11 – стол; 12 – направляющие.

Перечисленные достоинства позволяют винтовые прессы применять для штамповки точных заготовок.

Эффективным является применение винтовых прессов для штамповки точных заготовок лопаток компрессора других деталей авиационных газотурбинных двигателей.

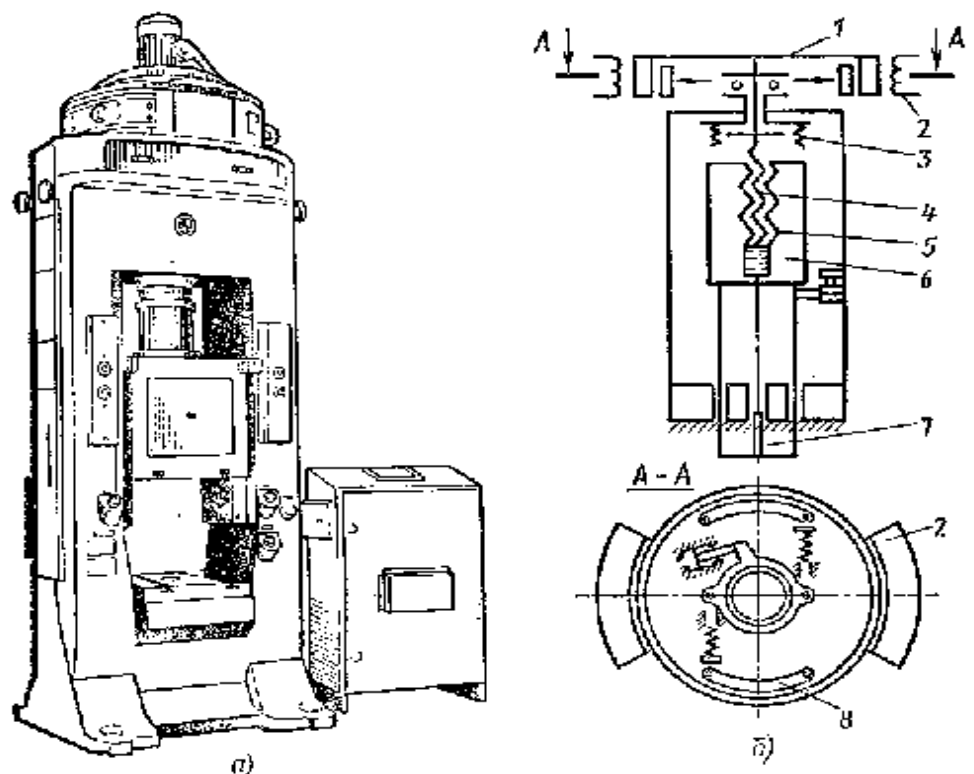


Рис.129. а - общий вид и б схема дугостаторного пресса: 1 – маховик; 2 – дугостаторы; 3 – станина с амортизаторами; 4 – винт; 5 – гайка; 6 – ползун; 7 – выталкиватель; 8 – тормоз

Широко применяют для горячей объёмной штамповки **горизонтально – ковочные машины** (ГКМ), представляющие собой кривошипный пресс, расположенный в горизонтальной плоскости (рис.130.).

Штампы ГКМ в отличие от прессов имеют два взаимоперпендикулярных разъёма (рис.131.) и могут быть открытыми и закрытыми. Наличие двух разъёмов позволяет получать штампованные заготовки высадкой с минимальными уклонами или без штамповочных уклонов. На ГКМ кроме высадки применяют прошивку и обрезку заготовок.

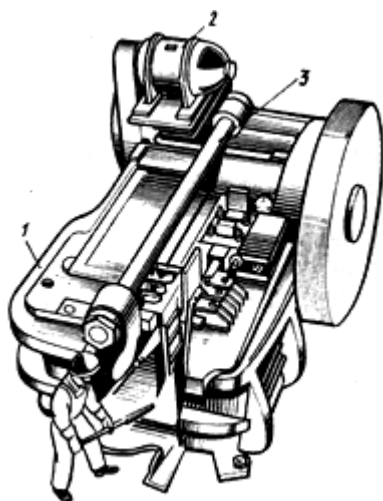


Рис.130.Общий вид ГКМ с вертикальным разъёмом штампов.

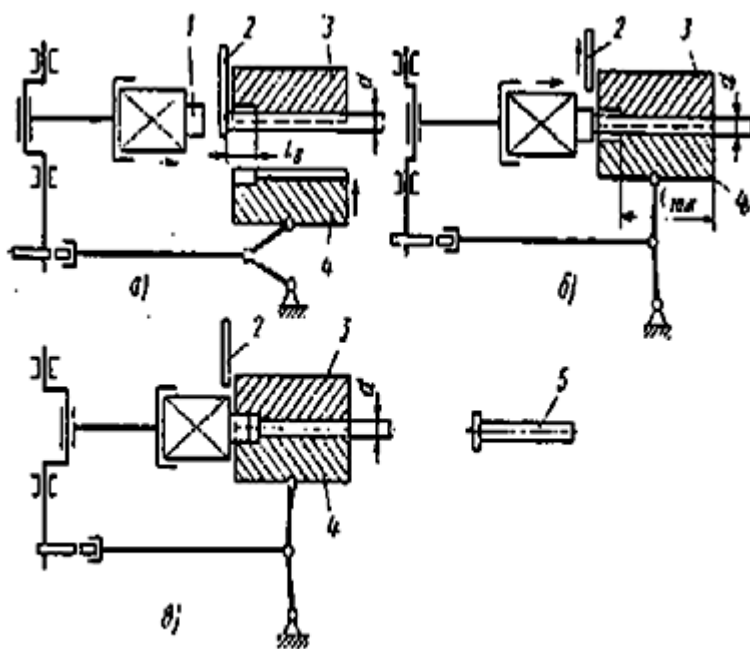


Рис.131. Схема штамповки заготовок на ГКМ:
1 – пуансон; 2 – упор; 3 – неподвижная матрица; 4 – подвижная матрица; 5- заготовка.

Типовые заготовки, штампуемые ГКМ, представлены на рис.132

ГКМ позволяют:

- производить высадку конусов на длинных (до 3м и более) прутковых и трубных заготовках;

- получать заготовки типа стержня или стержня с головкой значительного объёма, путём последовательной высадки;
- штамповать осадкой в торец заготовки сложной формы, для изготовления которых необходимо применение разъёмных матриц;
- получать заготовки с отверстиями из прутковых заготовок без отходов металла на прошивку.

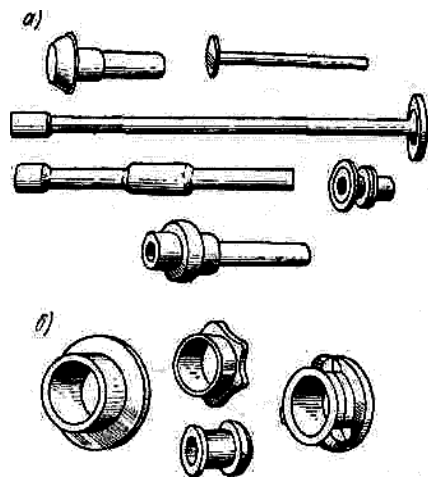


Рис.132. Типовые заготовки, изготавливаемые на горизонтально-ковочных машинах: а-без сквозных отверстий; б - со сквозными отверстиями

Операции штамповки на ГКМ легко поддаются автоматизации процессов.

К недостаткам штамповки на ГКМ следует отнести ограничение номенклатуры и массы заготовок (обычно до 50кг).

Чертежи типовой детали и штампованной заготовки, полученной на горизонтально – ковочной машине представлены на рис.133.

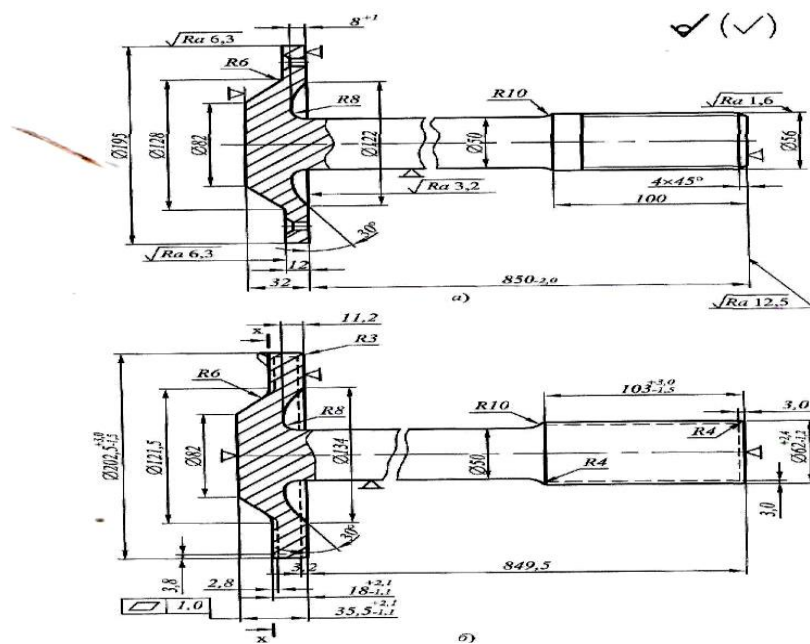


Рис.133. Чертёж детали «полуось» - а и штамповки полуоси – б.

Для удаления заусенцев (облоя), образующихся при штамповке в открытых штампах и прошивки отверстий в штампованных заготовках применяют кривошипные обрезные прессы, а для особо крупных заготовок – гидравлические прессы усилием более 16 МН.

Схема кривошипного прессы для удаления заусенцев и прошивки отверстий приведена на рис.134.

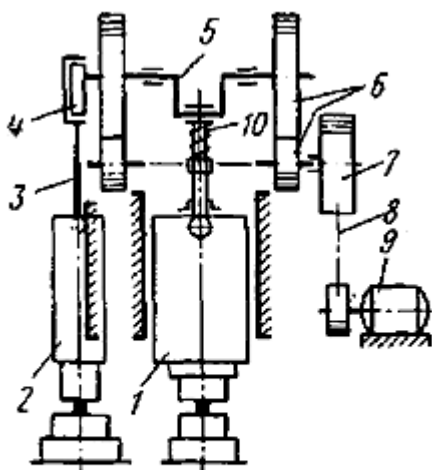


Рис.134. Кинематическая схема кривошипного обрезного прессы: 1 – ползун; 2 – боковой ползун; 3 – шатун; 4 – эксцентрик; 5 – эксцентриковый вал; 6 – зубчатая передача; 7 – маховик; 8 – клиноременная передача; 9 – электродвигатель; 10 – основной шатун.

Для выполнения операций обрезки заусенца и прошивки отверстий в штампованных заготовках применяют специальные штампы (рис.135.)

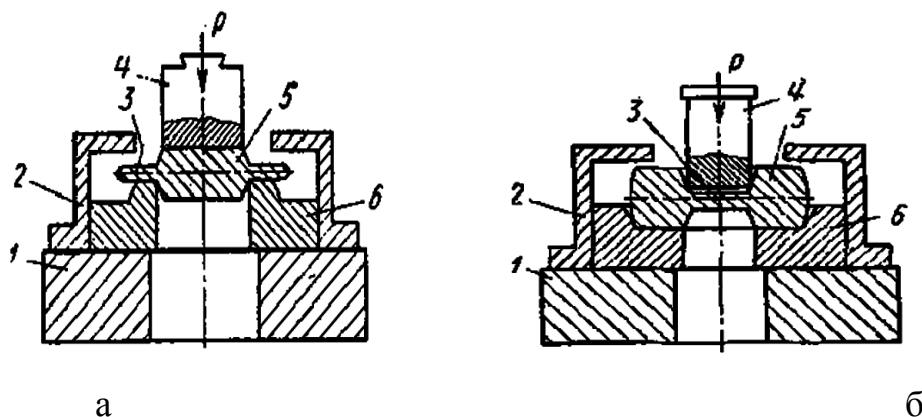


Рис.135. а – схема обрезного штампа, б – схема прошивного штампа;
1- плита, 2- съёмник, 4- пуансон, 5- заготовка, 6- матрица.

Для повышения точности размеров всей заготовки или отдельных её участков применяется калибровка. При калибровке достигается улучшение поверхности и снижение колебаний массы заготовки. По технологическим признакам калибровку разделяют на плоскостную, объёмную и комбинированную.

Плоскостная калибровка (чеканка) служит для получения точных вертикальных размеров на одном или нескольких участках заготовки, ограниченных горизонтальными плоскостями.

Объёмная калибровка служит для уточнения размеров заготовки в разных направлениях, а при выдавливании некоторого излишка металла в заусенец и для получения точной массы. Точность объёмной калибровки ниже, чем плоскостной.

Комбинированная калибровка является сочетанием операций объёмной и плоскостной (рис.136.).

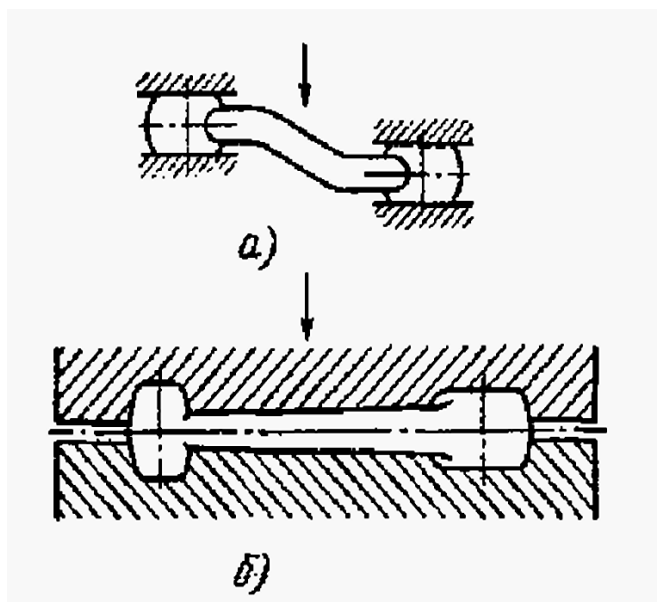


Рис.136. Схемы процессов калибровки: а – плоскостная, б- объёмная.

Объёмная калибровка служит для получения заготовок более точных размеров. При этом некоторый излишек металла вытекает в заусенец и можно получить заготовку точной массы. Различают иногда калибровку криволинейных поверхностей, которая приближается к объёмной калибровке.

Точность объёмной калибровки обычно ниже плоскостной, но при этом обрабатывается вся поверхность заготовки. Иногда применяют комбинированную калибровку: сначала объёмную, а затем плоскостную.

Объёмной калибровкой можно обрабатывать заготовки в холодном и горячем состояниях. Холодную объёмную калибровку выполняют так же, как и плоскостную на чеканочных кривошипно-коленных прессах (рис.137.); горячую объёмную калибровку – на штамповочных молотах, винтовых фрикционных, дугостаторных и кривошипных горячештамповочных прессах.

Кроме, приведенного универсального оборудования, применяемого для изготовления заготовок методом обработки давлением, используется специальное оборудование узкого назначения.

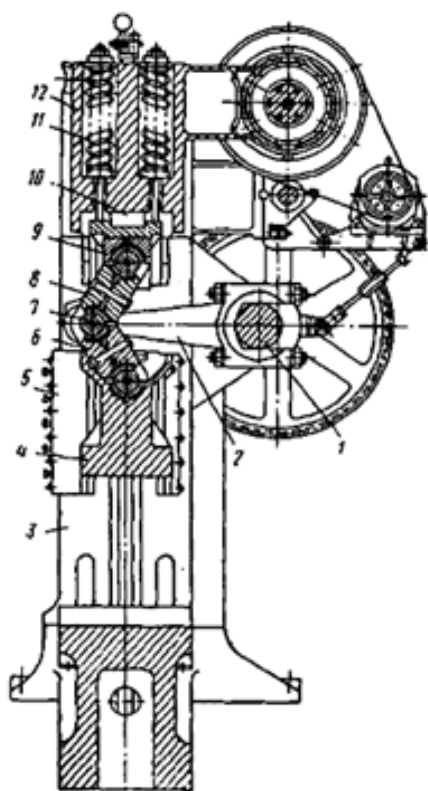


Рис.137. Чеканочный пресс: 1-кривошипный вал, 2-шатун, 3-станина, 4-ползун, 5-направляющие, 6-нижнее звено, 7-шарнир, 8-верхнее звено, 9-опора верхнего звена, 10-клин, 11-подпружиненная стяжка, 12-верхняя траверса

3.2.3. Специальные способы изготовления деформированных заготовок

Использование машин узкого назначения позволяет значительно снизить трудоёмкость, сократить сроки изготовления и улучшить качество заготовок. Наибольшее применение в кузнечных производствах нашли применение следующие процессы.

3.2.3.1. Штамповка на горизонтально-гибочных машинах

Штамповку на горизонтально-гибочных машинах (рис.137.) применяют для получения заготовок из полосового материала больших габаритов. Она может осуществляться как в горячем, так и в холодном состоянии. Заготовки, получаемые гибкой, как правило, не подвергаются механической обработке.

К заготовкам, изготавливаемым на горизонтально – гибочных машинах, предъявляются следующие требования:

- по возможности избегать, гибки на ребро;
- обеспечивать внутренние радиусы изгиба максимально возможными;
- незначительные отклонения размеров в результате искажения проката в местах изгиба не учитывать и в чертежах не указывать.

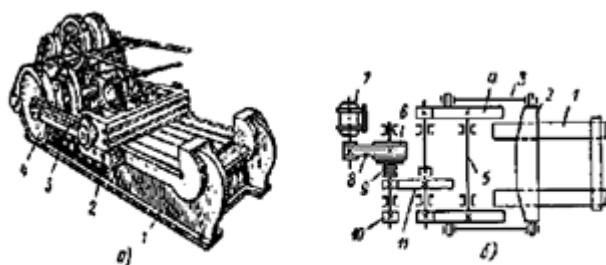


Рис.137.Горизонтально-гибочная машина. а – «общий» вид
1 –станина; 2 – ползун; 3 – шатун; 4 – кривошипы зубчатых колес.

б – «кинематическая схема» 1 – литая станина; 2 – ползун; 3 - шатун; 4 – кривошипы зубчатых колес; 5 – главный вал; 6 – шкив-маховик; 7- электродвигатель; 8 – клиноременная передача; 9 – муфта; 10 – тормоз; 11 – зубчатая передача

Горизонтально – гибочные машины позволяют осуществлять гибку V - образных, П – образных, дугообразных и круглых деталей (рис.138.)

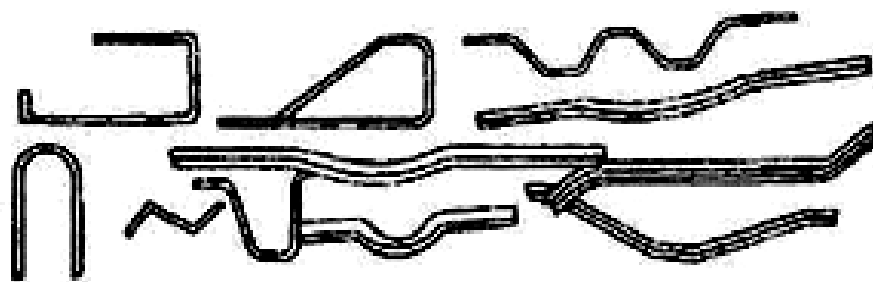


Рис.138. Типовые детали, изготовленные на гибочной машине.

3.2.3.2. Поперечно-винтовая прокатка в винтовых калибрах – это непрерывное формообразование осуществляется путём перемещения обрабатываемого тела между вращающимися валками, на поверхности которых по винтовой линии нарезаны ручьи. В результате этого длинная цилиндрическая заготовка, двигаясь непрерывно, деформируется на небольшом участке в относительно короткие тела вращения заданной конфигурации.

Прокаткой в винтовых калибрах получают тела вращения: шары, втулки, иглы для подшипников, полуоси, валы, шпиндели и т.д. Этот способ применяется для изготовления деталей взамен обработки резанием, что позволяет снизить расход металла на 15—30%

Схема поперечно – винтовой прокатки представлена на рис.139.

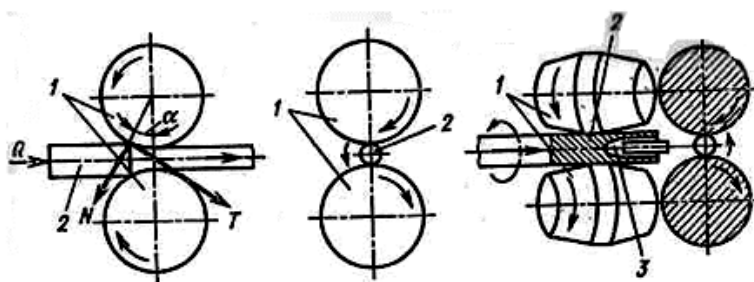


Рис.139. Схема поперечно-винтовой прокатки: 1-валки, 2-заготовка, 3-прошивень на неподвижной оправке.

Поперечно – винтовая прокатка позволяет:

- применить полную механизацию и автоматизацию получения заготовок, начиная от загрузки заготовок в приёмную часть нагревательного устройства до получения заготовок периодического проката;
- переход от одного профиля заготовки к другому без замены валков, только за счёт смены копира или программы (это позволяет прокатывать широкий сортамент заготовок при малом парке инструмента);
- сравнительно просто выполнять переналадку стана к выпуску нового типоразмера проката (это даёт возможность применять способ для мелкосерийного производства).

Поперечно – винтовая прокатка позволяет снизить затраты на изготовление инструмента по сравнению со штамповкой за счёт его минимального износа.

На рис.140. представлены горячедеформированные трубы, изготовленные способом винтовой прокатки.



**ТРУБА
ГОРЯЧЕДЕФОРМИРОВАННАЯ**

Рис.140. Горячедеформированные трубы, изготовленные способом винтовой прокатки

3.2.3.3. Вальцовка представляет собой разновидность процесса прокатки, когда деформирование штучной заготовки производится в секторных штампах ковочных вальцов.

Вальцовку применяют для изготовления заготовок под последующую штамповку на прессах или молотах, а также для получения готовых заготовок и как отделочную операцию.

Общий вид и схема ковочных вальцев представлены на рис. 141.

Отделочные операции вальцовки дают значительный эффект: снижается расход металла в среднем на 35%, трудоёмкость на 20%, себестоимость на 35%.

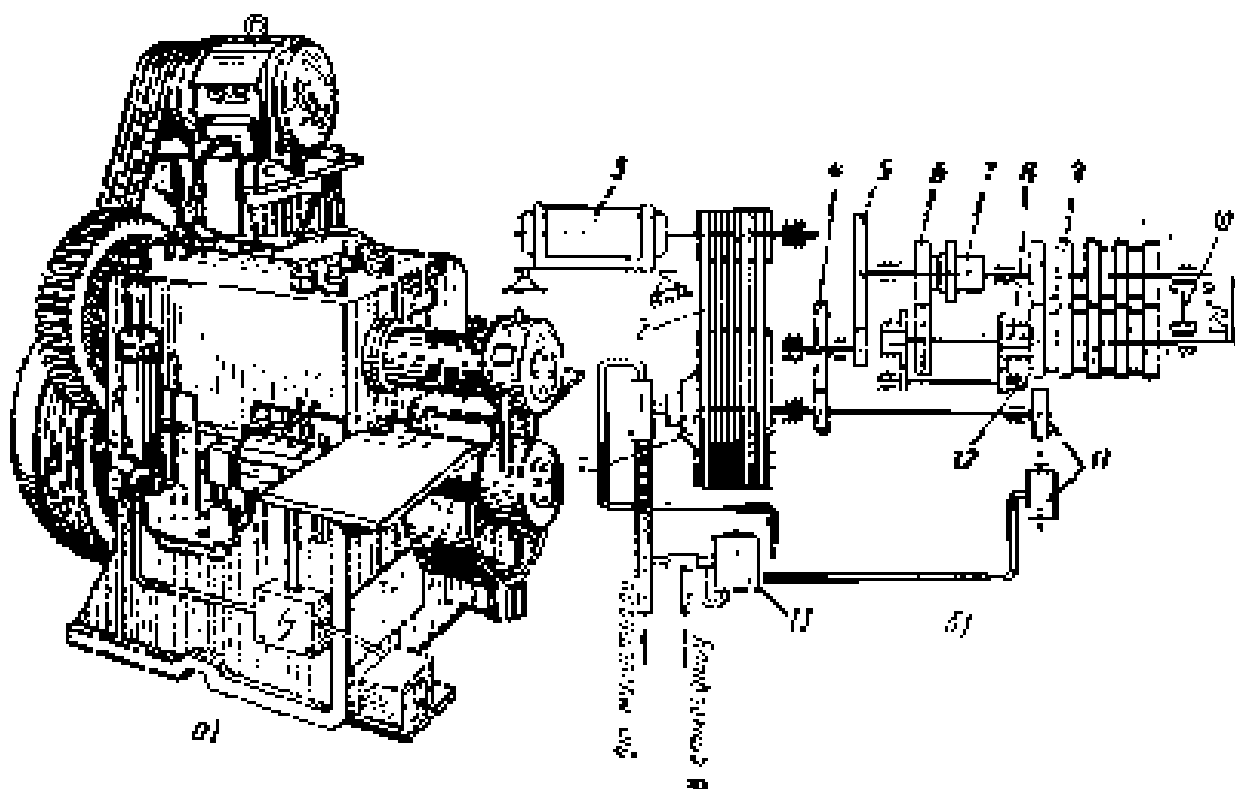
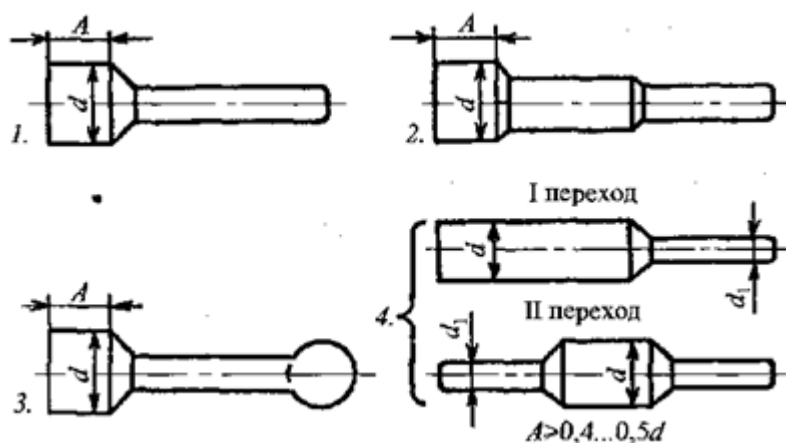


Рис.141. Общий вид консольных ковочных валцов (а) и кинематическая схема (б) 1 – муфта; 2 – клиноременная передача; 3 – электродвигатель; 4 – зубчатая передача; 5 – зубчатая передача; 6 – зубчатая передача; 7 – механизм угловой регулировки валков; 8 – эксцентриковая втулка; 9 – вальцовочный штамп; 10 – дополнительная стяжка; 11 – ленточный тормоз; 12 – механизм радиальной регулировки; 13 – клапан управления.

Вальцованные заготовки представлены на рис.142.



3.2.3.4. Штамповка на радиально-обжимных и ротационно-ковочных машинах осуществляется как в горячем, так и в холодном состоянии, для изготовления осесимметричных деталей с вытянутой осью.

На данных машинах изготавливают ступенчатые и удлиненные заготовки из жаропрочных и малопластичных сталей и сплавов. Точность и шероховатость поверхности заготовок зависят от качества изготовления и геометрии инструмента, режимов обработки. При удовлетворительном сочетании всех факторов можно получить параметры шероховатости поверхности $R_z=1,6—0,4\text{ мкм}$ при холодной $R_z=2,0—6,3\text{ мкм}$ при горячей обработке. Точность обработки при холодном обжатии соответствует 6—8-му при горячем — 11—13-му квалитетам.

Исходной заготовкой служит прокат круглого и квадратного профилей или участков заготовок. Процесс обработки заключается в радиальном обжатии концевых или средних участков заготовок.

Получают изделия самых разнообразных размеров. От 0,3 мм (швейные иглы) до 320 мм (стальные трубы и сплошные ступенчатые валы диаметром до 250 мм).

Радиальное обжатие заготовок простой формы в 5 – 6 раз производительнее обработки резанием при той же чистоте поверхности и точности в пределах 0,1 – 0,3 мм.

Схема ротационной ковочной шпиндельной машины приведена на рис.143.

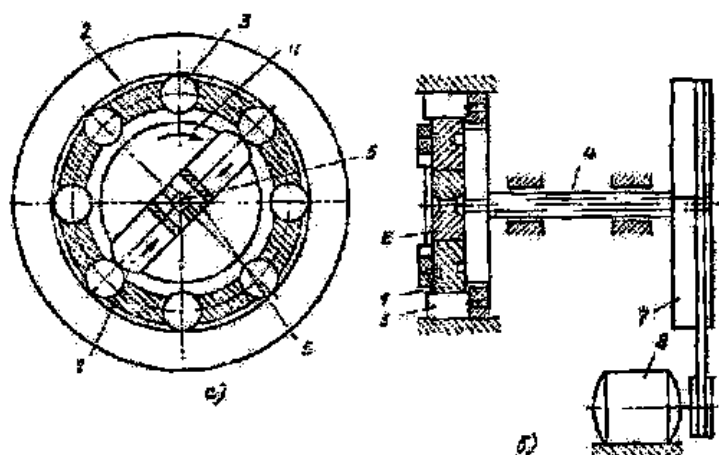


Рис.143 Ротационно-ковочная шпиндельная машина: 1 – ползуны; 2 – обойма; 3 – ролики; 4 – шпиндель; 5 – заготовка; 6 – бойки; 7 – клиноременная передача; 8 – электродвигатель.

Схема ковки на ротационно-ковочной и радиально-обжимной машинах представлена на рис.144.

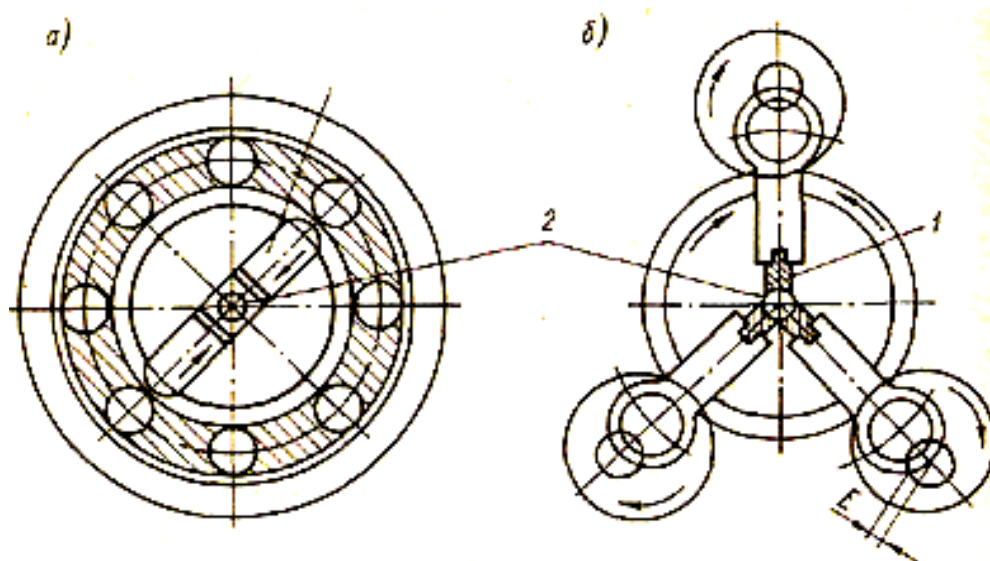


Рис.144.Схема ковки на ротационно-ковочной (а) и радиально-обжимной (б) машинах: 1-бойки, 2-заготовка, Е-ход бойков.

3.2.3.5. Раскатка кольцевых заготовок применяется для получения заготовок колец сложного профиля, с поднутрениями, буртами, выточками и т.д.

Схема раскатки представлена на рис. 145.

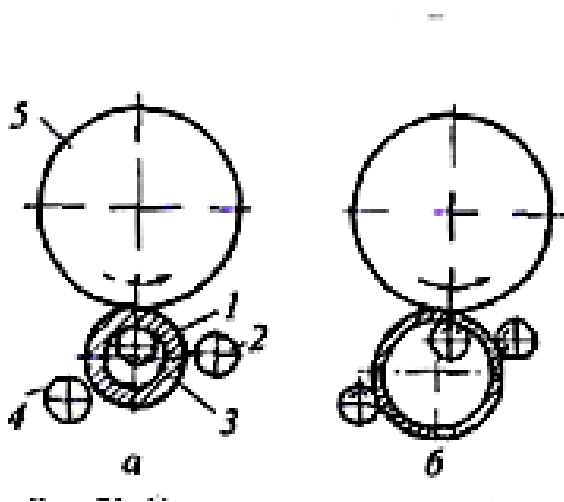


Рис.145. Схема раскатки: а-начало раскатки, б- конец раскатки; 1- опорный ролик, 2-ограничительный ролик, 3-раскатываемое кольцо, 4-ограничительный ролик, 5-обжимной ролик.

Исходные заготовки для раскатки колец получают штамповкой, ковкой, литьём или из труб. Раскаткой получают заготовки с наружным диаметром от 40 до 2000мм при высоте обрабатываемого обода до 180мм.

Основные преимущества раскатки: возможность получить более сложный профиль и более точные размеры, чем при штамповке. Параметры шероховатости поверхности колец $R_z=1,6 - 0,4\text{мкм}$ для холодной и $R_z=2,0 - 6,3\text{ мкм}$ для горячей обработки. Точность при холодной обработке соответствует 6-8-му качеству, а при горячей обработке 11-13-му качеству.

Заготовки, полученные раскаткой, позволяют в ряде случаев исключить механическую обработку. Типовые кольцевые раскатные заготовки представлены на рис.146.

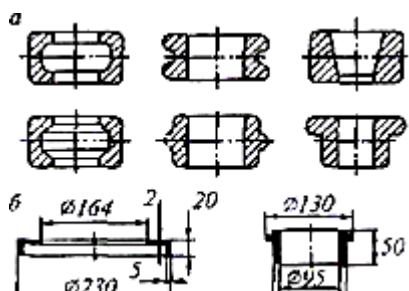


Рис.146. Типовые кольцевые заготовки, полученные: а-при горячей обработке, б-при холодной обработке.

Способы изготовления полуфабрикатов для раскатных заготовок представлены в табл.45.

Таблица 45.

Способы изготовления кольцевых полуфабрикатов для раскатных заготовок

Габаритные размеры раскатанной заготовки, мм		Масса раскатанной заготовки, кг	Серийность производства	Способ изготовления раскатанных заготовок
Наружный диаметр	Ширина			
Открытая раскатка				
70 – 140	10 – 40	0,2 – 3,0	Крупносерийное	Закрытая штамповка на горячештамповочных автоматах, штамповка на ГKM высадкой в пуансоне
Открытая или полуоткрытая раскатка				
120 – 250	20 – 60	2,0 – 6,0	Крупносерийное, серийное	Закрытая штамповка на специализированных прессах, штамповка на ГKM высадкой в пуансоне
			Мелкосерийное	Штамповка на ГKM высадкой в пуансоне, штамповка на КГШП
150 – 350	30 – 100	3,0 – 12,0	Крупносерийное, серийное	Закрытая штамповка на специализированных прессах, штамповка на ГKM высадкой в пуансоне
			Мелкосерийное	Штамповка на ГKM высадкой в пуансоне, штамповка на КГШП, ковка на молоте или гидропрессе.
			Крупносерийное,	Штамповка на ГKM

150 – 500	40 – 160	6,0 – 40,0	серийное	высадкой в пуансоне, штамповка на специализированном гидропрессе
			Мелкосерийное	Ковка на молоте или гидропрессе
200 – 1000	40 – 200	20 – 100	Крупносерийное, серийное	Ковка на специализированном гидропрессе
			Мелкосерийное	Ковка на специализированном гидропрессе, ковка на универсальном гидропрессе или молоте
500 – 7000	50 – 1150	80,0 – 12500	Крупносерийное, серийное, мелкосерийное	Ковка на специализированном прессе

Схема раскатной машины представлена на рис. 147.

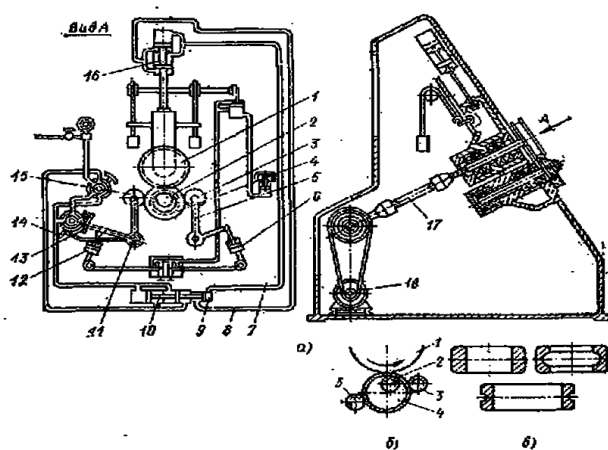


Рис.147. Схема раскатной машины: 1 – нажимной ролик ; 2 – раскатный валок ; 3 – упорный ролик ; 4 – кольцевая заготовка; 5 – рычаг; 6 – шток цилиндра; 7 – трубопровод; 8 - трубопровод; 9 – масляный цилиндр; 10 – мультипликатор; 11 – рычаг; 12 – гидроцилиндр; 13 – механизм включения; 14 – ручка; 15 – контрольный ролик; 16 - гидроцилиндр; 17 – шарнирный вал; 18 – электродвигатель

3.2.3.6. Способ накатки - это превращение гладкой поверхности заготовки в ребристую определённого профиля. Основным оборудованием для накатки служат специальные станы по принципу поперечной прокатки, с принудительным вращением заготовки и пары накатных валков.

Схема накатки представлена на рис.148.

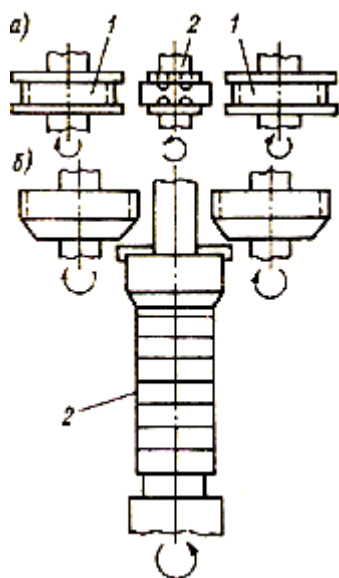


Рис.148. Схема накатки: а-штучных заготовок, б-от прутка; 1-деформирующий инструмент; 2-заготовка.

Способ накатки в основном применяют для горячей накатки зубьев колёс, шлицев на валах и крупной резьбы.

Штучная накатка зубчатых колёс универсальна и при использовании определённой конструкции оснастки позволяет изготавливать цилиндрические и конические колёса с зубьями прямыми и спиральными. Цилиндрические зубчатые колёса диаметром менее 150мм при модуле не более 3мм целесообразно обрабатывать стопками от прутка.

Накаткой можно получать зубья модулем 15- 8мм на колёсах диаметром до 600мм.

При накатке получают профиль зуба с точностью по 8-му качеству и параметрами шероховатости $Rz=6,3 - 0,8\text{мкм}$

Применение накатки вместо механической обработки значительно снижает трудоёмкость изготовления зубчатых колёс, так как производительность накатки выше зубонарезывания в 40 – 50 раз.

Износостойкость зубчатых колёс, изготовленных накаткой, увеличивается на 50 – 70 % (1).

3.2.3.7.Электровысадка

Характеристика технологического процесса. Электровысадка достигается при совмещении операций электро-нагрева методом сопротивления и деформирования нагреваемой части заготовки. Схема процесса показана на рис.149.

Заготовка 3 зажимается радиальным электродом 2 с определенной силой P_1 . При этом часть заготовки, подлежащая электровысадке, находится между радиальным электродом 2 и упорным электродом 1 подключенными ко вторичной обмотке понижающего трансформатора 4 переменного тока промышленной частоты. Часть заготовки между электродами 1 и 2 разогревается до температуры штамповки. Одновременно с нагревом в осевом направлении заготовку действует сила P , которая деформирует нагретую часть заготовки. В процессе электровысадки упорный электрод 1 перемещается с определенной скоростью, при этом холодная часть заготовки под действием силы прижима проскальзывает между радиальным электродом 2, а длина высаживаемой части заготовки увеличивается.

Процесс электровысадки даёт возможность непрерывно деформировать нагретую часть заготовки при соблюдении соотношения $L < 3d$, где L — первоначальная длина высаживаемой части, d — начальный диаметр заготовки. При этом осаживаемая часть заготовки имеет хорошую

продольную устойчивость, а суммарное утолщение (набор металла) в высаживаемой части может достигать значительных величин.

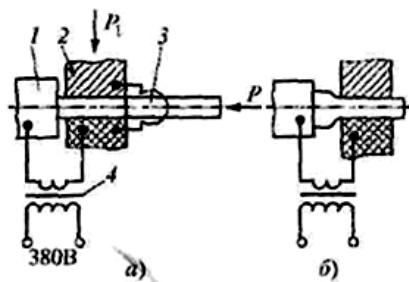


Рис.149. Схема процесса электровысадки: а – в начальный момент процесса; б – в конце процесса; 1- упорный электрод; 2 – радиальный электрод, 3- заготовка; 4- понижающий трансформатор; P_1 радиальная сила; P_2 – осевое усилие для деформирования заготовки.

