

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
**«Санкт-Петербургский государственный университет**  
**промышленных технологий и дизайна»**  
**Высшая школа технологии и энергетики**  
**Кафедра материаловедения и технологии машиностроения**

# **ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ**

## **АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ КОНСТРУКЦИИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН**

### **Выполнение лабораторной работы**

Методические указания для студентов очной формы обучения  
по направлению подготовки  
15.03.02 — Технологические машины и оборудование

Составитель  
И. Д. Соколова

Санкт-Петербург  
2023

Утверждено

на заседании кафедры материаловедения  
и технологии машиностроения  
22.05.2023 г., протокол № 4

Рецензент А. А. Таразанов

Методические указания соответствуют программе и учебному плану дисциплины «Основы технологии машиностроения» для студентов, обучающихся по направлению подготовки 15.03.02 – Технологические машины и оборудование. Методические указания содержат краткие сведения о производственном и технологическом процессах, составляющих технологического процесса и методике разработки технологического процесса механической обработки детали.

Методические указания способствуют формированию практических навыков разработки технологического процесса механической обработки детали и составления технологической документации.

Утверждены Редакционно-издательским советом ВШТЭ СПбГУПТД  
в качестве методических указаний

Режим доступа: [http://publish.sutd.ru/tp\\_get\\_file.php?id=202016](http://publish.sutd.ru/tp_get_file.php?id=202016),  
по паролю. — Загл. с экрана.

Дата подписания к использованию 15.06.2023 г. Рег. № 5007/23

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД  
198095, СПб., ул. Ивана Черных, 4.

© ВШТЭ СПбГУПТД, 2023

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	4
Цели и задачи работы.....	4
Анализ технологичности конструкции детали.....	4
Технические требования к детали .....	5
Общие требования к технологичности формы детали .....	6
Технологичность валов.....	8
Технологичность втулок и цилиндров .....	9
Технологичность дисков и барабанов.....	10
Технология зубчатых колес.....	11
Технологичность корпусных деталей.....	12
Особенности технологичности конструкций деталей, подвергаемых термической и химико-термической обработке.....	13
Качественная оценка технологичности.....	14
Пример качественного анализа технологичности конструкции детали.....	16
Количественная оценка технологичности конструкции детали .....	19
Порядок выполнения работы .....	20
Требования к отчету.....	21
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	22

## **ВВЕДЕНИЕ**

Обеспечение технологичности конструкции изделий согласно ГОСТ 14.201–83\* является функцией подготовки производства, предусматривающей взаимосвязанное решение конструкторских и технологических задач, направленных на повышение производительности труда, достижение оптимальных трудовых и материальных затрат и сокращение времени на производство, в том числе монтаж вне предприятия-изготовителя, техническое обслуживание и ремонт изделия. Технологичность конструкции относительна, зависит от вида производства, имеющегося оборудования и других факторов.

Основным источником информации для оценки технологичности является чертеж детали, разработанный конструктором. Он должен содержать все необходимые сведения о конструкции детали, материале, из которого она изготовлена, все размеры, допуски, шероховатость обрабатываемых поверхностей и допускаемые отклонения от правильных геометрических форм, взаимное положение поверхностей, а также технические требования к их обработке.

## **ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ**

Цель работы – формирование навыков проведения технологической проработки деталей на стадии их проектирования, работы с различной справочной, научно-технической литературой.

Задачи выполняемой работы:

- изучить основные виды оценки технологичности деталей;
- изучить требования, предъявляемые к конструкции деталей;
- приобрести знания и опыт в области конкретного проектирования;
- изучить приспособления и принадлежности при изготовлении деталей;
- изучить методику для проектирования маршрутов изготовления деталей.

## **АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ КОНСТРУКЦИИ ДЕТАЛИ**

Основной целью анализа технологичности конструкции детали является повышение производительности труда и качества изделия при максимальном снижении затрат времени и средств на изготовление, эксплуатацию и ремонт. Под технологичностью конструкции изделия понимается совокупность свойств, обуславливающих оптимизацию затрат труда в процессе проектирования, изготовления, эксплуатации и ремонта в сравнении с однотипным экземпляром при условии обеспечения эксплуатационных показателей качества и при заданном типе производства.

В соответствии с ГОСТ 14.205–83 технологичность – совокупность свойств конструкции изделия, определяющих ее приспособленность к достижению оптимальных затрат при производстве, эксплуатации и ремонте

при заданных показателях качества, объеме выпуска и условиях выполнения работ.

Технологичность конструкции детали имеет прямую связь с производительностью труда, затратами времени на технологическую подготовку производства, изготовление, техническое обслуживание и ремонт изделия. Поэтому проектированию технологического процесса изготовления детали должен предшествовать анализ технологичности ее конструкции и в необходимых случаях отработка на технологичность.

Анализ технологичности включает отработку конструкции детали с целью максимальной унификации элементов (размеров, резьб, фасок и др.), правильный выбор и простановку размеров, оптимальных допусков и шероховатости поверхности, соблюдение всех требований, предъявляемых к заготовкам, и т. д.

