

Министерство образования Республики Беларусь  
БЕЛОРССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

---

Кафедра «Технология машиностроения»

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
НАДЕЖНОСТИ ДЕТАЛИ

Методические указания  
по выполнению раздела дипломного проекта  
для студентов специальности  
1-36 01 01 – «Технология машиностроения»

М и н с к 2010

УДК 621.002-192.001.63:378.244

ББК

Т38

Составители:

Баршай Игорь Львович,  
Шелег Валерий Константинович

Рецензент доктор технических наук, профессор А.Ф. Присевко

Методические указания включают теоретические положения, касающиеся надежности детали и причин выхода из строя, порядок расчета надежности технологического процесса и последовательность выполнения раздела в целом.

## **Введение**

Для машино- и приборостроения наиболее эффективным эксплуатационным показателем качества является надежность. Надежность – сложное свойство, которое в зависимости от назначения объекта и условий его применения состоит из сочетаний свойств: безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости.

Для деталей машин наиболее важным показателем качества является долговечность.

Все этапы создания и использования машины, в том числе и разработка технологических процессов изготовления деталей, связаны с вопросами обеспечения надежности. Поэтому в дипломный проект по специальности 1-36 01 01 включен раздел «Технологическое обеспечение надежности детали». Подготовка к выполнению раздела осуществляется при изучении курса «Технологические методы обеспечения надежности деталей машин» и во время производственных практик. При прохождении преддипломной практики студенты должны собрать необходимые сведения об условиях работы детали в сборочной единице; причинах ее выхода из строя; определить поверхность детали, лимитирующую ее долговечность; изучить и дать описание процесса, направленного на обеспечение долговечности детали; рассчитать надежность базового и разрабатываемого вариантов технологического процесса обработки лимитирующей поверхности.

Примерный объем данного раздела пояснительной записки дипломного проекта 6–7 страниц текста.

### **1. Основные положения и определения**

В соответствии с ГОСТ 27.002 – 83 «Надежность в технике. Термины и определения»: надежность - свойство объекта сохранять в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования.

Наука о надежности изучает закономерности изменения показателей качества технических устройств и систем и на основании этого разрабатывает методы, обеспечивающие с наименьшими затратами

времени и средств необходимую продолжительность и безотказность их работы.

**Безотказность** – свойство объекта непрерывно сохранять работоспособность в течение некоторого времени или некоторой наработки.

**Наработка** – продолжительность или объем работы объекта, выражается в единицах объема выполненной работы за промежуток времени или время функционирования.

**Работоспособное состояние** – состояние объекта, при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствует требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской документации.

Это свойство особенно важно для машин, отказ в работе которых связан с опасностью для жизни людей или перерывом в работе большого комплекса машин, остановкой автоматизированного производства (металлургическое, химическое) или браком дорогостоящих изделий.

**Долговечность** – свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта.

**Предельное состояние объекта** характеризуется требованиями безопасности, невозможностью или неэффективностью дальнейшей эксплуатации.

**Показатели долговечности:** назначенный ресурс – суммарная наработка, при достижении которой применение по назначению должно быть прекращено. Назначенный срок службы – календарная продолжительность эксплуатации объекта, при достижении которой применение по назначению должно быть прекращено.

**Ремонтопригодность** – свойство объекта, заключающееся в приспособленности к предупреждению причин возникновения отказов, повреждений, поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем проведения технического обслуживания и ремонтов.

С усложнением системы труднее находить причины отказов и отказавшие элементы. Так, в сложных электрогидравлических системах станков поиск причин отказа может составлять более 50 % общего времени восстановления работоспособности.

**Показатель ремонтопригодности** – вероятность того, что время восстановления работоспособного состояния объекта не превысит

заданного.

**Сохраняемость** – свойство объекта сохранять показатели безотказности, долговечности и ремонтпригодности в течение и после хранения и (или) транспортирования. Практическая роль этого свойства велика для приборов.

**Показатель сохраняемости:** средний срок сохраняемости или математическое ожидание срока сохраняемости.

**Исправное состояние** – состояние объекта, при котором он соответствует всем требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской документации.

**Несправное состояние** – состояние объекта, при котором он не соответствует хотя бы одному требованию нормативно-технической и (или) конструкторской документации.

**Предельное состояние** – состояние объекта, при котором его дальнейшее применение по назначению недопустимо или нецелесообразно, либо восстановление его исправного состояния невозможно или нецелесообразно.

**Критерий предельного состояния** – признак или совокупность признаков предельного состояния объекта, установленные в нормативно-технической и (или) конструкторской документации.