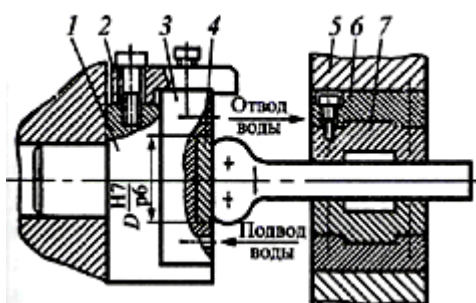


Рис.150. Конструкция рабочего инструмента для свободной электровысадки: 1-4-опорный электрод; 5-7-радиальный электрод.

Процесс электровысадки можно проводить как со свободным деформированием (свободным набором металла рис.150.), так и с набором в матрицу, причем в последнем случае можно получать довольно точные детали, не требующие дальнейшей механической обработки.

Упорный электрод состоит из корпуса 1, на котором захватом 2 крепится упорная плита 3 с рабочей частью 4. Радиальный электрод состоит из корпуса 5, башмаков 6 и вставок 7. Корпуса 1-5 соединены с выводами нагревательного трансформатора. Упорная плита 3 и вставки 7 охлаждаются водой

Электровысадкой можно получать изделия из труднодеформируемых сплавов (высокопрочных легированных и жаропрочных сплавов, сплавов на основе никеля, титана и т. п.). Процесс электровысадки характеризуется

простотой и низкой стоимостью технологической оснастки, хорошими санитарными условиями (отсутствие дыма, пыли, шума) и возможностью полной механизации и автоматизации процесса. Методом электровысадки можно получать поковки сплошного или трубчатого сечения диаметром до 100 мм, а также асимметричные заготовки. В настоящее время электровысадкой получают заготовки клапанов, полуосей автомобилей, турбинных лопаток и других деталей. Себестоимость таких деталей по сравнению с изготовлением их на ГKM ниже на 15 %, экономия металла по сравнению с обработкой резанием достигает 40 %.

. Особенностью электровысадки является то, что этим процессом можно получать только утолщения (наборы металла) на удлиненных заготовках (рис.151.) Поэтому номенклатура деталей, получаемых электровысадкой, невелика.

Исходной заготовкой является пруток сплошного поперечного сечения (круг, многогранник, эллипс).

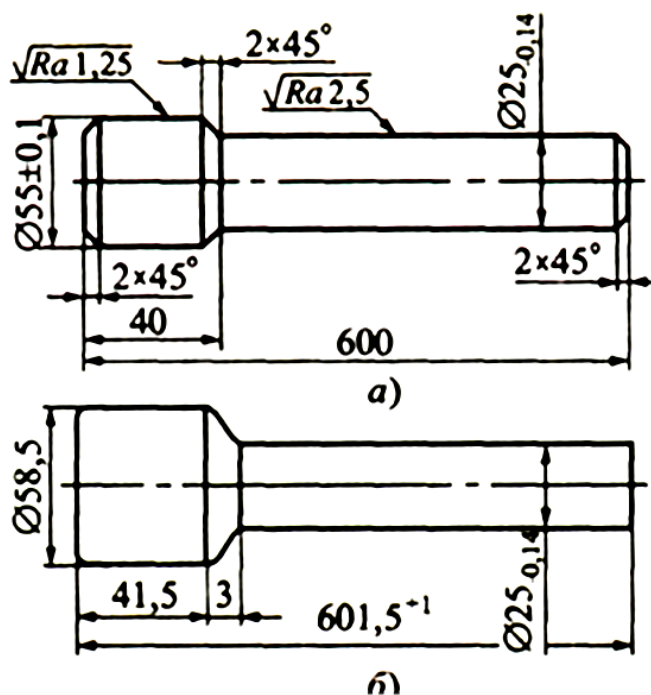


Рис.151. Типовая деталь «Шток» и штампованная заготовка после электровысадки: а- чертёж детали «Шток»; б- чертёж штамповки.

Для свободной высадки характерным является меньшая точность геометрических размеров высаживаемой части. Такие поковки, как правило, служат исходными заготовками для дальнейшей обработки давлением, например, для выдавливания, безоблойной штамповки и др. Для закрытой высадки характерна большая точность геометрических размеров высаживаемой части, поэтому дальнейшая обработка, как правило, механическая. Технологическая оснастка для получения заготовок свободной высадкой существенно проще (сменные вставки радиальных электродов, упорные электроды в виде плит, цилиндров). При закрытой высадке необходимо применять более сложную оснастку (блоки матриц).

Для электровысадки применяют специальные машины, которые характеризуются следующими параметрами: их мощность достигает 300 кВА, наибольший диаметр сплошной заготовки 75 мм; полый заготовки – 150 мм; наибольшая производительность до 800 кг/ч.

Принципиальная схема горизонтальной гидравлической электровысадочной машины приведена на рис.152.

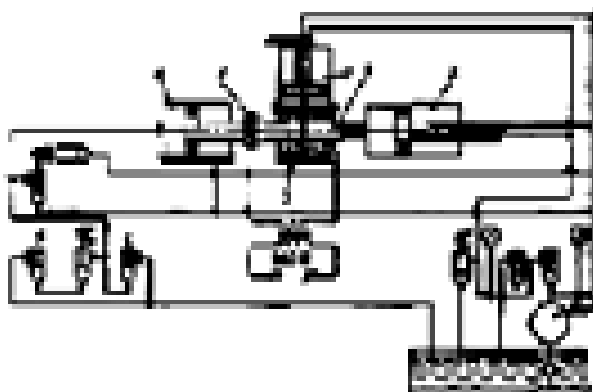


Рис.152. Принципиальная схема горизонтальной гидравлической электровысадочной машины:

1- высаживаемая заготовка; 2- упорный электрод; 3- радиальный электрод; 4- гидравлический цилиндр; 5 и 6- специальные клапаны; 7- гидравлический цилиндр; 8- гидравлический цилиндр.

3.2.3.8. Высокоскоростная штамповка

В номенклатуре деталей машин различного назначения заметную долю составляют детали сложных, для изготовления штамповкой, конфигураций. Таковы тонкостенные стаканы, различного вида оребрѐнные детали, лопатки турбин, диски с тонкими полотнами и т.д.рис.153.

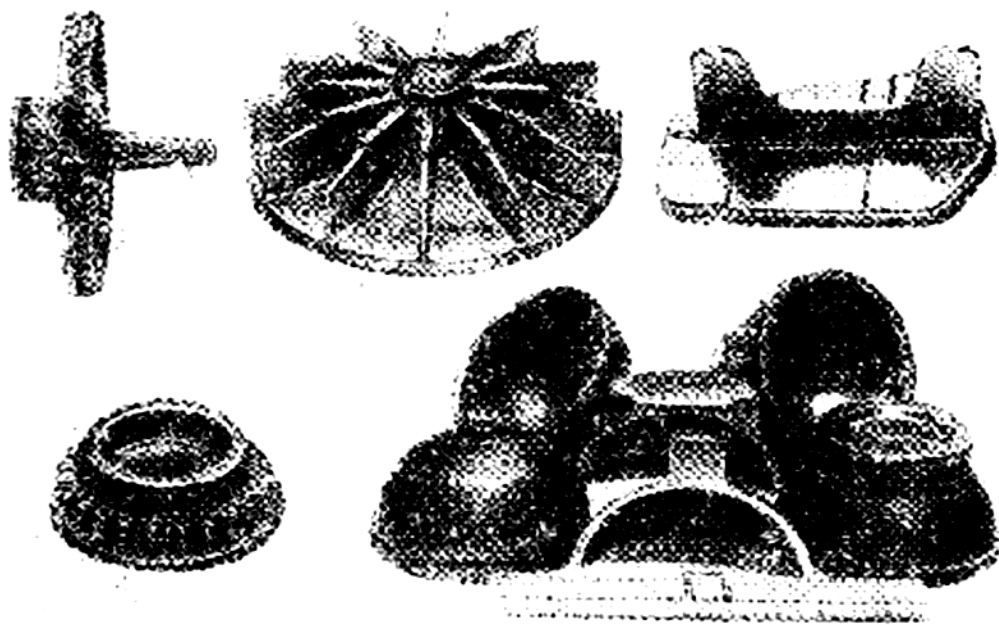


Рис.153. Типовые заготовки, изготовленные высокоскоростной штамповкой.

Получение точных заготовок для них осложняется еще тем обстоятельством, что для их изготовления применяются, как правило, материалы с высокими прочностными характеристиками, но пониженной технологичностью для обработки давлением. Экономическое эффективное изготовление таких деталей встречает серьёзные технические затруднения, связанные с технологическими возможностями имеющегося кузнечно-штамповочного оборудования и стойкостью штампов. Штамповка особо сложных конфигураций иногда вовсе невозможна; изготовление таких деталей ведётся либо из прутка, либо из поковок.

Высокоскоростное деформирование является одним из путей повышения точности штампованных заготовок.

Технологические возможности высокоскоростной штамповки основываются на ряде особенностей процесса и оборудования, наиболее существенные из которых следующие:

- повышенная (8—20м/с) скорость деформирования сокращает длительность процесса штамповки, позволяет выполнять его, практически, без теплообмена, что создаёт условия для изготовления особо сложных и точных заготовок с тонкими элементами (рёбрами, стенками, полотнами, отростками и т.д.), которые трудно получить на обычных молотах и прессах;
- наличие нижнего выталкивателя позволяет получать заготовки с минимальным уклоном или без уклона;
- повышенная точность дозирования энергии последовательности ударов (до 2% установленной энергии).

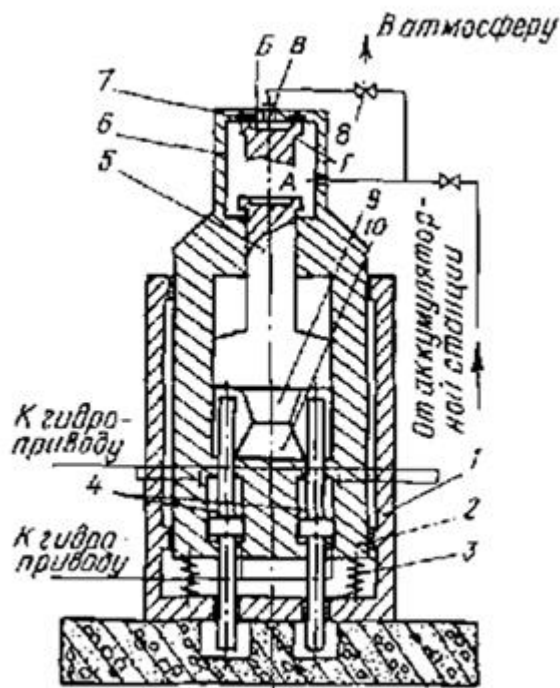
На высокоскоростном оборудовании можно получить толщину стенок 3—4мм, рёбер 1,5—2,5мм, полотен 2—3мм.

Высокоскоростные молоты (рис.154.) уступают в универсальности паровоздушным молотам, так как не обеспечивают ведения с одного нагрева

много переходной штамповки. Высокоскоростные молоты имеют широкий диапазон регулирования энергии деформирования, устанавливаемый с

высокой точностью.

Рис.154.Схема высокоскоростного молота работающего на газе типа «Динапак»: 1- сварная станина; 2 - цельнокованная рама; 3 - пружинные амортизаторы; 4 - гидравлические цилиндры; 5 - шток; 6 - рабочий цилиндр; 7 - торцевое уплотнение; 8 - клапан; 9 - верхний штамп; 10 - нижний штамп; А - полость рабочего цилиндра; Б - полость газа перед пуском; В - отверстие; Г - нижняя кольцевая площадка поршня.



Практически на одном молоте изготавливают штамповки, для которых необходимы паровоздушные молоты с массой падающих частей 0,63—5т или кривошипные прессы усилием 630—4000тс. Такая универсальность высокоскоростных молотов особенно целесообразна при мелкосерийном производстве, так как позволяет использовать минимальный набор штамповочного оборудования.

По конструкции это бесшаботный молот рамного типа. Базовыми элементами его являются сварная станина 1, установленная на фундаменте, и стальная цельнокованная рама 2, выполненная заодно с рабочим цилиндром б. Рама опирается на пружинные амортизаторы 3 и может перемещаться вертикально в направляющих станины. В нижней части рамы установлены

два гидравлических цилиндра 4 со штоками, нижний штамп 10 и нижний выталкиватель (на рисунке не показан). В верхней части размещается массивная стальная баба, откованная заодно с толстым штоком 5 с поршнем на конце. К бабе крепится верхний штамп 9.

Поршень сопрягается с рабочим цилиндром со значительным зазором, обеспечивающим свободное перетекание сжатого азота из одной полости цилиндра в другую. В отверстии, расточенном в станине под шток, имеются уплотнения, предотвращающие прорыв газа из рабочего цилиндра.

В комплект молота входят гидравлическая станция (гидропривод), обеспечивающая подачу масла в возвратные цилиндры и нижний выталкиватель, и газовый аккумулятор, содержащий азот под давлением порядка 140 ати. Молот работает в полуавтоматическом цикле. Все этапы работы молота взаимосвязаны и выполняются в определенной последовательности.

По автоматической команде с пульта управления в гидроцилиндры возврата подается масло под давлением и штоки поднимают бабу в верхнее исходное для удара положение. При этом избыток газа вытесняется поршнем и штоком из полости А рабочего цилиндра в газовый аккумулятор. Одновременно шторы закрывают рабочее пространство молота из соображений техники безопасности.

В крайнем верхнем положении поршень прижимается к резиновому торцевому уплотнению 7, и газ из полости Б сбрасывается в атмосферу через отверстие В и клапан 8.

Во избежание падения при аварийном нарушении уплотнения баба стопорится механическим фиксатором.

Штоки возвратных цилиндров опускаются вниз. Подвижные части молота удерживаются в верхнем положении за счет давления газа на нижнюю кольцевую площадку Г поршня. Молот готов к удару.

По команде “пуск” подаваемой оператором, фиксатор освобождает бабу, и в полость Б из газового аккумулятора поступает пусковая порция сжатого газа. Поршень отрывается от уплотнения, и газ давит на всю торцевую поверхность поршня, которая во много раз больше нижней кольцевой площадки Г. Подвижные части разгоняются до скорости 20 м/с и происходит удар верхнего штампа по заготовке и ее деформирование.

При движении подвижных частей вниз рама молота движется вверх за счет реактивного действия газа. Скорость движения рамы меньше скорости движения подвижных частей во столько раз, во сколько ее масса больше массы подвижных частей.

Усилия, возникающие при штамповке, замыкаются на раму и не передаются на фундамент.

Молот работает по безрасходной схеме. Сжатый газ циркулирует в замкнутой системе и не расходуется при работе. Предусмотрен только расход газа, находящегося в полости Б и выбрасываемого в атмосферу при каждом ходе.

Применяются также конструкции высокоскоростных молотов с тепловым газовоздушным приводом внутреннего сгорания, молоты с пневмомеханическим приводом.

3.2.3.9. Штамповка в изотермических условиях

Быстрое остывание заготовки при контактировании с холодным штампом—одна из причин значительного увеличения усилия

деформирования, особенно при изготовлении тонкостенных заготовок, характеризующихся большим отношением площади поверхности к объёму, и снижения пластичности металла. Увеличение усилия влечёт за собой установку мощного оборудования, снижения точности заготовок из—за упругих деформаций инструмента и стойкости штампа.

Процессы изотермического деформирования отличаются от обычных способов горячей штамповки тем, что формоизменение нагретой заготовки осуществляют в инструменте, нагретом до температуры деформации.

Точность заготовок, штампованных в изотермических условиях повышается в результате:

- уменьшения упругих деформаций системы пресс—штамп из—за снижения сопротивления деформированию штампуемого металла и усилия штамповки;
- уменьшения колебаний температуры деформации;
- снижения остаточных напряжений в объёме штампованной заготовки, что уменьшает её коробление при остывании и термической обработке.

В изотермических условиях штампуют заготовки повышенной точности сложной конфигурации с небольшими штамповочными уклонами, резкими перепадами сечений, малыми радиусами переходов и припусками на механическую обработку (Рис.155.).

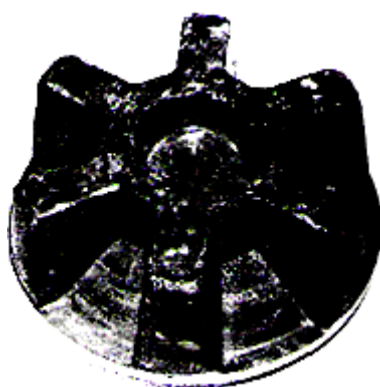




Рис. 155.(45) Титановые
заготовки диска,
коллектора, арматуры,
изготовленные



изотермической штамповкой.

Принципиальная схема штампового блока для изотермической штамповки приведена на рис.156.

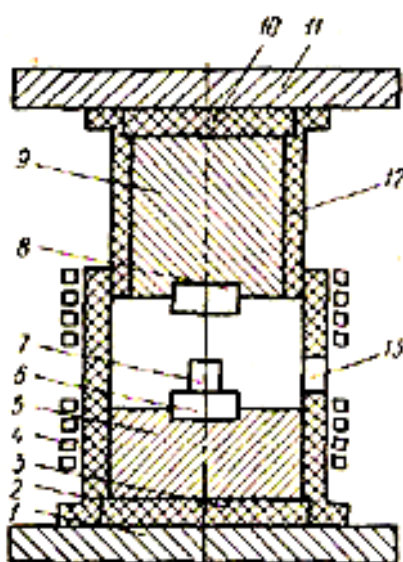


Рис.156.Принципиальная схема штампового
блока для изотермической штамповки: 1-
опорная плита; 2-неподвижный кожух; 3-
теплоизолирующая прокладка; 4 -индуктор; 5
-штамподержатель; 6 -нижний штамп;7 -
заготовка; 8 - верхний штамп; 9 -
штамподержатель; 10 -теплоизолирующая
прокладка; 11 -опорная плита; 12 - подвижный
кожух; 13 -специальное окно.

3.2.3.10. Штамповка в условиях сверхпластичности

Под сверхпластичностью понимают достижение очень больших удлинений при растяжении при повышенных температурах и низких скоростях деформации. Огромные деформации в условиях отсутствия упрочнения позволяют осуществлять многопереходные процессы за один переход, а для сплавов, трудно воспринимающих сдвиговую или нормальную

деформацию, сверхпластичность обеспечивает необходимую обрабатываемость давлением.

Для штамповки в описываемом режиме металл нужно предварительно подготовить. Сплавы, подверженные аллотропии с соответствующей перекристаллизацией, могут переходить в состояние сверхпластичности при фазовом превращении. Другой способ подготовки металлов, независимо от их фазовой характеристики, состоит в предварительном измельчении зеренной структуры, причём, чем мельче удаётся получить зерно (от 5мкм и мельче), тем выше показатели сверхпластичности (Рис.157.).

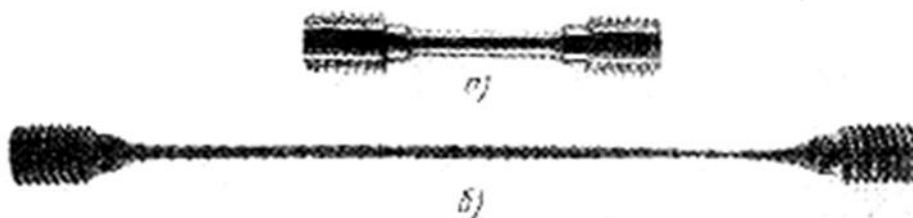


Рис. 157.Образец из титанового сплава ВТ3-1:

а - до деформации; б – после деформации в состоянии сверхпластичности

В числе процессов, освоенных для изготовления деталей в условиях сверхпластичности,- пневмоформовка, формообразование растяжением, электровысадка и другие. При пневмоформовке листовую заготовку с подготовленной структурой помещают на полую матрицу любой сложности, герметизируют относительно системы, подающей сжатый воздух, и после нагревания подвергают одноразовой деформации. Растяжением с местным нагревом прутковой заготовки получают периодический сложный профиль. На рис. 164. представлена схема штампа для штамповки в условиях сверхпластичности.

Штамповка заготовок осуществляется следующим образом. Заготовку 1 в данном случае кольцеобразную, нагретую выше температуры фазового превращения, помещают в матрицу 2, изготовленную из магнитного материала. В матрице расположены две коаксиальные обмотки 3 и 4, которые совместно с заготовкой образуют подобие трансформатора. При прохождении тока по первичной обмотке 3 во вторичной обмотке 4 индуцируется ток, величина которого пропорциональна магнитной проницаемости материала заготовки.

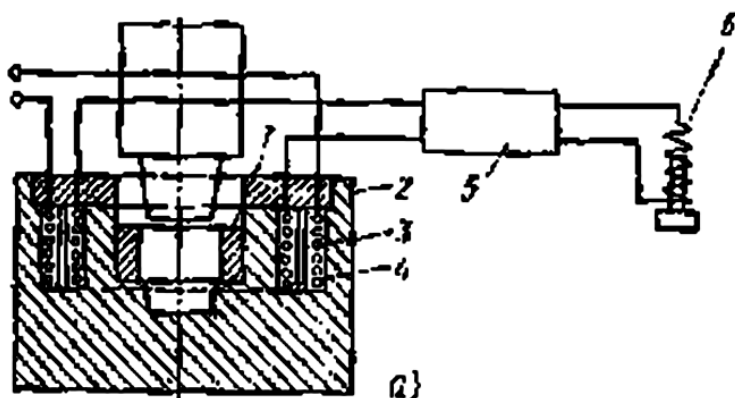


Рис.158.Схема штампа для штамповки в условиях сверхпластичности: 1 – заготовка; 2 – матрица; 3 – коаксиальная обмотка; 4 – коаксиальная обмотка; 5 – усилитель; 6 – электромагнитное реле.

В момент фазового превращения стальная заготовка (при охлаждении) переходит из парамагнитного в ферромагнитное состояние, в результате чего резко изменяется магнитная проницаемость материала заготовки и соответственно ток во вторичной обмотке 4. После прохождения тока через усилитель 5 сигнал подается на обмотку электромагнитного реле 6 в системе включения пресса и пуансон 7 осуществляет деформацию.

Для сверхпластической формовки металлов с измельчённой структурой применяется оборудование, которое должно отвечать следующим требованиям.

Оборудование должно иметь:

- а) средства для обеспечения контролируемого давления по обе стороны листа;
- б) возможность осуществления контролируемого движения инструмента;
- в) возможность использования на одной машине заготовок разных размеров;
- г) средства индикации высоты купола при его свободной формовке, так как эта величина имеет критическое значение;
- д) перемещение рабочих органов машины с целью открывания и закрывания формы осуществляется с максимальной скоростью, что позволяет минимизировать продолжительность цикла формовки;
- е) автономную систему нагрева для поддержания в рабочем пространстве необходимой температуры формовки;
- ж) дополнительное устройство для нагрева листа, с целью предельного сокращения времени нагрева заготовки до температуры формовки в машине.

Принципиальные схемы формовки в условиях сверхпластичности приведены на рис. 159. и 160. Главным в машинах являются две изолированных камеры давления, перемещаемые относительно друг друга посредством гидропривода, который также обеспечивает усилие зажима сверхпластичного листа.

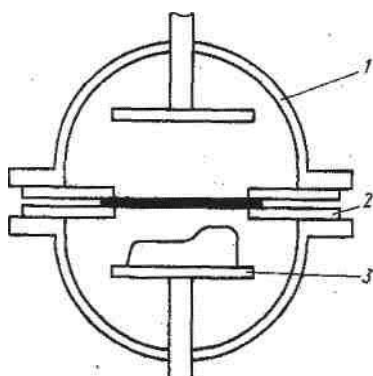


Рис. 159.Схема машины для позитивной формовки, включающей нагреваемые изолированные камеры давления 1, модульные зажимные плиты 2 и перемещающийся стол с пуансоном 3.

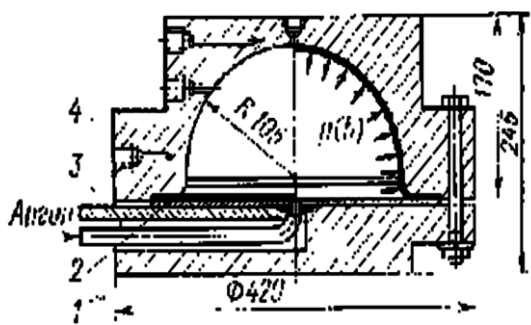


Рис.160.Штамп для формовки полусфер из титановых сплавов:1 – крышка; 2 – двухслойная заготовка; 3 – задвижка; 4 – матрица.

Машины позитивной формовки (рис.161.) настраиваются, как правило, на заготовку с максимальным размером приблизительно 900х600 мм.

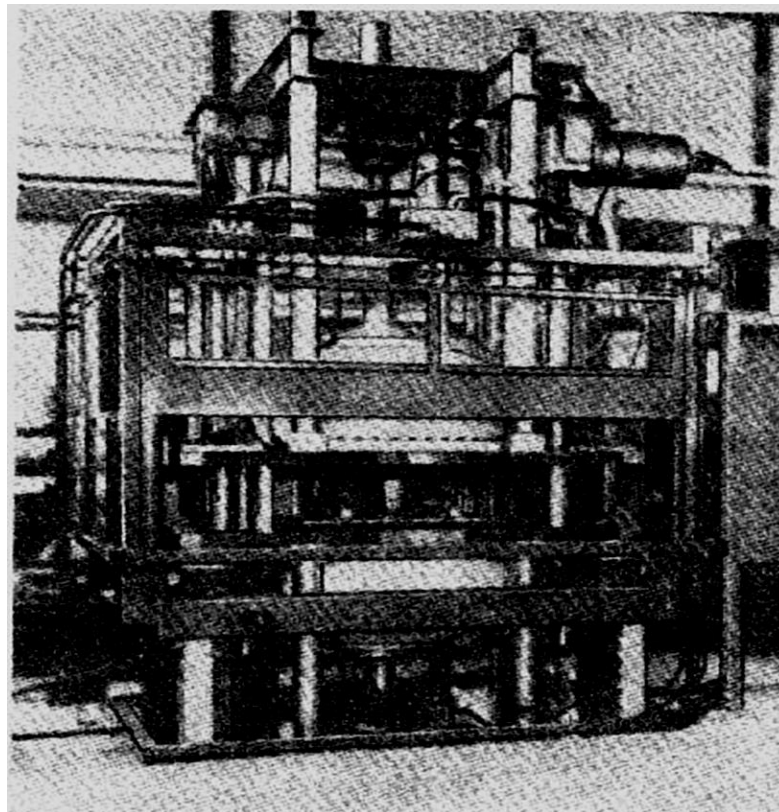


Рис.161. Машина для формовки металла.

Для сверхпластической формовки применяют титановые сплавы, алюминиевые сплавы, сплавы на основе никеля. Область применения сверхпластической формовки: стенки вертолетов; - полусферы из титана для топливных емкостей; - люки агрегатов самолетов и других деталей аэрокосмической промышленности рис.162.



Рис. 162. Закрылок самолёта самолета YC – 17:- конструкция, предназначенная для изготовления способом сверхпластической формовки.

3.2.3.11.Штамповка выдавливанием в разъёмных матрицах

Этот способ наиболее рационален при получении заготовок одного или нескольких близких типоразмеров. Сущность процесса заключается в том, что матрица имеет одну или несколько плоскостей разъёма, по которым части матрицы плотно прилегают друг к другу в период деформирования заготовки. Схема штамповки выдавливанием в разъёмных матрицах приведена на рис.163.

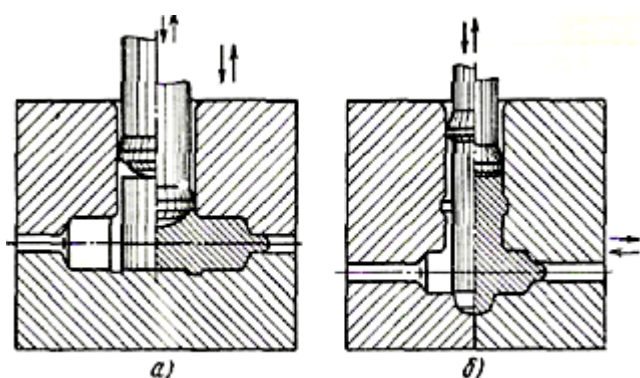


Рис. 163.Схема штампов с разъёмной матрицей в горизонтальной (а) и вертикальной (б) плоскостях.

Способ применяется при холодной, полугорячей и горячей обработке металла. Наиболее распространена горячая деформация углеродистых и легированных сталей, цветных сплавов и сплавов.

При наличии разъема матрицы штамп имеет две плоскости разъема, что дает ряд преимуществ. Главное достоинство такого штампа состоит в возможности отказаться от штамповых уклонов, что экономит металл. Не менее важное качество двухразъемных штампов - возможность штамповать в полости, расширяющейся от входного отверстия к дну, а также получать такие формы поковок, которые не могут быть извлечены из обычной полости штампа. Кроме того, дополнительный разъем штампа по матрице дает возможность закрывать полость штампа, выполненного по типу открытого, располагать по месту разъема компенсаторы, улучшить условия центрирования заготовок в ручье и обеспечить фиксацию их необходимого положения до начала штамповки.

Разъем по матрице может быть выполнен в двух вариантах: в одном разъем матрицы перпендикулярен движению пуансона (рис. 163, а), в другом параллелен этому направлению (рис. 163, б). Штампы с двумя разъемами, как правило, состоят из матрицы и пуансонов, как и все другие прессовые штампы.

Типичным оборудованием для штампов с пространственным разъемом являются горизонтально-ковочные машины и винтовые фрикционные прессы. Эти штампы стали применять и на кривошипных прессах. Гидровинтовые прессы приспособлены для штамповки в разъемной матрице.

Наиболее целесообразно применять данную технологию штамповки выдавливанием в разъемной матрице для поковок типа тройников, крестовин и других подобных форм. Штампы с взаимно перпендикулярным

разъемом работают в условиях распора. Части матрицы должны надежно удерживаться облоймой.

Штамповку в разъемных матрицах применяют взамен штамповки в открытых штампах. Поэтому при рассмотрении эффективности данного способа целесообразно его сравнивать по техника-экономическим показателям с облойной штамповкой.

К преимуществам штамповки выдавливанием в разъемных матрицах относится следующее.

1. Отсутствует заусенец и соответственно отпадает необходимость в обрезных прессах.
2. Возможность получения штампованных заготовок с уклонами $1 - 3^0$, а в некоторых случаях исключить их полностью.
3. Максимальное приближение заготовки к форме готовой детали за счёт формирования внутренних поверхностей.
4. Значительное сокращение припусков на последующую механическую обработку (до 30%).
5. Увеличение коэффициента использования металла до 20 %.
6. Увеличение производительности труда в среднем на 25%.

К недостаткам штамповки выдавливанием в разъемных матрицах следует отнести следующие недостатки.

1. Для штамповки необходимо специальное оборудование и более сложная и дорогостоящая оснастка.
2. При штамповке поверхность заготовки охлаждается в процессе контакта со штампом и в результате снижается пластичность металла, ухудшается заполнение полости штампа и возрастают нагрузки на штамп, особенно при штамповке титановых и жаропрочных сплавов.

3.2.3.12. Изготовление заготовок лопаток компрессора газотурбинных двигателей (ГТД)

Изготовление заготовок лопаток компрессора занимает особое место в производстве ГТД. Это обусловлено сложностью и многообразием геометрических форм лопаток; высокими требованиями по точности их изготовления, применение трудно деформируемых материалов и высокую их стоимость. Максимальное приближение заготовки по форме и геометрии к готовой детали является весьма актуальной задачей. Рассмотрение различных способов изготовления заготовок лопаток компрессора целесообразно выделить в отдельный раздел.

Лопатки компрессора являются наиболее массовыми деталями. Количество ступеней на осевых компрессорах доходит до 18, а количество штук - до 1500 на один ГТД.

Длина лопаток компрессора для разных двигателей находится в пределах 15 ... 1000 мм, ширина пера (хорда) 7 ... 280 мм, закрутка пера 40°.

Основную номенклатуру лопаток компрессора составляют лопатки для-

160... 150 мм.

По своему назначению лопатки делятся на рабочие лопатки ротора компрессора и лопатки статора компрессора.

Лопатки статора, устанавливаемые на входе в компрессор, называют входными направляющими лопатками, а на выходе из компрессора - спрямляющими лопатками. На некоторых двигателях имеются поворотные статорные лопатки компрессора с изменяемым углом установки. Основными конструктивными элементами и параметрами, влияющими на технологию изготовления лопаток компрессора, являются габаритные размеры, наличие

полок, формы хвостовиков и пера, толщина кромок и значения радиусов их скругления, величины радиусов сопряжения пера с полками. В соответствии с ними лопатки подразделяются на различные группы технологических процессов их изготовления технологических процессов их изготовления.

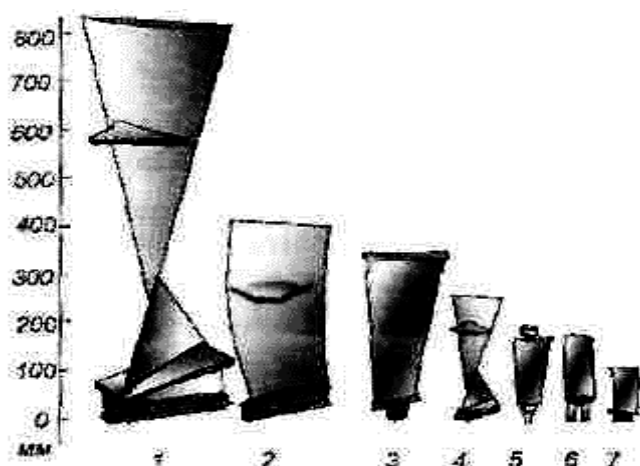


Рис.164. Размерные группы лопаток компрессора

К материалам лопаток компрессора предъявляются требования по обеспечению: надежности и ресурса, высоких прочностных свойств и пластичности, сопротивления коррозии и эрозии, жаропрочности и жаростойкость (для последних ступеней компрессора), хороших технологических свойств (обрабатываемость резанием, давлением и др.).

Лопатки компрессора изготавливают из коррозионно-стойких и теплостойких хромистых сталей, титановых и жаропрочных сплавов, композиционных материалов. Алюминиевые сплавы в современных ГТД для изготовления лопаток компрессора практически не используются.

Для лопаток компрессора, работающих при температурах до 500°C, применяют титановые сплавы ВТЗ-1, ВТ8М, ВТ9, ВТ18У, ВТ22, ВТ25У, ВТ33 и др. В диапазоне рабочих температур 500 ... 650 °C используются коррозионно-

стойкие и теплостойкие стали 13X12H2B2MФА-Ш, 15X12H2BMФАБ-Ш, 15X16K5H2BMФАБ-Ш, 13X14HBФРЛ, 1X12H2BMФ и др.

Лопатки последних ступеней компрессора, работающие при температурах 650 ... 800 °С, изготавливают из жаропрочных сплавов на никелевой основе: ХН70МВТЮБ, ХН77ТЮ, ХН45МВТЮБР.

Ведутся активные разработки по использованию для изготовления лопаток компрессора композиционных материалов на металлической и неметаллической основе и интерметаллидных материалов, в частности боропластиков, бороалюминиевых композиций, сплавов системы Ti-Al (44).

Технологические процессы производства заготовок лопаток компрессора ГТД должны обеспечивать:

требуемые геометрические размеры с необходимыми минимальными допусками;

оптимальную структуру и физико-механические свойства материала лопаток
предотвращение появления потенциальных очагов разрушений.

минимальную материалоемкость;

минимальную себестоимость и трудоемкость;

минимальную последующую механическую обработку;

минимальный объем ручных работ.

В заготовительных цехах моторостроительных предприятий штампуются заготовки лопаток компрессора длиной до 300 мм. Заготовки больших размеров поступают с металлургических предприятий

В настоящее время в производстве заготовок лопаток компрессора применяются следующие основные группы технологических процессов:

штамповка на винтовых и кривошипных горячештамповочных прессах;

изотермическая штамповка;

высокоскоростное выдавливание;
холодное и горячее (изотермическое) вальцевание.

Штампованные заготовки лопаток, чаще всего, получают из горячекатаных прутков. Шероховатость поверхности исходных заготовок перед штамповкой должна быть не ниже $Rz = 40$ мкм.

Трещины, волосовины, забоины и другие дефекты не допускаются. Обточенные заготовки проходят 100 %-й ультразвуковой контроль.

Чтобы обеспечить наибольшее значение коэффициента неметалла (КИМ) и сокращение количества переходов при штамповке прибегают к фасонированию заготовок под последующую штамповку. Целью фасонирования является перераспределение объема исходной заготовки между хвостовиком и пером заготовки лопатки.

Основные способы фасонирования заготовок лопаток компрессора:

- высадка на горизонтально – ковочных машинах;
- электровысадка заготовок;
- горячее вальцевание;
- периодическая прокатка.

Наиболее распространённый способ фасонирования заготовок лопаток компрессора- высадка заготовок на ГКМ. Однако этот способ фасонирования не обеспечивает высокий КИМ. Стержень высаженной заготовки имеет постоянное поперечное сечение, величина которого выбирается по максимальному сечению пера заготовки лопатки из условия устойчивости заготовки при высадке хвостовой части. Поэтому при последующей штамповке образуется большой заусенец и КИМ не превышает 0,25.

Целесообразно сочетать высадку на ГКМ с последующей вальцовкой заготовок лопаток на ковочных вальцах. При этом удаётся снизить расход металла на заготовку от 10 до 15%.

Электровысадка – это технологическая операция горячего фасонирования для получения утолщения утолщений на стержневых заготовках лопаток компрессора. Технологическая оснастка для фасонирования заготовок лопаток значительно проще и дешевле, чем при высадке на ГКМ.

Горячее вальцевание на ковочных вальцах является одним из эффективных процессов фасонирования заготовок лопаток компрессора, обеспечивает оптимальное перераспределение металла по длине заготовки, более равномерную деформацию по поперечным сечениям и длине заготовки лопатки, минимальный выход металла в заусенец при штамповке и как следствие повышение КИМ. В этом случае может отпадать необходимость в предварительной штамповке.

В качестве оборудования для горячего вальцевания используются консольные ковочные вальцы.

Горячее вальцевание позволяет повысить КИМ с 0,2...0,25 до 0,3...0,35; снизить трудоёмкость кузнечных операций на 15%; снизить трудоёмкость ручных работ на 15 – 20 % за счёт сокращения зачистных операций (44).

Продольную периодическую прокатку применяют в качестве промежуточной операции для последующей штамповки заготовок лопаток компрессора.

Профильная периодическая прокатка имеет следующие преимущества - перед другими способами обработки металлов давлением:

- высокая производительность, которая обеспечивается непрерывным вращением инструмента, при этом формообразование происходит одновременно с перемещением заготовки;
 - высокая стойкость инструмента по причине кратковременного контакта заготовки и деформирующего инструмента;
- низкие затраты на исходную заготовку, поскольку из нее получают несколько фасонированных заготовок.

Периодическая прокатка является универсальным способом. С ее помощью можно получать заготовки лопаток различных конструкций, в частности с одним и двумя хвостовиками.

Изотермическая штамповка позволяет получать за один или несколько переходов высокоточные заготовки лопаток компрессора разных конфигураций и размеров, включая заготовки лопаток с антивибрационными полками. В качестве деформирующего оборудования при изотермической штамповке применяют универсальные гидравлические прессы с регулируемой скоростью рабочего хода ползуна или специализированные прессы с усилием 2,5; 6,3 и 16 МН.

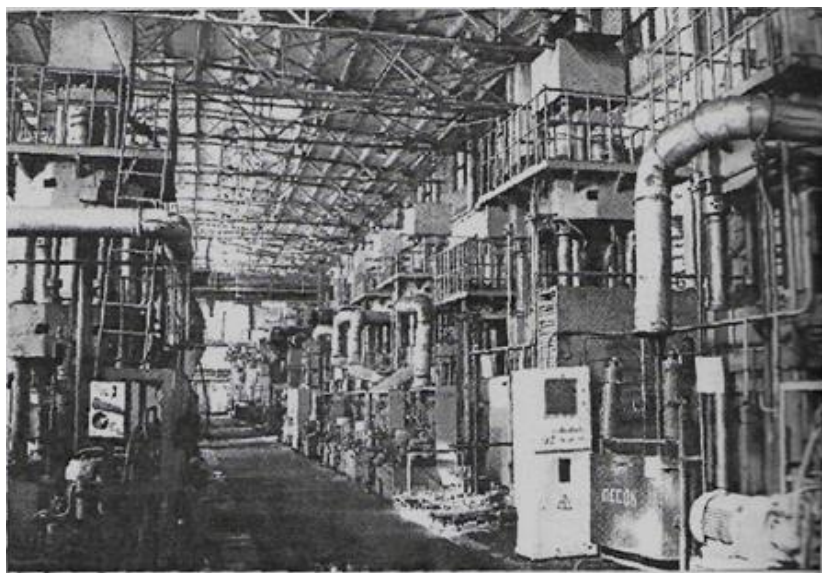


Рис.165. Участок гидравлических прессов для изотермической штамповки лопаток компрессора.

Наиболее эффективно применение изотермической штамповки для заготовок лопаток компрессора из титановых сплавов.

Титановые сплавы относятся к группе высокопрочных малопластичных материалов. Общие условия штамповки титановых сплавов характеризуются высоким сопротивлением деформированию при горячей обработке, узким температурным интервалом деформации, чувствительностью механических свойств к неоднородности деформации, низкой теплопроводностью и высокой активностью нагретого металла к кислороду воздуха.

При обработке титановых сплавов традиционными способами горячего деформирования потери металла при штамповке и механической обработке могут достигать до 80%. Трудоемкость механической обработки их весьма высока, а уровень механических характеристик поверхностного слоя после механической обработки не всегда удовлетворяет предъявляемым требованиям.

Применение изотермической штамповки для лопаток компрессора является одним из эффективных путей снижения их себестоимости.