Анализ детали необходимо производить по всем ее обрабатываемым поверхностям. Анализу подвергается степень точности и шероховатость обрабатываемых поверхностей, что дает возможность выбирать оптимальные методы обработки каждой из поверхностей изготавливаемой детали.

При отработке на технологичность конструкции детали необходимо производить оценку в процессе ее конструирования.

Технологичность конструкции детали оценивают на двух уровнях – качественном и количественном.

## ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ДЕТАЛИ

Прежде всего следует выяснить назначение детали в узле машины и определить степень ее важности для эксплуатации машины. Затем провести подробный анализ технических требований к детали. При необходимости для решения возникающих задач привлекают методы теории размерных цепей. Результатами этого анализа должны быть формулировка основных технологических задач, которые необходимо решать при обработке детали, и корректировка чертежа детали.

Основные технологические задачи включают получение:

- точности размеров: диаметральных, линейных, угловых;
- точности формы: для цилиндрических деталей в продольном и поперечном направлениях (отклонения профиля продольного сечения; отклонения от круглости и цилиндричности), для плоскостных деталей (отклонения от плоскостности и прямолинейности);
- точности взаимного расположения поверхности (отклонения от параллельности, перпендикулярности, соосности, симметричности, пересечения осей);
- качества поверхностного слоя обработанных поверхностей:
  - высота микронеровностей профиля ( $R_z$ ,  $R_a$ ,  $tp$ );
  - твердость (HRC<sub>Э</sub>, HB);
  - численное значение, знак и глубина распространения внутренних остаточных напряжений.

Кроме того, на чертежах могут быть указаны и специальные технические требования: покрытия, термическая обработка, окраска, подгонка массы и т. п.

По всем группам технологических задач необходимо подробно изучить технические требования на изготовление с перечислением наиболее ответственных.

В результате формулируются основные технологические задачи, определяющие структуру технологического процесса, применяемое оборудование, средства технологического оснащения, квалификацию исполнителя, контрольные операции и др.

При технологическом контроле чертежей проверяют, содержит ли чертеж все сведения о детали: необходимые проекции, разрезы и сечения, размеры с допусками, требования к точности формы и взаимного расположения, требования к качеству поверхности.

Отработку конструкции детали на технологичность проводят в соответствии с общими правилами, установленными ГОСТ 14.201–83.

Анализ технологичности конструкции изделия направлен на повышение производительности труда, снижение затрат и сокращение времени на технологическую подготовку производства (ТПП). Конструкция изделия может быть признана технологичной, если она обеспечивает простое и экономичное изготовление детали и удовлетворяет следующим требованиям:

- конфигурация деталей и их материал позволяют применять наиболее прогрессивные заготовки, сокращающие объем механической обработки;

- при конструировании изделий используются простые геометрические формы, позволяющие применять высокопроизводительные методы производства. Предусмотрена удобная и надежная технологическая база в процессе обработки;

- обоснованы заданные требования к точности размеров и формы детали;

- использована стандартизация и унификация деталей и их элементов;

- для уменьшения объема механической обработки предусмотрены допуски только по размерам посадочных поверхностей;

- обеспечена достаточная жесткость детали;

- предусмотрена возможность удобного подвода жесткого и высокопроизводительного инструмента к зоне обработки детали;

- обеспечен свободный вход и выход инструмента из зоны обработки;

- учтена возможность одновременной установки нескольких деталей.

Конструкция изделия в значительной степени определяет содержание технологического процесса, его построение (маршрут), структуру операций, применяемые методы обработки, оборудования, оснастку и инструменты.

## **ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ ФОРМЫ ДЕТАЛИ**

1. Конструкция детали должна состоять из стандартных и унифицированных конструктивных элементов или быть стандартной в целом.

2. Детали должны изготавливаться из стандартных или унифицированных заготовок. Формы заготовки должны приближаться к форме и размерам готовой детали.

3. Заготовки должны быть получены рациональным способом, в конструкции детали нужно предусмотреть возможность использования необрабатываемых поверхностей и минимальных припусков на обработку.

4. Размеры и поверхности детали должны иметь, соответственно, оптимальные и обоснованные точность и шероховатость поверхностей. Оптимальными считаются точность и шероховатость поверхности экономически и конструктивно обоснованные.

5. Базовые поверхности детали должны иметь точность и шероховатость, обеспечивающие надежность и точность установки, обработки и контроля.

6. Возможность одновременной обработки нескольких деталей.

7. Конструкция детали должна обеспечивать возможность применения типовых, стандартных и групповых технологических процессов.

8. Свойства материала детали: физико-химические, механические, жесткость детали, ее форма и размеры должны соответствовать требованиям технологии изготовления (включая процессы упрочения, коррозионной защиты и пр.), хранения и транспортирования.

9. Не использовать материалы, плохо обрабатываемые резанием.

10. Доступность по всем обрабатываемым поверхностям для обработки и измерения.

11. Протяженность обрабатываемых поверхностей должна быть наименьшей.

12. Поверхности отверстий также должны соответствовать по форме стандартному инструменту, например, глухие отверстия следует проектировать с коническим дном, образуемым режущей кромкой сверла (угол заточки сверла  $2\varphi = 118 - 120^\circ$ ). Отверстия должны соответствовать по размерам стандартным сверлам (ГОСТ 886–77), не следует предусматривать сквозные отверстия с отношением длины к диаметру более 10 ( $l:d > 10$ ), т. к. требуются специальные сверла.