**Повреждение** – событие, заключающееся в нарушении исправного состояния объекта.

**Отказ** – событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта.

**Показатель надежности** – количественная характеристика одного или нескольких свойств, составляющих надежность объекта.

Комплексный показатель надежности – показатель, характеризующий несколько свойств, составляющих надежность объекта.

**Технический ресурс** – наработка объекта от начала его эксплуатации или ее возобновления после ремонта определенного вида до перехода в предельное состояние.

**Срок службы** – календарная продолжительность от начала эксплуатации объекта или ее возобновления после ремонта определенного вида до перехода в предельное состояние.

Надежность детали зависит как от построения технологического процесса, так и стабильности его выполнения во времени. Построение процесса с точки зрения обеспечения надежности детали определяется необходимостью создания заданных эксплуатационных

свойств. При этом должны учитываться возможности различных технологических операций и их сочетаний в формировании свойств детали, возникновение характерных дефектов заготовки, являющихся следствием того или иного метода ее получения или вида обработки, степень наследования дефектов, их влияние на показатели надежности детали и другие факторы.

Повышение надежности детали на стадии проектирования технологических процессов может осуществляться в двух направлениях:

- включение в технологический процесс операций, основной целью которых является поверхностное или объемное упрочнение заготовок;

- обеспечение надежности самого технологического процесса путем повышения стабильности и устойчивости во времени показателей качества обрабатываемых заготовок.

## **2. Основные причины выхода деталей машин из строя**

Основными причинами выхода деталей машин из строя являются следующие.

**Изнашивание** – процесс разрушения и отделения материала с поверхности твердого тела и (или) накопления его остаточной деформации при трении, проявляющейся в постепенном изменении размеров и (или) формы тела.

Большинство машин (85–90 %) выходят из строя по причине износа деталей. Повышенный износ деталей в сочленениях в одних случаях нарушает герметичность рабочего пространства машины (например, в поршневых машинах), в других - нарушает нормальный режим смазки, в третьих – приводит к потере кинематической точности механизма. В результате изнашивания понижается мощность двигателей, увеличивается расход горючесмазочных материалов, падает производительность компрессоров, возникает возможность утечки ядовитых и взрывоопасных продуктов через сальники и уплотнения, понижается тяговые качества транспортных машин, ухудшается управление самолетами и автомобилями (понижается опасность движения) уменьшается производительность: снижается точность и качество обработки изделий на металлорежущих станке.

**Усталость** – процесс постепенного накопления повреждении материала под действием переменных напряжений, приводящих к

изменению свойств, образованию трещин и разрушению (поломкам, выкрашиванию поверхностей и др.). Усталость приводит к внезапному разрушению после развития усталостной трещины до величины, при которой статическая прочность остаточного сечения оказывается исчерпанной. От усталости разрушаются валы и оси, пружины, болты и другие детали.

Усталостная прочность зависит от наличия концентраторов напряжений; качества поверхности (шероховатость, наклеп, остаточные напряжения); состава и структуры материала (размер зерна, химический состав, неметаллические включения и т.п.); масштабного фактора; газовой среды; контактного трения и др.

Контактная усталость – причина выхода из строя зубчатых колес, подшипников качения и др. деталей.

**Коррозия металлов** – разрушение вследствие химического или электрохимического взаимодействия с внешней средой. В машинах, работающих в закрытых помещениях при наличии смазочного материала и защитных покрытий смежных поверхностей (окраска, воронение и т.д.), коррозия наблюдается в связи с контактными явлениями (разрушениями защитных окислов на контактирующих поверхностях).

Действия коррозии проявляются в виде: непосредственного повреждения поверхности – изменения ее размеров и формы; коррозионно-механического изнашивания; коррозионной усталости; коррозионной хрупкости.

Простейший пример коррозии – равномерное поверхностное растворение, уменьшающее толщину материалов, но не влияющее на его физико-химические и механические свойства. Часто коррозия на различных участках поверхности оказывается неравномерной. В случае сильного локального разрушения возникают глубокие точечные поражения, приводящие к перфорации стенок и выходу технических устройств из строя. Очень часто преимущественному разрушению подвергаются границы зерен в хромистых и хромоникелевых сталях: связь между ними ослабевает, что резко ухудшает механические свойства оборудования и может привести к его растрескиванию.

Коррозия металлов может носить ножевой характер, например, вдоль сварных швов образуются узкие глубокие канавки. Если металлические детали находятся в напряженном состоянии в коррозионной среде, может происходить коррозионное растрескивание, которому подвержены

практически все металлы и сплавы. При динамических нагрузках происходит коррозионно-усталостное или кавитационные разрушения.