На рис.166. для сравнения представлены заготовки лопаток компрессора, полученные изотермической (а) и традиционной (б) штамповкой.



Рис.166. Заготовки лопаток компрессора:

а – полученные изотермической штамповкой,

б – полученные традиционной штамповкой.

Для малогабаритных заготовок лопаток применяется технология многошпунтовой штамповки.

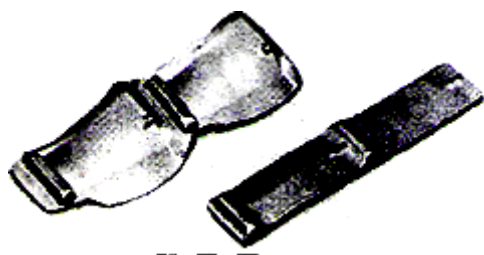


Рис.167. Многошпунтовая штамповка

заготовок однозамковых титановых лопаток компрессора.

Технологический процесс изотермической штамповки позволяет получать заготовки лопаток компрессора с припуском по профилю пера $0,1...0,2$ мм на сторону с допуском $\pm 0,1$ мм, коэффициентом использования металла до 0,5 и удовлетворительные механические свойства (45).

К недостаткам изотермической штамповки заготовок лопаток компрессора можно отнести следующее:

1. При изготовлении заготовок лопаток с большим углом закрутки

(более 30°) в процессе штамповки возникают усилия, стремящиеся развернуть половинки штампа относительно друг друга. В результате резко возрастают нагрузки на направляющие колонки штампов, что приводит к быстрому их износу и потере точности заготовок.

2. Высокая стоимость штампов;

3. Последующая обработка бесприпусковых заготовок (обработка поверхностей хвостовика, кромок) сталкивается с проблемой ориентирования заготовки, точность которой, при современных средствах, ограничена 0,05...0,1 мм и также приводит к целесообразности оставления на заготовках некоторого припуска.

4. Наличие на заготовках лопаток дефектного альфированного слоя, удаляемого травлением, обуславливает необходимость применения сильных кислот и создания для этой цели специальных участков. Использование заготовок лопаток с припуском по перу позволяет исключить эту операцию, так как в этом случае альфированный слой будет удален при последующей размерной обработке пера (45).

Высокоскоростное выдавливание заготовок лопаток компрессора заключается в пластическом деформировании металла со скоростью порядка нескольких десятков метров в секунду. Высокие скорости деформирования улучшают течения металла и способствуют заполнению труднодоступных мест формообразующей полости штампа.

Основные преимущества применительно к производству лопаток:

- возможность получения заготовок с тонкими кромками;
- практически исключается теплообмен между заготовкой и штампом и соответственно уменьшается трение между поверхностями заготовки и штампа.

Высокоскоростное выдавливание используется для получения точных заготовок лопаток длиной до 150 мм из титановых сплавов и жаропрочных сталей. Припуск по перу для лопаток из жаропрочных сталей составляет 0,05 ... 0,25 мм, а для лопаток из титановых сплавов - 0,3...0,6 мм на сторону.

Принципиальная схема высокоскоростного выдавливания представлена на рис.168. Матрица состоит из двух элементов и в сборе имеет коническую наружную посадочную поверхность, по которой устанавливается корпус. На плоскости разъема матрицы выполнен ручей, определяющей форму пера заготовки лопатки. Процесс формирования заготовки лопатки происходит при высокоскоростном ударе бойка по нагретой до требуемой температуры исходной заготовке. Для извлечения заготовки служит выталкиватель, при подъеме которого происходит разъем матрицы.

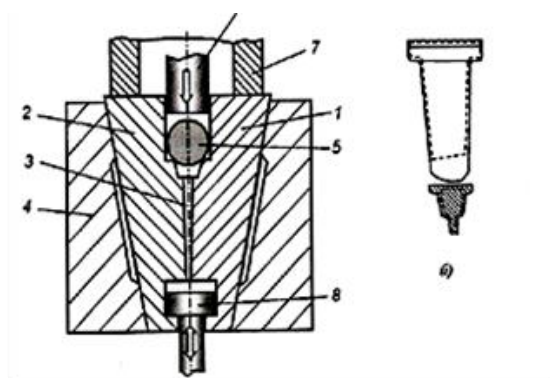


Рис.168. Принципиальная схема высокоскоростного выдавливания (а) и получаемой заготовки (б): 1, 2 – разъемные элементы матрицы; 3-ручей; 4-корпус; 5- исходная заготовка; 6- деформирующий боёк; 7- прижим

матрицы, 8- выталкиватель.

Энергия удара изменяется в пределах от 25 до 250 кДж. Скорость соударения 35..40м/с.

В качестве оборудования используются штамповочные бесшаботные высокоскоростные молоты.

Для штамповки лопаток также применяются кривошипные горячештамповочные прессы и паровоздушные молоты, в частности для

штамповки крупногабаритных лопаток на металлургических предприятиях.

На данном оборудовании получают заготовки лопаток компрессора с припуском под дальнейшую механическую обработку профиля пера. На кривошипном горячештамповочном прессе штампы, как правило, не смыкаются во избежание заклинивания ползуна в нижнем положении, а наличие зазора между штампами не позволяет с большой точностью учесть упругие деформации в системе пресс – штамп. Затруднена точная штамповка лопаток и на паровоздушном молоте из значительного смещения штампов. Использование данного оборудования для штамповки лопаток объясняется наличием данного оборудования в действующем производстве.

Наиболее распространена штамповка заготовок лопаток компрессора на электровинтовых дугостаторных прессах, имеющих минимальное смещение штампов и не имеющих заклинивания ползуна в нижнем положении, что позволяет возмозможность смыкания штампов. При выполнении необходимых операций фасонирования при штамповке на электровинтовых дугостаторных прессах удаётся получать заготовки лопаток компрессора с припуском по профилю пера до 0,3..0,4 мм для лопаток с длиной пера до 150мм, а для крупногабаритных заготовок припуск по профилю может составлять 2 – 3мм на сторону.

Известны работы по штамповке заготовок для статорных лопаток компрессора из предварительно отлитых заготовок. Данная технология позволяет значительно сократить расход металла и обеспечить минимальный припуск по профилю пера лопаток, имеющих два хвостовика.

Однако широкого распространения данная технология не получила, что связано с большими затратами на получение предварительно литых заготовок.

Проведены работы по изготовлению крупногабаритных лопаток направляющего аппарата, имеющих два хвостовика, из двух заготовок. Заготовки штампуются по традиционной технологии, а затем соединяются сваркой. Для обеспечения заданной прочности сварной шов производится штамповка, но по горизонтальной плоскости, а встык сварного шва. Такой приём обеспечивает необходимую прочность, но требует специального оборудования.

Перспективным направлением изготовления крупногабаритных пустотелых лопаток вентилятора ГТД является технология штамповки заготовок из двух половин с последующей диффузионной сваркой.

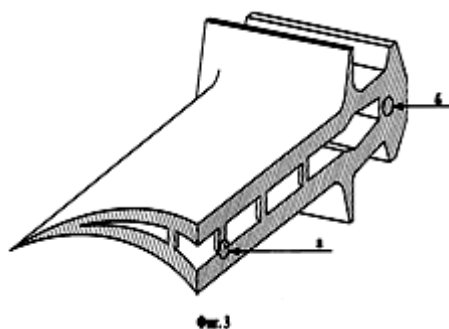


Рис. 169. Фрагмент пустотелой лопатки.

3.3. Листовая штамповка

Листовая штамповка одна из разновидностей способов изготовления заготовок обработкой металлов давлением, при которой листовой материал деформируется в холодном или подогретом состоянии.

Листовой штамповкой изготавливают детали различных размеров от самых мелких (детали часов и приборов) до самых крупных (днища паровых котлов, корпуса морских судов).

Сваривая листовые штампованные детали, создают сложные и ответственные части машин, например сложные штампованные корпуса

автомобилей, станины прессов и металлорежущих станков, аппараты химического производства, речные и морские суда.

Учитывая большое разнообразии изготовления деталей способом листовой штамповки, целесообразно рассмотреть основные операции этого технологического процесса для изготовления заготовок.

Разновидности операций листовой штамповки: разделительные, формоизменяющие, комбинированные и штамповсборочные. Разделительные операции в свою очередь подразделяются на :отрезку, вырубку, пробивку, надрезку, разрезку, обрезку, зачистку, просечку.

Схемы разделительных операций приведены на рис.170.

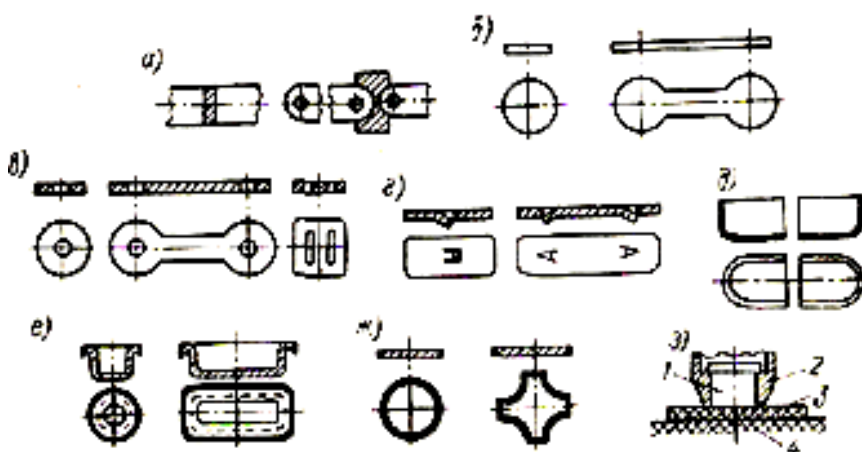


Рис. 170. Схемы разделительных операций

Отрезка - полное отделение одной части материала от другой по незамкнутому контуру, по прямой или по кривой линии (рис. 170, а). Эта операция производится на отрезном штампе из мерной полосы или листа без боковых отходов.

Вырубка - полное отделение металла по замкнутому контуру (рис. 170.,б), при котором отделяемая часть заготовки является изделием.

Вырубка является наиболее распространенной операцией из группы резки; она производится при помощи вырубного штампа.

Пробивка - операция, имеющая целью получение в вырубленной детали или в листе отверстия путем отделения при помощи пробивного штампа части материала по замкнутому контуру (рис.170 в). Отличие этой операции от вырубки состоит в том, что при вырубке часть материала, проталкиваемая пуансоном в матрицу, является деталью, а оставшаяся на матрице часть -отходом; при пробивке же, наоборот, провалившаяся через матрицу часть материала является отходом, а оставшаяся на ней — изделием.

Надрезка - операция, при которой происходит частичное отделение материала по незамкнутому контуру, без удаления остатков. Надрезка применяется для получения отогнутых язычков в детали (рис. 170, г) и производится специальным надрезным штампом.

Разрезка - разделение плоских, гнутых или полых заготовок на две или несколько отдельных деталей. Такую операцию приходится использовать при изготовлении несимметричных изделий. Для этого вначале штампуют симметричную заготовку, а затем уже разрезают на несколько несимметричных деталей (рис.170.д). Подобная схема операций значительно упрощает процесс штамповки деталей и снижает трудоемкость изготовления штампов.

Обрезка (обрубка) - полное отделение неровного края лишнего металла по наружному контуру плоских, гнутых или вытянутых изделий (рис. 170, ё). Схема процесса обрезки не отличается от вырубки, разница заключается лишь в конструкции штампов.

Зачистка - небольшая обрезка заранее предусмотренного припуска на плоских заготовках —деталях с целью получения точных размеров и формы, острых кромок и гладкой перпендикулярной поверхности среза (рис. 170. ж].

Зачистку можно производить как по наружному, так и по внутреннему контуру при помощи специальных зачистных штампов.

Если зачистка производится одновременно с вырубкой (пробивкой) из полосы (детали) одними и теми же матрицей и пуансоном, то такую обработку называют чистой вырубкой или пробивкой.

Просечка - отделение листовых неметаллических материалов по замкнутому контуру при помощи просечных-ножевых штампов. Эта операция производится трубчатыми стальными пуансонами 2 (рис. 170., з), без применения стальной матрицы. Роль последней выполняют пластины из неметаллических материалов 3, которые укладываются на подкладную пластину 4 (фибра, дерево). Вырезанная деталь удаляется из пуансона выталкивателем 1.

По характеру деформации вышеуказанные разделительные операции (кроме зачистки и просечки) ничем не отличаются друг от друга.

Перечисленные операции в целях увеличения производительности можно объединить либо по принципу последовав штамповки, либо по принципу совмещенной штамповки. В первом случае объединенные операции называют последовательной штамповкой - вырубкой, во втором - совмещенной вырубкой.

Формообразующие листовые операции подразделяются на: гибку, вытяжку, отбортовку, закатку, скручивание, раздачу, обжим, формовку, правку, чеканку, калибровку, кернение.

Схема формоизменяющих листовых операций приведена на рис. 171.

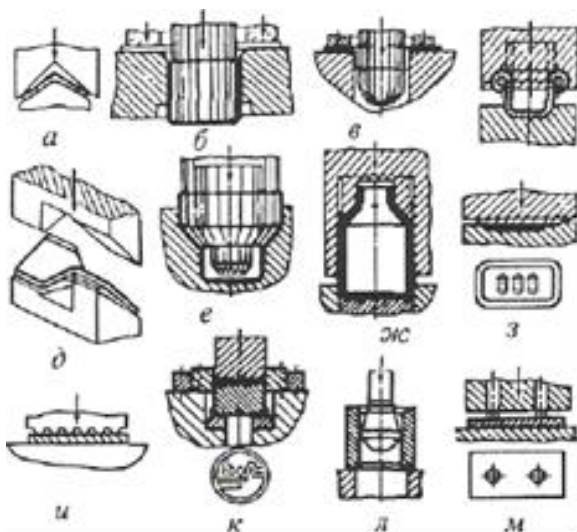


Рис 171. Схема формоизменяющих листовых операций: а - гибка; б - вытяжка; в - отбортовка; г - закатка; д - скручивание; е - раздача; ж - обжим; з - формовка; и - правка; к - чеканка; л - калибровка; м - кернение.

формовка; и - правка; к - чеканка; л - калибровка; м - кернение

Более подробная схема гибки и получаемые изделия гибкой представлены на рис.172.

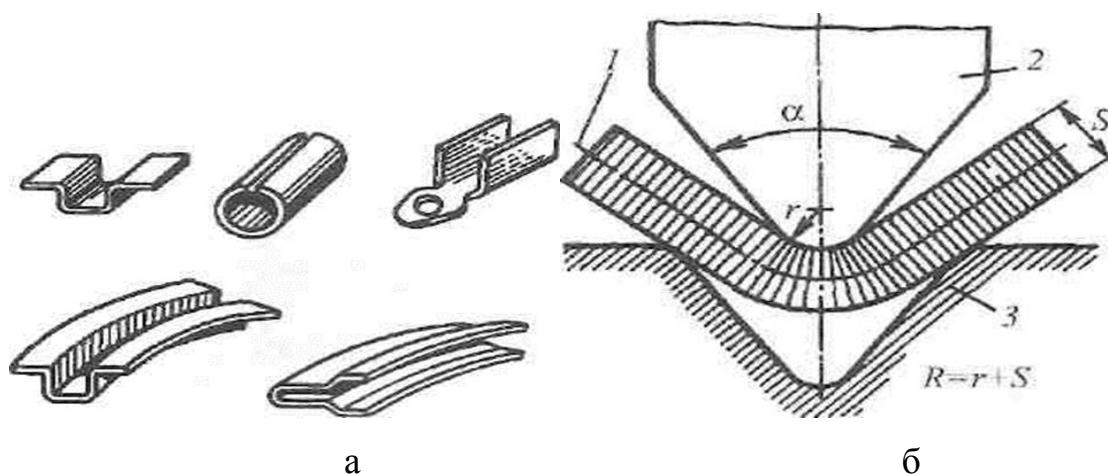


Рис.172.Схема гибки (а) и изделия получаемые с ее использованием (б):

1 - нейтральный слой; 2 - пуансон; 3 – матрица.

Гибка - операция, изменяющая кривизну заготовки практически без изменения ее линейных размеров. В процессе гибки пластическая деформация сосредоточивается на узком участке, контактирующем с пуансоном, в то время как участки, образующие полки детали, деформируются упруго. В зоне пластических деформаций наружные слои растягиваются, а внутренние (обращенные к пуансону) сжимаются. У середины заготовки (по толщине) находятся слои, деформация которых равна нулю. Из сказанного следует, что с достаточной степенью точности размеры заготовки для детали, получаемой гибкой, можно определять по условию равенства длин заготовки и детали по средней линии.

Вытяжка заготовок. Вытяжка без утонения стенки превращает плоскую заготовку в полое пространственное изделие при уменьшении периметра вытягиваемой заготовки.

Схема переходов вытяжки приведена на рис.173. а.

Исходную вырубленную заготовку укладывают на плоскость матрицы. Пуансон надавливает на центральную часть заготовки и смещает ее в отверстие матрицы. Центральная часть заготовки тянет за собой периферийную часть (фланец) заготовки, и последняя, смещаясь в матрицу, образует стенки вытянутого изделия.

Во фланце в радиальном направлении действуют растягивающие напряжения δ , втягивающие фланец в отверстие матрицы, и сжимающие напряжения δ , действующие в тангенциальном направлении и уменьшающие диаметральные размеры заготовки. При определенных размерах фланец заготовки может потерять устойчивость под действием сжимающих напряжений δ , что приведет к образованию складок б. Складки могут появиться, если $(D - d) \gg (18 \dots 20)S$.

Для предотвращения появления складок применяют прижим 3, с определенной силой прижимающий фланец заготовки к плоскости матрицы.

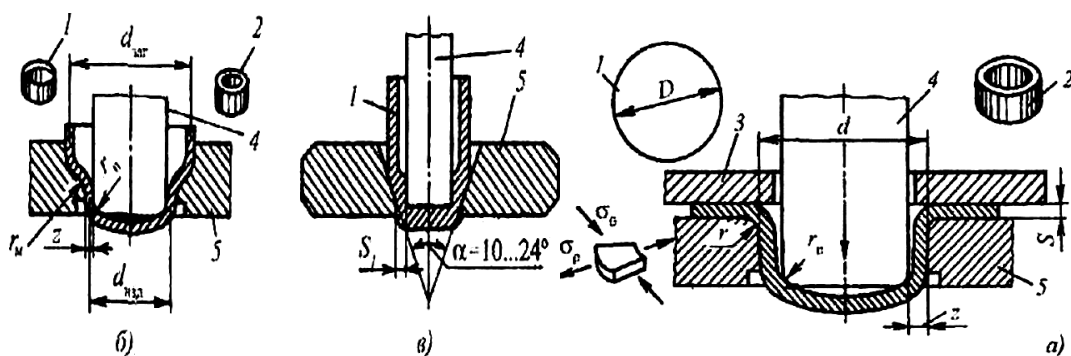
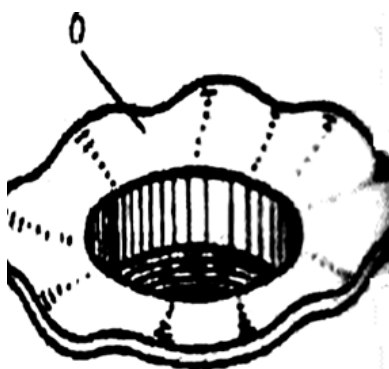


Рис.173.Схемы первого перехода вытяжки (а), последующей вытяжки {б),
 вытяжки с утонением стенки (в): 1 - заготовка; 2
 изделие; 3 ~ прижим; 4 - пуансон; 5 - матрица; б - изделие со складками,
 образующимися при вытяжке без прижима.

Вытяжка с утонением стенки увеличивает длину полый заготовки в основном за счет уменьшения толщины стенок исходной заготовки (рис.173.в) При вытяжке с утонением стенки зазор между пуансоном и матрицей должен быть меньше толщины стенки, которая, сжимаясь между поверхностями пуансона и матрицы, утоняется и одновременно удлиняется.

Вытяжку с утонением стенки применяют для получения: деталей с толщиной доньшка, большей толщины стенок; деталей со стенкой, толщина которой уменьшается к краю (в этом случае пуансон выполняют коническим; тонкостенных деталей, получение которых вытяжкой без утонения стенки затруднительно в связи с опасностью складкообразования.

Наиболее применяемые схемы формоизменяющих операций для изготовления деталей листовой штамповкой приведены на рис.174.



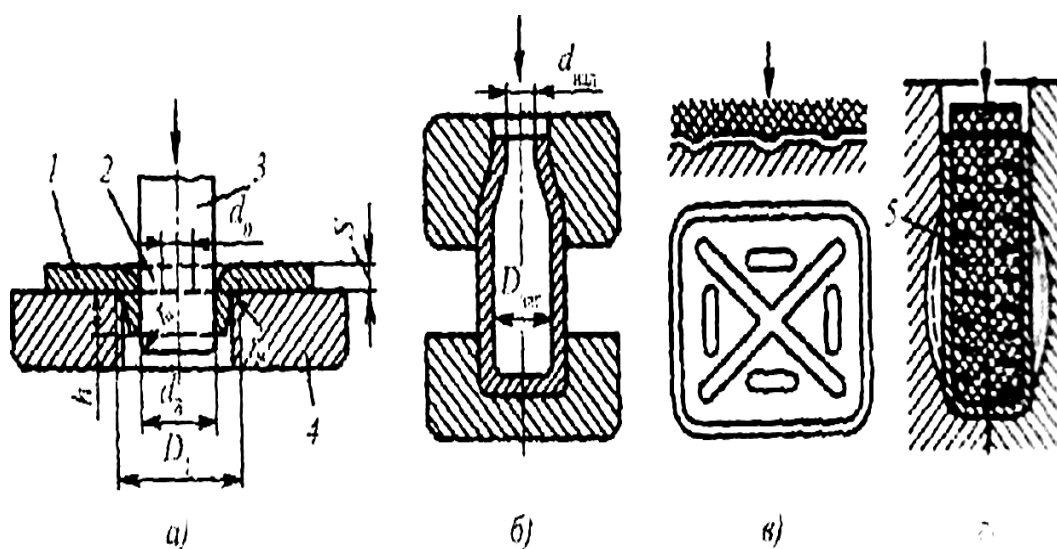


Рис. 174. Схемы формоизменяющих операций: а - отбортовка; б - обжим; в - формовка ребер жесткости; г - формовка с раздачей; 1 - изделие; 2 - заготовка; 3 - пуансон; 4 - матрица; 5 - резиновый пуансон

Отбортовка заготовок - получение бортов (горловин) путем вдавливания центральной части заготовки с предварительно пробитым отверстием в матрицу (рис.174. а). При отбортовке кольцевые элементы в очаге деформации растягиваются, причем больше всего увеличивается диаметр кольцевого элемента, граничащего с отверстием. Допустимое без разрушения (без образования продольных трещин) увеличение диаметра отверстия при отбортовке определяется предельным коэффициентом отбортовки, зависящим от механических свойств материала заготовки и ее относительной толщины. Разрушению заготовки способствует наклепанный слой у кромки отверстия, образующийся при пробивке.

Обжим заготовок - операция, при которой уменьшается диаметр краевой части полой заготовки в результате заталкивания ее в сужающуюся полость матриц (рис.174. б). Обжимаемая заготовка получает форму рабочей полости матрицы.

Допустимое уменьшение диаметра при обжиге ограничивается появлением продольных складок в обжимаемой части заготовки или поперечных кольцевых складок в ее недеформируемой части.

Обычно за один переход можно получить
 $d_{\text{изд}} = (0,7 - 0,8)D_{3\text{ар}}$.

Если диаметр краевой части необходимо уменьшить на большую величину, заготовку обжимают за несколько переходов. Толщина заготовки в очаге пластических деформаций увеличивается, причем больше утолщается краевая часть заготовки.

Формовка заготовки - операция, при которой изменяется форма заготовки в результате растяжения отдельных ее участков. Толщина заготовки в этих участках уменьшается. Формовкой получают местные выступы на заготовке, ребра жесткости и т.п. Часто вместо металлического пуансона или матрицы применяют резиновую подушку (рис. 174.в). С помощью резинового вкладыша (или жидкости) можно увеличить размеры средней части полой заготовки (рис.174. г). При этом резина или жидкость легко удаляется из штампованной детали, а матрица должна быть разъемной.

Штамповочные операции. Операции листовой штамповки используют не только для придания заготовке определенной формы, но и для соединения отдельных отштампованных деталей между собой.

Штамповочные операции могут служить для получения разъемных и прочных неразъемных соединений. Например, часто встречающаяся сборка с помощью гибки предварительно полученного надрезкой язычка

(рис.,175. а) в одной детали, размещенного в отверстии другой детали, не обеспечивает высокой жесткости и может быть разъемной. Соединения, когда в одной детали получают формовкой выдавку (рис.175. б) или пробивкой и отбортовкой - борт (рис.175. в), а в другой отверстия, обеспечивают прочное

неразъёмное соединение. Такое же соединение получают обжимом полой детали (рис.175. г) по кольцевой канавке на стержне: детали.

Схемы штампосборочных операций представлены на рис.175.

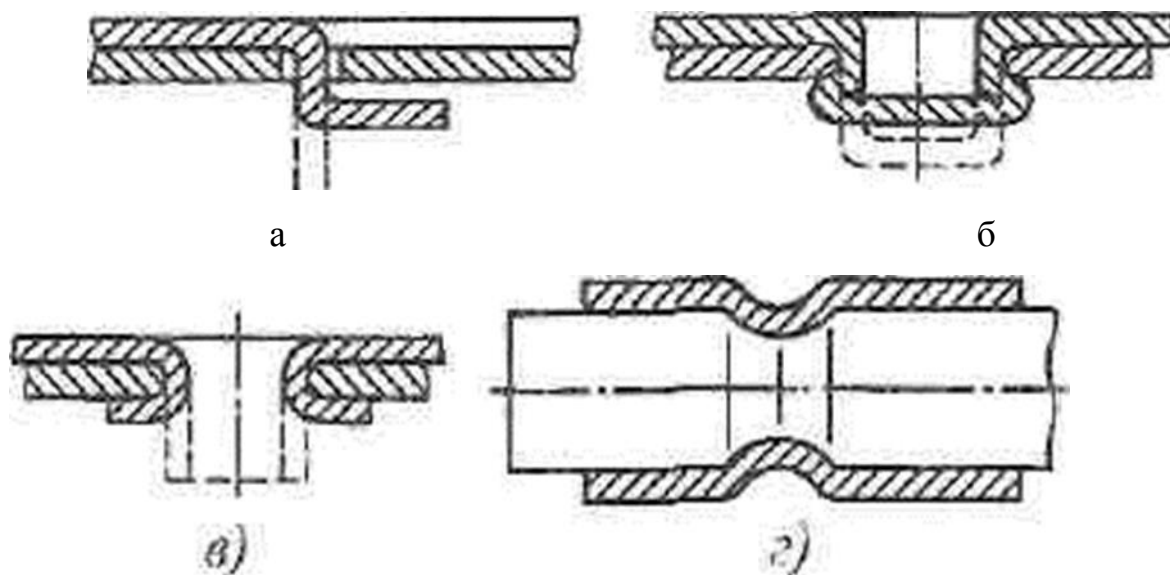


Рис.175. Схемы штампосборочных операций.

Основные преимущества листовой штамповки:

- возможность изготовления прочных, легких, жёстких тонкостенных деталей или изделий простой или сложной формы, которые другими способами изготовить невозможно или затруднительно;
- высокая производительность и экономное расходование металла;
- возможности автоматизации и роботизации производственных процессов;
- взаимозаменяемость деталей и высокая чистота поверхности.

По сравнению с горячей штамповкой холодная листовая штамповка имеет следующие преимущества:

- нет операции нагрева металла, и соответственно поверхностный слой металла не окисляется;

- изделия получают более точными по размерам и с меньшей шероховатостью.

По сравнению с обработкой резанием холодная штамповка позволяет сократить расход материала, так как нет потерь в стружку, снизить трудоёмкость изготовления деталей и повысить производительность труда.

Одновременно холодная обработка давлением обеспечивает упрочнение обрабатываемого материала, что позволяет заменять литые детали штампованными. Кроме того, холодноштампованные изделия, по сравнению с литьём, практически не требуют механической обработки. Возможности применения этого способа для изготовления различных деталей.

Для изготовления деталей листовой штамповкой применяют разнообразные металлические и неметаллические материалы. Металл для листовой штамповки выпускают в виде лент, полос и листов, сортамент которых приведен в нормативных документах.

Основным требованием, предъявляемым к материалам, применяемым при изготовлении деталей листовой штамповкой, является их пригодность к штамповке и последующей эксплуатации.

Технологические процессы листовой штамповки могут быть рациональными только при условии создания технологичной конструкции детали. Основные показатели технологичности листовых холодноштампованных деталей – наименьший расход материала, отсутствие последующей механической обработки, наименьшее количество оборудования и производственных помещений, минимальное количество оснастки, сокращение сроков подготовки производства, увеличение производительности. Общий результативный показатель технологичности – наименьшая себестоимость штампуемых деталей.

Основные технологические требования к конструкции листовых деталей.

1. Механические свойства листового материала должны соответствовать не только требованиям прочности и жёсткости, но и процессу формообразования, т.е. быть пластичным.
2. Для увеличения жёсткости деталей применять рёбра жёсткости, отбортовку, загибку, закатку кромок и т.д.
3. Конфигурация детали и её развёртка должны обеспечить применение малоотходного или безотходного раскроя.
4. Применять технологичные штамповочные конструкции взамен литых, кованных и клёпанных.
5. Использовать штамповочные методы для сборки отдельных деталей путём расклёпки, отбортовки, загибки кромок, закатки шва и т.д.

Кроме указанных общих требований к конструкции штампованных деталей существуют специфичные требования, присущие отдельным операциям листовой штамповки.

Основные технологические требования к конструкции плоских деталей, получаемых вырубкой или пробивкой:

1. Избегать сложных конструкций с узкими и длинными вырезами контура или очень узкими прорезами ($b > 2S$, где b – ширина прореза, S – толщина листовой заготовки).
2. Выполнять сопряжения сторон наружного контура с закруглениями лишь при вырубке детали по всему контуру.
3. Избегать вырубки длинных и узких деталей постоянной ширины при $b > 3S$, заменяя вырубку расплющиванием проволоочной заготовки.

4. Не следует располагать отверстия в заготовке, подлежащей гибке, близко к радиусу закругления детали. Наименьшее расстояние от края от до загнутой полки (а) должно составлять $a > r + 2S$, где r – радиус изгиба.
5. В вытянутых деталях, имеющих отверстия в дне или фланце пробиваемые после вытяжки, расстояние от стенки детали до края отверстия $C > r + 0,5 S$, где r – радиус закругления дна или фланца.
6. Наименьшее расстояние между отверстиями при одновременной их пробивке $L = (2 \div 3)S$.

При проектировании гнутых деталей необходимо учитывать следующие технологические требования.

1. Минимальные допустимые радиусы изгиба $r > S$, для толстых заготовок радиус ещё больше.
2. В случае гибки пластичных металлов с малым радиусом закругления линию изгиба желательно располагать поперёк волокон проката.
3. При гибке твердых малопластичных материалов линию изгиба следует располагать обязательно поперек волокон проката. Наименьший радиус изгиба берётся в пределах $2S - 4 S$.
4. Штамповку рёбер жёсткости гнутых деталей располагать поперёк угла изгиба.
5. Наименьшая высота отгибаемой полки $h > 3 S$.
6. В случае многооперационной гибки заготовок необходимо предусматривать технологические базы для фиксирования заготовок на операциях.

При проектировании деталей, получаемых вытяжкой или формовкой, необходимо учитывать следующие технологические требования.

1. Избегать весьма сложных и несимметрических форм вытягиваемых деталей, использовать их лишь в случае явной конструкционной необходимости.
2. Радиусы закруглений фланца должны быть больше, чем радиусы закруглений у дна. Сопряжение стенок с дном без закруглений может быть выполнено путём дополнительной калибровки или при штамповке весьма толстых заготовок.
3. Избегать глубоких вытяжек с широким фланцем, требующих большого числа операций.
4. Полуоткрытые несимметричные формы полых деталей проектировать с учётом возможности спаренной вытяжки с последующей разрезкой на две детали.
5. В прямоугольных коробках избегать острых углов в плане и у дна детали, кроме случаев изготовления коробок методом холодного выдавливания.
6. При вытяжке полых деталей сложной конфигурации предусматривать технологические базы для фиксирования заготовок на операциях.

Анализ технологичности штампуемых деталей проводится с учётом производственных условий и масштаба производства. При массовом производстве основные показатели технологичности детали: - расход материала и трудоёмкость изготовления. При мелкосерийном производстве на себестоимость продукции большое значение имеет стоимость штампа.

Для изготовления штампов применяют простые пуансоны и матрицы, что позволяет сократить затраты на оснастку.

Раскрой листового металла на штучные заготовки и полосы является первой операцией, связанной с потерями металла в виде обрезков и неиспользуемых отходов. Необходимо учитывать, что расход металла при

листовой штамповке имеет большое значение, особенно при крупносерийном и массовом производствах.

Оценку экономичности раскроя проводят по определению коэффициента раскроя.

$K_p = f_0 \times n_p / B \times h$, где f_0 - площадь поверхности детали, m^2 ; n_p – число рядов раскроя; B – ширина полосы или ленты, m ; h – шаг вырубки, m .

При штамповке из полосы или ленты коэффициент раскроя определяется по формуле. $K_n = f \times n / L \times B$, где f – площадь детали, m^2 ; n – число деталей получаемых из полосы; L – длина полосы или ленты, m ; B – ширина полосы или ленты, m .

Одной из основных технологических характеристик операций гибки является минимально допустимый радиус изгиба. Минимально допустимые радиусы должны соответствовать пластичности металла и не допускать образования трещин на наружной поверхности металла.

Минимально допустимые радиусы некоторых материалов приведены в табл.46. (34)

Таблица 46.

Материал	Расположение изгиба по отношению к направлению волокон проката	
	поперёк	вдоль
Алюминий, медь отожжённая, латунь	0	0,3
Стали 08 – 10, Ст1, Ст2	0	0,4
Стали 35 – 40, Ст5	0,3	0,8
Стали 55 – 60, Ст7	0,7	1,3
Коррозионно – стойкая сталь 12Х18Н9Т	1,0	2,0
Дуралюмин мягкий твёрдый	1,0	1,5
	2,0	3,0
Титановые сплавы при нагреве до 300 – 400 °С BT1	1,5	2,0

BT5	3,0	4,0
-----	-----	-----

3.4. Основные технико- экономические положения к выбору способа получения заготовок обработкой давлением

При выборе способа получения заготовок среди способов обработки металлов давлением необходимо учитывать специфические способности, обуславливающие выбор оптимального технологического варианта.

1. Высокая металлоёмкость – затраты на металл достигают 60 – 80 % от себестоимости штампуемой заготовки.
2. Значительная энергоёмкость и стоимость основного технологического оборудования.
3. Высокая стоимость штамповой оснастки – затраты на оснастку составляют 10 – 15 % от себестоимости заготовок.

При выборе рационального способа изготовления заготовок следует руководствоваться следующими показателями:

- себестоимость производства готовых деталей;
- расход материала заготовки и штампа;
- трудоёмкость в заготовительном и механическом производствах;
- качество деталей.

Первые три показателя естественно должны быть минимальными, последний – максимальным.

Для упрощения расчётов при выборе рационального способа получения заготовок можно пользоваться подсчётом себестоимости по сравниваемым вариантам. Необходимо производить расчёты всего процесса изготовления детали, включая и механическую обработку. Расчётом себестоимости заготовок можно ограничиваться в том случае, если сопоставляемые процессы обеспечивают одинаковую массу, форму и размеры заготовок, т.е. одинаковый объём механической обработки.

Себестоимость детали можно подсчитать по укрупнённым показателям $C_d = C_m + Z_{п1} + Z_{п2} + Z_{ш} + Z_m + C_{нк} + C_{нм}$, где C_m - затраты на металл; $Z_{п1}$ - заработная плата рабочих в кузнечно – штамповочном цехе; $Z_{п2}$ - заработная плата рабочих в механическом цехе; $Z_{ш}$ - затраты на штампы в кузнечно – штамповочном цехе; Z_m - затраты на инструмент в механическом цехе; $C_{нк}$ – накладные расходы в кузнечно – штамповочном цехе, $C_{нм}$ – накладные расходы в механическом цехе.

Затраты на металл можно подсчитать по формуле.

$C_m = C_p - C_o = G_p \times Ц_m - G_o \times Ц_o$, где C_p - стоимость материала потребного на одну заготовку; C_o - стоимость отходов; G_p - расчётное количество металла на заготовку; G_o - масса отходов; $Ц_m$ - цена исходного металла; $Ц_o$ - цена отходов металла.

При отсутствии исходных данных для подробного технико – экономического анализа при выборе оптимального варианта изготовления заготовок можно руководствоваться практическими показателями, связанными с объёмами производства. Так применениековки целесообразно при партии заготовок не более 210 штук, штамповка на ГКМ рентабельна при партии заготовок более 210 штук, штамповка на КГШП – при партии более 400 штук, а штамповка на молоте – при серийности не менее 480 штук. (1).

Иногда для рационального выбора заготовок необходимо сопоставлять между собой литьё и обработку металлов давлением. В этих случаях необходимо учитывать эксплуатационные требования, предъявляемые к детали. Обычно эти требования заданы конструкторами и изложены в чертежах деталей. Нагруженные детали, к которым предъявляются повышенные требования по механическим свойствам, особенно по ударной вязкости, целесообразно изготавливать из кованных или штампованных заготовок. Горячую объёмную штамповку наиболее целесообразно сопоставлять с литьём под давлением, литьём в кокиль и с штамповкой жидкого металла. Как показывает практика, при производстве заготовок из медных сплавов, важным показателем является температура плавления сплава. Так стойкость пресс – форм при литье под давлением 5 – 10 тысяч заготовок, стойкость штампа при горячей штамповке составляет 10 – 20 тысяч штамповок. При этом стоимость изготовления пресс – формы в 1,5 – 2 раза выше стоимости изготовления штампа. Таким образом, для изготовления заготовок из медных сплавов целесообразно применять штамповку. Но и в этом случае необходимо иногда нужно выполнить анализ себестоимости изготовления детали с учётом механической обработки. Если материалом детали является легкоплавкие сплавы, например цинковые или алюминиевые сплавы, целесообразно применять литьё под давлением.

При сопоставлении способов изготовления заготовок литьём под давлением и горячей объёмной штамповкой необходимо учитывать конфигурации детали. Тонкостенные сложные по конфигурации детали и не требующие значительного объёма механической обработки целесообразно изготавливать литьём под давлением. Если деталь толстостенная, сопрягается с высокой точностью и соответственно требующая механической обработки по всему контуру, то целесообразна горячая

объёмная штамповка. При сопоставлении указанных способов необходимо учитывать стоимость оснастки. Изготовление штампов значительно дешевле пресс – форм для литья под давлением.

При сопоставлении способов изготовления заготовок центробежным литьём тел вращения и горячей объёмной штамповкой следует учитывать преимущества горячей объёмной штамповки:

- припуски меньше, чем при центробежном литье, где трудно получить детали с толщиной стенок меньше 10 мм;
- более равномерная структура и высокая плотность штампованных заготовок, меньшая степень загрязнённости неметаллическими включениями;
- возможность получения заготовок с цилиндрической полостью, которая имеет ломаную образующую.

Преимущества горячей объёмной штамповки особенно проявляются при штамповке мелких заготовок (с наружным диаметром до 100 мм); затраты металла при этом на 25 – 40% меньше, чем при центробежном литье. Для заготовок большего диаметра преимущества горячей объёмной штамповки постепенно уменьшаются, при наружном диаметре заготовок более 100 мм, более рационально применение центробежного литья, чем горячей объёмной штамповки.

При выборе заготовок необходимо учитывать стойкость и стоимость оснастки. Трудоёмкость изготовления штампов значительно ниже изготовления металлических моделей, пресс – форм, кокилей.

Таким образом, процессы обработки металлов давлением занимают ведущее положение в заготовительном производстве в силу своей универсальности, высокой производительности, сравнительно низкой

себестоимости и, главное, положительному влиянию на структуру и механических свойств заготовок.

4. СПЕЦИАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ ЗАГОТОВОК

В целях снижения расхода металла и получения качественных заготовок применяют специальные методы получения заготовок.

4.1. Изготовление заготовок методом порошковой металлургии

Одним из специальных методов получения заготовок является изготовление заготовок методом порошковой металлургии.

Порошковая металлургия как метод получения и обработки материалов отличается разнообразием технологических процессов и способов производств, что позволяет получать заготовки, а в ряде случаев и детали, различных составов, свойств и назначений.

Две особенности при применении метода порошковой металлургии.

Первая особенность – это возможность получения заготовок и деталей из материалов со специфическими свойствами, которые получить затруднительно или невозможно при использовании других технологических процессов (заготовки и детали из фрикционных и антифрикционных, пористых материалов и материалов с особыми физическими свойствами). Эффективность изготовления таких заготовок и деталей определяется их назначением и эксплуатационными свойствами.

Вторая особенность – это возможность получения заготовок и деталей, которые принципиально можно получить и другими способами, но метод порошковой металлургии позволяет получать их со значительным снижением расхода металла, трудоёмкости, себестоимости и других техника – экономических показателей.

Основные элементы технологии порошковой металлургии следующие:

- получение и подготовка порошков исходных материалов, которые могут представлять собой чистые материалы или их сплавы, металлоиды, соединения металлов с неметаллами и другие химические соединения;
- прессование из подготовленной шихты изделий необходимой формы в специальных пресс – формах;
- спекание спрессованных заготовок, обеспечивающих им окончательные физико – механические и другие свойства.