13. Глубина глухих отверстий не должна превышать шести диаметров; для глухих отверстий, подвергаемых чистовой обработке, следует указать ее длину, т. к. по всей длине трудно достичь шероховатости.

14. Глубина резьбы в глухих отверстиях должна быть согласована с размерами рабочей части метчика, не рекомендуется назначать резьбы длиной более 3-х диаметров, т. к. при этом затрудняется свинчиваемость деталей.

15. Конструкции деталей должны обеспечивать минимальную деформацию при термообработке.

16. Детали, обрабатываемые на станках токарной группы, должны иметь максимальное число поверхностей вращения и минимальное число изменений диаметра сечения.

17. Детали, обрабатываемые на протяжных станках, должны иметь равномерную жесткость по длине и достаточную прочность.

18. При обработке на станках с ЧПУ к конструкции обрабатываемых деталей предъявляют менее жесткие требования (например, сложные, фасонные, контурные и объемные поверхности можно получить без особых трудностей).

## ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ ВАЛОВ

*Конструктивные особенности.* В механизмах транспортных и технологических машин, колесных и гусеничных машинах применяют валы различной конструктивной формы: бесступенчатые (гладкие), ступенчатые с прямой геометрической осью, коленчатые, эксцентриковые (кулачковые), кривошипы, поворотные кулаки и др.

Наибольшее распространение в этих машинах (60–70 % общего количества) получили ступенчатые валы средних размеров (диаметром 25...125 мм, длиной до 250 мм) – шлицевые с глухим или сквозным центральным отверстием. Шлицевые валы изготавливают в основном с закрытыми шлицами прямобочного или эвольвентного профиля.

Несмотря на разнообразие форм и размеров валов, необходимо учитывать следующие требования, обуславливающие их технологичность:

1. Достаточная жесткость. Конструкция вала считается жесткой при отношении длины к диаметру ( $l/d$ ) не более 10...12. В противном случае токарная обработка вала требует применения дополнительных опор – люнетов, что увеличивает трудоемкость. В зависимости от отношения длины к диаметру валы закрепляются при обработке в патроне ( $l:d \leq 5$ ), в центрах ( $l:d \leq 10$ ) или в центрах с люнетом ( $l/d > 10...12$ ).

2. Наличие постоянных технологических баз (центровые отверстия). Это позволяет повысить точность и сократить трудоемкость обработки соосных ступенчатых поверхностей. Форма и размеры центровых отверстий должны соответствовать ГОСТ 14034–74.

3. Предусматривать стандартные канавки для выхода шлифовального круга. Форма и размеры канавок должны соответствовать ГОСТ 8820–69.

4. Для сокращения числа типоразмеров канавочных резцов канавки выполнять по возможности одинаковыми.

5. Ступени должны быть с минимальными перепадами диаметров, убывающие или возрастающие. Желательна симметричность.

6. Ступени по возможности должны иметь одинаковую или кратную длину для обеспечения возможности многоинструментальной обработки. Конические переходы между ступенями вала и фаски следует назначать под обработку с учетом стандартных токарных проходных резцов с главным уклоном в плане  $\varphi$ , равным 30, 45, 60 и 90°. При больших перепадах применять высадку головок или составные конструкции для уменьшения объема обработки резанием и расхода металла.

7. У гладких длинных валов вместо ступени при необходимости упорных уступов, буртов устанавливать разжимные пружинные кольца. В этом случае бурт заменяется канавкой.

8. У длинных нежестких валов предусматривать резьбовое отверстие для обеспечения транспортировки, термообработки и хранения в подвешенном состоянии.

9. Крупные валы необходимо выполнять полыми.

10. Целесообразная простановка продольных размеров облегчает наладку станка и сокращает трудоемкость обработки.

11. Наличие радиусов закруглений между ступенями повышает стойкость инструмента.

12. Форма и размеры выхода внутренних и наружных резьб должны соответствовать ГОСТ 10549–80 (недорез резьбы  $\approx 3P$ ; сбеги резьбы  $\approx 2,5P$ ; проточка канавки под выход инструмента  $\approx 5P$ , где  $P$  – шаг резьбы).

13. Непрерывность шлифуемых поверхностей (постоянная длина образующей). Это обеспечивает более высокую точность формы, так как площадь контакта детали, а, следовательно, давления шлифовального круга – постоянны.

14. Наличие фасок в деталях (особенно из хрупких материалов). Это предотвращает выкрашивание кромок шлифовального круга при шлифовании.

15. Заменять переходные поверхности фасками.

16. Не рекомендуются кольцевые канавки на торцах, особенно со стороны стержня, так как они трудоемки в работе.

17. При наличии нескольких шпоночных пазов на разных ступенях выполнять их на одной линии с одинаковой шириной.

18. Глубина и ширина шпоночных канавок должна соответствовать размерам стандартных шпоночных фрез. Предпочтительны шпоночные канавки, обрабатываемые дисковыми, а не концевыми фрезами.

## ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ ВТУЛОК И ЦИЛИНДРОВ

*Конструктивные особенности.* С конструктивной точки зрения втулки и цилиндры характеризуются наличием нескольких концентрично расположенных внутренних и наружных поверхностей. Эти детали можно условно разделить на три группы.

К *первой группе* относятся втулки, имеющие ряд концентричных внутренних и наружных поверхностей (кондукторные, направляющие и упорные втулки; упорные втулки ступицы заднего колеса, втулки балансиров, цапф, гусеничных траков, конусы синхронизаторов и др.). Наиболее распространены втулки с отношением  $L/D \leq 2$  (здесь  $L$  – длина;  $D$  – внешний наибольший диаметр).

Ко *второй группе* можно отнести гидроцилиндры, цилиндры гидроамортизаторов, телескопические цилиндры и плунжеры опрокидывающих механизмов, и другие, как правило, тонкостенные, длина которых значительно превышает диаметр.

К *третьей группе* можно отнести втулки и цилиндры, имеющие сложную наружную поверхность, например, цилиндры тормозной системы автомобиля.

При конструктивном оформлении втулок и цилиндров необходимо учитывать следующие требования, обуславливающие их технологичность.

1. Простая конфигурация и достаточная жесткость.

2. С целью обеспечения соосности основных цилиндрических поверхностей конструкция втулок должна быть такой, чтобы обработка всех их внутренних поверхностей производилась с одной стороны при неизменном закреплении заготовки.

3. Нежелательны выточки на обрабатываемых с высокой точностью внутренних поверхностях втулки. Предпочтение следует отдавать втулкам, имеющим сквозные отверстия.

4. Если ступенчатые отверстия или наружные поверхности втулки должны выполняться с высокой точностью, то для выхода инструмента следует предусматривать канавки (ГОСТ 8820–69).

5. Конструкция отверстия с резьбой должна давать возможность работать резьбовым инструментом на проход. Поэтому они должны иметь канавки для выхода инструмента. Это обеспечивает улучшение условий работы инструмента и повышение качества резьбы.

6. Образование шлицев и пазов в глухих отверстиях затруднено, поэтому отверстия с пазами и шлифами желательно выполнять сквозными, что позволяет использовать высокопроизводительное протягивание.

7. При невозможности применения втулок со сквозными шлицами или пазами следует предусматривать канавки для выхода долбяка или резца в соответствии с ГОСТ 14775–81 (табл. 5).

8. С целью упрощения конструкции режущего инструмента и повышения его стойкости, упрощения процесса обработки следует избегать глубоких шлицевых отверстий и пазов.

## ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ ДИСКОВ И БАРАБАНОВ

*Конструктивные особенности.* Характерной особенностью деталей, относящихся к дискам, является малая высота по сравнению с диаметром:  $h=0,5D$  (здесь  $D$  – диаметр наружной поверхности детали).

В технологических и транспортных машинах типичными представителями таких деталей являются: ведущие и направляющие колеса, опорные и поддерживающие катки, тормозные барабаны фрикционных механизмов, кольца включения фрикционных дисковых тормозов, диски фрикционов, уплотнительные кольца, кольца опорных и поворотных подшипников и др.

Детали, относящиеся к группе барабаны (ступицы), характеризуются большей высотой  $h = (0,5 - 1,0)D$ . К этим деталям относятся ступицы колес колесных машин, направляющие (поддерживающие) катки и ролики гусеничных машин, и др.

## ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

*Конструктивные особенности.* Зубчатые колеса транспортных и технологических машин работают в весьма тяжелых условиях переменных и ударных нагрузок. Силовые трансмиссии агрегатов передают значительные крутящие моменты, создавая нагрузки до 1000 Н на 1 мм длины зуба. Окружные скорости зубчатых колес достигают 25 м/с и более, что требует высокой точности их изготовления. Зубчатые колеса являются ответственными деталями машин, определяющими их надежность и долговечность, поэтому к их конструкции, материалу и процессу изготовления предъявляются жесткие требования.

Наиболее часто встречающиеся разновидности зубчатых колес можно разделить на ряд типов.

*Цилиндрические одновенцовые* зубчатые колеса диаметром до 300 мм: с отверстием без выточки и плоскими обработанными торцами; с выточками в отверстиях или в торцах; со ступицей.

*Цилиндрические многовенцовые* с выточками в отверстиях, многовенцовые блочные.

*Конические* зубчатые колеса бывают со ступицей и венцовые.

*Червячные* зубчатые колеса выполняются цельными (для малых диаметров червячных пар) и в виде венцов.

При конструктивном оформлении зубчатых колес необходимо учитывать следующие требования, обуславливающие их технологичность.

1. Простая конфигурация. Это обеспечивает многоместную обработку при зубонарезании (типа плоских дисков).

2. Многовенцовые колеса должны иметь достаточное расстояние между венцами для обеспечения выхода фрез и шлифовальных кругов. При невозможности обеспечения этого требования желательно многовенцовые зубчатые колеса делать составными с целью применения высокопроизводительных методов обработки с заданной точностью.