В некоторых случаях воздействие коррозионной среды приводит к значительным изменениям состава и свойств материала, происходит избирательная коррозия сплавов с его последующим разрушением. Из-за возможного отложения продуктов коррозии ухудшается проводимость трубопроводов, уменьшается теплопроводность поверхностей теплообмена. По причине образования продуктов коррозии может происходить загрязнение различной продукции, бактериальное заражение пищевых продуктов, питьевой воды.

**Пластические деформации** – возникают при перегрузках в деталях из вязких материалов (искривление валов и осей; вытяжка болтов при монтаже; выдавливание ямок на дорожках качения подшипников; смятие шпонок, шпоночных канавок, шлицев; смятие рабочих поверхностей в зажимных, крепежных деталях).

**Хрупкие разрушения** – наблюдаются в условиях низких температур, теплового охрупчивания, большой остаточной напряженности, ударных нагрузок на детали из маловязких материалов при значительной концентрации напряжений (чугунные и другие отливки при аварийных ударных нагрузках и т.д.).

### 3. Методы упрочнения заготовок деталей машин

В настоящее время известно и широко применяется большое количество разнообразных методов упрочнения, целенаправленно обеспечивающих заданные свойства изделий. При помощи этих методов производится как общее, так и локальное упрочнение заготовки.

При общем упрочнении изменяются физико-механические свойства материала во всем объеме заготовки (как, например, при объемной закалке) если во всех ее поверхностных слоях при сохранении без существенных изменений свойств сердцевины. Общее поверхностное упрочнение заготовок достигается химико-термической обработкой (цементацией, азотированием, цианированием и проч.), гальваническими покрытиями (хромированием, борированием и проч.) и другими методами, осуществляемыми без предохранения поверхностей.

Для локального упрочнения поверхностных слоев отдельных



участков заготовки применяются различные методы поверхностной пластической деформации (накатывание и раскатывание роликами, шариками и др.), закалка с нагревом газовым пламенем, ТВЧ, лазерным лучом (ЛТО), наплавка и напыление поверхностей износостойкими материалами, а также химико-термическая и гальваническая обработки, выполняемые с предохранением ряда поверхностей заготовки от упрочняющего воздействия.

Методы упрочнения занимают важное место в технологическом процессе. По своей физической сущности упрочняющие операции весьма разнообразны и в значительной степени отличаются от механической обработки резанием. Тем не менее, они не могут рассматриваться обособленно от других операций, выполняемых до и после упрочнения, так как связаны с ними своими входными и выходными параметрами и образуют единую технологическую последовательность.

Классификация и технологические возможности методов упрочнения поверхностей деталей машин приведены в прил. 1.

#### **4. Надежность технологического процесса**

Под надежностью технологического процесса понимаются свойства процесса обеспечивать изготовления продукции в заданном объеме при сохранении во времени установленных требований к ее качеству. Надежность технологического процесса в основном зависит от надежности оборудования, приспособлений, инструментов и других средств технологического оснащения. Она может рассматриваться в целом как надежность системы машин, предназначенных для изготовления определенной продукции. При этом учитываются все виды отказов, связанные как с потерей работоспособности машин, так и с выходом параметров качества изделий за допустимые пределы.

Кроме того, надежность технологического процесса и оборудования, в частности, можно рассматривать в более узком смысле, а именно, как технологическую надежность, под которой понимается свойство сохранять в заданных пределах и во времени значения показателей, определяющих качество осуществления технологического процесса. При этом учитываются только те отказы, которые приводят к выпуску некачественной продукции, что в дальнейшем вли-

яет на надежность изделий при эксплуатации. Тогда под безотказностью процесса понимается вероятность нахождения его технологических параметров в допустимых пределах в течение рассматриваемого периода времени. Именно в этом аспекте и рассматриваются вопросы надежности технологических процессов в данной практической работе.

В соответствии с изложенным, вероятность безотказного осуществления технологического процесса с точки зрения достижения заданного качества детали, в частности размерной точности, может быть определена по формуле

$$P(t) = \prod_1^m [1 - (1 - P(x_i)) \cdot (1 - P_{ki})] , \quad (1)$$

где  $P(x_i)$  – вероятность получения размерного параметра точности детали в пределах допуска;  $P_{ki}$  – вероятность отбраковки деталей, у которых значение контролируемого параметра выходит за пределы допуска;  $m$  – число операций механической обработки для достижения заданной размерной точности и шероховатости поверхности.

При абсолютно надежном контроле  $P_{ki} = 1$ , для неконтролируемых параметров  $P_{ki} = 0$ .