На практике имеются отклонения от основных элементов типового технологического процесса, например, калибровка заготовок с последующим спеканием, пропитка заготовок расплавленным металлом и т.д.

Достоинства порошковой металлургии.

Возможность изготовления деталей из тугоплавких материалов, псевдосплавов (например, медь – вольфрам, железо – графит), пористых материалов с заранее заданной пористостью (фильтры, самосмазывающиеся подшипники).

Значительное снижение расхода материалов в связи с возможностью получения спрессованных заготовок (или деталей) с минимальными размерами под последующую механическую обработку (или без механической обработки). Отходы производства не превышают 1 – 5%.

Возможность получения заготовок (деталей) из материалов высокой чистоты, так как при изготовлении заготовок (деталей) исключается внесение загрязнений в перерабатываемый материал.

Технология порошковой металлургии сравнительно несложная и основные операции изготовления заготовок не требуют высокой квалификации обслуживающего персонала.

Изготовление деталей из порошков легко поддаётся автоматизации технологических процессов.

Экономически выгодно применять метод порошковой металлургии для изготовления заготовок при крупносерийном или массовом производствах.

Метод порошковой металлургии не лишен и недостатков. К недостаткам следует отнести ограниченность размеров и относительную простоту формы получаемых заготовок, что обусловлено спецификой формования порошков.

Из-за остаточной пористости заготовок, получаемых методом порошковой металлургии, в некоторых случаях не удаётся получить физико-механические свойства, как при изготовлении литьём или ковкой.

Несмотря на указанные недостатки, метод порошковой металлургии нашёл широкое применение в промышленности для изготовления деталей типа шестерён, кулачков, звёздочек, детали мерительных инструментов и т.д.

Типовые детали, изготовленные методом порошковой металлургии представлены на рис.176.



Рис. 176. Типовые детали, изготовленные методом порошковой металлургии

При принятии решения об изготовлении заготовок методом порошковой металлургии необходимо учитывать следующие обстоятельства.

Издержки при изготовлении заготовок и деталей методом порошковой металлургии могут быть компенсированы повышением эксплуатационных свойств.

Ряд деталей целесообразно изготавливать только методом порошковой металлургии, например, антифрикционные пористые металлокерамические изделия, представленные на рис.177.



Рис.177. Антифрикционные пористые металлокерамические изделия

Детали порошковой металлургии кроме основных прочностных свойств могут выполнять смежные функции, например, заполнение пор подшипника маслом обеспечивает функции подшипника скольжения.

При пористости 6 – 7% коррозионная стойкость деталей изготовленных методом порошковой металлургии такая же как у компактных материалов того же химического состава. При увеличении пористости коррозионная стойкость ухудшается.

Область применения подшипников представлена в табл.47.

Таблица 47.

Применение пористых подшипников

Отрасль	Примеры использования
Общее машиностроение	Малонагруженные узлы швейных машин, пылесосов, холодильников, стиральных машин, вентиляторов, счетных машин, бормашин и т. д. Текстильные машины, пищевая промышленность
Автомобилестроение	Подшипники сцеплений педального управления, тормозных систем, рулевого управления, магнето, указательных и измерительных приборов. Поршневые кольца
Самолётостроение	Подшипники систем управления
Паровозостроение	Подшипники тормозных устройств, кулис
Электромашиностроение	Вкладыши, заменяющие кальций-баббитовые
Станкостроение	Подшипники малоомощных вентиляторов, электромоторов, бытовых электромашин и приборов, счетных и измерительных устройств
Сельскохозяйственное машиностроение	Подшипники фрезерных, токарных, сверлильных станков, а также прессового оборудования
Промышленный транспорт	Подшипники различных механизмов комбайнов, картофелеуборочных машин, сенокосилок, соломорезок, зерноочистительных машин, прессов для сена
Аппаратостроение	Подшипники рольгангов, конвейеров, транспортеров, тельферов, кранов, авто- и электрокар
Приборостроение	Подшипники сцепления, регуляторов, сигнальных устройств, киноаппаратов, магнитофонов и т. д. Подшипники часов, автоматов, регуляторов, включающих устройств

Детали из порошковых материалов имеют в среднем на 5 – 15% меньшую плотность, что снижает расход материала и уменьшает массу изделия.

При проектировании деталей, предназначенных для изготовления методом порошковой металлургии необходимо учитывать ряд ограничений, обусловленных технологией порошковой металлургии:

- максимально упрощать форму детали;
- не допускать боковых впадин, круговых канавок, обратной конусности и отверстий, не параллельных оси прессования;
- изменения размеров по толщине и диаметру должны быть минимальными;
- избегать тонких стенок, узких пазов, острых углов;

- стремиться использовать круглые сечения взамен квадратных и прямоугольных;
- радиус закруглений у наружных углов выбирать не менее 2,5 мм, а у внутренних – 0,25 мм;
- изделия высотой (длиной) более пяти диаметров могут обладать неоднородной плотностью, для получения однородности металла отношение длины к максимальному размеру поперечного сечения детали не должно превышать трёх.

Схемы улучшения технологичности деталей, получаемых методом порошковой металлургии, приведены на рис.178.

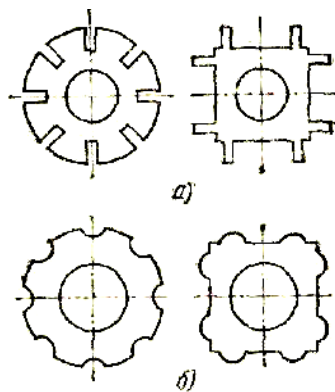


Рис.178. Конфигурация деталей:

а – нерекомендуемые и б – рекомендуемые при прессовании из порошков

Круговые канавки, резьба и обратная конусность после спекания обычно выполняются механической обработкой. Для выполнения отверстий в направлении, перпендикулярном направлению прессования затраты на изготовление указанных элементов таких деталей значительно превышают затраты на дополнительную механическую обработку.

По сложности детали порошковой металлургии классифицируются на семь классов.

Изделия указанных выше семи групп характеризуются следующими признаками (рис.179.):

I группа — детали без отверстия с неизменным сечением по высоте, ограниченные двумя плоскостями, перпендикулярными направлению прессования (рис.179. а, б);

II группа — детали с неизменными сечениями по высоте, ограниченные двумя параллельными плоскостями, с одним или несколькими отверстиями в направлении прессования; отношение высоты (h) к минимальной толщине стенки (b_{min}) меньше 8.

$h / b_{min} < 8$ (рис.185.в, г);

III группа — детали, относящиеся ко II -й группе, но с отношением $h / b_{min} > 8$ (рис.185. д);

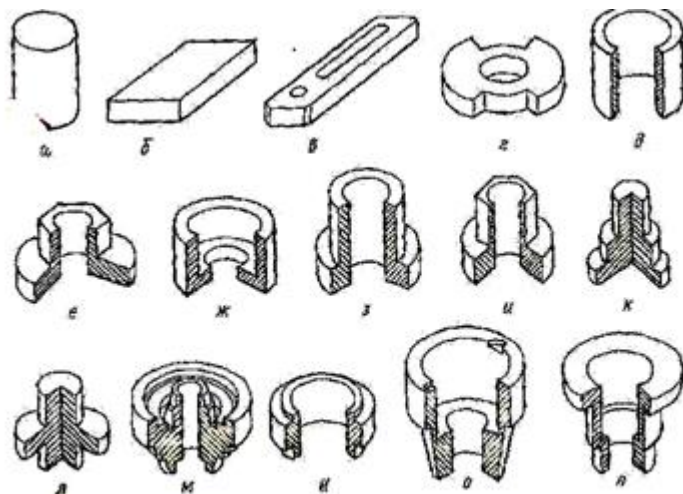


Рис.179. Порошковые детали различных групп сложности

IV группа — детали с наружным или внутренним буртом; отношение высоты h (наибольший линейный размер детали в направлении прессования) к минимальной толщине стенки $h / b_{min} < 6$

V группа — детали, относящиеся к IV группе, но отношением $h / b_{min} > 6$ (рис.185. з, и);

VI группа — детали без отверстий, имеющие несколько переходов в направлении прессования (рис.185. к, л);

VII группа — детали с отверстиями, ограниченные непараллельными плоскостями или криволинейными поверхностями, имеющие несколько внешних и внутренних переходов в направлении прессования (рис.185. м—п).

Возможности метода порошковой металлургии.

1. При однократном холодном прессовании с последующем спеканием достигается точность размеров 0,03 – 0,05 мм (радиальные размеры); до 0,12 мм (размеры по высоте).
2. Шероховатость поверхности спечённых деталей определяется шероховатостью поверхности пресс – форм, однако наличие пористости в деталях не позволяет получать полированные поверхности.



Рис.180. Различные металлокерамические изделия с высокой чистотой поверхности

Дальнейшим развитием, изготовления заготовок методом порошковой металлургии, является изостатическое прессование.

Разработаны три основные разновидности такого формования.

Одной из разновидностей является гидростатическое формование, когда сжимающее порошок усилие создаёт жидкость.

По сравнению с прессованием в пресс-форме в данном случае трение частиц порошка о стенки оболочки невелико. При гидростатическом формовании потери давления на преодоление трения частиц порошка о

стенку оболочки почти отсутствуют. Так как сжатие в данном случае является всесторонним и равномерным во всех направлениях, то и плотность заготовки практически однородна. При гидростатическом формовании не только обеспечивается равномерная плотность заготовок, но и устраняется также анизотропия их структуры, которая при прессовании в пресс-форме связана с ориентированным расположением частиц при одноосном сжатии и проявляется в неодинаковых значениях усадки, прочности, газопроницаемости и других характеристик прессовок в различных направлениях.

Так как при гидростатическом формовании порошок в любом из его участков сжимается до одинаковой плотности, можно, регулируя плотность различных участков исходной засыпки или толщину слоя, получать изделия сложной формы. При гидростатическом формовании давление и работа прессования для получения заготовок одинаковой плотности меньше, чем при прессовании в пресс – формах.

Гидростатическим формованием получают цилиндры, штабики, трубы, шары и другие изделия, как простой формы, так и сложной формы массой от нескольких грамм до нескольких сотен килограмм.

Другим вариантом изостатического формования является обжатие порошкового тела под действием газа (гелия, аргона и др.), которое проводят в деформируемой оболочке и часто называют газостатическим. В большинстве случаев такому формованию подвергают не порошок, а предварительно полученную из него или иным способом заготовку.

В газостатах (рис.181.) можно получить детали из твёрдых сплавов, молибдена, окиси алюминия с плотностью 99,8 – 99,9% от теоретической.

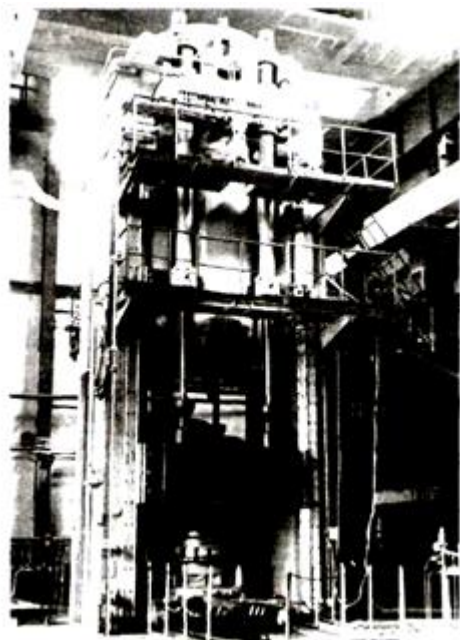


Рис.181. Газостат с осевой силой
400 МН конструкции
ВНИИметмаш – ВИЛС – КЗТС.

Рабочие параметры газостата: давление – до 200 МПа, температура – до 1250⁰С, диаметр – 1220 мм, высота – 2200 мм.

Горячее изостатическое прессование является частью металлургии гранул. Компактные заготовки из металлических гранул заданного химического состава применяются как готовые изделия после проведения термической и механической обработки, так и заготовки под последующую штамповку, ковку, прессование и прокатку.

Применение гранульной технологии позволяет сократить расход металла в 2 – 3 раза, вместо традиционной штамповки, снизить трудоёмкость изготовления изделия на 50 – 70% и применить новые

сложнолегированные сплавы с высокими служебными характеристиками, которые не могут быть изготовлены традиционными способами.

Горячее изостатическое прессование гранул проводят в специальном пластически деформируемом инструменте – капсулах из малоуглеродистой стали. Капсула обеспечивает в процессе прессования подобное формообразование и диффузионное сращивание находящихся в ней гранул в монолитное состояние. Конструкции капсул для изготовления турбинных дисков и валов из гранул представлены на рис.182.

Горячее изостатическое прессование применяют для изготовления ответственных деталей из никелевых и титановых сплавов с обеспечением высоких механических свойств. Сортамент турбинных и компрессорных дисков, дисков, валов, проставок, крыльчаток и других деталей насчитывает более 700 наименований

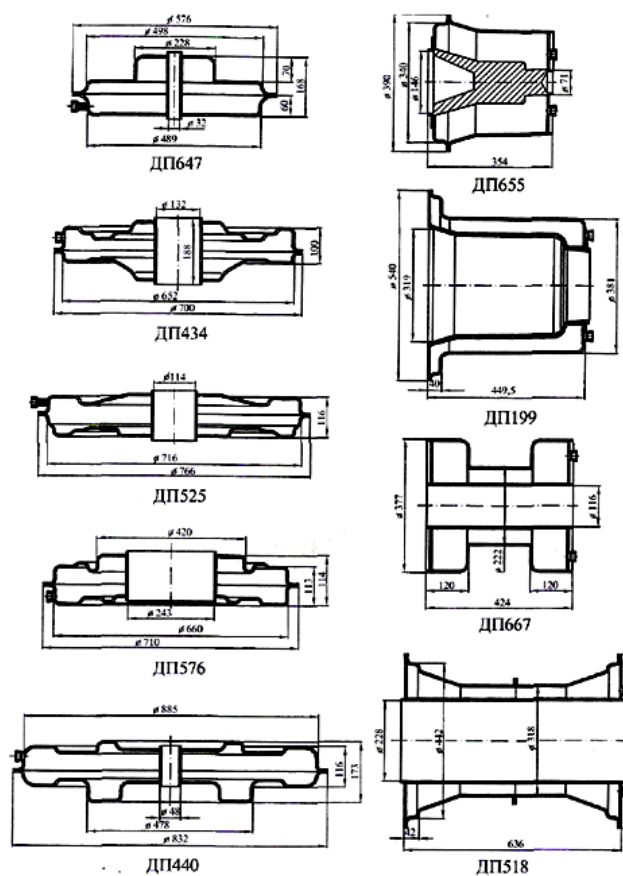


Рис.182. Капсулы различной конфигурации для горячего изостатического прессования турбинных дисков и валов из гранул.

Механические характеристики дисков и валов представлены в табл.48.

Таблица 48.

Марка сплава	G_b МПа	$G_{0,2}$ МПа	$\delta, \%$	$\Psi \%$	КСУ, КДж/м ²	Длительная прочность Мпа (при 650 ⁰ С 100ч)	Малоцикловая усталость Мпа (при 650 ⁰ С 10000 циклов)
ЭП741НП	1450	1020	18	18	40	1020	1050
ЭП962П	1550	1100	12	14	30	1080	1100
ЭИ698П	1350	900	15	18	50	720	800
ВВ750П	1550	1150	13	15	30	1100	1100
ВВ751П	1600	1200	13	15	30	1120	1120

Изделия из гранул представлены на рис.183.



Рис.183. Изделия из гранул жаропрочных никелевых сплавов для авиакосмической техники, морских ГТД, ГТД систем транспортировки газа, нефти и энергетики.

Третьим, весьма упрощенным вариантом всестороннего обжата порошка является формирование в толстостенной (10—20 мм) эластичной оболочке, помещенной в пресс-форму и подвергающейся одностороннему или двустороннему (рис.184.) давлению.

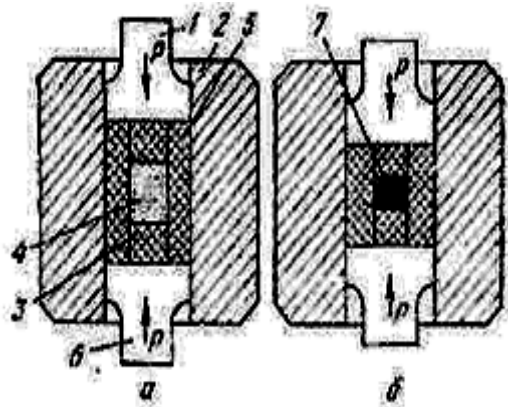


Рис.184. Схема двустороннего прессования в эластичной оболочке: а – в момент приложения давления, б – после прессования; 1-верхний пуансон, 2-матрица пресс-формы, 3-резиновая пробка, 4-порошок, 5-эластичная оболочка, 6-нижний пуансон, 7-заготовка из порошка.

Изостатическое формование находит все более широкое применение, хотя и имеет определенные недостатки: трудно выдерживать заданные размеры заготовок и необходимо применять механическую обработку при изготовлении изделий, точных по форме и размерам.

Одним из способов получения беспористых деталей из металлических порошков является горячее прессование.

По своей сущности горячее прессование представляет собой совмещение процессов прессования и спекания и проводится при $0,5—0,95 T_{пл}$ основы порошкового материала. Оно позволяет практически реализовать при повышении температуры увеличение текучести вещества и получить фактически беспористые порошковые материалы и изделия, что особенно важно в случае хрупких металлов и соединений типа карбидов, боридов, силицидов.

Наиболее существенным результатом горячего прессования следует считать максимально быстрое уплотнение порошкового тела и получение заготовок (изделий) с минимальной пористостью при сравнительно малых давлениях прессования. Изменение плотности порошкового тела при горячем прессовании связано с пластической деформацией, нестационарным или стационарным диффузионным крипом. Силы внешнего давления при горячем прессовании суммируются с капиллярными давлениями, приводящими к развитию межчастичного сцепления и уменьшению пористости порошкового тела. Практически каждой температуре горячего прессования соответствует вполне определенное минимальное давление, при котором может быть получено малопористое порошковое изделие в течение короткого времени.

Свойства горячепрессованных порошковых изделий существенно зависят от условий прессования. Как правило, такие изделия обладают более высоким пределом прочности, большим удлинением, повышенной твердостью, лучшей электропроводностью и более точными геометрическими размерами, чем изделия, полученные путем отдельного прессования и спекания. Кроме того эти изделия отличаются мелкозернистой структурой и по механическим свойствам не уступают изделиям из литых сплавов.

4.2 Метод изготовления заготовок и деталей сварными соединениями

Сваркой называется технологический процесс получения неразъемных соединений за счет установления межатомных (межмолекулярных) связей между поверхностными атомами двух соединяемых заготовок.

В металле атомы находятся в узлах кристаллической решетки, а расстояние между центрами атомов составляет 0,2 - 0,5 нм(10-9м). При таких

расстояниях между атомами существует межатомная связь, т. е. существуют силы, удерживающие атомы в неизменном по отношению к соседним атомам положении. При сварке задача сводится к тому, чтобы установить такие же связи между поверхностными атомами соединяемых заготовок.

Сварка является одним из ведущих технологических процессов современного машиностроения. Она позволяет соединять самые разнообразные материалы и заготовки - от деталей, размеры которых исчисляются долями миллиметра, до гигантских многотонных конструкций.

На практике осуществить соединение двух заготовок простым их сближением не удастся. Два обстоятельства препятствуют этому.

Первое - поверхности заготовок не являются идеально ровными. Рельеф поверхности представляет собой чередование выступов и впадин, и высота неровностей даже при самой тщательной обработке в десятки и сотни тысяч раз больше межатомного расстояния. Поэтому при сближении, поверхностей контакт наступит только в отдельных точках.

Второе - поверхностные атомы не имеют свободных связей. Поверхности покрыты оксидами, а также пленками газов и жидкостей, состоящими из адсорбированных атомов внешней среды. Эти пленки имеют толщину на несколько порядков больше, чем межатомные расстояния. Так, после протирки бензином на поверхности остается пленка толщиной 1 - 5 мкм.

По этим причинам получить соединение за счет сближения двух заготовок не удаётся, если не принять меры для преодоления указанных препятствий. Для получения качественного соединения между двумя заготовками необходимо обеспечить контакт по большей части стыкуемых поверхностей и активировать их, т. е. сообщить поверхностям некоторую

энергию. В сварочной технике существуют для этого два средства. Это нагрев и давление, применяемые отдельно или совместно.

В зависимости от степени нагрева и наличия давления все процессы сварки делятся на две группы способов: сварка плавлением и сварка давлением. Сам процесс установления межатомных связей может происходить в жидкой или твердой фазе. При получении сварных деталей применяют стыковые, угловые и тавровые соединения, что позволяет получать изделия различной конфигурации.

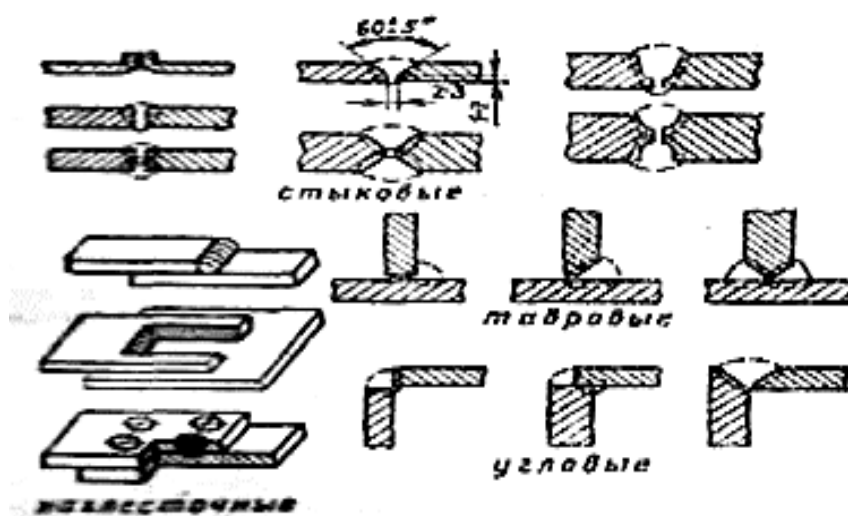


Рис.185. Типы сварных соединений

Стадии процесса сварки плавлением показаны на рис.186.

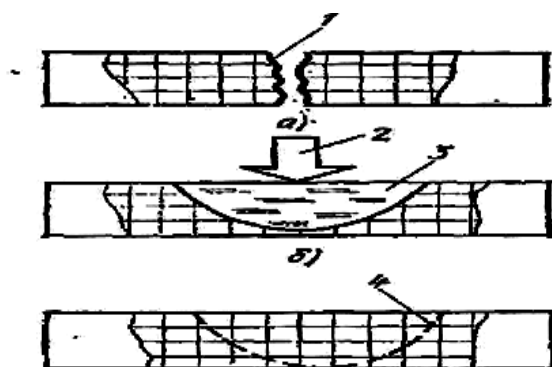


Рис.186. Стадии процесса сварки плавлением: а - заготовки до сварки; б - первая стадия процесса - нагрев кромок и образование жидкой металлической ванны; в - вторая стадия процесса - кристаллизация металла с образованием межатомных связей; 1 - поверхностные пленки; 2 - вводимая энергия; 3 - жидкая ванна; 4 - граница сплавления.

Схема образования сварного соединения в твердом состоянии приведена на рис.187.

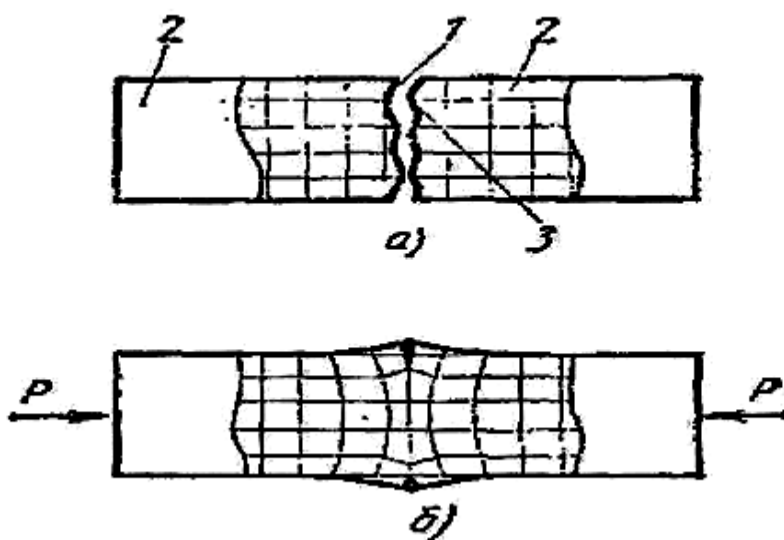


Рис.187. Схема образования сварного соединения в твердом состоянии
а - исходное состояние; б - пластическая деформация в зоне соединения и образование межатомных связей; 1 - поверхностные пленки; 2 - свариваемые заготовки; 3 - неровности поверхностей.

Сварные комбинированные заготовки можно разделить на четыре группы:

- листосварные детали, для которых исходными элементами являются заготовки из листового и или профильного проката;

- сварно – литые детали, для которых используются литые заготовки, изготавливаемые различными способами;
- штампо – ковано – сварные детали, для которых используются кованные и штампованные заготовки;
- сварно – комбинированные детали, для изготовления которых применяются литые, штампованные, листовые и профильные заготовки.

Для листосварных деталей при выборе различных профилей необходимо учитывать нагрузку детали, так для элементов, работающих на сжатие и изгиб целесообразно применять профили с тонкой стенкой.

Профили с толстыми стенками в основном применяют для элементов, работающих на растяжение, трубчатые сечения целесообразно применять для элементов, работающих на кручение и профильный изгиб. Использование листового и профильного проката для заготовок в сварных изделиях, как правило, применяют при единичном и мелкосерийном производствах, так как этот процесс многооперационный (резка заготовок – механическая обработка – сварка).

При расчленении цельнолитых и цельнокованных, цельноштампованных на отдельные заготовки необходимо учитывать не только выбор места расчленения, но и технологичных способов сварки и изготовления технологичных способов изготовления входящих в состав сварной детали.

Большое значение на качество сварных деталей оказывает технология сварки. Для соединения элементов в сварно – литые и штампосварные детали в зависимости от толщины сварного соединения и материала в основном применяют следующие способы сварки: ручная, электродуговая, полуавтоматическая или автоматическая (в среде углекислого газа или под флюсом и электрошлаковая. Для соединения листоштампованных заготовок используют контактную шовную или точечную сварку.

Некоторые положения которые необходимо соблюдать при проектировании деталей, изготавливаемых комбинированной сваркой.

Применение сварно – литых деталей целесообразно при любом характере производстве в целях улучшения качества деталей, устранения брака цельнолитой детали, сокращения объёма механической обработки и экономии металла, удобства транспортировки, сокращения материальных затрат и трудоёмкости, а также в случае невозможности изготовления детали литым целиком рис.186.

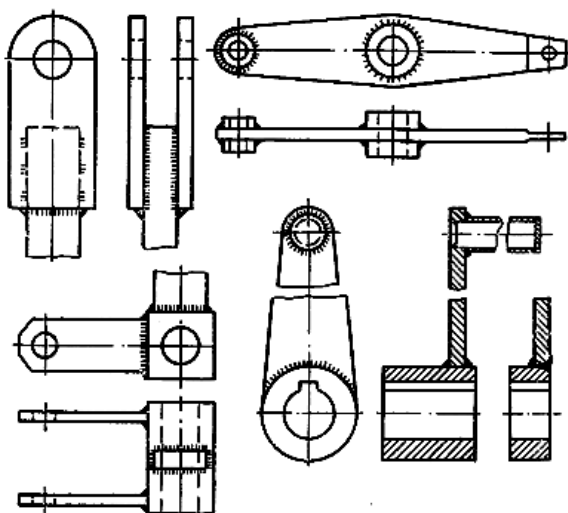


Рис.186 Типовые штамповарные заготовки зубчатых передач.

При сравнительном техника – экономическом анализе литосварных конструкций необходимо определять число «критической» серийности, которое показывает, при каком количестве деталей экономичен сварной вариант. Число критической серийности подсчитывается по формуле

$$N = M / (S - O),$$

где S-стоимость одной сварно-литой детали; О-стоимость одной цельнолитой детали; М-стоимость одного модельного комплекта (1).

Наибольшее распространение получили штамповарные листовые конструкции, основу которых составляют детали, изготовленные листовой штамповкой. Примерами штамповарных изделий являются ёмкости для хранения, транспортировки, перегрузки газов, жидкостей, сыпучих тел. Указанные изделия работают при статических и динамических, при высоких и низких давлениях, поэтому листовые конструкции должны удовлетворять одновременно условиям прочности и пластичности.

На практике возможно создание сварных изделий, когда исходными заготовками являются одновременно штамповки, отливки и листовые заготовки. Кроме того, условия работы отдельных частей конструкции различны и соответственно, различные требования к основному металлу.

Наиболее экономичной и наименее трудоёмкой будет конструкция, в которой детали, отличающиеся по характеру и характеру работы, выполнены из разных материалов по различным технологическим процессам.

Примером сварной конструкции из разнородных сталей может служить ротор газовой турбины (рис.187.) По ободу диск подвергается действию высоких температур и относительно небольших усилий, а центральная часть работает в условиях невысоких температур и воздействию больших усилий. Подобрать материал, одинаково хорошо работающий в заданных условиях, чрезвычайно трудно. Поэтому центральную часть ротора изготавливают из высокопрочной стали перлитного класса, а обод диска – из жаропрочной аустенитной.

Преимущества комбинированных сварных конструкций, в которых в качестве заготовок использованы отливки, штамповки и листовые заготовки проявляются при изготовлении тонкостенных протяженных деталей, когда

появляется возможность широко использовать прокат, штамповки, отливки, соединить их сваркой в единый конструктивный блок.

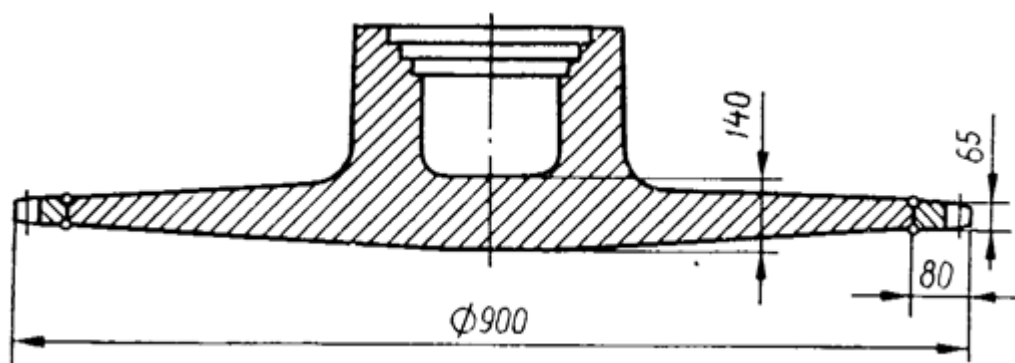


Рис.187.Сварной вариант ротора газовой турбины.

Наиболее рациональный технологический процесс изготовления сварной детали может быть выбран только на основании технико - экономического анализа нескольких вариантов изготовления её. Без проведения техника – экономического анализа выбранный технологический процесс не может расцениваться как оптимальный.

Для анализа при принятии решения о применении конкретного соединении сваркой для изготовления заготовок или деталей целесообразно рассмотреть различные способы сварки с учётом их оптимального использования.

4.2.1. Способы сварки плавлением

Из всех способов сварки наибольшее распространение получили способы сварки плавлением. Наибольшее практическое значение имеет дуговая сварка.

Способы дуговой сварки применяются для изготовления.

Наиболее распространенным является способ сварки металлическим электродом. Он применяется для сварки всех марок сталей и чугунов, а также цветных металлов и сплавов. Сварка этим способом возможна при любом пространственном положении шва на постоянном и переменном токе. Металлический электрод служит во время сварки не только для поддержания горения дуги, но и для образования шва

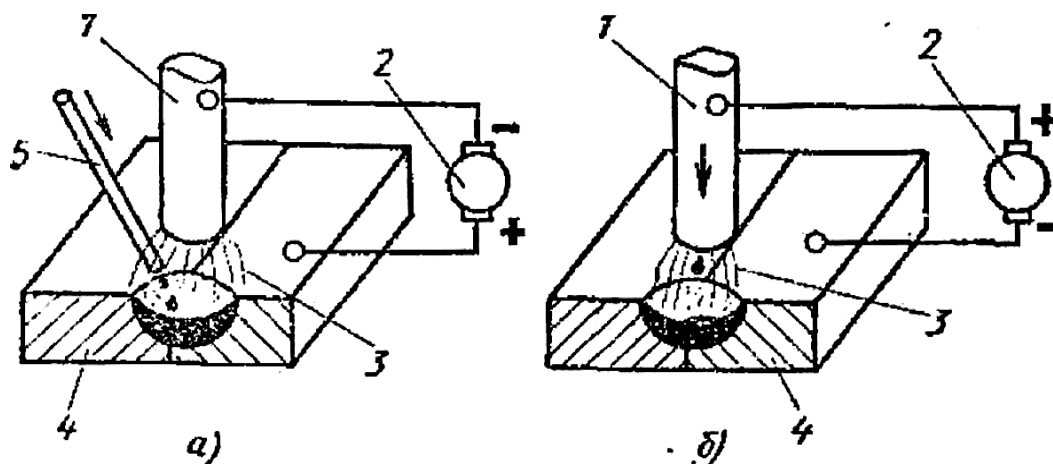


Рис.188.Схемы процессов дуговой сварки: а - неплавящимся электродом по Н.Н. Бенардосу; б - неплавящимся электродом по Н.Г. Славянину; 1- электрод; 2- источник тока; 3- электрическая дуга; 4- изделие; 5- присадочный пруток.

При сварке угольным электродом сварной шов образуется из расплавленного металла свариваемых элементов и подаваемого в дугу присадочного прутка. Угольный электрод служит только для поддержания горения дуги. Этот способ применяется в некоторых случаях для сварки тонкостенных изделий с отбортованными соединениями, а также для горячей сварки чугуна, цветных металлов и наплавки твердых сплавов.

Применение дуговой сварки взамен клепки дает экономию металла до 20 % и взамен литья до 50%; экономию времени на изготовление конструкции; снижение себестоимости конструкции и повышение работоспособности некоторых конструкций (например, химических аппаратов, паровых котлов и др.).

Указанные преимущества обусловили широкое применение сварки во многих отраслях промышленности, например, в тяжелом, транспортном, химическом и энергетическом машиностроении, котлостроении, автостроении, самолетостроении, судостроении, промышленном строительстве и ряде других отраслей.

Широкое распространение получают способы дуговой сварки в среде защитных газов. К этим способам относится аргонодуговая сварка, сварка в среде углекислого газа и атомно-водородная сварка.

При аргонодуговой сварке металл защищается от воздействия кислорода и азота воздуха с помощью инертного газа аргона, подающегося в зону горения дуги через специальное сопло. Сварка может выполняться плавящимся электродом (с использованием сварочной проволоки) и неплавящимся вольфрамовым электродом. Во втором случае в зависимости от вида сварного соединения сварка ведется без применения или с применением присадочного металла.

Аргонодуговая сварка применяется, главным образом, при изготовлении тонкостенных конструкций из специальных сталей и цветных металлов и сплавов. Питание дуги осуществляется переменным или постоянным током от обычного сварочного оборудования.

В последние годы все более широкое применение получает полуавтоматическая и автоматическая сварка плавящимся металлическим электродом в среде углекислого газа, который значительно дешевле аргона.

Применение его вместо флюса облегчает наблюдение за процессом сварки и обеспечивает относительно высокую производительность процесса, часто не уступающую производительности сварки под флюсом. Однако из-за повышенной окислительной способности углекислый газ не может использоваться при сварке большинства цветных металлов и сплавов.

Сварка в среде углекислого газа применяется преимущественно при производстве конструкций из углеродистых, низколегированных и нержавеющей сталей.

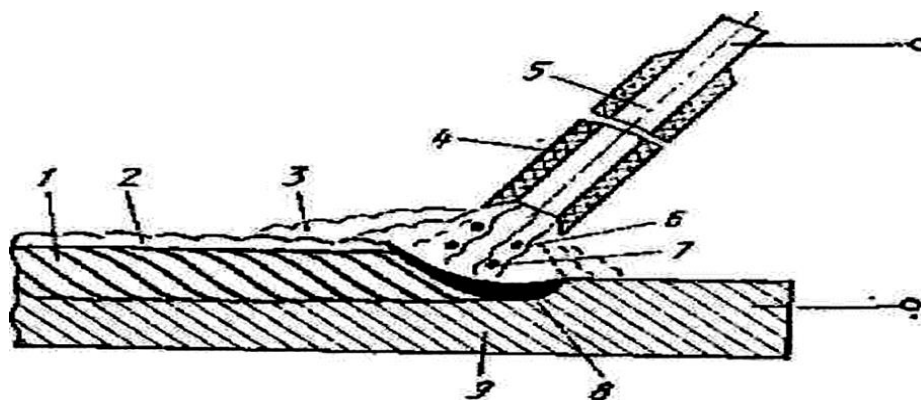


Рис.189.Схема процесса ручной дуговой сварки покрытым электродом: 1 - сварной шов; 2 - шлаковая корка; 3 - защитная газовая атмосфера; 4 - электродное покрытие; 5 -электродный стержень; 6 - электрическая дуга; 7 - капли электродного металла; 8 - сварочная ванна; 9 - заготовка;

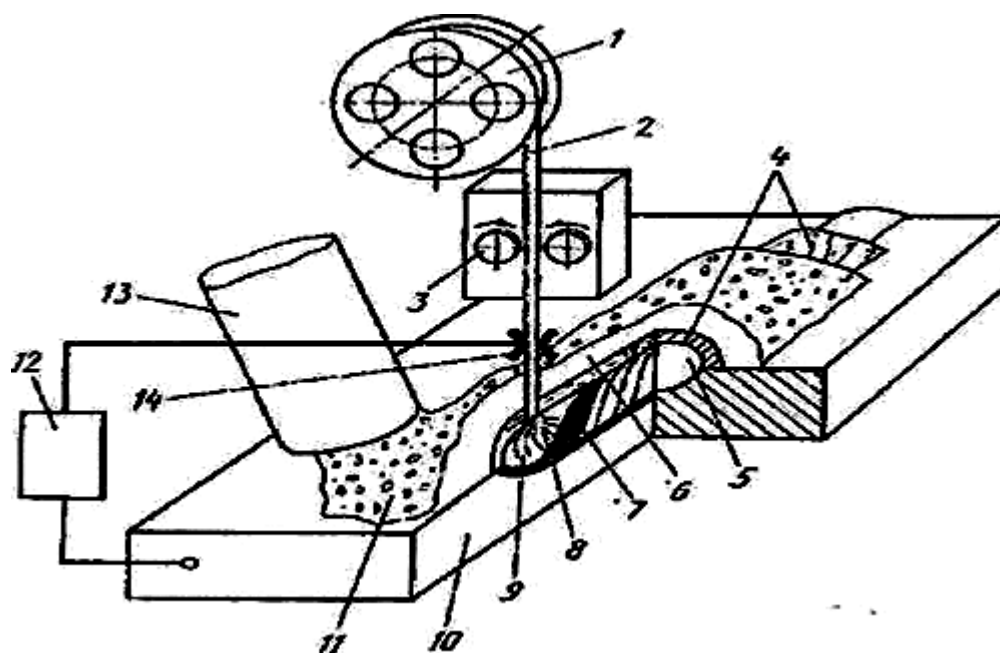


Рис.190.Схема процесса автоматической дуговой сварки под флюсом:

1- кассета с проволокой; 2 - электродная проволока; 3 - подающие ролики; 4 - шлаковая корка; 5 -сварной шов; 6 - жидкий шлак; 7 - сварочная ванна; 8 - электрическая дуга; 9 - полость; 10 - заготовка; 11- флюс; 12 - источник питания; 13 -флюсопитатель; 14 - скользящий токоподвод

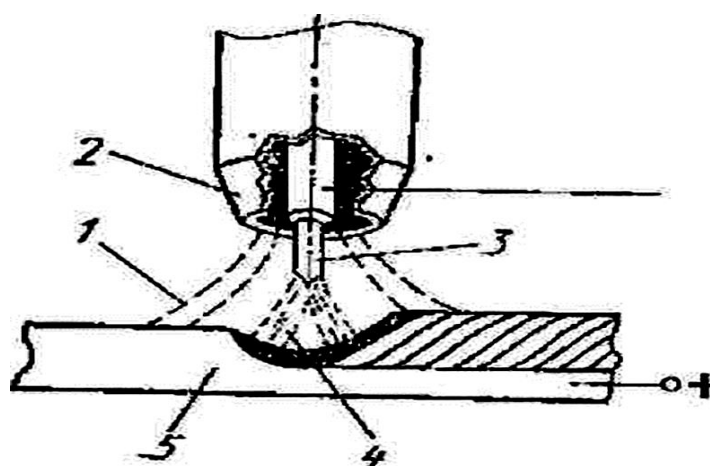


Рис.191. Схема дуговой сварки в атмосфере защитных газов:

1 - поток газа; 2 -сопло; 3 - электрод; 4 - электрическая дуга; 5 - заготовка

Электрошлаковая сварка

Электрошлаковая сварка представляет собой один из способов сварки плавлением, в котором теплота, необходимая для расплавления основного и электродного металла, выделяется в расплавленном флюсе (шлаковой ванне) при прохождении через него электрического тока.