3. Конструкция одновенцовых колес должна предусматривать смещение венца к одному торцу, что обеспечивает минимальную металлоемкость и возможность одновременного нарезания зубьев у двух колес.

4. Конфигурация колеса должна предусматривать минимальную деформацию при термообработке.

5. Предусматривать канавки для выхода долбяков, гребенок и червячных фрез при нарезании шевронных колес (см. табл. 4).

6. Точность базисуемых поверхностей (торцы, отверстия, шейки) должна соответствовать точности зубчатых венцов.

7. Длина шлицевых отверстий должна соответствовать геометрическим параметрам протяжек.

## ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ

*Конструктивные особенности.* Корпусные детали транспортных и технологических машин служат для размещения отдельных узлов, механизмов и др. Наиболее распространенной группой деталей в машинах являются корпуса средних размеров сложной коробчатой формы.

Для корпусных деталей характерно наличие систем точно расположенных основных отверстий, координированных между собой и относительно плоскостей, систем крепежных и других мелких отверстий. Для корпусных деталей коробчатого типа характерно наличие развитых плоских поверхностей и основных отверстий в нескольких осях. Эти детали часто выполняются разъемными в диаметральной плоскости основных отверстий (например, корпуса коробок передач гусеничных машин) или с отъемной крышкой, на которой монтируют вторую опору вала (например, корпуса раздаточных коробок колесных машин). У деталей фланцевого типа плоские поверхности обычно являются торцевыми поверхностями основных отверстий и имеют выточки или выступы.

При конструировании корпусных деталей должна быть обеспечена их технологичность.

1. Жесткость и виброустойчивость конструкции при обработке.
2. Наличие надежных технологических баз и мест для закрепления.
3. Обработываемые плоскости располагать на одном уровне с одинаковой точностью и шероховатостью.
4. Ширину обрабатываемых поверхностей увязывать с нормальным рядом диаметров торцевых или длин цилиндрических фрез.
5. Четкое разграничение обрабатываемых и необрабатываемых поверхностей.
6. Предпочтительна обработка плоскостей на проход. Для этого обрабатываемые поверхности располагать выше примыкающих элементов.
7. Унификация радиусов сопряжения элементов детали для сокращения числа типоразмеров и смен инструмента.
8. Размещать поверхности, подвергаемые обработке, с одной стороны детали для сокращения трудоемкости обработки за счет уменьшения числа установов детали.
9. Простановка размеров от одной технологической базы для обеспечения возможности обработки поверхностей детали с одного установа и упрощения настройки станка.
10. Перпендикулярность отверстий к плоскости общего торца для снижения поверхностей.
11. Унификация радиусов сопряжения элементов детали для сокращения числа типоразмеров и смен инструмента.
12. Крепежные отверстия располагать на расстоянии, достаточном для использования кондукторов и многошпиндельных головок.

13. Перепад размеров у отверстий в стенках, лежащих на одной линии, и их расположение должны обеспечить возможность многоинструментальной обработки.
14. Предусматривать элементы при обработке отверстий, не допускающие входа и выхода инструмента под углом.
15. Избегать отверстий с плоским дном.
16. Избегать глухих отверстий (гладких и резьбовых). Конфигурация глухих отверстий должна быть увязана с конструкцией применяемого инструмента (зенкера, развертки), имеющего коническую заборную часть.
17. У глухих резьбовых отверстий предусматривать запас длины на сбег резьбы, размещение метчиков и стружки.
18. В резьбовых отверстиях предусматривать заходную фаску.
19. Избегать глубоких отверстий (отношение длины к диаметру более пяти).
20. Избегать применение резьб малого диаметра (до 6 мм) в крупных деталях из-за возможности поломки метчиков и их быстрого изнашивания.
21. В отверстиях, расположенных в стенках, вместо ступеней устанавливать пружинные разрезные кольца. При этом вместо ступени выполняется канавка, что уменьшает трудоемкость обработки.
22. Избегать глухих отверстий, пересекающихся с внутренними полостями. Заменять их сквозными отверстиями с заглушкой.
23. У дна точных глухих отверстий предусматривать канавку выхода инструмента.
24. У длинных точных отверстий для сокращения обработки вместо выточек, получаемых резанием, выполнять литые выемки.

### **ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ ДЕТАЛЕЙ, ПОДВЕРГАЕМЫХ ТЕРМИЧЕСКОЙ И ХИМИКО- ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ**

1. Простые геометрические формы и симметричная конфигурация без острых граней, тонких перемычек и резких переходов в сечениях.
2. Перед термообработкой на деталях нежелательно иметь прорезы, отверстия и канавки, в зоне которых могут возникнуть напряжения и трещины.
3. Шероховатость поверхностей деталей, подвергаемых закалке, должна быть не ниже  $Ra = 10$  мкм, так как при большей шероховатости возможно образование трещин и разрушение детали.
4. В деталях, закаливаемых с помощью ТВЧ, толщина закаленного слоя должна быть больше глубины имеющихся кольцевых выточек, иначе предел выносливости деталей снижается, и они могут разрушиться по выточке.