Вероятность  $P(x_i)$  определяется из условия

$$P(x_i) = \Phi(t_i) , \quad (2)$$

где  $\Phi(t_i)$  – функция Лапласа (табл.П1).

В свою очередь,

$$t_i = \frac{T_i}{2\sigma_{\text{тех}i}} , \quad (3)$$

где  $T_i$  – допуск размерного параметра точности на  $i$ -й операции механической обработки;  $\sigma_{\text{тех}i}$  – среднее квадратическое отклонение погрешности изготовления на  $i$ -й операции.

Значение  $\sigma_{\text{тех}}$  с достаточной для прогнозирования надежности технологического процесса степенью точности можно определить из табл. П2, считая, что приведенные в ней значения средней статистической погрешности механической обработки равны  $6\sigma$ . При этом допускается, что распределение параметров размерной точности подчиняется нормальному закону.

Вероятность отбраковки деталей, у которых значения контроли-

руемого размера выходят за пределы допуска ( $P_{ki}$ ), приведена в табл.П3 в зависимости от относительной погрешности измерения

$A_{\text{МЕТ}(\sigma)}$  и отношения  $\frac{T_i}{\sigma_{\text{тех}i}}$ . Рекомендуется принимать  $A_{\text{МЕТ}(\sigma)}$ ,

равное 16 % для квалитетов 2–7, 12 % – для квалитетов 8 и 9 и 10 % – для квалитета 10 и грубее.

При выполнении данного раздела дипломного проекта производится выбор последовательности методов механической обработки, обеспечивающей требуемую размерную точность, шероховатость поверхности и надежность технологического процесса обработки при минимальной себестоимости.

Поля допусков валов и отверстий для различных квалитетов точности и номинальных размеров приведены в табл. П4.

При выборе последовательности способов механической обработки (табл.П5) руководствуются требованиями, приведенными к рассматриваемой поверхности на рабочем чертеже детали.

Ниже приводятся примеры расчета надежности технологического процесса. Задания для рассматриваемых примеров сведены в табл.1

Таблица 1

### Варианты задания

Тип поверхности	Диаметр обрабатываемой поверхности, мм	Требования к шероховатости и размерной точности	
		$Ra$ , мкм	квалитет
Наружная цилиндрическая	95	0,1	5
Цилиндрическое отверстие в сплошном металле	43	0,4	7

**Пример 1.** Используя данные таб. П5, выбираем следующую последовательность механической обработки наружной цилиндрической поверхности: обтачивание предварительное, точение чистовое, шлифование предварительное, шлифование чистовое и шлифование тонкое.

По формулам (2) и (3) и используя данные, приведенные в табл. П1, 2 и 4, определяем вероятность получения требуемой размерной точности в пределах допуска для каждой из операций технологического процесса.

Величина поля допуска  $T_i$  и средняя статистическая погрешность  $\sigma_i$  равны: точение предварительное –  $T_1 = 350$  мкм,  $\sigma_1 = 400$  мкм; точение чистовое –  $T_2 = 140$  мкм,  $\sigma_2 = 200$  мкм; шлифование предварительное –  $T_3 = 87$  мкм,  $\sigma_3 = 160$  мкм; шлифование чистовое –  $T_4 = 22$  мкм,  $\sigma_4 = 100$  мкм; шлифование тонкое –  $T_5 = 15$  мкм,  $\sigma_5 = 80$  мкм.

Учитывая, что  $\sigma_{\text{тех}i} = \sigma_i/6$  и  $t_i = T_i/2 \sigma_{\text{тех}}$ , получаем:  $t_1 = 350/133 \approx 2,6$ ;

$t_2 = 140/67 \approx 2,1$ ;  $t_3 = 87/53 \approx 1,6$ ;  $t_4 = 22/33 \approx 0,7$ ;  $t_5 = 15/27 \approx 0,6$ .

По данным в табл. П1 определяем вероятность  $P_{(ki)}$ :

$P_{(k1)} = 0,4953$ ;  $P_{(k2)} = 0,4821$ ;  $P_{(k3)} = 0,4452$ ;  $P_{(k4)} = 0,258$ ;  $P_{(k5)} = 0,2257$ .

Пользуясь данными прил. 3 и значениями  $T_i/\sigma_{\text{тех}}$ , определяем величину  $P_{K'i}$ :

$P_{K'1} = 0,9935$ ;  $P_{K'2} = 0,9935$ ;  $P_{K'3} = 0,99$ ;  $P'_{K'3} = 0,969$ ;  $P_{K'4} = 0,969$ .