Принцип электрошлаковой сварки. Источник переменного или постоянного тока 7 подключен к сварочному электроду 4 и изделию 1. Электрод погружен в расплавленный флюс (шлаковую ванну) 3, обладающий электропроводимостью. Ток течет через шлаковую ванну и нагревает ее до температуры примерно 2000 °С, что обеспечивает плавление основного и электродного металлов. Расплавленный металл стекает на дно расплава, образуя металлическую ванну 2. Шлаковая и металлическая ванны удерживаются от вытекания плотно прижатыми охлаждаемыми водой ползунами 5, которые по мере заполнения пространства между соединяемыми заготовками перемещаются вверх. Затвердевший металл образует сварной шов 6. рис.192.

Электрошлаковая сварка экономически выгодна при толщине металла более 25 мм. Пример применения электрошлаковой сварки – сварной вал шахтной подъёмной машины рис.200.

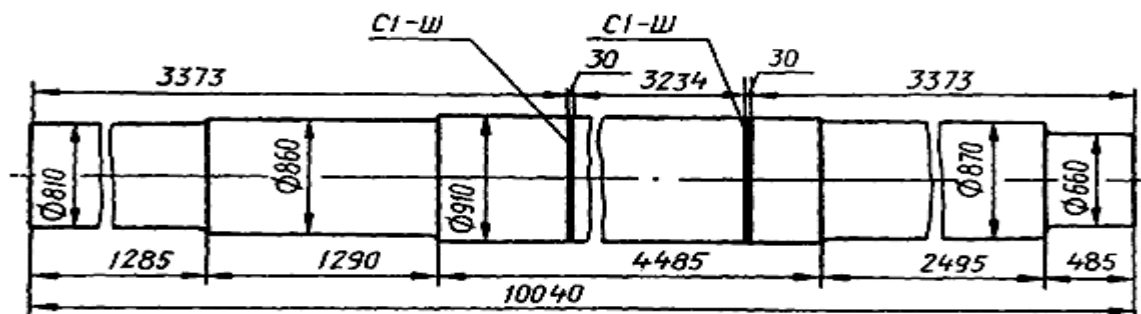


Рис.192.Сварной вал шахтной подъемной машины

Она позволяет за один проход получить соединение металла практически любой толщины, поэтому ее производительность в 5 - 15 раз выше, чем при многослойной автоматической сварке под флюсом. При этом не требуется разделки кромок.

Преимуществами этого вида сварки является также малый расход флюса (не более 5% массы наплавленного металла). Недостаток электрошлаковой сварки заключается в значительном перегреве металла околошовной зоны, что приводит к росту зерна и снижению пластических свойств металла, поэтому требуется последующая высокотемпературная обработка для восстановления механических свойств соединения.

Схема электрошлаковой сварки приведена на рис.193.

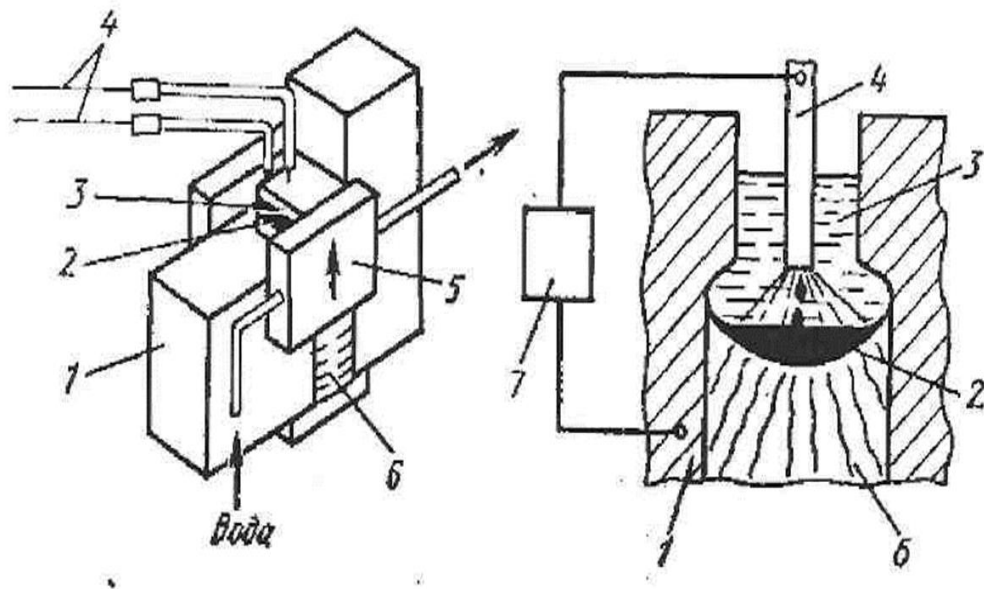


Рис.193. Схема электрошлаковой сварки: 1 - заготовка; 2 - металлическая ванна; 3 - шлаковая ванна; 4 -электродная проволока; 5 - водоохлаждаемый ползун; 6 - сварной шов; 7 - источник питания

Газовая сварка

При газовой сварке в качестве источника теплоты используют газовое пламя, образующееся при сгорании горючего газа в атмосфере кислорода.

Применяют различные горючие газы - ацетилен, водород, природные газы, пропан, бутан, пары бензина. Самую высокую температуру пламени (3200 С) обеспечивает ацетилен C_2H_2 . Поэтому ацетиленокислородное пламя нашло наибольшее применение.

Применяют главным образом горелки инжекторного типа, в которых кислород, подаваемый под давлением 0,1 - 0,4 МПа, истекая из инжектора (сопла) с большой скоростью, создает разрежение, за счет которого ацетилен подсасывается в смесительную камеру. Здесь образуется горючая смесь, поступающая по трубке наконечника к выходному отверстию мундштука

Газосварочное пламя используется для соединения листов черных и цветных металлов толщиной до 5—6 мм, для сварки чугуна, при небольших ремонтных работах, пайке и т. д. К преимуществам газовой сварки относятся универсальность, возможность работы в полевых условиях.

Экономически она обычно менее выгодна, чем дуговая электросварка, и имеет меньшую производительность.

Газовая сварка мало механизирована и выполняется почти исключительно вручную, требуя высокой квалификации рабочего-сварщика. Недостатком ее является повышенная опасность работы со сжатыми газами (при нарушении установленных правил возможны разрушительные взрывы).

Схемы газовой сварки и газовой горелки приведены на рис.194,195.

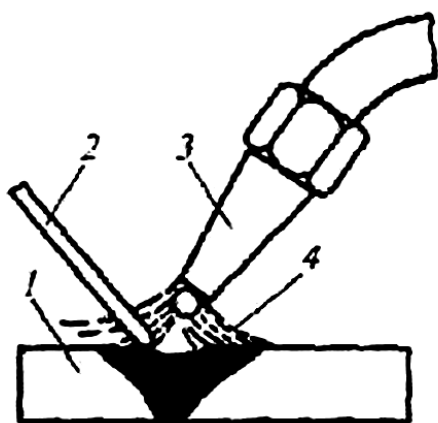


Рис.194.Схема газовой сварки:

1-заготовка, 2-присадочный
3-газовая горелка,
4- высокотемпературное
пламя.

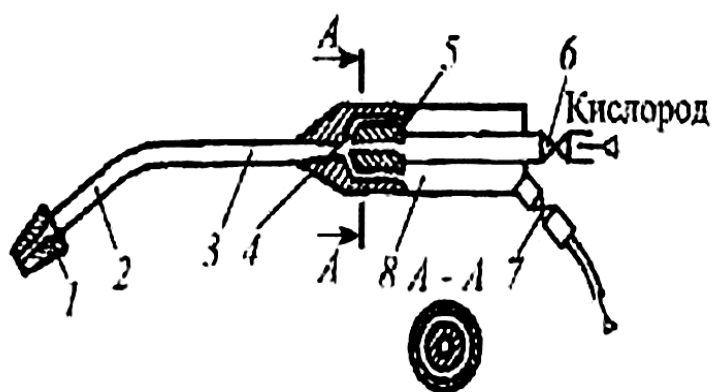


Рис.195. Схема газовой горелки:

1мундштук, 2-наконечник
3камера смешения, 4-камера,
5-инжектор, 6-регулирующий
вентиль, 7-вентиль подачи ацетилена,8-
ацетиленовые каналы

Плазменная сварка

Плазменная сварка (или сварка сжатой дугой) относится к способам сварки плавлением. В качестве источника нагрева используют сжатую дугу — плазму. Применительно к сварке и резке плазмой условно принято называть поток газа, пропускаемый через столб электрической дуги. Устройство для создания плазменной струи называют плазмотроном или плазменной горелкой.

В плазмотроне электрическую дугу размещают в узком канале с интенсивно охлаждаемыми стенками. Через канал подают плазмообразующий газ. Обжатие наружной поверхности столба дуги вызывает его концентрацию. Это приводит к резкому увеличению числа

столкновений частиц, увеличению степени ионизации и повышению температуры столба дуги до 10 000 - 20 000° С.

Существуют плазмотроны прямого и косвенного действия. В плазмотронах прямого действия одним из электродов является изделие, в плазмотронах косвенного действия дуга возбуждается между электродом и охлаждаемым соплом. В этом случае плазменная струя потоком газа выдувается из сопла.

Сварка осуществляется на переменном или постоянном токе прямой полярности. Источники сварочного тока должны иметь рабочее напряжение до 120 В, а в некоторых случаях и более высокое.

В качестве плазмообразующих газов используют аргон, гелий, водород, углекислый газ, а также смеси газов.

Плазменной струей можно сваривать практически все металлы, в том числе и тугоплавкие. К преимуществам плазменной сварки относится высокая производительность. Без разделки кромок можно сваривать металл толщиной до 15 - 20 мм, а при сварке большей толщины - с неглубокой разделкой. По сравнению с аргонодуговой сваркой количество присадочного металла при сварке плазменной струей снижается примерно в 3 раза.

Плазменная сварка применяется для сварки металла со сложным химическим составом и неудовлетворительной свариваемостью; металла с высокой загрязненностью (за счет более мощной катодной очистки и высокой жесткости сжатой дуги); в любых пространственных положениях с хорошим проплавлением и формированием сварного шва; толстостенных изделий (до 70 мм) (за счет большей температуры и проплавляющей способности сжатой дуги); изделий когда требуется обеспечить минимальные сварочные напряжения и деформации; изделий из алюминиевого сплава

склонного к горячим и холодным трещинам и когда требуется минимальный нагрев изделия.

Схема получения плазменной струи приведена на рис.196.

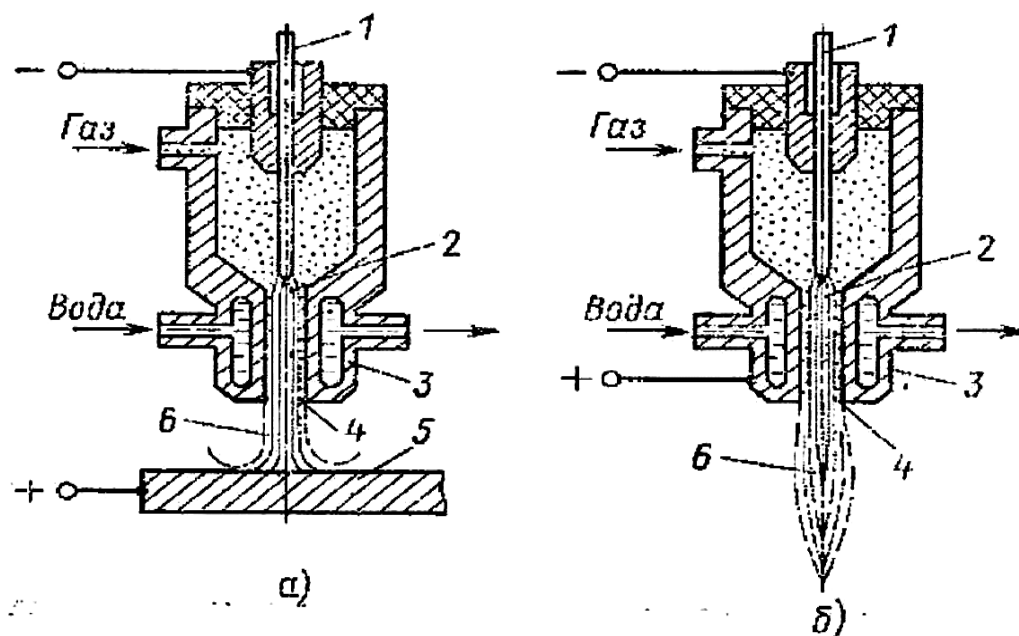


Рис.196.Схемы получения плазменной струи:

а - прямого действия; б - косвенного действия; 1 - вольфрамовый электрод; 2 - дуга; 3 - сопло горелки; 4 - канал сопла; 5 - заготовка; 6 -пламенная струя.

Лучевые способы сварки

К лучевым способам сварки относятся электронно-лучевая, лазерная и сварка световым лучом.

При электронно-лучевой сварке используется кинетическая энергия электронов, быстро движущихся в глубоком вакууме. Поток электронов направляют на свариваемое изделие. При соударении электронов с

поверхностью металла их кинетическая энергия переходит в тепловую, которая используется для расплавления металла.

Электронно-лучевую сварку осуществляют в вакуумной камере (рис.197.) 2, внутри которой располагают свариваемое изделие 5 и устройства для его перемещения со скоростью сварки. Специальное откачное устройство 1, содержащее форвакуумный 8 и диффузионный 7 насосы, создает в камере разрежение примерно 133×10^{-4} Па, необходимое для свободного движения электронов. Поток электронов создается электронно-лучевой пушкой (рис.206.) 3, на которую подается высоковольтное напряжение от источника питания 4.

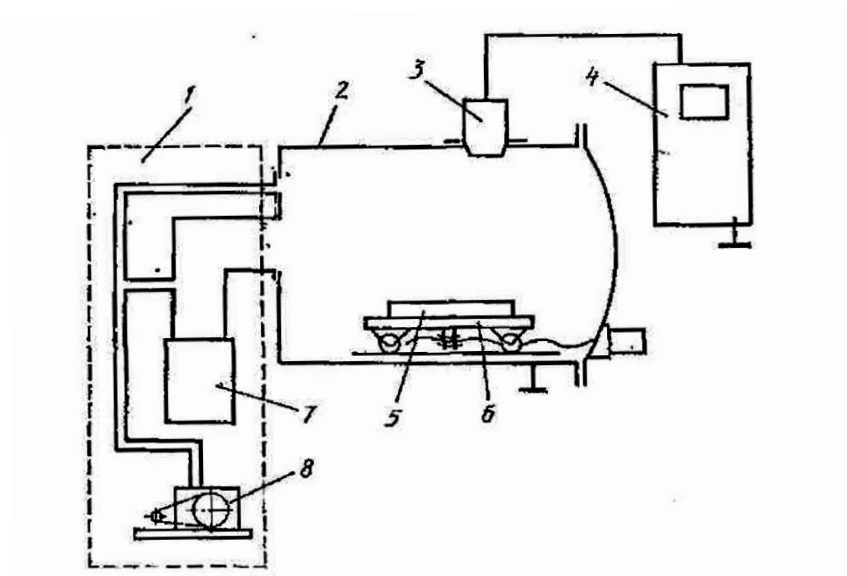


Рис.197.Схема установки для электронно-лучевой сварки: 1 - откачная система; 2 - вакуумная камера; 3 - электронно-лучевая пушка; 4 - высоковольтный источник питания; 5 - заготовка (изделие); 6 - тележка; 7 - диффузионный насос; 8 - форвакуумный насос.

При электронно-лучевой сварке значительно снижается ширина сварного шва по сравнению с дуговой сваркой и соответственно уменьшается зона нагрева околошовной зоны и деформация сварного соединения.

Проведение процесса в вакууме обеспечивает получение зеркально-чистой поверхности шва и дегазирует расплавленный металл.

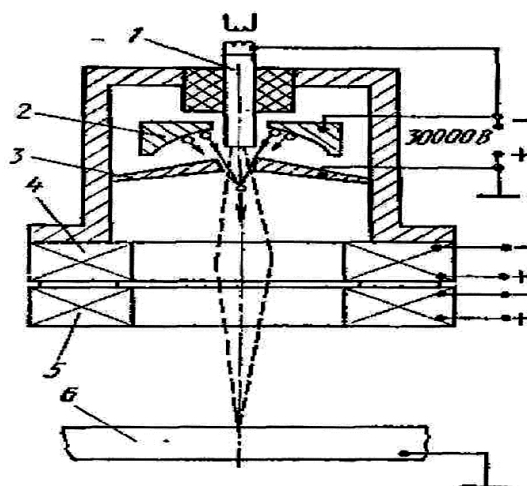


Рис.198.Схема электронно-лучевой пушки: 1 - катод; 2 - прикатодный электрод; 3 - анод; 4 -фокусирующая катушка; 5 — отклоняющая система; 6 — заготовка (изделие).

Электронно-лучевая сварка является наиболее перспективным способом соединения изделий из тугоплавких и химически активных и металлов (сплавов); изделий из термически упрочнённых материалов, когда нежелательна, затруднена или невозможна термообработка; для изделий после завершающей механической обработки с целью обеспечения минимальных сварочных деформаций; ряда толстолистовых и толстостенных конструкций ответственного назначения.

Наиболее широко освоено промышленное применение электронно-лучевой сварки в мире в авиакосмической промышленности; ядерной энергетике; энергетическом машиностроении; турбиностроении; электровакуумном, приборном и релейном производстве; автомобильной промышленности и др.

Лазерная сварка

Лазерная сварка - сварка плавлением, при которой используется энергия светового луча, полученного от оптического квантового генератора (ОКГ). С помощью ОКГ можно получать интенсивные и остронаправленные пучки света и концентрировать энергию на очень малые площадки, равные тысячным долям миллиметра.

В основу принципа действия ОКГ положено индуцированное излучение атомов активного вещества излучателя. Активное вещество накачивают внешней энергией (электрической, световой, тепловой, химической). Атомы поглощают фотоны (порции) электромагнитной энергии и переходят в возбужденное состояние. Каждый возбужденный атом может возвратить энергию в виде фотона спонтанно (самопроизвольно). Заставить все возбужденные атомы одновременно испустить фотоны можно внешним фотоном, энергия которого в точности равна энергии испускаемого фотона. Такое излучение называется индуцированным.

В некоторых ОКГ в качестве основного энергетического элемента используется рубин - оксида алюминия, в котором небольшое число атомов (0,05 %) алюминия замещены атомами хрома.

Схема излучателя твердотельного лазера приведена на рис.199.

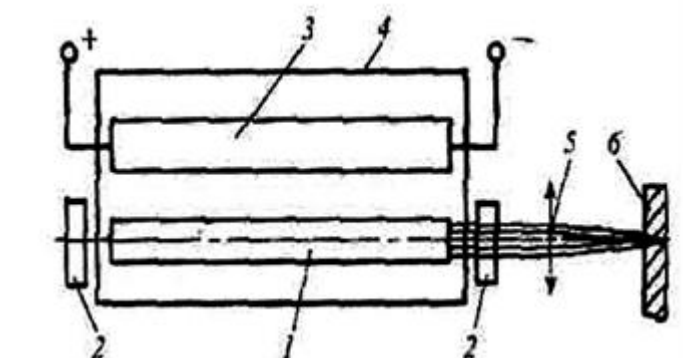


Рис.199. Устройство излучателя твердотельного лазера: 1 - рабочее тело - кристалл; 2 - зеркала резонаторов; 3 - лампа накачки; 4 - отражатель; 5 - фокусирующая линза; 6 - обрабатываемая деталь.

Лазерный луч при встрече с препятствием (обрабатываемым материалом) частично отражается от его поверхности, частично ею поглощается, переходя в теплоту. Для увеличения доли полезно используемой энергии нужно повышать коэффициент поглощения. Для этого перед обработкой таких материалов, у которых отражательная способность велика (А δ , Си, А1 и др.), поверхность покрывают специальными "зачерняющими" покрытиями.

Основными параметрами режимов лазерной обработки являются мощность излучения, диаметр пятна фокусировки, скорость перемещения обрабатываемого материала относительно луча.

Преимущества лазерной сварки - возможность вести процесс на больших скоростях - до 500 м/ч, узкий ("ниточный", "кинжальный") шов, чрезвычайно малая зона разогрева, практически отсутствие деформации изделия после сварки.

В результате расплавления металлических деталей по примыкающим поверхностям под действием мощного лазерного излучения и последующей кристаллизации этого расплава образуется сварное соединение, основанное на межатомном взаимодействии.

Различают сварку малых толщин (глубина проплавления до 1 мм) и сварку с глубоким проплавлением.

Сварку малых толщин можно осуществлять как в непрерывном, так и в импульсном режиме. При плотностях мощности в зоне воздействия 10^5 - 10^6 Вт/см², требуемых для осуществления этого процесса, происходит только плавление материала без его существенного испарения. Применяют как газовые, так и твердотельные лазеры мощностью менее 1 кВт в непрерывном режиме и энергией в импульсе порядка единиц или десятков джоулей - в импульсном. В непрерывном режиме проводят шовную сварку, а в импульсном - шовную и точечную, причем шов в этом случае образуется в виде совокупности сварных точек;

Малые толщины можно сваривать со сквозным проплавлением, когда шов образуется по всей толщине свариваемых участков деталей, и без сквозного проплавления. Тонкие детали с массивными можно сваривать внахлестку со сквозным проплавлением тонкой и несквозным массивной деталей.

Процесс лазерной сварки малых толщин можно осуществлять как в автоматическом, так и в ручном режиме.

Лазерную сварку малых толщин широко применяют в электронной и радиотехнической промышленности для сварки проводов, элементов микросхем, пружин и т.п. деталей, в производстве и при ремонте вакуумных приборов (кинескопов, элементов электронно-лучевых установок и т.д.), герметизации корпусов различных приборов и устройств и во многих других процессах. В этой отрасли все чаще для сварки применяют полупроводниковые лазеры, а также мощные некогерентные источники излучения, например ксеноновые лампы. В других отраслях промышленности лазерную сварку малых толщин применяют для заваривания аэрозольных баллонов и консервных банок, герметизации капсул для лекарств, сварки деталей турбин, сотовых конструкций и др.

Лазерную сварку с глубоким проплавлением широко используют в производстве крупногабаритных корпусных деталей, например двигателей и обшивки самолетов, автомобилей и судов; валов и осей, работающих в условиях знакопеременных нагрузок, например карданных валов автомобиля; при изготовлении деталей механизмов и машин, состоящих из разных материалов (например, из легированных сталей и более дешевых материалов); для сварки труб, арматурных конструкций и в ряде других производств. Преимущества лазерной сварки с глубоким проплавлением особенно заметно проявляются при сварке углеродистых и легированных сталей, алюминиевых, магниевых, титановых и никелевых сплавов.

По сравнению с электронно-лучевой сваркой лазерная не требует специальных вакуумных камер, что позволяет расширить номенклатуру размеров обрабатываемых деталей. С другой стороны, электронное излучение обладает большей "проникающей способностью", что позволяет сваривать изделия значительно большей толщины. Комплексное сравнение этих методов по технологическим и экономическим характеристикам показало, что при мощностях излучения до 4 кВт (сварка различных металлов толщиной до 5 мм) преимущество лазерных методов сварки несомненно. Если же необходима мощность излучения более 10 кВт (сварка металлов толщиной более 10 мм), то экономически выгоднее использовать электронно-лучевую сварку. В промежуточном диапазоне требуемых мощностей источников излучения необходимо более детальное сравнение конкретных технологических процессов и условий производств (36).

Высокое качество сварного шва, полученного с помощью лазерного излучения, в ряде случаев позволяет исключить его последующую обработку.

Сварка световым лучом

В отличие от лазерной сварки в установках для сварки световым лучом (рис.200.) используют мощные источники излучения, свет от которых фокусируется специальными линзами и отражателями в пятне нагрева. Для технологических целей наиболее удобные излучатели дуговые, ксеноновые лампы сверхвысокого давления (до 1 МПа). Плотность энергии в пятне нагрева в установках для сварки световым лучом достигает 10 Вт/см^2 . Область рационального применения - приборостроение.

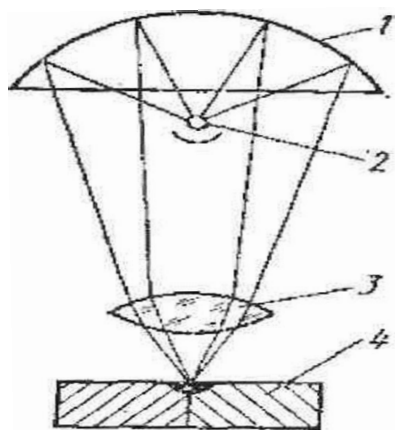


Рис.200.Схема оптической системы для сварки:

1 - отражатель; 2 - источник света; 3 - линза; 4 - изделие

4.2.2. Способы сварки давлением.

Контактная сварка

Контактная сварка является основным видом сварки давлением термомеханического класса. Она осуществляется с применением давления и нагрева места сварки проходящим через заготовки электрическим током.

Основными видами контактной сварки являются стыковая, точечная и шовная.

Стыковая сварка

При стыковой контактной сварке свариваемые заготовки, закрепленные в зажимах (электродах) стыковой машины, сжимаются осевой силой P . Electrodes подключены к сварочному трансформатору, при включении которого через заготовки протекает сварочный ток. Он нагревает заготовки, причем наибольшее количество теплоты выделяется в месте контакта между заготовками, так как сопротивление контакта является наибольшим во вторичной цепи, а действительное сечение контакта значительно меньше сечения заготовок за счет касания заготовок только по выступам поверхностей и на поверхности металла имеются пленки оксидов и загрязнений с малой электропроводимостью.

Принципы контактной стыковой сварки

Нагрев металла приводит к повышению его пластичности. В результате под действием осевой силы происходит пластическая деформация.

Микронеровности поверхности сминаются, пленки разрушаются, поверхностные атомы сближаются до расстояний, соизмеримых с параметром кристаллической решетки, что обеспечивает возможность образования межатомных связей.

Контактная сварка осуществляется без расплавления и с расплавлением металла, стыковую сварку с разогревом стыка до пластического состояния называют сваркой сопротивлением; стыковую сварку с разогревом стыка до оплавления - сваркой оплавлением.

Схема контактной стыковой сварки представлена на рис.201.

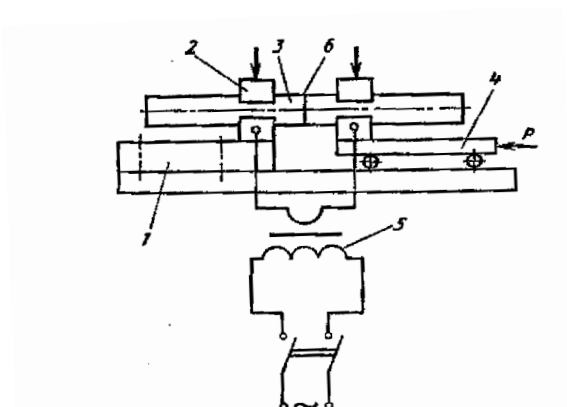


Рис.201.Схема контактной стыковой сварки:1 - неподвижная плита; 2 - зажимы (электроды); 3 - заготовка; 4 подвижная плита; 5 - сварочный трансформатор; 6 – контакт.

Сварка сопротивлением

При сварке сопротивлением заготовки сначала сжимают усилием, обеспечивающим образование физического контакта свариваемых поверхностей, а затем пропускают сварочный ток. После разогрева места сварки происходит осадка и образуется соединение в твердой фазе. Для обеспечения равномерного нагрева по всему сечению поверхности заготовок тщательно готовят. Необходимость обеспечения равномерного нагрева ограничивает возможность применения сварки сопротивлением только для деталей небольшого (площадью до 100 мм²) и простого сечения (круг, квадрат).

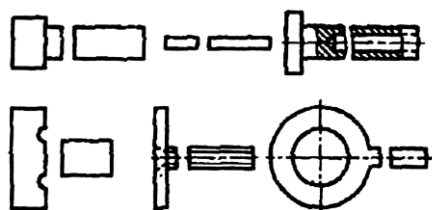


Рис.202.Типы сварных соединений, выполняемых стыковой сваркой сопротивлением

Сварка оплавлением

Сущность сварки оплавлением заключается в том, что свариваемые заготовки сближают при включенном сварочном трансформаторе. Касание поверхностей происходит по отдельным выступам. Ввиду того, что площадь образовавшихся контактов очень небольшая, плотность тока, протекающего через эти контакты, настолько велика, что происходит мгновенное оплавление металла с образованием жидких перемычек, которые под

действием паров металла разрушаются. Часть металла в виде искр выбрасывается из стыка. Вместе с жидким металлом выбрасываются загрязнения, которые присутствуют на поверхности заготовок.

Продолжающееся сближение заготовок приводит к образованию новых перемычек и их оплавлению. Непрерывное образование и разрушение контактов-перемычек между торцами приводит к образованию на торцах слой жидкого металла. После оплавления торцов по всей поверхности осуществляют осадку. При осадке жидкий металл из стыка выдавливается наружу и, затвердевая, образует грат. Обычно грат удаляют в горячем состоянии.

Сварка оплавлением может быть прерывистая и непрерывная. При прерывистом оплавлении заготовки под током приводят в соприкосновение и вновь разводят.

Образующийся при разведении электрический разряд между торцами заготовок оплавляет торцы. После нескольких повторных замыканий на торцах образуется слой жидкого металла. При включении механизма осадки жидкий металл выдавливается из стыка, торцы приходят в соприкосновение и образуется сварное соединение.

Сварка оплавлением имеет преимущества перед сваркой сопротивлением: торцы заготовок перед сваркой не требуют тщательной подготовки, можно сваривать заготовки с сечением сложной формы и большой площадью, а также разнородные металлы.

Стыковую сварку оплавлением применяют для соединения заготовок сечением до $100\,000\text{ мм}^2$. Типичными изделиями являются элементы трубчатых конструкций, колеса, кольца, рельсы, железобетонная арматура, листы, трубы.

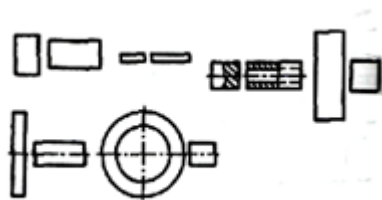


Рис.203. Типы сварных соединений
выполняемых стыковой сваркой
оплавлением

Точечная сварка.

Точечную сварку (рис 204.) применяют преимущественно при соединении листовых заготовок. Свариваемые заготовки собирают внахлестку сжимают между двумя медными электродами и пропускают электрический ток (от сварочного трансформатора). При протекании тока выделяется теплота в заготовках и электродах. В связи с тем, что наибольшим электрическим сопротивлением обладает контакт между заготовками и электроды, как правило, охлаждаются водой и отводят теплоту с поверхности заготовок, происходит интенсивный нагрев металла только в месте контакта. Здесь металл расплавляется и появляется жидкое ядро, которое затвердевает после выключения сварочного тока, образуя сварную точку.

Кристаллизация металла происходит при сохраняющемся давлении электродов, что предотвращает образование в ядре точки дефектов усадочного характера - пор, трещин, рыхлоты. В некоторых случаях давление в конце цикла сварки увеличивают, осуществляя «проковку» металла. Перед сваркой контактные поверхности деталей зачищают металлической щеткой, пескоструйной обработкой или травлением и обезжиривают растворителями. Это необходимо для обеспечения стабильного процесса, который зависит от постоянства контактного сопротивления.

Точечная сварка в зависимости от расположения электродов по отношению к свариваемым заготовкам может быть двусторонней и

односторонней. При односторонней сварке ток течет через верхний и нижний листы, но нагрев места контакта происходит только за счет тока, протекающего через нижний лист. Для увеличения этого тока снизу располагают токопроводящую медную подкладку. Одновременно происходит образование двух точек.

В многоточечных сварочных машинах, предназначенных для изготовления специальных сварных конструкций (элементы кузовов автомобилей, вагонов, различных панелей) одновременно сваривается несколько точек (или несколько десятков точек). Режим точечной сварки может быть мягким и жестким. Мягкий режим характеризуется плавным нагревом заготовок сравнительно небольшим током. Время протекания тока обычно 0,5 - 3 с. Мягкие режимы применяют для сварки сталей, склонных к закалке.

Жесткие режимы осуществляют при малой продолжительности (0,1 - 1,5 с) тока относительно большой силы. Давление электродов также большое. Эти режимы применяют при сварке алюминиевых и медных сплавов, обладающих высокой теплопроводностью, а также высоколегированных сталей с целью сохранения коррозионной стойкости: на мягких режимах возможно обеднение металла хромом за счет образования карбидов хрома.

Точечную сварку широко используют для изготовления штамповварных конструкций. Толщина свариваемых металлов в среднем составляет 0,5 - 8 мм.

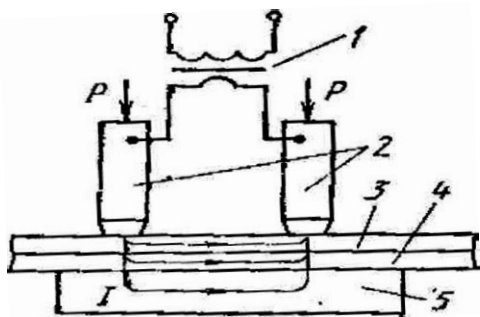


Рис.204.Односторонняя точечная сварка: 1 - сварочный трансформатор; 2 - электроды; 3 -

верхняя заготовка; 4 - нижняя заготовка; 5 - медная подкладка

Шовная сварка

Шовную сварку (рис.205) выполняют непрерывным швом вращающимися дисковыми 2 электродами. На слайде показана схема шовной сварки. Заготовки 1, как и при точечной сварке, собирают внахлестку и зажимают между электродами 2, которые выполнены в виде роликов. Они передают усилие заготовкам, осуществляют подвод тока и перемещение заготовок. При движении заготовок между роликами образуются перекрывающиеся друг друга сварные точки, в результате чего получается сплошной герметичный шов 3.

Шовную сварку можно осуществлять при одностороннем и двустороннем положении электродов.

Шовную сварку выполняют с непрерывным включением тока, с прерывистым включением тока, а также, впрочем, весьма редко, с прерывистым вращением роликов и остановкой их в момент включения сварочного тока.

Шовную сварку применяют при изготовлении различных емкостей с толщиной стенки 0,3 - 3 мм, где требуются герметичные швы - бензобаки, трубы, бочки, сильфоны и др.

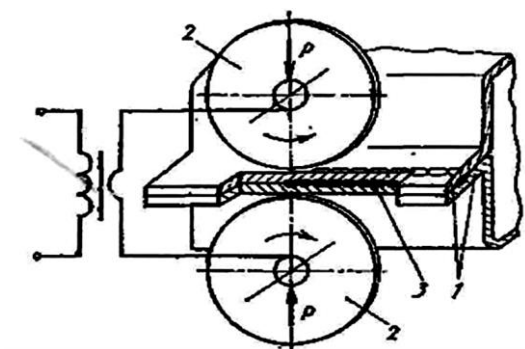


Рис. 205.Схема шовной сварки: 1- заготовка, 2- сварочные электроды

(ролики), 3-сварной шов.

Конденсаторная сварка

Конденсаторная сварка (рис.206.) представляет собой один из видов сварки запасенной энергией. Энергия накапливается в конденсаторах при их зарядке от источника постоянного напряжения (выпрямителя), а затем в процессе разряда преобразуется в теплоту, используемую для сварки. Эта теплота выделяется в контакте между соединяемыми заготовками при протекании тока, поэтому конденсаторную сварку можно отнести к способам контактной сварки.

Существуют два вида конденсаторной сварки: бестрансформаторная и трансформаторная. Бестрансформаторная сварка используется в основном для стыковой сварки, трансформаторная - для точечной и шовной.

Преимуществами конденсаторной сварки являются: точная дозировка энергии (за счет изменения емкости конденсаторов и напряжения зарядки), малое время протекания тока (0,001 - 0,0001 с) при высокой плотности тока, возможность сварки материалов очень малых толщин (от нескольких микрон до 1 мм), невысокая потребляемая мощность (0,2 - 2 кВт).

Конденсаторную сварку применяют в основном в приборостроении, радиоэлектронике

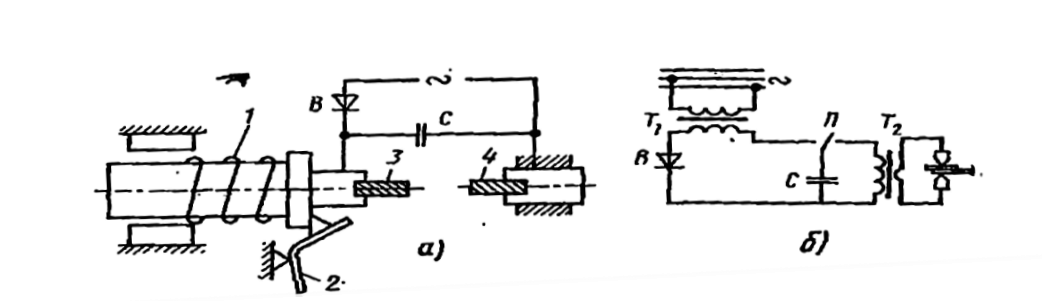


Рис.206. Схемы конденсаторной сварки: а - безтрансформаторная с разрядом на изделие; б - с разрядом на первичную обмотку трансформатора; 1 - пружина; 2 - защелка; 3 -и 4 - заготовки; С -конденсатор; В - выпрямитель; Т – трансформатор

Сварка трением

Сварку трением осуществляют в результате совместной пластической деформации заготовок, поверхности которых предварительно нагреты трением при их относительном перемещении. Нагрев поверхностей происходит в результате трения при вращении одной из заготовок или при возвратно - поступательном перемещении. Нагрев происходит только в том месте, где необходимо поверхностным атомам сообщить энергию активации. В самих заготовках при этом теплота не выделяется. Вот почему затраты энергии при сварке в 5 - 10 раз меньше, чем при контактной стыковой сварке, где значительное количество энергии расходуется на ненужный нагрев заготовок.

Две заготовки (рис.207.), подлежащие сварке, устанавливают в зажимах машины 1. Одна из них 2 неподвижна, другая 3 приводится во вращение. Заготовки при этом прижаты одна к другой осевым усилием Р. На соприкасающихся поверхностях 4 образуются силы трения. Работа, затрачиваемая на преодоление сил трения, преобразуется в теплоту. Сварка осуществляется в твердой фазе без расплавления металла.

При трении происходит разрушение оксидных пленок. За счет пластической деформации пленки удаляются в радиальном направлении. Сварка трением обеспечивает высокое качество соединения, позволяет соединять

разнородные металлы и сплавы, характеризуется высокой производительностью, легко поддается автоматизации.

В инструментальном производстве сварку трением используют при изготовлении сверл, метчиков, фрез и другого инструмента.

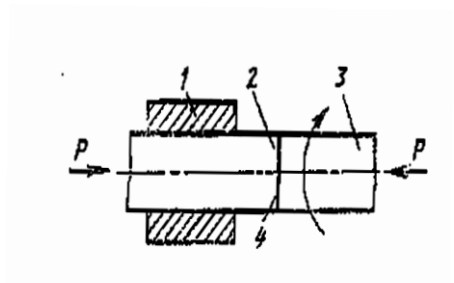


Рис. 207. Схема сварки трением: 1 — зажимное устройство; 2 — неподвижная заготовка; 3 — приводимая во вращение заготовка; 4 — поверхность трения.

Примером использования сварки трением для повышения технологичности конструктивного решения может служить полуось трактора (рис.208.). Если полуось расчленить на две части, то внутренние шлицы можно легко обработать протяжкой. Для изготовления заготовок таких полуосей используют сварку трением на специальной машине.

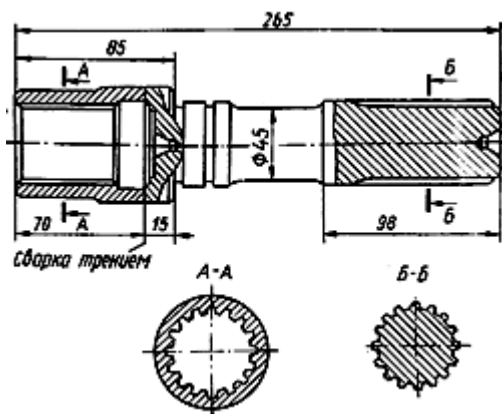


Рис.208. Полуось трактора, выполненная сваркой трением.

Ультразвуковая сварка

Ультразвуковая сварка - сварка давлением, которая осуществляется при воздействии на заготовки, сжатые при сравнительно небольшом давлении, механических колебаний с частотой более 16 кГц.(рис.209). Механические колебания инструмента получают при использовании явления магнитострикции. Эффект магнитострикции заключается в изменении размеров некоторых металлов и керамических материалов под действием переменного магнитного поля. Если из материала, обладающего такими свойствами, изготовить сердечник, разместить на нем обмотку и пропустить по обмотке переменный электрический ток, то возникающее при этом переменное магнитное поле будет изменять размеры сердечника с частотой изменения электрического тока.

Ультразвуковую сварку применяют для получения точечных и шовных соединений тонких заготовок, толщина которых, как правило, не превышает 1 мм. Преимущества УЗ-сварки заключаются в том, что образование соединения происходит без существенного нагрева заготовок при небольших сжимающих усилиях (0,1 - 2,5 кН). Это позволяет сваривать тонкие и ультратонкие детали, химически активные металлы и сплавы, образующие хрупкие соединения, разнородные металлы, металлы с керамикой.

Разрушение поверхностных пленок УЗ-колебаниями позволяет сваривать плакированные и оксидированные поверхности и металлические изделия, покрытые различными изоляционными пленками. Недостаток сварки — ограниченность свариваемых деталей по толщине и типам материалов.

Сварка взрывом

Сварка взрывом (рис.210) осуществляется за счет совместной пластической деформации поверхностных слоев двух заготовок при их соударении в результате взрыва. Заготовки 3 и 4 перед сваркой

устанавливают под углом друг к другу, причем нижнюю заготовку располагают на жесткой опоре; на верхней заготовке размещают заряд взрывчатого вещества 2 с детонатором 1, который необходим для возбуждения взрыва. Фронт детонационной волны распространяется со скоростью 2000 - 8000 м/с.