5. Избегать выхода закаленного слоя в нагруженную зону детали, так как при этом суммируются напряжения, возникающие при работе детали, с напряжениями в закаленном слое.
6. Для предупреждения оплавления кромок на торцах деталей и в отверстиях следует предусматривать фаски.
7. Резьбы на деталях, подвергаемых химико-термической обработке, не каливать, так как они получаются хрупкими с повышенной твердостью.
8. В опасных зонах (тонкие стенки и перегородки) следует назначать местную химико-термическую обработку для предупреждения трещин при закалке.
9. Детали, склонные к короблению, выполнять из легированных сталей, закаливающих в масле или на воздухе.

### **КАЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ**

Качественная оценка технологичности является предварительной, обобщенной и характеризуется показаниями: «лучше – хуже», «рекомендуется – не рекомендуется», «допустимо – не допустимо» и т. п. Технологичной при качественной оценке считается такая геометрическая конфигурация детали и отдельных ее элементов, которая учитывает возможности минимального расхода материала и использования наиболее производительных и экономичных методов изготовления.

Качественная оценка предшествует количественной и сводится к определению соответствия конструкции детали следующим требованиям:

- конструкция должна быть стандартной или состоять из стандартных и унифицированных конструктивных элементов;
- для изготовления детали должны использоваться стандартные или унифицированные заготовки;
- точность размеров и шероховатость поверхностей детали должны быть оптимальными, обоснованными конструктивно и экономически;
- при определении жесткости, формы и размеров, а также механических и физико-химических свойств ее материала следует учитывать возможности технологии изготовления, условий хранения и транспортирования;
- точность и шероховатость поверхностей должны обеспечивать требуемую точность установки, обработки и контроля;
- заготовку необходимо получать рациональным способом (с учетом объема выпуска и типа производства);
- должны обеспечиваться доступ к обрабатываемым поверхностям и возможность одновременной обработки нескольких заготовок;
- сопряжения поверхностей деталей различных качеств и шероховатости должны соответствовать методам и средствам обработки;
- конструкция детали должна обеспечивать возможность использования групповых, типовых и стандартных технологических процессов;

– унификация формы и размеров обрабатываемых элементов, что обеспечит обработку их минимальным числом инструментов и использование типовых подпрограмм на станках с ЧПУ и т. д.

Анализ технологичности конструкции детали рекомендуется выполнять в следующей последовательности:

1. На основании анализа исходной информации (сборочного чертежа узла, чертежа детали, программы и годового объема выпуска, типа производства, служебного назначения узла и детали) выносят заключение о целесообразности принципиального изменения метода получения исходной заготовки. При этом в ряде случаев приходится менять материал заготовки.

В тех случаях, когда качественное сравнение принципиально отличных методов получения заготовок не позволяет сделать определенный выбор, производят количественную технико-экономическую оценку двух–трех предпочтительных вариантов методов получения заготовок и принимают решение о выборе исходной заготовки.

Если метод получения исходной заготовки был изменен принципиально, то приводят эскизные рисунки базовой и предложенной исходной заготовок с указанием их основных размеров.

2. Выполняют анализ технологичности конструктивных элементов детали, выявляют труднодоступные для обработки места и при необходимости вносят изменения в конструкцию (производят отработку на технологичность).

3. Определяют возможность совмещения технологических и конструкторских (измерительных) баз при обеспечении размеров требуемой точности, а также возможность прямого контроля таких размеров.

4. Анализируют конструкцию детали (исходной заготовки) для возможности одновременной обработки нескольких заготовок на одном станке, многоинструментальной, многосторонней и других прогрессивных методов обработки.

5. Анализируют соответствие заданных допусков и технических требований служебному назначению детали и технологическим возможностям оборудования.

6. Определяют поверхности, которые будут использованы в качестве технологических баз, и проверяют соответствие их требованиям, предъявляемым к технологическим базам заготовки. Выполняют эскизы, изображающие детали или отдельные ее элементы, до отработки конструкции на технологичность и после (рис. 1, 2).

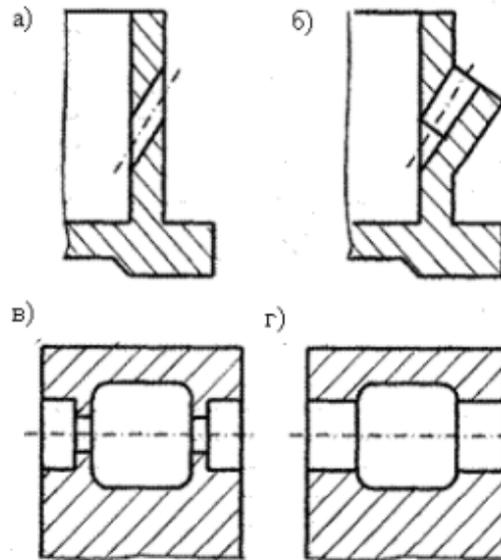


Рис. 1. Отдельные элементы детали: а, в – нетехнологичные; б, г – технологичные

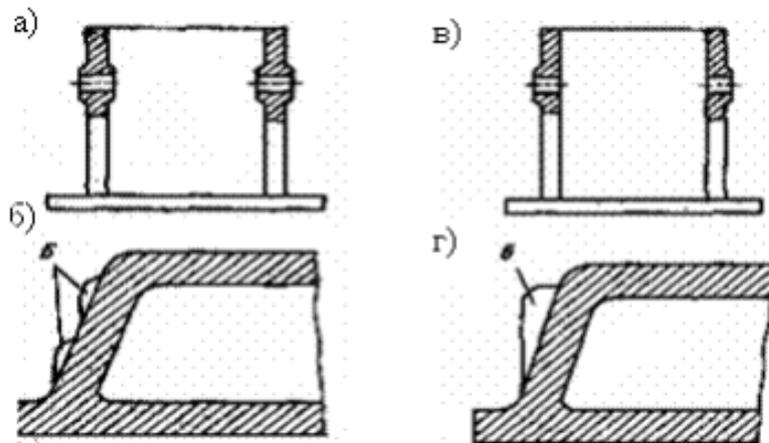


Рис. 2. Отдельные элементы детали: а, б – нетехнологичные; в, г – технологичные

### ПРИМЕР КАЧЕСТВЕННОГО АНАЛИЗА ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ КОНСТРУКЦИИ ДЕТАЛИ

Деталь – вал-шестерня (рис. 3) – изготавливается из высококачественной легированной конструкционной стали 20ХНЗА ГОСТ4543-71.

Данная сталь удовлетворительно обрабатывается резанием. Для уменьшения износа поверхностей вала применяется химико-термическая обработка – цементирование на глубину 1,2...1,5 мм с повторным нагревом под закалку, а на шлифованных поверхностях  $h$  не менее 0,7 мм. Резьба от цементации предохраняется. Поверхности зубьев, шлицев, шлифованные

поверхности должны иметь твердость 59...63 HRC, торцы 54 HRC не менее, сердцевина зубьев 30...45 HRC, остальные обработанные поверхности 47 HRC.

Заготовку можно получить двумя методами: штамповкой на КГШП или поперечно-клиновой прокаткой.

Деталь довольно проста по конструкции и имеет хорошие базовые поверхности для первоначальных операций. Форма заготовки приближена к форме детали. Имеется свободный доступ инструмента к обрабатываемым поверхностям.

В конструкции детали заложен принцип единства баз. Технологические базы в течение всего хода технологического процесса остаются неизменными, что позволяет избежать дополнительных погрешностей. В соответствии с этим принципом расставлены размеры на чертеже. Размеры, определяющие нерабочие поверхности детали, имеют более широкие поля допусков и более грубую шероховатость, чем рабочие. К валу предъявляются высокие требования по допуску на радиальное биение – 0,019 мм.

Контроль диаметральных размеров осуществляется с помощью скоб, колец, микрометра; линейных размеров – с помощью штангенциркуля, шаблонов, калибра; отверстия – с помощью пробки; шлицев – с помощью шлицевых комплексных, шлицевых поэлементных, прямобочных, шлицевых проходных калибров. Для контроля резьбы применяются комплексные калибры. Шероховатость проверяется профилометром.

Следует отметить, что вал жесткий ( $l/D = 408/92 = 4,4$ ). Это говорит о том, что имеется возможность увеличения режимов резания, применения много-инструментальной обработки.

На валу имеются в наличии поверхности, к которым предъявляются высокие требования по точности (шейки вала, резьбовые поверхности), что ведет к увеличению трудоемкости и перерасходу средств на изготовление детали, себестоимость детали повышается.

Нетехнологичными являются следующие элементы: резьба, два сквозных отверстия с пересекающимися осями и перпендикулярной образующей. При их обработке возможен увод сверла. Следовательно, для их получения необходимо использовать специальное приспособление.

Также нетехнологичными элементами являются зубья; шлицы, которые имеют эвольвентный и прямоугольный профили. С точки зрения механической обработки шлицевые и зубчатые поверхности нетехнологичны, так как операция нарезания зубьев и шлицев со снятием стружки производится в основном малопроизводительными методами. Вал имеет значительные перепады по диаметру – максимальный 108 мм, минимальный 42 мм. Остальные обрабатываемые поверхности с точки зрения обеспечения точности и шероховатости не представляют технологических трудностей.

Вал подвергается термообработке, что свидетельствует об усложненном технологическом процессе его получения.



## КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ КОНСТРУКЦИИ ДЕТАЛИ

Необходимость количественной оценки технологичности конструкции деталей, а также номенклатура показателей и методика их определения устанавливаются в зависимости от вида изделий, типа производства и стадии разработки конструкторской документации отраслевыми стандартами или стандартами предприятия.

Количество показателей должно быть минимальным, но достаточным для оценки технологичности.

Количественная оценка эксплуатационной и ремонтной технологичности конструкции изделия проводится обязательно при затратах на эксплуатацию и ремонт сопоставимых или превышающих затраты на его производство.

Для количественной оценки технологичности конструкции детали из предусмотренной номенклатуры показателей технологичности рекомендуется применять следующие:

При проведении количественного анализа определяют показатели унификации и показатели обработки.

*Показатель материалоемкости*, который характеризуется коэффициентом использования материала:

$$\text{КИМ} = M_d / M_3,$$

где  $M_d$  – масса детали, кг;  $M_d = 11,20$  кг;

$M_3$  – масса заготовки, кг;  $M_3 = 16,5$  кг, следовательно,  $\text{КИМ} = 0,678$ .