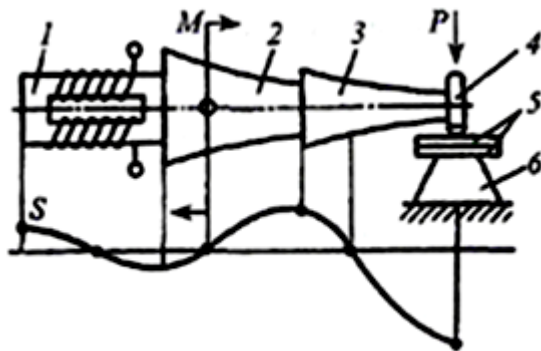


Рис.209. Схема ультразвуковой сварки: 1-

магнитострикционный

преобразователь, 2-

трансформатор, 3- рабочий

инструмент, 4-наконечник

рабочего инструмента, 5-опора.

Газообразные продукты взрыва создают давление, в результате которого верхняя пластина метается на нижнюю со скоростью до 1000 м/с. При соударении между пластинами образуется острый угол γ , из вершины которого направленная струя выдавливает тонкие поверхностные слои, оксидные пленки и другие загрязнения. Поверхности сближаются до расстояния действия межатомных сил сцепления. Происходит схватывание по всей поверхности заготовок. Продолжительность сварки взрывом не превышает нескольких микросекунд. Сварку взрывом используют для плакирования поверхностей сталей металлами и сплавами со специальными свойствами при изготовлении биметалла.

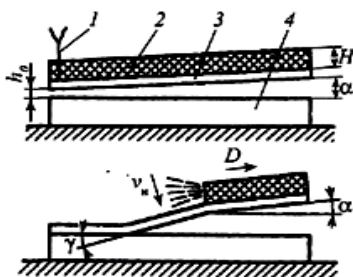


Рис.210. Схема сварки взрывом: 1-детонатор, 2- взрывчатое вещество, 3и 4 - заготовки

Диффузионная сварка

Диффузионную сварку (рис.211.) обычно выполняют в вакууме, однако она возможна в атмосфере инертных газов. Соединение заготовок происходит за счет взаимной диффузии атомов в поверхностных слоях, контактирующих под давлением нагретых материалов.

Свариваемые заготовки 3 с тщательно зачищенными поверхностями загружают в герметичную камеру 2, в которой создают разрежение $133 (10^{-3} - 10^{-5})$ Па. Заготовки нагревают индуктором 4 (или другим способом) до температуры, равной 0,5 - 0,7 температуры плавления более легкоплавкого из двух свариваемых металлов, и прикладывают давление 5-20 МПа, с помощью механического 1, гидравлического или пневматического устройства. Незначительная пластическая деформация приводит к устранению неровностей, обеспечивает контактирование поверхностных атомов и процесс взаимной диффузии атомов. Поскольку процессы диффузии протекают сравнительно медленно, время сварки составляет от нескольких до десятков минут. Диффузионная сварка позволяет соединять однородные и разнородные металлы, керамику, получать соединения материалов, резко отличающихся по своим свойствам, - малопластичных, тугоплавких, не растворимых друг в друге, образующих между собой хрупкие соединения. После сварки не требуется механической обработки для удаления шлака, грата или окалина. Соединения можно получать по плоским и рельефным поверхностям. Изделия получают с высокой точностью размеров.

Способ диффузионной сварки находит широкое применение в радиоэлектронике, приборостроении, а также при изготовлении инструмента и деталей машин, работающих в сложных условиях.

Холодная сварка

Холодная сварка осуществляется за счет значительной пластической деформации в зоне контакта соединяемых материалов без внешнего нагрева. Физическая сущность этого процесса заключается в сближении свариваемых поверхностей до образования металлических связей между ними. Большие усилия сжатия приводят к разрушению оксидных пленок, которые удаляются из зоны контакта при течении металла. К месту контакта при этом выходят совершенно чистые поверхности металла, обеспечивающие прочные соединения.

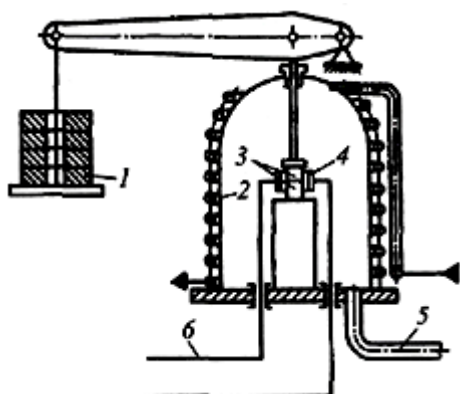


Рис.211. Схема диффузионной сварки: 1- механическое устройство для сжимающего давления, 2- металлическая камера, 3 – свариваемые заготовки, 4-индуктор, 5- ввод к вакуумному насосу, 6- ввод к высокочастотному генератору.

Схемы холодной сварки показаны на рис. 212. Предварительно зачищенные стальной щеткой и обезжиренные поверхности заготовок 1 сдавливают пуансонами 3. Каждый пуансон внедряется в металл на глубину до 70 - 80 % толщины. Направляющие 2 предотвращают выпучивание металла рядом со сварной точкой, холодной сваркой можно выполнять также шовные и стыковые соединения. Свариваемость холодной сваркой

определяется пластичностью металла. Хорошо свариваются сплавы на основе алюминия, меди, никеля, серебра, золота

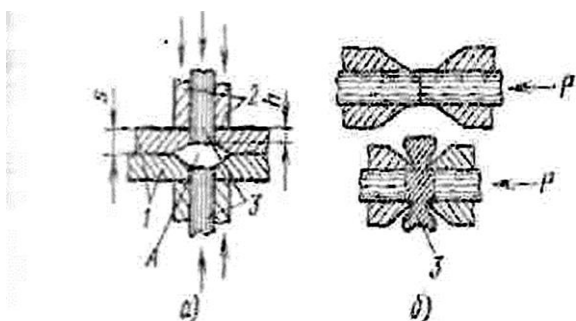


Рис.212. Схемы холодной сварки: а-точечная, б-стыковая,
1 – заготовки, 2- направляющие,
3- пуансоны

К преимуществам этого способа относятся малый расход энергии, незначительное изменение свойств металла в зоне сварного соединения, высокая производительность, возможность автоматизации. К недостаткам способа следует отнести относительно ограниченное количество сплавов, обладающих необходимой пластичностью ($\delta > 30 \%$), а также снижение несущей способности сварных соединений из-за глубоких вмятин на поверхности, оставляемых пуансонами.

Соединение заготовок пайкой

Пайкой называют процесс получения неразъемного соединения заготовок без их расплавления путем смачивания сопрягаемых поверхностей жидким припоем с последующей его кристаллизацией. Проникание жидкого припоя в зазор между соединяемыми поверхностями происходит за счет капиллярных явлений, для протекания которых необходимы определенные условия. Для обеспечения растекания припоя по поверхности заготовок и хорошего смачивания заготовки нагревают, а также обрабатывают флюсами, которые растворяют и удаляют с поверхности оксиды, уменьшают поверхностное натяжение.

По прочности паяное соединение уступает сварному. Однако во многих случаях пайка имеет преимущества перед сваркой. Она экономичнее сварки,

не вызывает существенных изменений химического состава и механических свойств деталей, позволяет соединять разнородные металлы и сплавы. Остаточные деформации при пайке меньше, чем при сварке, что обеспечивает большую точность конструкции.

Список литературы

1. Афонькин М.Г., Магницкая М.В. Производство заготовок в машиностроении. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд – ние, 1987. – 256с.
2. Липницкий А.М., Морозов И.В., Яценко А.А. Технология цветного литья, – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд – ние, 1986. – 224с.
3. Емельянова А.П. Технология литейной формы. – М.: Машиностроение, 1979.-240с.
4. Литьё по выплавляемым моделям/ В.В.Иванов, С.А.Казеннов, Б.Ч.Курчман и др.,; под общ.ред. Я.И.Шкленника, В.А.Озёрова. – М.: Машиностроение, 1984.-408с.
5. Анисимов Н.Ф., Благоев Б.Н. Проектирование литых деталей. – М.: Машиностроение, 1967.-272с.
6. Скарбинский М. Конструирование отливок. М.: Машиностроение, 1961. С.554 – 559 .
7. Левицкий В.С. Машиностроительное черчение и автоматизация выполнения чертежей — М.: Высш.шк.,2002.
8. Материаловедение: Учебник для вузов /Б.Н.Арзамасов, В.И.Макарова, Г.Г.Мухин и др.—М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана,2003.
9. Круглов Е.П., Павлов А.Ф., Шканов И.Н. Основы выбора заготовок и нормирование расхода материалов: Учебное пособие / Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 1998.
10. А.И. Ляпунов. Оборудование термических цехов. Москва. 2002.
11. Е.Н. Каблов. Литые лопатки газовых турбин.-М.: « МИСИС», 2001.

12. Специальные способы литья: Справочник / В.А. Ефимов, Г.А. Анисович и др., -М.: Машиностроение, 1991.
13. В.П. Линц., Л.Ю. Максимов. Кузнечно – прессовое оборудование и его наладка. Москва. «Высшая школа», 1988.
14. Матвеев И.В., Тарский В.Л., Оборудование литейных цехов: -М.: Машиностроение.-1985.
15. Технология металлов и конструкционные материалы. Б.А.Кузьмин, Ю.Е.Абраменко и др. М.: Машиностроение, 1989.
16. И.И.Безручко, М.Е. Зубцов, Л.Н. Балакина. Обработка металлов давлением- М.: Машиностроение, 1967.
17. Ю.А. Степанов, Г.Ф.Баландин, В.А. Рыбкин. Технология литейного производства. Специальные виды литья.-М.:Машиностроение, 1983.
18. Г.П. Долотов, Е.А. Кондаков. Печи и сушила литейного производства.- М.: Машиностроение, 1978.
19. Круглов Е.П., Мишурина О.Ю. Проектирование горячедеформированных заготовок: Методическое указание /Казань: Изд-во Казан. гос. техн.ун-та, 1997.
20. И.Н.Шканов, Е.П.Круглов. Производство горячедеформированных заготовок: Методическое указание /Казань: Изд-во Казан. гос.техн.ун-та, 1997.
21. Бабенко В.А. и др. Объёмная штамповка: Атлас схем и типовых конструкций штампов. – М.: Машиностроение, 1982.
22. Брюханов А.Н. Ковка и объёмная штамповка. Учебное пособие для машиностроительных вузов. – М.: Машиностроение, 1975.
- 23.Вербицкий Е.И., Добровольский И.Г. Курсовое проектирование по горячей штамповке- Высшая школа, 1978

24. Палей М.М. Технология производства приспособлений пресс – форм и штампов. – М.: Машиностроение, 1979.
25. Голенков В.А., Дмитриев А.М. и др. Специальные технологические процессы и оборудование обработки давлением. – М.: Машиностроение, 2004.
26. Семёнов Е.И. и др. Технология и оборудованиековки и объёмной штамповки. – М.: Машиностроение, 1978.
27. Долотов Г.П., Кондаков Е.А. Оборудование термических цехов и лабораторий испытания материалов. Учебное пособие. – М.: Машиностроение, 1988.
28. Потапов И.Н. Технология винтовой прокатки. – М: Металлургия 1990.
29. Шкленник Я.И., Озеров В.А. Литьё по выплавляемым моделям. – М.: Машиностроение, 1984.
30. Владимиров В.М. Изготовление штампов, пресс – форм и приспособлений. – М.: Высшая школа, 1981
31. Беккер М.Б. Литьё под давлением. М.: Высш. шк., 1978.
32. Киселёв А.Г., Мещеряков Р.К., Калинин М.И. Точность обработки, заготовки и припуски в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1976.
33. Анисимов Н.Ф., Благоев Б.Н. Проектирование литых деталей. М.: Машиностроение, 1967.
34. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. Л.: Машиностроение, 1979.
35. Шуляк В. С. Литьё по газифицируемым моделям. – СПб.: НПО «Профессионал», 2007.
36. Дальский А.М. и др. Технология конструкционных материалов – М.: Машиностроение, 2005.

37. Батышев А.И. Кристаллизация металлов и сплавов под давлением. М.: металлургия. 1977.
38. Штамповка жидкого металла. Литьё с кристаллизацией под давлением /Под ред .А.И. Батышева М.:Машиностроение.1979.
39. Кипарисов С.С ., Либенсон Г.А. Порошковая металлургия – М.: 1991.
40. Н.З. Поздняк, А.Н. Крушинский. Проектирование и оборудование цехов порошковой металлургии – Машиностроение. 1965.
41. С.С. Кипарисов, О.В. Падалко. Оборудование предприятий порошковой металлургии – М.: Металлургия.1988.
42. Гини Э.Ч. Технология литейного производства: Специальные виды литья - М.: Издательский центр «Академия»,2008.
43. Ковка и штамповка: справочник. В 4 т. Под общ. ред. Е.Н. Семёнова. – М,: Машиностроение,2010.
44. Ю.С. Елисеев и др. Технология производства авиационных газотурбинных двигателей. М.: Машиностроение, 2003.
45. Технологическое обеспечение проектирования и производства газотурбинных двигателей. Под редакцией Б.Н. Леонова и А.С. Новикова. Рыбинск 2000.
46. ГОСТ 7505-89.«ПОКОВКИ СТАЛЬНЫЕ ШТАМПОВАННЫЕ допуски, припуски и кузнечные напуски».
47. ГОСТ 8479-70 «ПОКОВКИ ИЗ КОНСТРУКЦИОННОЙ УГЛЕРОДИСТОЙ И ЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИОБЩИЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ».
48. ГОСТ 2.308-79 «УКАЗАНИЕ НА ЧЕРТЕЖАХ ДОПУСКОВ ФОРМЫ И РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ».
49. ГОСТ 3.1126-88 « Единая система технологической документации. Правила выполнения графических документов на поковки».

50. ГОСТ 2789-73 «ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ПАРАМЕТРЫ, ХАРАКТЕРИСТИКИ И ОБОЗНАЧЕНИЯ».
51. ГОСТ 4543-71 «ПРОКАТ ИЗ ЛЕГИРОВАННОЙ КОНСТРУКЦИОННОЙ СТАЛИ ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ».
- 52.» ГОСТ 1050-88 СТАЛЬ КАЧЕСТВЕННАЯ И ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННАЯ СОРТОВОЙ И ФАСОННЫЙ ПРОКАТ, КАЛИБРОВАННАЯ СТАЛЬ».
53. «ГОСТ 14959-79 ПРОКАТ ИЗ РЕССОРНО-ПРУЖИННОЙ УГЛЕРОДИСТОЙ И ЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ Технические условия».
- 54.» ГОСТ 2590-2006 Прокат сортовой стальной горячекатаный круглый. Сортамент».
55. Головин С.Я. Особые виды литья: краткие справочные материалы – М .: ЭКОЛИТ, 2011.
56. Чернышов Е.А., Панышин В.И. Литейные технологии. Основы проектирования в примерах и задачах: учебное пособие. – М.: Машиностроение, 2011.
57. Федосов С.А., Оськин И.Э. Основы технологии сварки: учебное пособие. – М.:Машиностроение.2011.
58. Яцык С.И. Производство высокотемпературных литых лопаток авиационных ГТД – М.: Машиностроение.1995.
59. Добромыслов В.А., Жаркова Л.В. Дефектоскопия - 1985 - №1.

Приложение №1

Допуски, припуски и напуски на поковки, штампуемые на молотах,
прессах и горизонтально – ковочных машинах (по ГОСТ 7505 – 89)

Общие положения. Поковки в зависимости от конструктивных характеристик подразделяют:

по точности изготовления: класс точности поковки устанавливают в зависимости от особенностей технологического процесса и оборудования для её изготовления (табл. 1), а также исходя из предъявляемых требований к точности размеров поковки; допускают различные классы точности для различных размеров одной и той же поковки, но в этом случае класс точности определяют по преобладающему числу размеров одного класса точности, предусмотренному чертежом поковки, и согласовывают между изготовителем и потребителем.

1.ВЫБОР КЛАССА ТОЧНОСТИ ПОКОВОК

Основное деформирующее оборудование, технологические процессы	Класс точности				
	T1	T2	T3	T4	T5
Кривошипные горячештамповочные прессы:					
открытая (облойная) штамповка				+	+
закрытая штамповка		+	+		
выдавливание			+	+	
Горизонтально-ковочные машины				+	+
Прессы винтовые, гидравлические				+	+
Горячештамповочные автоматы		+	+		
Штамповочные молоты				+	+
Калибровка объемная (горячая и холодная)	+	+			
Прецизионная штамповка	+				

Примечания: 1. Прецизионная штамповка-способ штамповки, обеспечивающий устанавливаемую точность и шероховатость одной или нескольких функциональных поверхностей поковки, которые не подвергают окончательной обработке.

2. При пламенном нагреве заготовок допускается снижение точности для классов Т2-Т4 на один класс.

3. При холодной или горячей плоскостной калибровке точность принимают на один класс выше.

по группам стали: группа М1 — поковки из стали с массовой долей углерода до 0,35 % включительно и суммарной массовой долей легирующих элементов до 2,0 % включительно; группа М2 — поковки из стали с массовой долей углерода свыше 0,35 до 0,65 % включительно или суммарной массовой долей легирующих элементов свыше 2,0 до 5,0 % включительно; группа М3 — поковки из стали с массовой долей углерода свыше 0,65 % или суммарной массовой долей легирующих элементов свыше 5% (при назначении группы стали определяющим является среднее массовое содержание углерода и легирующих элементов – Si, Mn, Cr, Ni, Mo, W, V);

по конфигурации поверхности разъёма используемого штампа: с плоской поверхностью – П, с симметрично изогнутой – И_с, и несимметрично изогнутой – И_н;

по степени сложности: первой степени сложности – С1, второй – С2, третьей – С3, четвёртой – С4.

Степень сложности является одной из конструктивных характеристик формы поковки, качественно оценивающей её, и используется при назначении припусков и допусков.

Степень сложности определяют путем вычисления отношения массы (объема) G_n поковки к массе (объему) G_{ϕ} геометрической фигуры, в которую вписывается форма поковки. Геометрическая фигура может быть шаром, параллелепипедом, цилиндром с перпендикулярными к его оси торцами или прямой правильной призмой (рис. 1).

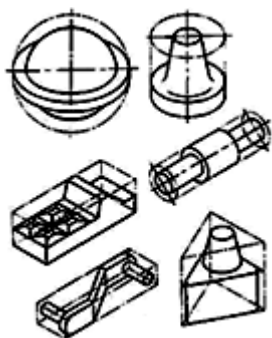


Рис. 1 Геометрические фигуры, в которые могут быть вписаны поковки.

При вычислении отношения $C = G_{\text{п}}/G_{\text{ф}}$, принимают ту из геометрических фигур, масса (объем) которой наименьший.

При определении размеров описывающей поковку геометрической фигуры допускается исходить из увеличения в 1,05 раза габаритных линейных размеров детали, определяющих положение ее обработанных поверхностей.

Степеням сложности поковок соответствуют следующие численные значения отношения $G_{\text{п}}/G_{\text{ф}}$:

- C1 - св. 0,63
- C2 » 0,32 до 0,63 включительно
- C3 » 0,16 » 0,32 »
- C4 » 0,16

Степень сложности C4 устанавливается для поковок с тонкими элементами, например, в виде диска, фланца, кольца (рис.2.), в том числе с пробиваемыми перемычками, а также для поковок: тонким стержневым элементом, если отношения t/D ; t/L ; $t/(D-d)$ не превышают 0,20 и t не более 25 мм (где D - наибольший размер тонкого элемента, t - толщина тонкого элемента, L - длина тонкого элемента, d - диаметр элемента поковки, толщина которого превышает величину t).

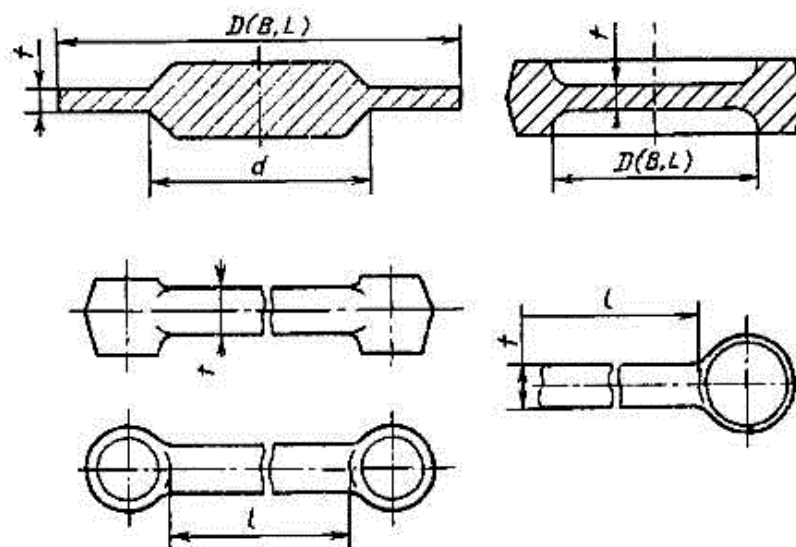


Рис.2. Поковки с тонкими элементами

Для поковок, полученных на горизонтально-ковочных машинах, допускается определять степень сложности формы в зависимости от числа переходов:

C1 - не более чем при двух переходах;

C2 - при трех переходах;

C3 - при четырех переходах;

C4 - более чем при четырех переходах или при изготовлении на двух ковочных машинах.

Для определения припусков, допусков и напусков по чертежу детали выполняют предварительный расчет массы поковки. Расчетную массу поковки определяют как массу подвергаемых деформации поковки или её частей. В расчетную массу поковки не входят масса облоя и перемычки пробитого отверстия.

При высадке поковок на горизонтально-ковочных машинах или при местной штамповке на молотах и прессах масса поковки включает массу части стержня, зажатого штампами.

Расчетную массу поковки определяют исходя из ее номинальных размеров.

Ориентировочно расчетную поковки ($M_{п.р.}$) вычисляют отношением

$$M_{п.р.} = M_d \times K_p,$$

где $M_{п.р.}$ - расчётная масса поковки, кг; M_d – масса детали, кг;

K_p - расчётный коэффициент, устанавливаемый в соответствии с таб. 2.

Определение исходного индекса

Исходный индекс - условный показатель, учитывающий в обобщённом виде сумму конструктивных характеристик (класс точности, группу стали, степень сложности) и массу поковки.

Исходный индекс для последующего назначения основных припусков, допусков и допускаемых отклонений определяется в зависимости от массы, марки стали, степени сложности и класса точности поковки по (табл. 3).

2. КОЭФФИЦИЕНТ (K_p) ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОРИЕНТИРОВОЧНОЙ РАСЧЕТНОЙ МАССЫ ПОКОВКИ

Группа	Характеристика детали	Типовые представители	K_p
1	Удлиненной формы		
1.1	С прямой осью	Валы, оси, цапфы, шатуны	1,3- 1,6
1.2	С изогнутой осью	Рычаги, сошки рулевого управления	1,1 - 1,4
2	Круглые и многогранные в плане		
2.1	Круглые	Шестерни, ступицы, фланцы	1,5- 1,8
2.2	Квадратные, прямоугольные, многогранные	Фланцы, ступицы, гайки	1,3- 1,7
2.3	С отрезками	Крестовины, вилки	1,4- 1,6
3	Комбинированной (сочетающей элементы групп 1 и 2-й)	Кулаки поворотные, коленчатые валы	1,3- 1,8

Группа	Характеристика детали	Типовые представители	K_p
4	конфигурации С большим объемом необрабатываемых поверхностей	Балки передних осей, рычаги переключения коробок передач, буксирные крюки	1,1 - 1,3
5	С отверстиями, углублениями, поднутрениями, не оформляемыми в поковке при штамповке	Полые валы, фланцы, блоки шестерен	1,8 - 2,2

Для определения исходного индекса по табл. 3 в графе «Масса поковки» находят соответствующую данной массе строку и, смещаясь по горизонтали вправо или по утолщенным наклонным линиям вправо вниз до пересечения с вертикальными линиями, соответствующими заданным значениям группы стали М, степени сложности С, класса точности Т,

(от 3. устанавливают исходный индекс 1 до 23). Значения исходного индекса

Масса поковки, кг	Группа стали			Степень сложности поковки				Класс точности поковки					Исходный индекс
	M1	M2	M3	C1	C2	C3	C4	T1	T2	T3	T4	T5	
До 0,5 включ.													1
СВ 0,5 до 1,0 "													2
" 1,0 " 1,8 "													3
" 1,8 " 3,2 "													4
" 3,2 " 5,6 "													5
" 5,6 " 10,0 "													6
" 10,0 " 20,0 "													7
" 20,0 " 50,0 "													8
" 50,0 " 125,0 "													9
" 125,0 " 250,0 "													10
													11
													12
													13
													14
													15
													16
													17
													18
													19
													20
													21
													22
													23

Примеры определения исходного индекса

Пример 1 Поковка массой 0,5 кг, группа стали М1, степень сложности С1,
2-й класс точности Т2.

Исходный индекс — 3.

Пример 2. Поковка массой 1,5 кг, группа стали М3, степень сложности С2,
1-й класс точности Т1.

Исходный индекс — 6.

Масса поковки, кг	Группа стали			Степень сложности поковки				Класс точности поковки					Исходный индекс
	M1	M2	M3	C1	C2	C3	C4	T1	T2	T3	T4	T5	
До 0,5 включ.													1
св. 0,5 до 1,0 "													2
" 1,0 " 1,8 " х													3
" 1,8 " 3,2 "													4
" 3,2 " 5,6 "													5
" 5,6 " 10,0 "													6
													7

Рис. 3. Примеры определения исходного индекса поковки

Общие требования.

Чертеж поковки должен быть выполнен в соответствии с ГОСТ 3.1126-88. На чертеже поковки должны быть указаны класс точности, группа стали, степень сложности приведены технические требования. Технические требования к поковке устанавливают по ГОСТ 8479-70 (в ред. 1986г.)

Линейные размеры на чертеже поковки проставляют от исходных баз механической обработки (рис. 4), согласованных между изготовителем и потребителем.

Допускаемые отклонения формы и расположения поверхностей должны быть проставлены на чертеже поковки в соответствии с требованиями ГОСТ 2.308-79 (в ред. 1984 г.). Допускаемые отклонения радиуса закругления и штамповочного уклона могут быть указаны в чертеже поковки по требованию заказчика.

Припуски назначают на все обрабатываемые поверхности, допуски - на все номинальные размеры поковки.

Для 1 -го класса точности Т1 допуски устанавливают на те функциональные поверхности, которые не подвергаются окончательной обработке.

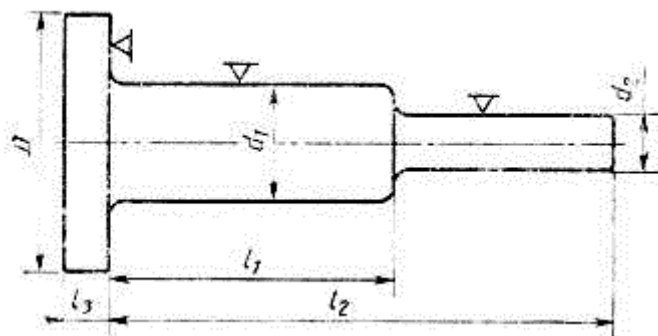


Рис.4. Пример простановки размеров на чертеже поковки от баз, используемых при обработке резанием.

Назначение припусков. *Припуск* — предусмотренное увеличение размера поковки по сравнению с номинальным размером детали (рис. 5), обеспечивающее после обработки резанием требуемые, проставленные на чертеже размеры детали и шероховатость её поверхности.

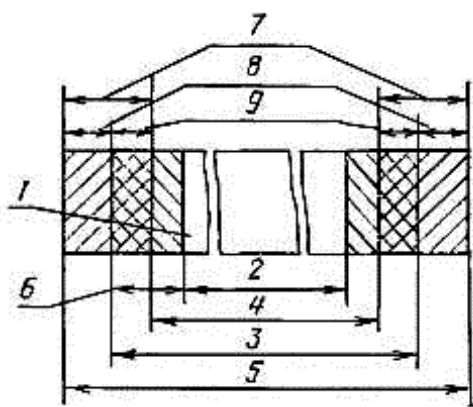


Рис. 5. 1 - деталь; 2 - размер детали; 3 - номинальный размер поковки; 4- наименьший предельный размер поковки; 5 - наибольший предельный размер поковки; 6 - величина припуска; 7 - допуск (поле допуска); 8 - положительная величина допускаемого отклонения; 9 отрицательная величина допускаемого отклонения.

Припуск на механическую обработку включает *основной*, а также *дополнительные* припуски, учитывающие отклонения формы поковки.

Величины припусков следует назначать на одну сторону номинального размера поковки. При назначении припусков разрешается округлять линейные размеры поковки с точностью до 0,5 мм.

При назначении величины припуска на поверхность, положение которой определяется двумя и более размерами поковки, устанавливают наибольшее значение припуска для данной поверхности.

Основные припуски на механическую обработку поковок в зависимости от исходного индекса, линейных размеров и шероховатости поверхности детали по ГОСТ 2789-73 (в ред. 1987 г.) устанавливают по табл. 4. Припуски на толщину поковки, подвергаемой холодной или горячей калибровке, устанавливают согласно табл. 5. Ширину, длину и диаметр поковки или ее элементов, изменяющихся при калибровке, устанавливают по согласованию между изготовителем и потребителем.

Дополнительные припуски на механическую обработку, учитывающие смещение поковки (табл. 6), изогнутость и отклонения от плоскостности и прямолинейности (табл. 7), межцентрового и межосевого расстояний (табл.8), угловых размеров, определяют исходя из формы поковки, ее размеров или массы, технологии изготовления и класса точности. Величину дополнительного припуска, учитывающего отклонения угловых размеров, устанавливают по согласованию между изготовителем и потребителем.

При изготовлении поковок по классу точности Т5 с применением пламенного нагрева заготовок допускается увеличение припуска на обработку:

Масса поковок, кг	до 3,2кг	св. 3,2 до 10,0	св.10.0
Припуск, мм	до 0,5	до 0,8	до 1,0

4. Основные припуски, мм, на механическую обработку (на сторону)

Исходный индекс	Толщина детали, мм																										
	До 25			25-40			40-63			63-100			100-160			160-250			Св.250								
	Длина , ширина, диаметр, глубина и высота детали, мм																										
	До 40			40-100			100-160			160-250			250-400			400-630			630-1000			1000-1600			1600-2500		
	Шероховатость поверхности, мкм																										
100 12,5	10 1,6	1,25	100 12,5	10 1,6	1,25	100 12,5	10 1,6	1,25	100 12,5	10 1,6	1,25	100 12,5	10 1,6	1,25	100 12,5	10 1,6	1,25	100 12,5	10 1,6	1,25	100 12,5	10 1,6	1,25	100 12,5	10 1,6	1,25	
1	0,4	0,6	0,7	0,4	0,6	0,7	0,5	0,6	0,7	0,6	0,8	0,9	0,6	0,8	0,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2	0,4	0,6	0,7	0,5	0,6	0,7	0,6	0,8	0,9	0,6	0,8	0,9	0,7	0,9	1,0	0,8	1,0	1,1	-	-	-	-	-	-	-	-	
3	0,5	0,6	0,7	0,6	0,8	0,9	0,6	0,8	0,9	0,7	0,9	1,0	0,8	1,0	1,1	0,9	1,1	1,2	1,0	1,3	1,4	-	-	-	-	-	
4	0,6	0,8	0,9	0,6	0,8	0,9	0,7	0,9	1,0	0,8	1,0	1,1	0,9	1,1	1,2	1,1	1,3	1,4	1,1	1,4	1,5	-	-	-	-	-	
5	0,6	0,8	0,9	0,7	0,9	1,0	0,8	1,0	1,1	0,9	1,1	1,2	1,0	1,3	1,4	1,1	1,4	1,5	1,2	1,5	1,6	1,3	1,6	1,8	-	-	
6	0,7	0,9	1,0	0,8	1,0	1,1	0,9	1,1	1,2	1,0	1,3	1,4	1,1	1,4	1,5	1,2	1,5	1,6	1,3	1,6	1,8	1,4	1,7	1,9	1,5	1,8	
7	0,8	1,0	1,1	0,9	1,1	1,2	1,0	1,3	1,4	1,1	1,4	1,5	1,2	1,5	1,6	1,3	1,6	1,8	1,4	1,7	1,9	1,5	1,8	2,0	1,7	2,0	
8	0,9	1,1	1,2	1,0	1,3	1,4	1,1	1,4	1,5	1,2	1,5	1,6	1,3	1,6	1,8	1,4	1,7	1,9	1,5	1,8	2,0	1,7	2,0	2,2	1,9	2,3	
9	1,0	1,3	1,4	1,1	1,4	1,5	1,2	1,5	1,6	1,3	1,6	1,8	1,4	1,7	1,9	1,5	1,8	2,0	1,7	2,0	2,2	1,9	2,3	2,5	2,0	2,5	
10	1,1	1,4	1,5	1,2	1,5	1,6	1,3	1,6	1,8	1,4	1,7	1,9	1,5	1,8	2,0	1,7	2,0	2,2	1,9	2,3	2,5	2,0	2,5	2,7	2,2	2,7	
11	1,2	1,5	1,6	1,3	1,6	1,8	1,4	1,7	1,9	1,5	1,8	2,0	1,7	2,0	2,2	1,9	2,3	2,5	2,0	2,5	2,7	2,2	2,7	3,0	2,4	3,0	
12	1,3	1,6	1,8	1,4	1,7	1,9	1,5	1,8	2,0	1,7	2,0	2,2	1,9	2,3	2,5	2,0	2,5	2,7	2,2	2,7	3,0	2,4	3,0	3,3	2,6	3,2	
13	1,4	1,7	1,9	1,5	1,8	2,0	1,7	2,0	2,2	1,9	2,3	2,5	2,0	2,5	2,7	2,2	2,7	3,0	2,4	3,0	3,3	2,6	3,2	3,5	2,8	3,5	
14	1,5	1,8	2,0	1,7	2,0	2,2	1,9	2,3	2,5	2,0	2,5	2,7	2,2	2,7	3,0	2,4	3,0	3,3	2,6	3,2	3,5	2,8	3,5	3,8	3,0	3,8	
15	1,7	2,0	2,2	1,9	2,3	2,5	2,0	2,5	2,7	2,2	2,7	3,0	2,4	3,0	3,3	2,6	3,2	3,5	2,8	3,5	3,8	3,0	3,8	4,1	3,4	4,3	
16	1,9	2,3	2,5	2,0	2,5	2,7	2,2	2,7	3,0	2,4	3,0	3,3	2,6	3,2	3,5	2,8	3,5	3,8	3,0	3,8	4,1	3,4	4,3	4,7	3,7	4,7	
17	2,0	2,5	2,7	2,2	2,7	3,0	2,4	3,0	3,3	2,6	3,2	3,5	2,8	3,5	3,8	3,0	3,8	4,1	3,4	4,3	4,7	3,7	4,7	5,1	4,1	5,1	
18	2,2	2,7	3,0	2,4	3,0	3,3	2,6	3,2	3,5	2,8	3,5	3,8	3,0	3,8	4,1	3,4	4,3	4,7	3,7	4,7	5,1	4,1	5,1	5,6	4,5	5,7	
19	2,4	3,0	3,3	2,6	3,2	3,5	2,8	3,5	3,8	3,0	3,8	4,1	3,4	4,3	4,7	3,7	4,7	5,1	4,1	5,1	5,6	4,5	5,7	6,2	4,9	6,2	
20	2,6	3,2	3,5	2,8	3,5	3,8	3,0	3,8	4,1	3,4	4,3	4,7	3,7	4,7	5,1	4,1	5,1	5,6	4,5	5,7	6,2	4,9	6,2	6,8	5,4	6,8	
21	2,8	3,5	3,8	3,0	3,8	4,1	3,4	4,3	4,7	3,7	4,7	5,1	4,1	5,1	5,6	4,5	5,7	6,2	4,9	6,2	6,8	5,4	6,8	7,5	5,8	7,4	
22	3,0	3,8	4,1	3,4	4,3	4,7	3,7	4,7	5,1	4,1	5,1	5,6	4,5	5,7	6,2	4,9	6,2	6,8	5,4	6,8	7,5	5,8	7,4	8,1	6,2	7,9	
23	3,4	4,3	4,7	3,7	4,7	5,1	4,1	5,1	5,6	4,5	5,7	6,2	4,9	6,2	6,8	5,4	6,8	7,5	5,8	7,4	8,1	6,2	7,9	8,7	7,1	9,1	
																										0	

5. ДОПУСКИ И ПРИПУСКИ НА ТОЛЩИНУ ПОКОВОК, ПОДВЕРГАЕМЫХ ХОЛОДНОЙ И ГОРЯЧЕЙ КАЛИБРОВКЕ

Площадь поверхности, подвергаемой калибровке, см ²	Припуск, мм	Поле допуска при K*, мм	
		до 0,5 включ.	св. 0,5
До 2,5 включ.	0,25	0,32	0,26
Св. 2,5»6,3»	0,30	0,36	0,32
» 6,3» 10,0»	0,36	0,40	0,36
»10,0» 16,0»	0,40	0,44	0,40
»16,0 » 25,0 »	0,50	0,50	0,44
»25,0 » 40,0 »	0,60	0,60	0,50
»40,0 » 80,0 »	0,70	0,80	0,60

Примечания: 1. Допуск на калибровку — это отклонение размера между калиброванными плоскостями в зависимости от площади, подвергаемой калибровке, и коэффициента K , определяемого отношением толщины (расстояние между калиброванными плоскостями) к ширине поверхности, подвергаемой калибровке поковки или её элемента.

2 При одновременной калибровке нескольких плоскостей поковки площадь поверхности, подвергаемой калибровке, определяется как их сумма. Допуски и допускаемые отклонения устанавливаются на все калиброванные элементы по наименьшей величине K .

3. При калибровке в холодном состоянии допускаемые отклонения принимают равными половине поля допуска.

4. При горячей калибровке припуски и допуски на толщину поковок могут быть увеличены до 1,5 раз.

6. Припуски на смещение по поверхности разъема штампов.

Масса поковки, кг	Припуска для классов точности, мм							
	Плоская поверхность разъема (П)							
	T1	T2	T3	T4	T5			
			Симметрично изогнутая поверхность разъема (И _с)					
			T1	T2	T3	T4	T5	
			Несимметрично изогнутая поверхность разъема (И _н)					
			T1	T2	T3	T4	T5	
До 0,5 включ. Св. 0,5 до 1,0 » » 1,0 » 1,8 » » 1,8 » 3,2 »	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3
			0,2					
			0,2		0,3		0,4	
		0,2		0,3		0,3		0,5

Масса поковки, кг	Припуска для классов точности, мм							
	Плоская поверхность разъема (П)							
	T1	T2	T3	T4	T5			
			Симметрично изогнутая поверхность разъема (И _с)					
			T1	T2	T3	T4	T5	
			Несимметрично изогнутая поверхность разъема (И _н)					
			T1	T2	T3	T4	T5	
» 3,2 » 5,6 »	0,2	0,3	0,3			0,4	0,5	0,6
» 5,6 » 10,0 »					0,4	0,5	0,6	0,7
» 10,0 » 20,0 »	0,3		0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	
» 20,0 » 50,0 »			0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,2
» 50,0 » 125,0 »	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,2	1,6	
» 125,0 » 250,0 »		0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,2	2,0

Кузнечные напуски.

Напуски — увеличение припуска в целях упрощения конфигурации поковки из-за невозможности или нерентабельности её изготовления с контуром, соответствующим контуру детали.

Кузнечные напуски могут быть образованы на поковке штамповочными уклонами, радиусами закругления внутренних углов, непробиваемой перемычкой в отверстиях и невыполнимыми в штамповочных операциях поднутрениями и полостями.

7. Припуски на изогнутость и отклонения от плоскостности и прямолинейности, мм

Наибольший размер поковки, мм	Припуски для классов точности, мм
-------------------------------	-----------------------------------

	T1	T2	T3	T4	T5
До 100 включ.	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4
Св. 100» 160»	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5
» 160 » 250»	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
» 250 » 400»	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8
» 400 » 630»	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0
» 630 » 1000»	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2
» 1000 » 1600»	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6
» 1600 » 2500»	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0

8. Припуски на отклонения межосевого расстояния.

Расстояние между центрами, осями,мм	Припуски для классов точности, мм				
	T1	T2	T3	T4	T5
До 60 включ.	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3
Св. 60 » 100 »	0,1	0,2	0,2	0,3	0,5
» 100 » 160 »	0,2	0,2	0,3	0,5	0,8
» 160 » 250 »	0,2	0,3	0,5	0,8	1,2
» 250 » 400 »	0,3	0,5	0,8	1,2	1,6
» 400 » 630 »	0,5	0,8	1,2	1,6	2,0
» 630 » 1000 »	0,8	1,2	1,6	2,0	2,5
» 1000 » 1600»	1,2	1,6	2,0	2,5	4,0
» 1600 » 2500»	1,6	2,0	2,5	4,0	6,0

Штамповочные уклоны облегчают извлечение поковки из ручья штампа. Их назначают на все поверхности детали, располагающиеся параллельно движению инструмента. При изготовлении поковок на горизонтально-ковочных машинах штамповочные уклоны назначают на все замкнутые штампом поверхности, располагающиеся перпендикулярно движению главного ползуна, на поверхности выступов и углублений,

расположенных параллельно к движению ползуна и выполняемые пуансонами, а также на поверхности сквозных отверстий и глубоких впадин, выполняемых формовочными или прошивными пуансонами.

Штамповочные уклоны (как и все виды напусков) приводят к увеличению массы поковок, а следовательно, к увеличению расхода металла и затрат на обработку резанием. Штамповочные уклоны не должны превышать величин, приведенных в табл. 9.

9. Штамповочные уклоны

Оборудование	Штамповочные уклоны, град	
	на наружной поверхности	на внутренней поверхности
Штамповочные молоты, прессы без выталкивателей	7	10
Прессы с выталкивателями, горизонтально-ковочные машины	5	7
Горячештамповочные автоматы	1	2

Примечание: 1. На поверхностях отверстий в поковках, изготовленных на горизонтально-ковочных машинах, штамповочный уклон не должен превышать 3° .

2. У изготовленных на штамповочных молотах и прессах без выталкивателей поковок, имеющих элементы в виде ребра, выступа, реборды с отношением их высоты к ширине более 2,5, допускается штамповочный уклон до 10° на внешней поверхности и до 12° на внутренней поверхности.

Минимальные **радиусы закруглений** наружных углов поковок в зависимости от глубины полости ручья штампа устанавливают по табл. 10.

Радиусы внутренних сопряжений поковки и соответствующие им радиусы выступов ручьев штампа должны быть в 2 – 3 раза больше радиусов закруглений наружных углов поковки. Величину радиуса закругления

внутренних углов устанавливают по согласованию между изготовителем и потребителем.

Впадины и углубления в поковке, когда их оси параллельны направлению движения одной из подвижных частей штампа, а диаметр или наименьший поперечный размер не менее 30 мм, выполняют глубиной до 0,8 их диаметра или наименьшего поперечного размера — при изготовлении на молотах и прессах и до трех диаметров — при изготовлении на горизонтально-ковочных машинах

В поковке выполняют сквозные отверстия при двухстороннем углублении, если при её изготовлении их оси параллельны направлению движения одной из подвижных частей штампа, диаметр сквозного отверстия не менее 30 мм, а толщина поковки в месте пробивки— не более диаметра пробиваемого отверстия.

10. Минимальная величина радиусов закруглений наружных углов поковок

Масса поковки, кг	Минимальная величина радиусов закруглений, мм, при глубине полости ручья штампа, мм			
	до 10 включ.	10 - 25	25 - 50	св. 50
До 1,0 включ.	1,0	1,6	2,0	3,0
Св. 1,0» 6,3»	1,6	2,0	2,5	3,6
» 6,3 » 16,0 »	2,0	2,5	3,0	4,0
» 16,0 » 40,0 »	2,5	3,0	4,0	5,0
» 40,0 » 100,0»	3,0	4,0	5,0	7,0
» 100,0» 250,0»	4,0	5,0	6,0	8,

Назначение допусков. *Допуск* — отклонение размера от номинального (абсолютная величина разности между наибольшим и наименьшим предельными размерами), обусловленное неточностью изготовления,

недоштамповкой, износом ручья и т.п.

Допуск зависит от массы поковки, степени ее сложности, группы стали, класса точности и размеров поковки. Допуски и допускаемые отклонения линейных размеров поковок назначают в зависимости от исходного индекса и размеров поковки по табл. 11 и распространяют на все внешние и внутренние размеры поковок.

Допуски по длине и ширине поковки относятся к размерам тех её поверхностей, которые расположены с одной стороны поверхности разъема штампа, т.е. в одной ее части, и охватывают все отклонения.

Допуски размеров и допускаемые отклонения размеров толщин T , t (рис. 6), учитывающие недоштамповку, устанавливают по наибольшей толщине поковки и распространяют на все размеры её толщины.

Допуски на внутренние размеры поковок $((d, h_1))$ принимают с обратными знаками, что связано с уменьшением выступов в ручье штампа вследствие их износа.

Допуски и допускаемые отклонения размеров, отражающие односторонний износ штампов, равны 0,5 значений допусков, приведённых в табл. 11.

Допуски на свободные размеры принимают равными 1,5 допуска соответствующего размера поковки с равными допускаемыми отклонениями.

Для поковок, у которых стержень выходит за пределы штампа и не подвергается деформации, допуск длины стержня принимают равным:

Класс точности	T1	T2	T3	T4	T5
Допуск, мм	До 2	До 3	До 4	До 5	До 6

11. Допуски и допускаемые отклонения линейных размеров поковок

Исходный индекс	Наибольшая толщина поковки																	
	до 40		40 - 63		63 - 100		100 - 160		160 - 250		св. 250							
	Длина, ширина, диаметр, глубина и высота поковки																	
	до 40		40 - 100		100 - 160		160 - 250		250 - 400		400 - 630		630 - 1080		1000-1600		1600-2500	
1	0,3	+0,2 -0,1	0,4	+0,3 -0,1	0,5	+0,3 -0,2	0,6	+0,4 -0,2	0,7	+0,5 -0,2	-	-	-	-	-	-	-	-
2	0,4	+0,3 -0,1	0,5	+0,3 -0,2	0,5	+0,4 -0,2	0,7	+0,5 -0,2	0,8	+0,5 -0,3	0,9	+0,6 -0,3	-	-	-	-	-	-
3	0,5	+0,3 -0,2	0,6	+0,4 -0,2	0,7	+0,5 -0,2	0,8	+0,5 -0,3	0,9	+0,6 -0,3	1,0	+0,7 -0,3	1,2	+0,8 -0,4	-	-	-	-
4	0,6	+0,4 -0,2	0,7	+0,5 -0,2	0,8	+0,5 -0,3	0,9	+0,6 -0,3	1,0	+0,7 -0,3	1,2	+0,8 -0,4	1,4	+0,9 -0,5	-	-	-	-
5	0,7	+0,5 -0,2	0,8	+0,5 -0,3	0,9	+0,6 -0,3	1,0	+0,7 -0,3	1,2	+0,8 -0,4	1,4	+0,9 -0,5	1,6	+1,1 -0,5	2,0	+1,3 -0,7	-	-
6	0,8	+0,5 -0,3	0,9	+0,6 -0,3	1,0	+0,7 -0,3	1,2	+0,8 -0,4	1,4	+0,9 -0,5	1,6	+1,1 -0,5	2,0	+1,3 -0,7	2,2	+1,4 -0,8	2,5	+1,6 -0,9

Продолжение таблицы

7	0,9	+0,6 -0,3	1,0	+0,7 -0,3	1,2	+0,8 -0,4	1,4	+0,9 -0,5	1,6	+1,1 -0,5	2,0	+1,3 -0,7	2,2	+1,4 -0,8	2,5	+1,6 -0,9	2,8 -1,0
8	1,0	+0,7 -0,3	1,2	+0,8 -0,4	1,4	+0,9 -0,5	1,6	+1,1 -0,5	2,0	+1,3 -0,7	2,2	+1,4 -0,8	2,5	+1,6 -0,9	2,8	+1,8 -1,0	3,2 -1,1
9	1,2	+0,8 -0,4	1,4	+0,9 -0,5	1,6	+1,1 -0,5	2,0	+1,3 -0,7	2,2	+1,4 -0,8	2,5	+1,6 -0,9	2,8	+1,8 -1,0	3,2	+2,1 -1,1	3,6 -1,2
10	1,4	+0,9 -0,5	1,6	+1,1 -0,5	2,0	+1,3 -0,7	2,2	+1,4 -0,8	2,5	+1,6 -0,9	2,8	+1,8 -1,0	3,2	+2,1 -1,1	3,6	+2,4 -1,2	4,0 -1,3
11	1,6	+1,1 -0,5	2,0	+1,3 -0,7	2,2	+1,4 -0,8	2,5	+1,6 -0,9	2,8	+1,8 -1,0	3,2	+2,1 -1,1	3,6	+2,4 -1,2	4,0	+2,7 -1,3	4,5 -1,5
12	2,0	+1,3 -0,7	2,2	+1,4 -0,8	2,5	+1,6 -0,9	2,8	+1,8 -1,0	3,2	+2,1 -1,1	3,6	+2,4 -1,2	4,0	+2,7 -1,3	4,5	+3,0 -1,5	5,0 -1,7
13	2,2	+1,4 -0,8	2,5	+1,6 -0,9	2,8	+1,8 -1,0	3,2	+2,1 -1,1	3,6	+2,4 -1,2	4,0	+2,7 -1,3	4,5	+3,0 -1,5	5,0	+3,3 -1,7	5,6 -1,9

14	2,5	+1,6 -0,9	2,8	+1,8 -1,0	3,2	+2,1 -1,1	3,6	+2,4 -1,2	4,0	+2,7 -1,3	4,5	+3,0 -1,5	5,0	+3,3 -1,7	5,6	+3,7 -1,9	6,3	+4,2 -2,1
15	2,8	+1,8 -1,0	3,2	+2,1 -1,1	3,6	+2,4 -1,2	4,0	+2,7 -1,3	4,5	+3,0 -1,5	5,0	+3,3 -1,7	5,6	+3,7 -1,9	6,3	+4,2 -2,1	7,1	+4,7 -2,4
16	3,2	+2,1 -1,1	3,6	+2,4 -1,2	4,0	+2,7 -1,3	4,5	+3,0 -1,5	5,0	+3,3 -1,7	5,6	+3,7 -1,9	6,3	+4,2 -2,1	7,1	+4,7 -2,4	8,0	+5,3 -2,7
17	3,6	+2,4 -1,2	4,0	+2,7 -1,3	4,5	+3,0 -1,5	5,0	+3,3 -1,7	5,6	+3,7 -1,9	6,3	+4,2 -2,1	7,1	+4,7 -2,4	8,0	+5,3 -2,7	9,0	+6,0 -3,0
18	4,0	+2,7 -1,3	4,5	+3,0 -1,5	5,0	+3,3 -1,7	5,6	+3,7 -1,9	6,3	+4,2 -2,1	7,1	+4,7 -2,4	8,0	+5,3 -2,7	9,0	+6,0 -3,0	10,0	+6,7 -3,3
19	4,5	+3,0 -1,5	5,0	+3,3 -1,7	5,6	+3,7 -1,9	6,3	+4,2 -2,1	7,1	+4,7 -2,4	8,0	+5,3 -2,7	9,0	+6,0 -3,0	10,0	+6,7 -3,3	11,0	+7,4 -3,6
20	5,0	+3,3 -1,7	5,6	+3,7 -1,0	6,3	+4,2 -2,1	7,1	+4,7 -2,4	8,0	+5,3 -2,7	9,0	+6,0 -3,0	10,0	+6,7 -3,3	11,0	+7,4 -3,6	12,0	+8,0 -4,0
21	5,6	+3,7 -1,9	6,3	+4,2 -2,1	7,1	+4,7 -2,4	8,0	+5,3 -2,7	9,0	+6,0 -3,0	10,0	+6,7 -3,3	11,0	+7,4 -3,6	12,0	+8,0 -4,0	13,0	+8,6 -4,4
22	6,3	+4,2 -2,1	7,1	+4,7 -2,4	8,0	+5,3 -2,7	9,0	+6,0 -3,0	10,0	+6,7 -3,3	11,0	+7,4 -3,6	12,0	+8,0 -4,0	13,0	+8,6 -4,4	14,0	+9,2 -4,8
23	7,1	+4,7 -2,4	8,0	+5,3 -2,7	9,0	+6,0 -3,0	10,0	+6,7 -3,3	11,0	+7,4 -3,6	12,0	+8,0 -4,0	13,0	+8,6 -4,4	14,0	+9,2 -4,8	16,0	+10,0 -6,0

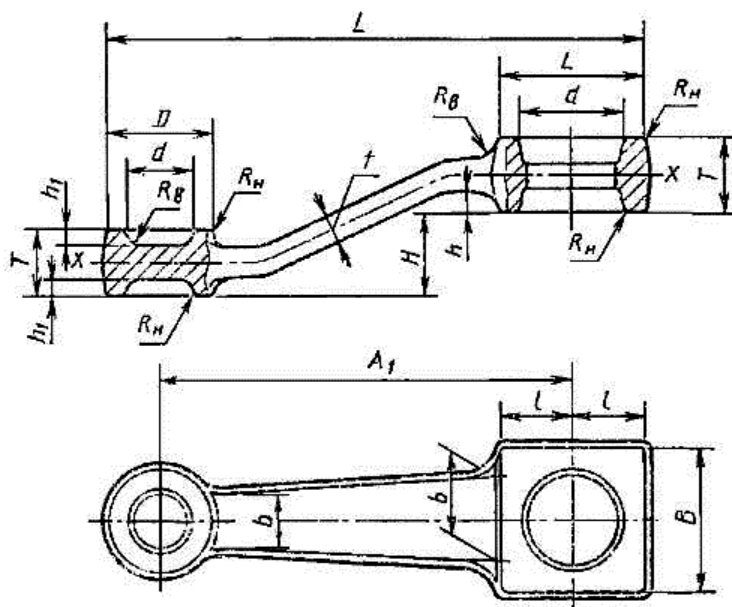


Рис. 6. Внешние и внутренние размеры поковки:

L, l — длина; B, b — ширина; D, d — диаметр; H, h — высота; h_I — глубина впадины; R_e, R_n радиусы закруглений внутреннего и наружного угла поковки; T, t — толщина поковки

Величину допуска длины недеформированного стержня у поковок, полученных, двухсторонней высадкой, удваивают. Для поковок, полученных, высадкой с последующей штамповкой и высадкой проката мерной длины, допуск длины стержня устанавливают по согласованию между изготовителем и потребителем. В величину допуска не входят отклонения по смятию и не перпендикулярности торцов стержня.

Для участка стержня, зажатого в штампе или в клещах (при штамповке от заднего упора), допускают увеличение диаметра стержня на величину удвоенного положительного допускаемого отклонения по табл. 11 на расстоянии до двух диаметров от головки поковки и полутора диаметров от торца стержня.

Допускаемые отклонения размеров сечения стержня на недеформируемых участках поковки определяют по соответствующим стандартам на сортамент проката с увеличением отрицательного допускаемого отклонения не более чем на 0,5 мм.

Допускаемое **отклонение торца стержня** поковки после отрезки заготовок из прутка, не подвергаемого деформации при штамповке (рис. 7), определяют по табл. 12 в зависимости от диаметра прутка. Допускается неперпендикулярность поверхности среза к оси заготовки до 7° .

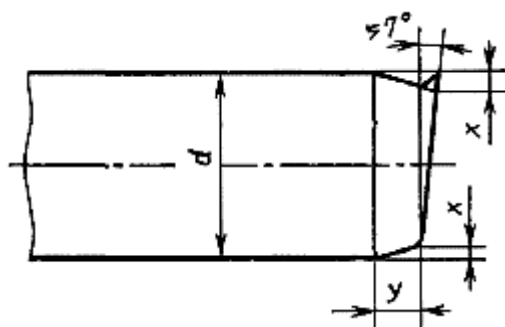


Рис.7. Схема к определению допускаемого отклонения торца стержня поковки

12. Допуски на отрезаемый торец прутка

Диаметр прутка (d), мм	Допускаемое отклонение, мм	
	x	y
До 40 включ.	$0,08d$	$1d$
Св. 40	$0,07d$	$0,8d$

Допускаемые **отклонения межосевого расстояния** (A_2) в поковках не должны превышать величин, указанных в табл.13. Межосевые расстояния в поковках измеряют относительно установочных измерительных (рис.8).

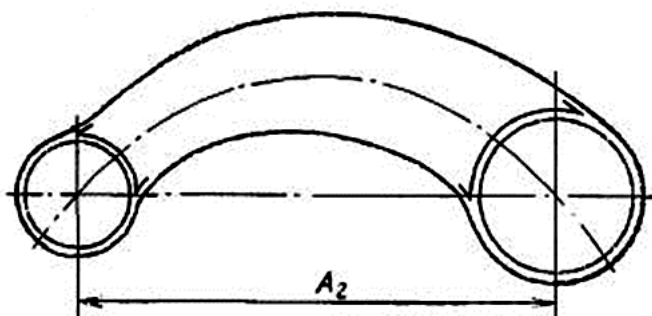


Рис.8. Пример простановки межосевых размеров от установочных, используемых при обработке резанем

Допуски на межосевые расстояния определяют величину разностенности отверстий после механической обработки поковки и могут полностью не переходить в готовую деталь. Чтобы избежать ослабления

стенок отверстий в деталях, при проектировании заготовок за счёт этих допусков бобышкам придают овальную форму.

Допускаемое отклонение межосевого расстояния (A_2) в поковке устанавливают по согласованию потребителя с изготовителем.

13. Допуски на межосевые расстояния (A_2) поковок.

Межцентровое расстояние, мм	Допускаемые отклонения межосевого расстояния для классов точности, мм				
	T1	T2	T3	T4	T5
До 60 включ.	±0,10	±0,15	±0,20	±0,25	±0,30
» 60 » 100 »	±0,15	±0,20	±0,25	±0,30	±0,50
» 100 » 160 »	±0,20	±0,25	±0,30	±0,50	±0,80
» 160 » 250 »	±0,25	±0,30	±0,50	±0,80	±1,20
» 250 » 400 »	±0,30	±0,50	±0,80	±1,20	±1,60
» 400 » 630 »	±0,50	±0,80	±1,20	±1,60	±2,00
» 630 » 1000»	±0,80	±1,20	±1,60	±2,00	±3,00
» 1000 » 1600»	±1,20	±1,60	±2,00	±3,00	±4,50
» 1600 » 2500»	±1,60	±2,00	±3,00	±4,50	±7,00

Допускаемая величина *смещения* поверхности разъема штампа определяется в зависимости от массы поковки, конфигурации поверхности разъёма штампа и класса точности и не должна превышать значений, приведенных в табл. 14.

14. Допуски смещения по поверхности разъема штампа

Масса поковки, кг	Допускаемая величина смещения по поверхности разъема штампа, мм							
	Плоская поверхность разъема штампа (П)							
	Т1	T2	T3	T4	T5			
		Симметрично изогнутая поверхность разъема штампа (Ис)						
		Т1	T2	T3	T4	T5		
			Несимметрично изогнутая поверхность разъема штампа (Ис)					
			T1	T2	T3	T4	T5	
До 0,5 включ.	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	
Св. 0,5» 1,0 »	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	
» 1,0 » 1,8 »	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	
» 1,8 » 3,2 »	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	
» 3,2 » 5,6 »	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2	
» 5,6 » 10,0 »	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2	1,4	
» 10,0 » 20,0 »	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2	1,4	1,8	
» 20,0 » 50,0 »	0,7	0,8	1,0	1,2	1,4	1,8	2,5	
» 50,0 » 125,0»	0,8	1,0	1,2	1,4	1,8	2,5	3,2	
» 125,0 » 250,0»	1,0	1,2	1,4	1,8	2,5	3,2	4,0	

Смещение m определяют в месте наибольшего смещения контуров поковки (рис. 9). Для штампов с одной поверхностью разъема (см. рис. 9, а) смещение вычисляют по формуле

$$m = 0,5(a_2 - a_1),$$

а для штампов с двумя и более поверхностями разъема (см. рис. 9, б) — по формуле

$$m = (a_2 - a_1)$$

a_1 и a_2 — соответственно наибольший и наименьший размеры поковки — в направлении линейного переноса.

Допускаемую величину *остаточного облоя* (z) — выступа, оставшегося на поковке после обрезки облоя или пробивки отверстия (рис. 10, а), определяют в зависимости от массы поковки, конфигурации поверхности разъема штампа и класса точности и назначают по табл. 15.

Допускаемая величина остаточного облоя не зависит от других допусков и является дополнением к ним.

В местах перехода для радиусов до 10 мм допускается назначение удвоенной величины остаточного облоя.

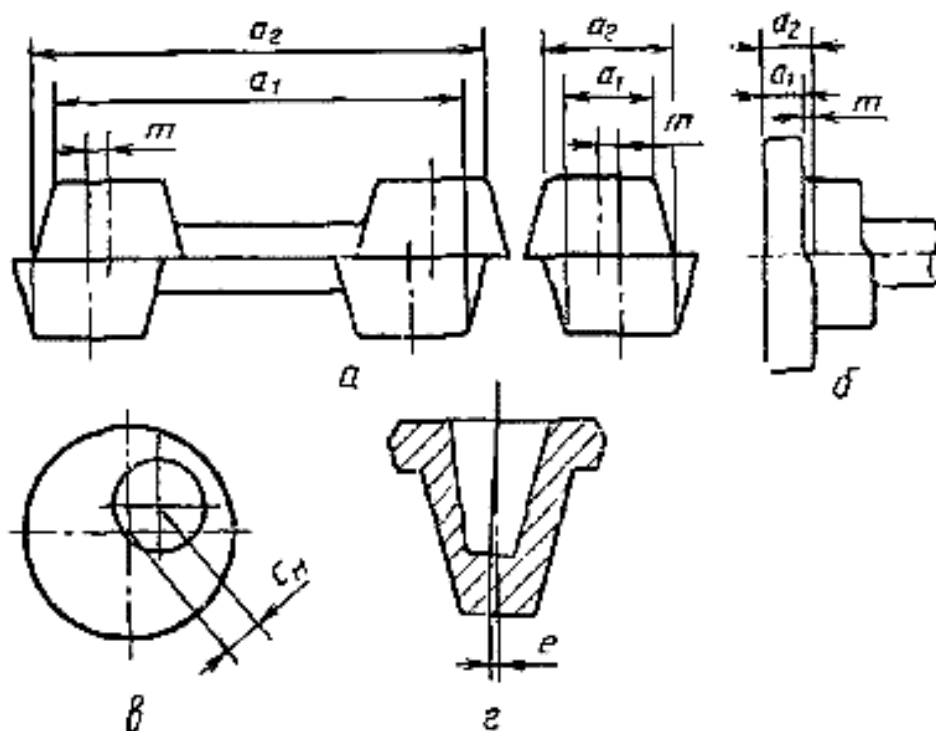


Рис.9. Схема к определению смещения поверхности разъёма штампа (а, б), неконцентричности (в) и отклонения от соосности (г).

15. Допускаемая величина остаточного облоя

Масса поковки, кг	Допускаемая величина остаточного облоя, мм								
	Плоская поверхность разъема штампа (П)								
	Т1	T2	T3	T4	T5				
		Симметрично изогнутая поверхность разъема штампа (И _с)							
			Т1	T2	T3	T4	T5		
				Несимметрично изогнутая поверхность разъема штампа (И _н)					
				T1	T2	T3	T4		T5
До 0,5 включ.	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	
Св. 0,5» 1,0 »	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	
» 1,0» 1,8»	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	
» 1,8» 3,2»	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	
» 3,2» 5,6»	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6	
» 5,6» 10,0»	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	
» 10,0 » 20,0 »	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,2	
» 20,0 » 50,0 »	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,2	2,8	
» 50,0 » 125,0»	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,2	2,8	3,5	
» 125,0» 250,0»	1,2	1,4	1,6	1,8	2,2	2,8	3,5	4,0	

Величина *срезанной кромки (φ)* (рис. 10, б) не должна уменьшать установленный припуск.

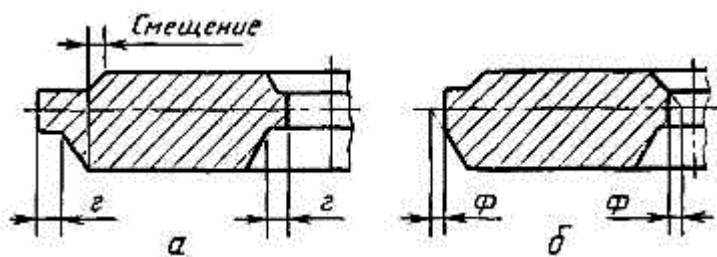


Рис.10. Схема измерения остаточного облоя (а) и срезанной кромки (б)

Допускаемая *высота заусенца* (κ) (рис. 11, в) на поковке по контуру обрезки облоя или пробивки отверстия не должна превышать следующих размеров: При пробивке отверстия эта величина может быть увеличена в 1,3 раза. Допускаемую величину заусенца (κ) образовавшегося по контуру пуансона при штамповке в закрытых штампах – безоблойной штамповке (рис. 11, а), определяют по табл. 16.

У поковок, изготовленных на горизонтально-ковочных машинах, допускаемая высота заусенца (κ) (рис. 11, б) в плоскости разъема матриц не должна превышать удвоенной величины остаточного облоя, определяемого по табл.15.

Заусенцы на необрабатываемых поверхностях поковок должны быть удалены по требованию потребителя, если форма поковки позволяет производить зачистку поверхности на зачистных станках.

Допускаемое *отклонение от соосности* (e) непробитых отверстий (наметок) и оси поковки (см. рис. 9, г) принимают не более 1,0 % глубины глухого отверстия (наметки).

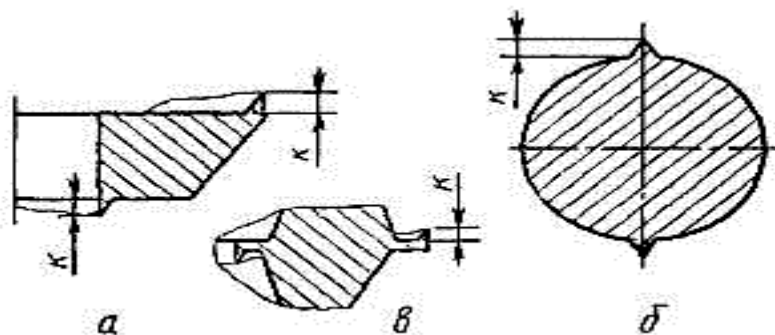


Рис. 11. Схема измерения величины заусенца при безоблойной штамповке (а), при штамповке в штампах с разъёмными матрицами (б) и при обрезке облоя и пробивке отверстия (в).

16. Допускаемая величина торцевых заусенцев

Масса поковки, кг	Степень сложности поковки	Допускаемая величина заусенца при максимальном размере поперечного сечения поковки по поверхности разъема штампа, мм				
		до 40	40 - 100	100 - 160	160 - 250	св. 250
До 0,5 включ.	C1, C2	1,0	2,0	-	-	-
	C3	2,0	3,0	-	-	-
	C4	3,0	4,0	-	-	-
Св. 0,5 » 3,2 »	C1, C2	2,0	3,0	4,0	-	-
	C3	3,0	4,0	5,0	-	-
	C4	4,0	5,0	6,0	-	-
» 3,2 » 5,6 »	C1, C2	3,0	4,0	5,0	-	-
	C3	4,0	5,0	6,0	-	-
	C4	5,0	6,0	7,0	-	-
» 5,6 » 20,0 »	C1, C2	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0
	C3	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0
	C4	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
» 20,0 » 50,0 »	C1, C2	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0
	C3	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
	C4	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0
» 50,0	C1, C2	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
	C3	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0

Масса поковки, кг	Степень сложности поковки	Допускаемая величина заусенца при максимальном размере поперечного сечения поковки по поверхности разъема штампа, мм				
		до 40	40 - 100	100 - 160	160 - 250	св. 250
	С4	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0

Допускаемое наибольшее *отклонение от концентричности* (c_m) пробитого в поковке отверстия (величина смещения центра пробитого отверстия от заданных координат по чертежу поковки— (см. рис. 9, в) устанавливают по табл. 17.

Приведенные допускаемые отклонения от концентричности отверстий соответствуют началу пробивки (со стороны входа пуансона в поковку), В конце пробивки (со стороны выхода пуансона) эти отклонения могут быть увеличены на 25 %.

Допускаемые отклонения по *изогнутости* (P_u), *плоскостности* (P_a) и *прямолинейности* (P_b) для плоских поверхностей (рис. 12), а также *на радиальные биения* (для цилиндрических поверхностей) назначают в соответствии с табл. 18.

В допусках на не плоскостность, не прямолинейность и на радиальные биения не учтены ранее рассмотренные допуски и перепады по толщине (высоте) или ширине поковок.

17. Допуски не концентричности

Наибольший размер поковки	Допускаемое наибольшее отклонение от концентричности пробитого отверстия для классов точности				
	T1	T2	T3	T4	T5
До 100 включ.	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0
Св. 100 » 160 »	0,5	0,6	0,8	1,0	1,5
»160 » 250 »	0,6	0,8	1,0	1,5	2,0

Наибольший размер поковки	Допускаемое наибольшее отклонение от концентричности пробитого отверстия для классов точности				
	T1	T2	T3	T4	T5
» 250 » 400 »	0,8	1,0	1,5	2,0	2,5
» 400 » 630 »	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
» 630 » 1000»	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0

18. Допускаемые отклонения по изогнутости, от плоскостности, прямолинейности и радиальные биения

Наибольший размер поковки, мм	Допускаемые отклонения по изогнутости для классов точности, мм				
	T1	T2	T3	T4	T5
До 100 включ.	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8
Св. 100» 160»	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0
»160» 250»	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2
» 250» 400»	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6
» 400» 630 »	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0
» 630» 1000 »	1,0	1,2	1,6	2,0	2,5
» 1000 » 1600»	1,2	1,6	2,0	2,5	3,2
» 1600 » 2500»	1,6	2,0	2,5	3,2	4,0

Примечания: 1.Длиномерные поковки с размерами свыше 1000 мм подвергают правке перед механической обработкой.

2. Допуск радиального биения цилиндрических поверхностей не должен превышать удвоенной величины, указанного в настоящей таблице (назначается по согласованию между изготовителем и потребителем).

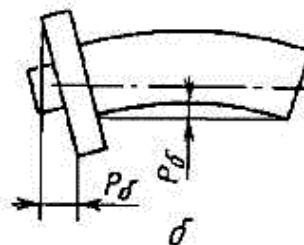
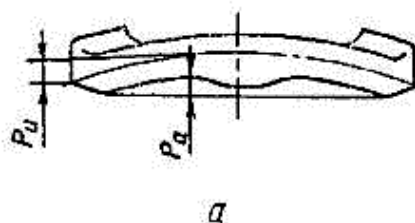


Рис.12. Схема к определению изогнутости, отклонения от плоскостности (а) и прямолинейности (б)

При расположении отдельных элементов поковок под углом к оси (рис. 13) допускаемые угловые отклонения (а) этих элементов определяют по табл. 19.

Допуск радиусов закруглений внутренних (R_v) и наружных (R_n) углов поковок устанавливаю по табл. 20.

19. Допуски на угловые отклонения элементов поковок

Длина элемента (L), мм	Допускаемые отклонения угловых элементов поковки для классов точности				
	T1	T2	T3	T4	T5
До 25 включ.	$\pm 0^\circ 45'$	$\pm 1^\circ 00'$	$\pm 1^\circ 30'$	$\pm 2^\circ 00'$	$\pm 2^\circ 30'$
Св. 25 » 60 »	$\pm 0^\circ 30'$	$\pm 0^\circ 45'$	$\pm 1^\circ 00'$	$\pm 1^\circ 30'$	$\pm 2^\circ 00'$
» 60 » 100 »	$\pm 0^\circ 15'$	$\pm 0^\circ 30'$	$\pm 0^\circ 45'$	$\pm 1^\circ 00'$	$\pm 1^\circ 30'$
» 100 » 160 »	$\pm 0^\circ 10'$	$\pm 0^\circ 15'$	$\pm 0^\circ 30'$	$\pm 0^\circ 45'$	$\pm 1^\circ 00'$
» 160	$\pm 0^\circ 05'$	$\pm 0^\circ 10'$	$\pm 0^\circ 15'$	$\pm 0^\circ 30'$	$\pm 0^\circ 45'$

Примечание. Допускаемые отклонения угловых размеров для поковки, скручивание или гибка элементов которой производится на отдельном оборудовании, увеличивать на 50 %..

20. Допуск радиусов закруглений внутренних и наружных углов поковок

Радиус закругления, мм	Допуск радиусов закруглений для классов точности, мм				
	T1	T2	T3	T4	T5
До 4 включ.	0,5	0,5	0,5	1,0	2,0
Св. 4 » 6 »	0,5	0,5	1,0	2,0	3,0
» 6 » 10 »	1,0	1,0	2,0	3,0	5,0
» 10 » 16 »	1,0	2,0	3,0	5,0	8,0

Радиус закругления, мм	Допуск радиусов закруглений для классов точности, мм				
	T1	T2	T3	T4	T5
» 16 » 25 »	2,0	3,0	5,0	8,0	12,0
» 25 » 40 »	3,0	5,0	8,0	12,0	20,0
» 40 » 60 »	5,0	8,0	12,0	20,0	30,0
» 60 » 100 »	8,0	12,0	20,0	30,0	50,0

Допускаемые отклонения штампованных уклонов на поковках устанавливаются в пределах $\pm 0,25$ их номинальной величины.

Допуски высоты (длины) стержня, втулки и отростка поковки, изготовленной выдавливанием, устанавливаются между изготовителем и потребителем. На поковках *допускаются следы в виде впадин или выступов*, образующиеся от выталкивателя или от зажимных элементов штампа. Глубина впадины не должна превышать 0,5 величины фактического припуска. Высота выступа допускается до 3,0 мм на обрабатываемой поверхности, а на необрабатываемой поверхности допускаемая её величина должна быть согласована между изготовителем и потребителем.

Допуски *толщины поковки*, подвергаемой холодной или горячей калибровке устанавливают по табл. 5. Ширину, длину и диаметр поковки или её элементов, изменяющихся при калибровке, устанавливают по согласованию между изготовителем и потребителем. При этом одностороннее увеличение размеров не должно превышать удвоенного положительного отклонения, а уменьшение - удвоенного отрицательного отклонения размера до калибровки.

Отклонения от параллельности, плоскостности и прямолинейности калиброванных плоскостей допускаются в пределах допуска размера после калибровки.

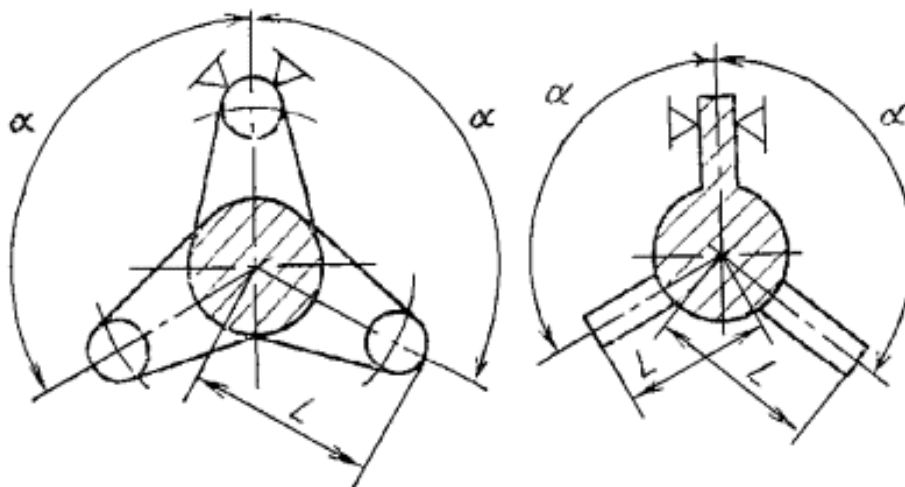


Рис.13 Поковки с угловым расположением элементов:

L - длина элемента, α – угловые размеры элементов поковки

Допускаемые отклонения формы и расположения поверхностей, назначенные по табл. 14—19, а также радиального биения, несоосности, штамповочных уклонов, высоты заусенца, величины срезанной кромки и следов от выталкивателя и зажимных элементов штампа являются самостоятельными и не зависят от допускаемых отклонений размеров поковки.

На поковки с массой более 250 кг или с линейными размерами более 2500 мм, на поковки из жаропрочных, жаростойких и коррозионно-стойких сталей и сплавов, а также на дополнительные специальные элементы поковки {пробы для механических испытаний, захваты для подвешивания поволок при термической обработке и для других технологических целей) допуски размеров, отклонений формы, припусков, кузнечных напусков и наименьшие радиусы закругления наружных углов устанавливают по согласованию между изготовителем и потребителем.

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА (НАЗНАЧЕНИЯ) ДОПУСКОВ И ДОПУСКАЕМЫХ ОТКЛОНЕНИЙ И ПРИПУСКОВ НА ПОКОВКИ

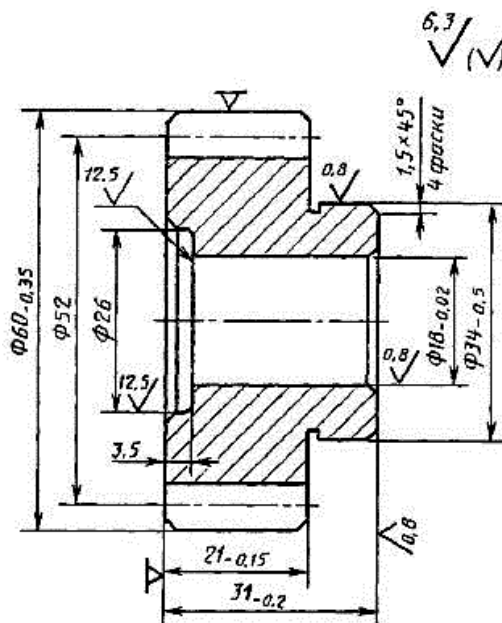
Пример 1

Шестерня привода (черт. 14).

Штамповочное оборудование - горячештамповочный автомат.

Нагрев заготовок - индукционный.

1. Исходные данные по детали



Черт. 14

1.1. Материал - сталь 30ХМА (по [ГОСТ 4543](#)): 0,17 - 0,37 % Si; 0,26 - 0,33 % C; 0,4 - 0,7 % Mn; 0,8 - 1,1 % Cr, 0,15 - 0,25 % Mo.

1.2. Масса детали - 0,390 кг.

2. Исходные данные для расчета

2.1. Масса поковки (расчетная) - 0,620 кг:

расчетный коэффициент K_p (см. приложение [3](#)) - 1,6;

$$0,390 \times 1,6 = 0,620 \text{ кг.}$$

2.2. Класс точности - Т3 (см. приложение [1](#)).

2.3. Группа стали - М1 (см. табл. [1](#)).

Средняя массовая доля углерода в стали 30ХМА 0,3 % С, а суммарная массовая доля легирующих элементов - 1,9 % (0,27 % Si; 0,35 % Mn; 0,96 % Cr; 0,25 % Mo).

2.4. Степень сложности - С1 (см. приложение [2](#)).

Размеры описывающей поковку фигуры (цилиндр), мм:

диаметр - 63 ($60 \times 1,05$);

длина - 32,5 ($31 \times 1,05$) (где 1,05 - коэффициент).

Масса описывающей фигуры (расчетная) - 0,780 кг;

$G_{\Pi} : G_{\Phi} = 0,620 : 0,780 = 0,79$.

2.5. Конфигурация поверхности разъема штампа П (плоская) - (см. табл. [1](#)).

2.6. Исходный индекс - 6 (см. табл. [2](#)).

3. Припуски и кузнечные напуски

3.1. Основные припуски на размеры (см. табл. [3](#)), мм:

1,0 - диаметр 60 мм и чистота поверхности 6,3;

1,0 - диаметр ступицы 34 мм и чистота поверхности 0,8;

1,0 - толщина 31 мм и чистота поверхности 6,3;

1,1 - толщина 31 мм и чистота поверхности 0,8;

0,9 - толщина 21 мм и чистота поверхности 6,3.

3.2. Дополнительный припуск, учитывающий отклонение от плоскостности - 0,2 мм (см. табл. [14](#)).

4. Размеры поковки и их допускаемые отклонения (см. черт. [15](#))

4.1. Размеры поковки, мм:

диаметр $60 + 1,0 \times 2 = 62$ принимается 62;

диаметр $34 + 1,0 \times 2 = 36$ » 36;

толщина $21 + (0,9 + 0,2) \times 2 = 23,2$ » 23;

толщина $31 + 1,0 + 1,1 + 0,2 \times 2 = 33,5$ принимается 33,5

Пример 2

Шестерня (черт. 16).

Штамповочное оборудование - КГШП.

Нагрев заготовок индукционный.

1. Исходные данные по детали

1.1. Материал - сталь 45ХН2МФА (по [ГОСТ 4543](#)): 0,42 - 0,50 % С; 0,17 - 0,37 % Si; 0,5 - 0,8 % Mn; 0,8 - 1,1 % Cr; 1,3 - 1,8 % Ni; 0,2 - 0,3 % Mo; 0,10 - 0,18 % V.

1.2. Масса детали - 1,83 кг.

2. Исходные данные для расчета

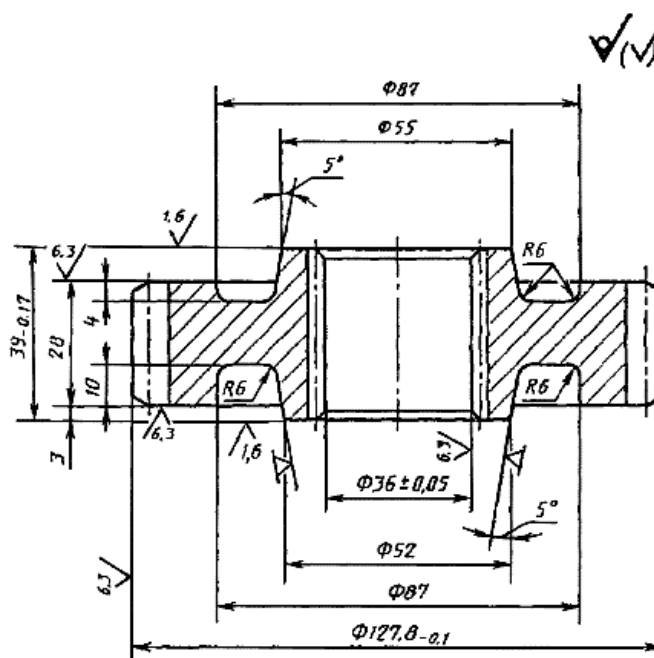
2.1. Масса поковки - 3,3 кг (расчетная):

расчетный коэффициент $K_p = 1,8$ (см. приложение 3);

$1,83 \times 1,8 = 3,3$ кг.

2.2. Класс точности - Т3 (см. приложение 1).