Базовое значение показателя  $\text{КИМ} = 0,7$ . Если расчетное значение коэффициента использования материала выше базового, то можно сказать, что выбранный метод получения заготовки и ее конфигурация удовлетворяют требованиям технологичности.

При оценке детали на технологичность обязательным являются следующие дополнительные показатели:

*Коэффициент унификации конструктивных элементов*

$$K_{y.э} = Q_{y.э} / Q_э,$$

где  $Q_{y.э}$  и  $Q_э$  – соответственно, число унифицированных конструктивных элементов детали и общее, шт.;  $K_{y.э} = 5/17 = 0,29$ .

К унифицированным поверхностям относятся стандартные канавки, фаски, центровочные гнезда, зубчатые, шлицевые, шпоночные поверхности; гладкие цилиндрические и плоские поверхности, если их номинальный размер принадлежит одному из рядов номинальных линейных размеров и допуск размера назначен по квалитетам. Базовое значение показателя  $K_{y.э} = 0,8$ .

*Коэффициент применяемости стандартизованных обрабатываемых поверхностей*

$$K_{п.ст} = D_{o.c} / D_{м.о},$$

где  $D_{o.c}$ ,  $D_{м.о}$  – соответственно, число поверхностей детали, обрабатываемых стандартным инструментом, и всех, подвергаемых механической обработке поверхностей, шт.;

$$K_{п.ст} = 32/32 = 1$$

*Коэффициент обработки поверхностей*

$$K_{п.о} = 1 - \frac{D_{м.о}}{D_э},$$

где  $D_{м.о}$  и  $D_э$  – соответственно, число поверхностей, подвергаемых механической обработке, и общее число поверхностей, шт.;

$$K_{п.о} = 1 - \frac{32}{32} = 0.$$

*Коэффициент шероховатости поверхности*

$$K_{ш} = 1 - \frac{1}{B_{ср}}, B_{ср} = \frac{\sum B_i}{\sum n_i},$$

где  $B_i$  – значение параметра шероховатости;  $i$  – количество параметров шероховатости. Минимальное значение параметра шероховатости обрабатываемых поверхностей,  $Ra = 0,63$  мкм;

$$B_{ср} = 9,3 \text{ мкм}, K_{ш} = 1 - \frac{1}{9,3} = 0,892.$$

Таким образом, проанализировав количественные показатели технологичности для данной детали, следует сказать, что к отрицательным показателям, характеризующим деталь, относятся: коэффициент использования материала, который является ниже среднего ( $0,67 < 0,7$ ). Это говорит о том, что значительная часть материала срезается в стружку, что приводит к снижению технологичности изделия, а также к удорожанию детали. Коэффициент унификации конструктивных элементов показал, что деталь нетехнологична, так как имеет лишь четверть унифицированных конструктивных элементов.

К положительным показателям, характеризующим деталь, относятся: коэффициент применяемости стандартизованных обрабатываемых поверхностей – все поверхности обрабатываются стандартным инструментом.

Таким образом, проанализировав качественные и количественные показатели технологичности детали «вал-шестерня», можно сделать вывод, что из-за наличия большого количества нетехнологичных элементов, указанных выше, высоких требований к точности обработки и необходимости термообработки данный вал является малотехнологичным.

## **ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

1. Изучение методического пособия, особенно с последовательностью проведения анализа технологичности конструкции детали, подвергаемой термической и химико-термической обработке.

2. Знакомство с требованиями, предъявляемыми к элементам конструкции детали.

3. Практическое выполнение оценки технологичности конструкции детали.

4. Составление отчета.

## ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет должен содержать:

- название лабораторной работы;
- цель и задачи работы;
- краткие сведения о технологичности деталей машин и ее оценках, методике разработки технологического процесса механической обработки детали;
- эскиз выданной преподавателем детали;
- качественный анализ технологичности ее конструкции;
- количественная оценка технологичности конструкции детали.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аверченков, В. И. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. 1 [Текст] / В. И. Аверченков [и др.]. – Изд. 6-е, перераб. и доп. – М. : Инновационное машиностроение, 2018. – 756 с. – ISBN 978-5-6040281-6-2.
2. Андреев, В. Н. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. 2 [Текст] / В. Н. Андреев [и др.]. – Изд. 6-е, перераб. и доп. – М. : Инновационное машиностроение, 2018. – 818 с. – ISBN 978-5-6040281-7-9.
3. Боровский, Г. В. Справочник инструментальщика / Г. В. Боровский, С.Н. Григорьев. – М. : Машиностроение, 2007. – 464 с. – ISBN 978-5-217-03389-8.
4. Вереина, Л. И. Металлорежущее технологическое оборудование : учеб. пособие для вузов [Текст] / Л. И. Вереина, А. Г. Ягопольский ; под. общ. ред. Л. И. Вереиной. — Изд. 2-е, перераб. и доп. — М. : ООО «Научно-издательский центр ИНФРА-М», 2019. — 542 с. — ISBN 978-5-16-013642-4.