2.3. Группа стали - М2 (см. табл. 1).



Черт. 16

Средняя массовая доля углерода в стали 45ХН2МФА 0,46 % С; суммарная массовая доля легирующих элементов - 3,81 % (0,27 % Si; 0,65 % Mn; 0,95 % Cr; 1,55 % Ni; 0,25 % Mo; 0,14 % V).

2.4. Степень сложности - С1 (см. приложение [2](#)).

Размеры описывающей поковку фигуры (цилиндр), мм:

диаметр 134,2 ($127,8 \times 1,05$);

высота 41 ($39 \times 1,05$) (где 1,05 - коэффициент).

Масса описывающей фигуры (расчетная) - 4,55 кг;

$G_n : G_{\phi} = 3,3 : 4,56 = 0,72$.

2.5. Конфигурация поверхности разъема штампа П (плоская) - (см. табл. [1](#)).

2.6. Исходный индекс - 10 (см. табл. [2](#)).

3. Припуски и кузнечные напуски

3.1. Основные припуски на размеры (см. табл. [3](#)), мм:

1,5 - диаметр 127,8 мм и чистота поверхности 6,3;

1,4 - диаметр 36 мм и чистота поверхности 6,3;

1,5 - толщина 39 мм и чистота поверхности 1,6;

1,5 - толщина 28 мм и чистота поверхности 6,3;.

3.2. Дополнительные припуски, учитывающие:

смещение по поверхности разъема штампа - 0,3 мм (см. табл. [4](#));

отклонение от плоскостности - 0,3 мм (см. табл. [5](#)).

3.3. Штамповочный уклон:

на наружной поверхности - не более 5° принимается 5° ;

на внутренней поверхности - не более 7° принимается 7° .

4. Размеры поковки и их допускаемые отклонения (черт. [17](#))

4.1. Размеры поковки, мм:

диаметр $127,8 + (1,6 + 0,3) \times 2 = 131,6$ принимается 132;

диаметр $36 - (1,4 + 0,3) \times 2 = 32,6$ принимается 32;

толщина $39 + (1,5 + 0,3) \times 2 = 42,6$ принимается 42,5;

толщина $28 + (1,5 + 0,3) \times 2 = 31,6$ принимается 31,5.

4.2. Радиус закругления наружных углов - 2,0 мм (минимальный) принимается 3,0 мм (см. табл. [7](#)).

4.3. Допускаемые отклонения размеров (см. табл. [8](#)), мм:

диаметр $132^{+1,3}_{-0,7}$;

» $32^{+0,5}_{-0,9}$;

толщина $42,5^{+1,1}_{-0,5}$;

» $31,5^{+1,1}_{-0,5}$.

4.4. Неуказанные предельные отклонения размеров (например, диаметр $(86,5 \pm 1,1)$ мм) - по п. [5.5](#).

4.5. Неуказанные допуски радиусов закругления - по п. [5.23](#).

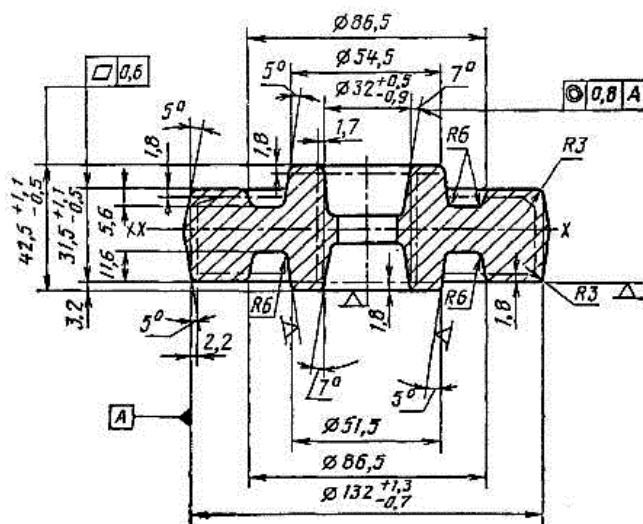
4.6. Допускаемая величина остаточного облоя 0,7 мм - по п. [5.8](#).

4.7. Допускаемое отклонение от плоскостности 0,6 мм - по п. [5.16](#).

4.8. Допускаемое отклонение от концентричности пробитого отверстия относительно внешнего контура поковки 0,8 мм (см. табл. [12](#)).

4.9. Допускаемое смещение по поверхности разъема штампа 0,6 мм (см. табл. [9](#)).

4.10. Допустимая величина высоты заусенца 3,0 мм по п. [5.10](#).



Черт. 17

Пример 3

Крестовина карданного вала (черт. 18).

Штамповочное оборудование - КГШП.

Нагрев заготовок - индукционный.

1. Исходные данные по детали

1.1. Материал - сталь 45 (по [ГОСТ 1050](#)): 0,42 - 0,50 % C; 0,17 - 0,37 % Si; 0,50 - 0,80 % Mn; не более 0,25 % Cr.

1.2. Масса детали - 0,845 кг.

2. Исходные данные для расчета

2.1. Масса поковки (расчетная) - 1,27 кг:

расчетный коэффициент $K_p = 1,5$ (см. приложение 3);

$0,845 \times 1,5 = 1,27$ кг.

2.2. Класс точности - Т3 (см. приложение 1).

2.3. Группа стали - М2 (см. табл. 1).

Средняя массовая доля углерода в стали 0,45 - 0,46 %.

2.4. Степень сложности - С2 (см. приложение 2).

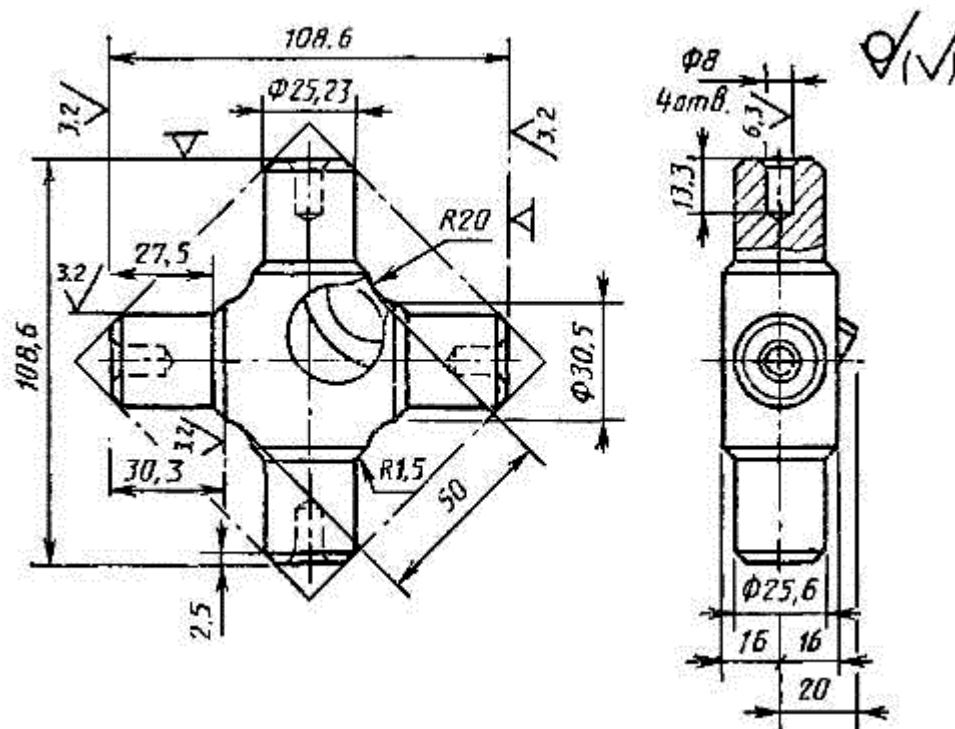
Размеры описывающей поковку фигуры (параллелепипед), мм:

100 × 100 - стороны (определяют графически);

36 - высота (определяют по чертежу).

Масса описывающей фигуры (расчетная) - 2,56 кг;

$$G_{\Pi} : G_{\Phi} = 1,27 : 2,80 = 0,454.$$



Черт. 18

2.5. Конфигурация поверхности разъема штампа - П (плоская) (см. табл. 1).

2.6. Исходный индекс - 9 (см. табл. [2](#)).

3. Припуски и кузнечные напуски

3.1. Основные припуски на размеры (см. табл. [3](#)), мм:

1,5 - ширина 108,6 мм и чистота поверхности 3,2;

1,3 - толщина 25,6 мм и чистота поверхности 3,2;

1,3 - длина 30,3 мм и чистота поверхности 3,2.

3.2. Дополнительные припуски, учитывающие:

смещение по поверхности разъема штампа - 0,2 мм (см. табл. [4](#));

отклонение от плоскостности - 0,3 мм (см. табл. [5](#)).

3.3. Штамповочный уклон на наружной поверхности не более 5° принимается 3° (см. табл. 17).

4. Размеры поковки и их допускаемые отклонения (черт. 19)

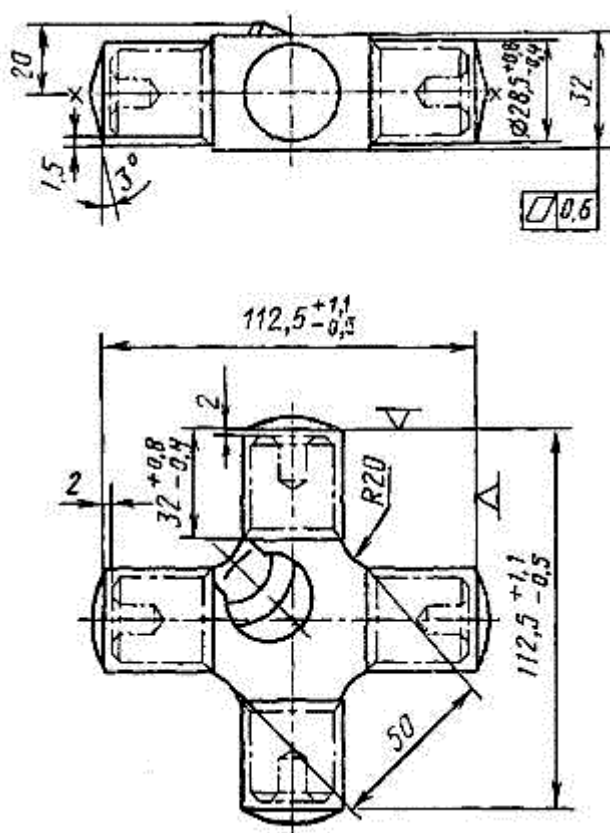
4.1. Размеры поковки, мм:

ширина $108,6 + (1,5 + 0,2 + 0,3) \times 2 = 112,6$ принимается 112,5;

толщина $25,6 + (1,3 + 0,2) \times 2 = 28,6$ принимается 28,5;

длина $30,3 + 1,3 + 0,3 = 31,9$ принимается 32,0.

4.2. Радиус закругления наружных углов - 2,0 мм (минимальный) принимается 3,0 мм (см. табл. 7).



Черт. 19

4.3. Допускаемые отклонения размеров (см. табл. 8), мм:

ширина $112,5^{+1,1}_{-0,5}$;

толщина $28,5^{+0,8}_{-0,4}$.

длина $32,0^{+0,8}_{-0,4}$.

4.4. Неуказанные предельные отклонения размеров - по п. [5.5](#).

4.5. Неуказанные допуски радиусов закругления - по п. [5.23](#).

4.6. Допускаемая величина остаточного облоя 0,5 мм - по п. [5.8](#).

4.7. Допускаемое отклонение от плоскостности 0,6 мм - по п. [5.16](#).

4.8. Допускаемые штамповочные уклоны оси отростков поковки $\pm 1^\circ$ - по п. [6.2](#).

4.9. Допускаемая величина смещения по поверхности разъема штампа 0,4 мм - по п. [5.7](#).

4.10. Допустимая величина заусенца 2,0 мм - по п. [5.10](#).

Пример 4

Втулка (черт. [20](#)).

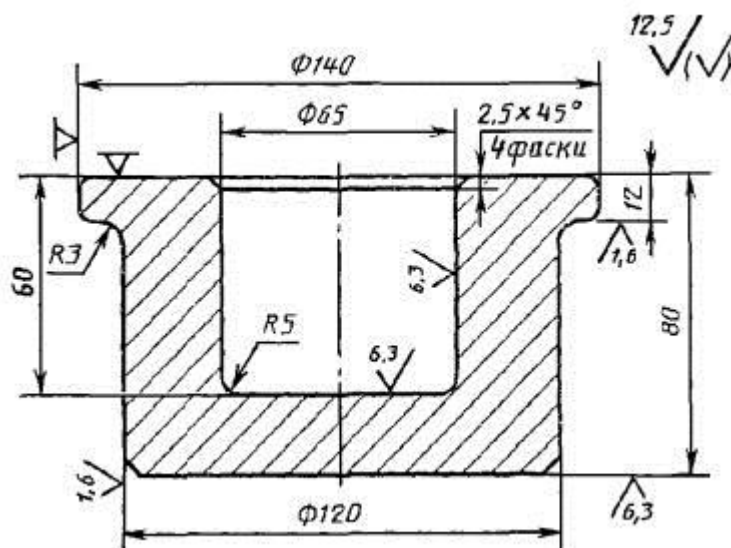
Штамповочное оборудование - КГШП.

Нагрев заготовок - индукционный.

1. Исходные данные по детали

1.1. Материал - сталь 65 (по [ГОСТ 14959](#)): 0,62 - 0,7 % C; 0,5 - 0,8 % Mn; 0,17 - 0,37 % Si; до 0,25 % Cr.

1.2. Масса детали - 5,4 кг.



Черт. 20

2. Исходные данные для расчета

2.1. Масса поковки (расчетная) - 8,6 кг:

расчетный коэффициент $K_p = 1,6$ (см. приложение 3);

$$5,4 \times 1,6 = 8,6 \text{ кг.}$$

2.2. Класс точности - Т3 (см. приложение 1).

2.3. Группа стали - М3 (см. табл. 1).

Средняя массовая доля углерода в стали 65: 0,68 % С; суммарная массовая доля легирующих элементов - 1,04 % (0,27 % Si; 0,65 % Mn; 0,12 % Cr).

2.4. Степень сложности - С1 (см. приложение 2).

Размеры описывающей поковку фигуры (цилиндр), мм:

147 ($140 \times 1,05$) - диаметр;

84 ($80 \times 1,05$) - длина (где 1,05 - коэффициент).

Масса описывающей фигуры (расчетная) - 11,2 кг;

$$G_n : G_\phi = 8,6 : 11,2 = 0,78.$$

2.5. Конфигурация поверхности разъема штампа - П (плоская) (см. табл. 1).

2.6. Исходный индекс - 12 (см. табл. [2](#)).

3. Припуски и кузнечные напуски

3.1. Основные припуски на размеры (см. табл. [3](#)), мм:

1,5 - диаметр 140 мм и чистота поверхности 12,5;

1,8 - диаметр 120 мм и чистота поверхности 1,6;

2,0 - толщина 80 мм и чистота поверхности 6,3;

1,7 - толщина 80 мм и чистота поверхности 12,5;

1,6 - толщина 12 мм и чистота поверхности 12,5;

1,6 - толщина 12 мм и чистота поверхности 1,6;

1,7 - диаметр впадины 65 мм и чистота поверхности 6,3;

1,7 - глубина впадины 60 мм и чистота поверхности 12,5.

3.2. Дополнительные припуски, учитывающие:

отклонение от плоскостности - 0,3 мм (см. табл. [5](#));

смещение по поверхности разъема штампа - 0,3 мм (см. табл. [4](#)).

3.3. Штамповочный уклон (см. табл. [8](#)):

на наружной поверхности - не более 5° принимается - 3° ;

на внутренней поверхности - не более 7° принимается - 7° .

4. Размеры поковки и их допускаемые отклонения (черт. [21](#))

4.1. Размеры поковки, мм:

диаметр $140 + (1,5 + 0,3) \times 2 = 143,6$ принимается 144;

диаметр $120 + (1,8 + 0,3) \times 2 = 124,2$ принимается 124;

диаметр 65 - $(1,7 + 0,3) \times 2 = 61$ принимается 61;

толщина $80 + 1,7 + 2 + 0,3 \times 2 = 84$ принимается 84;

толщина $12 + 1,7 + 1,6 + 0,3 \times 2 = 15,9$ принимается 16;

глубина (пункт 6.4) $60 \times 0,8 = 48,8$ принимается 50.

4.2. Радиус закругления наружных углов (см. табл. [7](#)) на глубину полости ручья штампа, мм:

до 50 - не менее 3 принимается 5;

св. 50» » 3 » 4.

4.3. Допускаемые отклонения размеров (см. табл. 8), мм:

диаметр $144^{+1,3}_{-0,7}$;

» $124^{+1,3}_{-0,7}$;

» $61^{+0,6}_{-1,2}$;

глубина $50^{+0,7}_{-1,3}$;

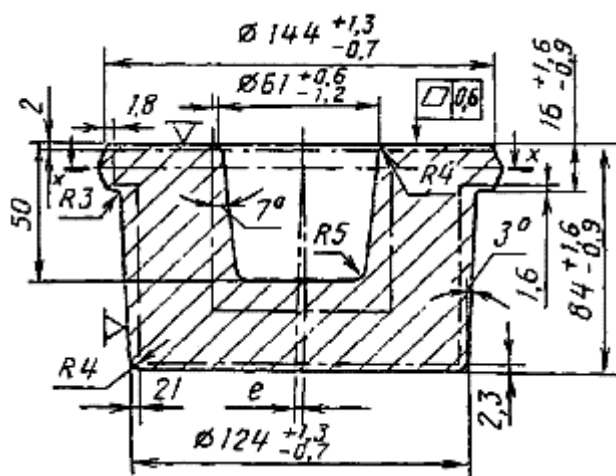
толщина $84^{+1,6}_{-0,9}$;

» $16^{+1,6}_{-0,9}$.

4.4. Неуказанные допуски радиусов закругления - по п. 5.23.

4.5. Допускаемое отклонение от плоскостности 0,6 мм - по п. 5.16.

4.6. Допускаемая величина остаточного облоя 0,8 мм - по п. 5.23.



Черт 21



Черт.22

4.7. Допускаемое отклонение от соосности выемки $50 \times 0,01 = 0,5$ мм принимается 0,5 мм - по п. [5.14](#).

4.8. Допускаемая величина на смещение по поверхности разъема штампа 0,7 мм - по п. 5.7.

Пример 5

Рычаг (черт. [22](#)).

Штамповочное оборудование - паровоздушный штамповочный молот.

Нагрев заготовок - пламенный газовый.

1. Исходные данные по детали

1.1. Материал - сталь 12X2H4A (по ГОСТ 4343): 0,09 - 0,15 % C; 0,17 - 0,3 % Si; 0,30 - 0,60 % Mn; 1,25 - 1,65 % Cr; 3,25 - 3,65 % Ni.

1.2. Масса детали - 3,30 кг.

2. Исходные данные для расчета

2.1. Масса поковки (расчетная) - 4,25 кг;

расчетный коэффициент $K_p = 1,3$ (см. приложение 3);

$$3,30 \times 1,3 = 4,25 \text{ кг.}$$

2.2. Класс точности - Т5 (см. приложение [1](#)).

2.3. Группа стали - М3 (см. табл. [1](#)).

Средняя массовая доля углерода в стали 12Х2Н4А: 0,12 % С; суммарная массовая доля легирующих элементов - 5,62 % (0,27 % Si; 0,45 % Mn; 1,45 % Cr; 3,45 % Ni).

2.4. Степень сложности - С2 (см. приложение [2](#)).

Размеры описывающей поковку фигуры (параллелепипед), мм:

длина 340 (определяется графически);

высота 67 (определяется графически);

ширина 67 (определяется по чертежу).

Масса описывающей фигуры (расчетная):

$$1,03^3 \times 34 \text{ см} \times 6,7 \text{ см} \times 6,7 \text{ см} \times 7,85 \text{ г/см}^3 = 12420 \text{ г} = 12,42 \text{ кг};$$

$$G_{\text{п}} : G_{\text{ф}} = 4,25 : 13,06 = 0,325.$$

2.5. Конфигурация поверхности разъема штампа - $I_{\text{н}}$ (изогнутая несимметрично) (см. табл. 1).

2.6. Исходный индекс - 16 (см. табл. [2](#)).

3. Припуски и кузнечные напуски

3.1. Основные припуски на размеры (см. табл. [3](#)), мм:

2,7 - толщина 50 мм и чистота поверхности 2,2;

2,5 - толщина 35 мм и чистота поверхности 3,2;

2,5 - диаметр 40 мм и чистота поверхности 1,6;

2,3 - диаметр 28 мм и чистота поверхности 1,6.

3.2. Дополнительные припуски, учитывающие:

смещение поковки по поверхности разъема штампа (см. табл. [13](#)), мм:

0,6 - диаметр 40;

0,6 » 2,8;

отклонения от прямолинейности (см. табл. [5](#)), мм:

высота $100 + (2,7 - 2,5) = 100,2$ принимается 100.

4.2. Радиус закругления наружных углов для глубины ручья 19 - 25 мм - 2,9 мм (см. табл. [7](#)).

4.3. Допускаемые отклонения размеров (см. табл. [8](#)), мм:

толщина $57^{+2,4}_{-1,2}$, высота $100^{+2,7}_{-1,3}$,

» $41,5^{+2,4}_{-1,2}$, длина $310^{+3,7}_{-1,9}$,

ширина $60^{+2,4}_{-1,2}$, диаметр $31,5^{+1,1}_{-2,1}$,

» $50^{+2,4}_{-1,2}$, » $19,5^{+1,1}_{-2,1}$.

4.4. Неуказанные предельные отклонения размеров - по п. [5.5](#).

4.5. Неуказанные допуски радиусов закругления - по п. [5.23](#).

4.6. Допускаемая величина смещения по поверхности разъема штампа 1,2 мм - по п. [5.7](#).

4.7. Допускаемое отклонение от плоскостности и прямолинейности 1,6 мм - по п. [5.16](#).

4.8. Допускаемая величина остаточного облоя или срезанной кромки 1,6 мм - по п. [5.8](#).

4.9. Допускаемое отклонение межцентрового расстояния $\pm 1,2$ мм (см. табл. [14](#)).

Пример 6

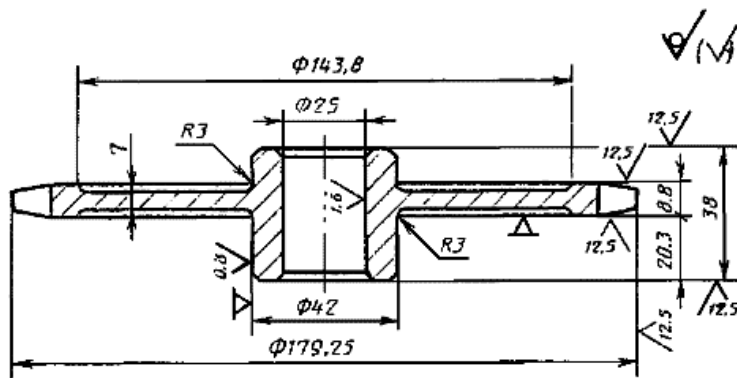
Звездочка привода (черт. [24](#)).

Штамповочное оборудование - КГШП.

Нагрев заготовки - индукционный.

1. Исходные данные по детали

1.1. Материал - сталь 35 (по [ГОСТ 1050](#)): 0,32 - 0,40 % C; 0,17 - 0,37 % Si; 0,50 - 0,80 % Mn; не более 0,25 % Cr.



Черт. 24

1.2. Масса детали - 2,05 кг.

2. Исходные данные для расчета

2.1. Масса поковки (расчетная) - 3,28 кг;

расчетный коэффициент $K_p = 1,6$ (см. приложение 3);

$2,65 \times 1,6 = 3,28$ кг.

2.2. Класс точности - Т4 (см. приложение 1).

2.3. Группа стали - М1 (см. табл. 1).

Средняя массовая доля углерода в стали 35: 0,36 % С.

2.4. Степень сложности - С4 (см. приложение 2).

Отношение толщины полотна к диаметальному размеру:

$$\frac{7}{143,2 - 42} = 0,07.$$

2.5. Конфигурация поверхности разъема штампа - П (плоская) (см. табл. 1).

2.6. Исходный индекс - 14 (см. табл. 14).

3. Припуски и кузнечные напуски

3.1. Основные припуски на размеры (см. табл. 3), мм:

2,0 - диаметр 179,25 мм и чистота поверхности 12,5;

2,2 - диаметр 42 мм и чистота поверхности 0,8;

1,7 - толщина 38 мм и чистота поверхности 12,5;

1,5 - толщина 8,8 мм и чистота поверхности 12,5.

3.2. Допускаемые припуски, учитывающие:

отклонение от плоскостности - 0,3 мм (см. табл. 5);

смещение по поверхности разъема штампа - 0,3 мм (см. табл. 4).

4. Размеры поковки и их допускаемые отклонения (черт. 25).

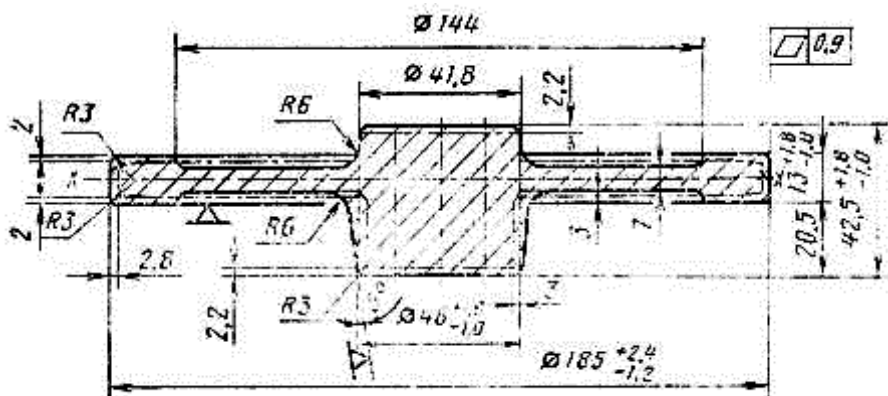
4.1. Размеры поковки, мм:

диаметр $179,25 + (2,0 + 0,5 + 0,3) \times 2 = 184,85$ принимается 185;

диаметр $42 + (2,2 + 0,5 + 0,3) \times 2 = 48,0$ принимается 48;

толщина $38 + (1,7 + 0,5) \times 2 = 42,4$ принимается 42,5;

толщина $8,8 + (1,5 + 0,5) \times 2 = 12,8$ принимается 13,0.



Черт. 25

4.2. Радиус закругления наружных углов - 2,0 мм (минимальный) принимается 3,0 (см. табл. 7).

4.3. Допускаемые отклонения размеров (см. табл. 8), мм:

диаметр $185,0^{+2,4}_{-1,2}$

диаметр $48,0^{+1,8}_{-1,0}$

толщина $42,5^{+1,8}_{-1,0}$

толщина $13,0^{+1,8}_{-1,0}$

4.4. Неуказанные предельные отклонения размеров - по п. 5.5.

4.5. Неуказанные допуски радиусов закругления - по п. 5.23.

4.6. Допускаемая величина остаточного облоя 1,0 мм - по п. 5.16.

4.7. Допускаемое отклонение от плоскостности и прямолинейности 0,9 мм - по п. 5.8.

4.8. Допускаемая величина смещения по поверхности разъема штампа 0,7 мм - по п. 5.7.

4.9. Допускаемая величина заусенца 2,0 мм - по п. 5.10.

Пример 7

Полуось (черт. 26).

Штамповочное оборудование - горизонтально-ковочная машина.

Количество переходов - 5.

Нагрев заготовок - индукционный.

1. Исходные данные по детали

1.1. Материал - сталь 45Г (по [ГОСТ 4543](#)): 0,12 - 0,50 % С; 0,7 - 1,0 % Мn; 0,17 - 0,37 % Si.

1.2. Масса детали - 16,5 кг.

Масса фланца с зажимаемой частью - 6,5 кг.



Черт. 26

2. Исходные данные для расчета

2.1. Масса поковки (расчетная) - 9,8/6,0 кг.

Расчетный коэффициент K_p (см. приложение 3);

для фланца - 1,5;

для шлицевого конца - 1,3.

Масса фланца с зажимаемой частью: $6,5 \times 1,5 = 9,8$ кг.

Масса шлицевого конца с зажимаемой частью: $4,6 \times 1,3 = 6,0$ кг.

2.2. Класс точности - Т4 (см. приложение 1).

2.3. Группа стали - М2 (см. табл. [1](#)).

Средняя массовая доля углерода в стали 45Г: 0,46 % С; суммарная массовая доля легирующих элементов: 1,12 % (0,27 % Si; 0,85 % Mn).

2.4. Степень сложности - С4 (см. приложение 2).

2.5. Конфигурация поверхности разъема штампа - П (плоская) (см. табл. 1).

2.6. Исходный индекс - 16 (см. табл. 2).

3. Припуски и кузнечные напуски

3.1. Основные припуски на размеры (см. табл. [3](#)), мм:

3,0 - диаметр 195 мм и чистота поверхности 6,3;

2,5 - диаметр 56 мм и чистота поверхности 1,6;

2,3 - толщина 12 мм и чистота поверхности 6,3;

2,5 - толщина 12 мм и чистота поверхности 3,2;

2,5 - толщина 32 мм и чистота поверхности 3,2;

2,4 - толщина 100 мм и чистота поверхности 12,5.

3.2. Дополнительные припуски, учитывающие:

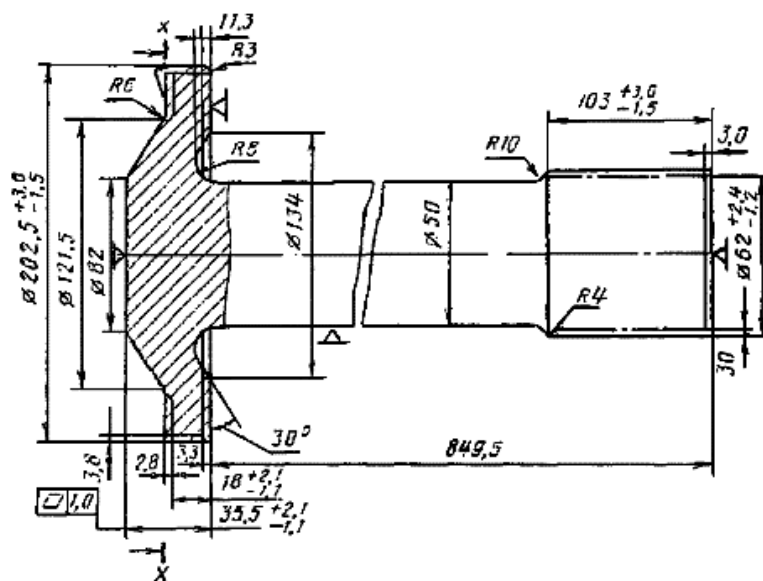
смещение по поверхности разъема штампа - 0,3 мм(см. табл. [14](#));

изогнутость, отклонения от плоскостности и прямолинейности (см. табл. [5](#)), мм:

0,5 – диаметр 195;

0,3 » 56.

4. Размеры поковки и их допускаемые отклонения (черт. [27](#))



Черт. 27

4.1. Размеры поковки, мм:

диаметр 195 + (3,0 + 0,3 + 0,5) × 2 = 202,6 принимается 202,5;

диаметр $56 + (2,5 + 0,3 + 0,3) \times 2 = 62,2$ принимается 62;

толщина $12 + (2,3 + 0,5) + (2,5 + 0,3 + 0,5) = 18,1$ принимается 18;

толщина $32 + (2,5 + 0,3 + 0,5) = 35,3$ принимается 35,5;

толщина $100 + (2,4 + 0,3) = 102,7$ принимается 103;

длина $850 + (2,4 + 0,3) - (2,5 + 0,3 + 0,5) = 849,4$ принимается 849,5.

4.2. Радиус закругления наружных углов (см. табл. [7](#)), мм:

фланца - 3,0;

шлицевого конца - 4,0.

4.3. Допускаемые отклонения размеров (см. табл. [8](#)), мм:

диаметр $202,5^{+3,0}_{-1,5}$;

» $62^{+2,4}_{-1,2}$;

толщина $18^{+2,1}_{-1,1}$;

» $35,5^{+2,1}_{-1,1}$;

» $103^{+3,0}_{-1,5}$;

диаметр $50^{+0,4}_{-1,0}$ (по [ГОСТ 2590](#))

4.4. Неуказанные предельные отклонения размеров - по п. [5.5](#).

4.5. Неуказанные допуски радиусов закругления - по п. [5.23](#).

4.6. Допускаемая высота торцового заусенца (см. табл. [11](#)), мм:

фланца - 9;

шлицевого конца - 7.

4.7. Допускаемая высота заусенца в плоскости разреза матриц 2,0 мм - по п. [5.12](#).

4.8. Допускаемое отклонение по изогнутости, от плоскостности и от прямолинейности (см. табл. [13](#)), мм:

фланца - 1,0;

шлицевого конца - 0,6;

всей поковки - 2,0.

4.9. Допускаемая величина смещения по поверхности разъема штампа 0,8 мм (см. табл. [9](#)).

4.10. Допускаемое увеличение диаметра стержня на расстоянии 100 мм от фланца и шлицевого конца до 54,8 мм - по п. [5.6](#).

Пример 8

Первичный вал (черт. [28](#)).

Штамповочное оборудование - горизонтально-ковочная машина.

Количество переходов - 4.

Нагрев заготовок - пламенный.

1. Исходные данные по детали

1.1. Материал - сталь 15ХГН2ТА (по [ГОСТ 4543](#)): 0,13 - 0,18 % С; 0,7 - 1,0 % Мп; 0,17 - 0,37 % Si; 0,7 - 1,0 % Cr; 1,4 - 1,8 % Ni; 0,03 - 0,09 % Ti.

1.2. Масса детали - 6,6 кг.

Масса деформируемой и зажимаемой частей - 5,2 кг.

2. Исходные данные для расчета

2.1. Масса поковки (расчетная) - 7,8 кг; расчетный коэффициент $K_p = 1,5$ (см. приложение [3](#));

$$5,2 \times 1,5 = 7,8 \text{ кг.}$$

2.2. Класс точности - Т5 (см. приложение [1](#)).

2.3. Группа стали - М2 (см. табл. 1).

Средняя массовая доля углерода в стали 15ХГН2ТА: 0,15 % С; суммарная массовая доля легирующих элементов - 3,73 % (0,9 % Мп; 0,27 % Si; 0,9 % Cr; 1,6 % Ni; 0,06 % Ti).

2.4. Степень сложности - С3 (см. приложение [2](#)).

2.5. Конфигурация поверхности разъема штампа - П (плоская) (см. табл. [1](#)).

2.6. Исходный индекс - 17 (см. табл. [12](#)).

3. Припуски и кузнечные напуски

3.1. Основные припуски на размеры (см. табл. [3](#)), мм:

3,0 - диаметр 126 мм и чистота поверхности 6,3;

2,7 - диаметр 86 мм и чистота поверхности 6,3;

2,7 - диаметр 60 мм и чистота поверхности 1,6;

2,2 - диаметр 45 мм и чистота поверхности 12,5;

3,0 - толщина 52 мм и чистота поверхности 6,3;

3,3 - толщина 52 мм и чистота поверхности 0,8;

3,0 - толщина 50 мм и чистота поверхности 6,3;

2,4 - толщина 50 мм и чистота поверхности 12,5;

3,0 - глубина 40 мм и чистота поверхности 6,3;

2,0 - глубина 40 мм и чистота поверхности 12,5.

3.2. Дополнительные припуски, учитывающие:

смещение по поверхности разъема штампа 0,4 мм (см. табл. [4](#));

изогнутость, отклонения от плоскостности и от прямолинейности (см. табл. [5](#)), мм:

стержня - 0,8;

фланца - 0,5.

4. Размеры поковки и их допускаемые отклонения (черт. [29](#))

4.1. Размеры поковки, мм:

диаметр $126 + (3,0 + 0,4 + 0,5) \times 2 = 133,8$ принимается 134;

диаметр 36 - $(2,7 + 0,4 + 0,5) \times 2 = 78,8$ принимается 78,5;

диаметр 60 + $(2,7 + 0,5 + 0,4) \times 2 = 67,2$ принимается 67;

диаметр 45 + $(2,2 + 0,8) \times 2 = 51$ принимается 52.

(по [ГОСТ 2590](#));

глубина $40 + (3,0 - 2,0 + 0,5) = 41,5$ принимается 41,5;

толщина $52 + (3,0 + 3,3 + 0,5 + 0,4) = 59,1$ принимается $59,0$;

толщина $50 + (3,0 + 2,4 + 0,5 + 0,4) = 56,2$ принимается $56,0$.

4.2. Радиус закругления наружных углов $4,0$ мм (см. табл. [7](#)).

4.3. Штамповочный уклон - 7° (см. табл. [18](#)).

4.4. Допускаемые отклонения размеров (см. табл. [8](#)), мм:

диаметр $134^{+3,0}_{-1,5}$,

» $78,5^{+1,3}_{-2,7}$,

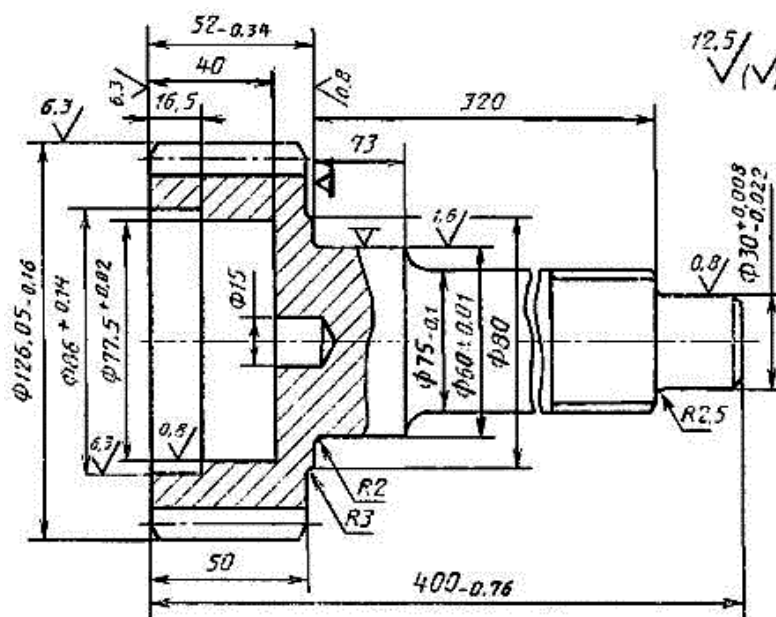
» $67^{+2,7}_{-1,3}$,

диаметр $52^{+0,4}_{-1,0}$ (по [ГОСТ 2590](#));

высота $41,5^{+1,2}_{-2,4}$,

толщина $59^{+2,7}_{-1,3}$,

» $56^{+2,7}_{-1,3}$.



Черт. 28

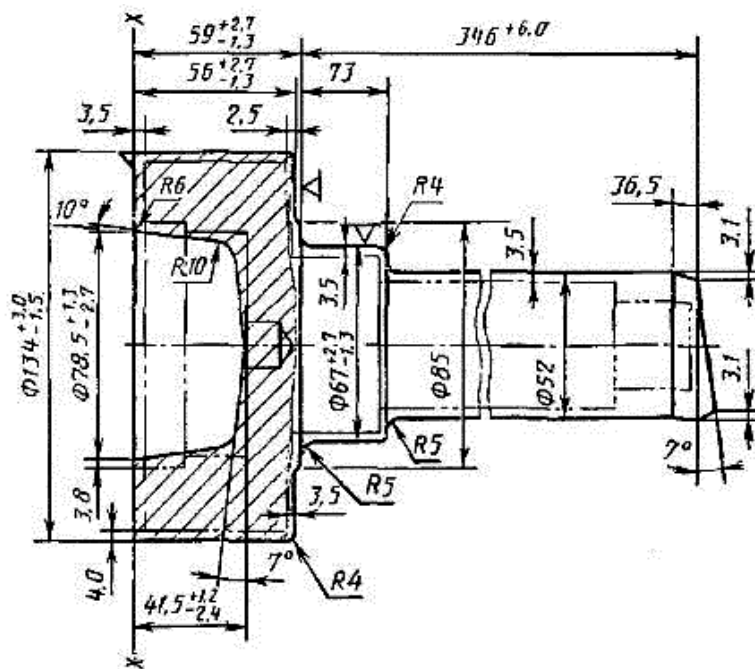
4.5. Допуск длины стержня $6,0$ мм - по п. [5.6](#).

4.6. Неуказанные предельные отклонения размеров - по п. [5.5](#).

4.7. Неуказанные допуски радиусов закругления - по п. [5.23](#).

4.8. Допускаемая высота заусенца в плоскости разъема матриц 2,4 мм по п. [5.12](#).

4.9. Допускается высота торцевого заусенца 7,0 мм - по п. [5.11](#).



Черт. 29

4.10. Допускаемые отклонения:

от плоскостности и от прямолинейности 1,0 мм - по п. [5.16](#);

от изогнутости 1,6 мм (см. табл. [13](#)).

4.11. Допускаемая величина смещения по поверхности разъема штампа 1,0 мм (см. табл. [9](#)).

4.12. Отклонение от соосности диаметра 78,5 (п. [5.14](#)) - 0,4 мм.

4.13. Допускаемые отклонения штамповочных уклонов - по п. [5.24](#) - $(7 \pm 1,7)^\circ$.

4.14. Допускаемое увеличение диаметра стержня - до 55,4 мм на расстоянии 100 мм от головки поковки (п. [5.6](#)).

4.15. Допускаемое отклонение торца стержня (табл. [15](#)), мм:

$x - 3,1;$

$y - 36,5.$

Наклон среза - 7° .