Вычисляем надежность технологического процесса обработки по заданному параметру размерной точности:

$$P_{(t)} = [1 - (1 - 0,4953) \cdot (1 - 0,9935)] \cdot [1 - (1 - 0,4821) \cdot (1 - 0,9935)] \times \\ \times [1 - (1 - 0,4452) \cdot (1 - 0,9835)] \cdot [1 - (1 - 0,258) \cdot (1 - 0,967)] \cdot [1 - \\ - (1 - 0,2257) \cdot (1 - 0,967)] \approx 0,94.$$

**Пример 2.** Анализируя данные табл. П5, приходим к выводу, что достижение требуемой шероховатости и размерной точности цилиндрического отверстия в сплошном металле возможно в результате двух различных технологических процессов.

**Первый** – сверление, зенкерование и двукратное развертывание.

**Второй** – сверление, зенкерование и шлифование.

По формулам (2) и (3) и используя данные табл. П2, определяем вероятность получения требуемой размерной точности для каждой из указанных операций обработки и каждого из вариантов технологического процесса.

**В а р и а н т 1.** Сверление –  $T_1 = 250$  мкм,  $6\sigma_1 = 150$  мкм; зенкерование –  $T_2 = 160$  мкм,  $6\sigma_2 = 120$  мкм; развертывание нормальное –  $T_3 = 39$  мкм,  $6\sigma_3 = 60$  мкм; развертывание точное –  $T_4 = 25$  мкм,  $6\sigma_4 = 50$  мкм.

**В а р и а н т 2.** Для этого технологического процесса из Приложений 2 и 4 выбираем значения только для операции шлифования, т.к. для всех остальных операций значения  $T_i = 6\sigma_i$  аналогичны первому технологическому процессу. Шлифование:  $T'_3 = 25$  мкм,  $6\sigma_3 = 120$  мкм.

Тогда:

$t_1 = 250/50 = 5$ ;  $t_2 = 160/40 = 4,0$ ;  $t_3 = 39/20 = 1,25$ ;  $t'_3 = 25/40 = 0,62$ ;  
 $t_4 = 25/17 \approx 1,47$ . Вероятность  $P_{(k,i)}$  равна (табл.П1):

$P_{(k1)} = 0,4999$ ;  $P_{(k2)} = 0,4999$ ;  $P_{(k3)} = 0,3944$ ;  $P_{(X'_3)} = 0,2324$ ;  $P_{(k4)} = 0,4292$ .

Определяем  $P_{K,i}$ :

$P_{K1} = 0,9935$ ;  $P_{K2} = 0,9935$ ;  $P_{K3} = 0,99$ ;  $P_{K3} = 0,969$ ;  $P_{K4} = 0,969$ .

Вычисляем надежность технологического процесса:

первый:

$P_{(t)} = [1 - (1 - 0,4999) \cdot (1 - 0,9935)] \cdot [1 - (1 - 0,4999) \cdot (1 - 0,9935)] \times$   
 $\times [1 - (1 - 0,3944) \cdot (1 - 0,991)] \cdot [1 - (1 - 0,4292) \cdot (1 - 0,969)] \approx 0,971$ .

второй:

$P'_{(t)} = [1 - (1 - 0,4999) \cdot (1 - 0,9935)] \cdot [1 - (1 - 0,4999) \cdot (1 - 0,9935)] \times$   
 $\times [1 - (1 - 0,2324) \cdot (1 - 0,969)] \approx 0,976$ .

Учитывая незначительную разницу (0,5 %) в величине надежности технологических процессов, окончательный выбор делаем на основе результатов расчета себестоимости обработки.

## **5. Содержание раздела «Технологическое обеспечение надежности детали» и методические указания по его выполнению**

5.1. Анализ требований к долговечности детали и условий ее работы.

5.1.1. Определить нормативный и действительный ресурс рассматриваемой детали, сборочной единицы, в которую она входит, и машины в целом. Установить, лимитирует ли данная деталь долговечность сборочной единицы, а та в свою очередь – долговечность машины.

5.1.2. Дать общую характеристику среды, в которой работает деталь при эксплуатации машины (в изолированном или открытом

внешним воздействиям в пространстве, при какой температуре и внешнем давлении, при наличии смазочного материала, абразивных частиц, агрессивных веществ и проч.).

5.1.3. Выявить лимитирующие, с точки зрения долговечности, поверхности или элементы заданной детали и дать описание условий их работы и причин выхода из строя в процессе эксплуатации. Указать режимы работы этих поверхностей или элементов (передаваемое усилие, удельное давление, скорость относительного перемещения, величину и частоту знакопеременной нагрузки и др.), условия контакта трущихся или взаимодействующих поверхностей (наличие, интенсивность и вид смазки, возможность попадания в зону трения абразивных частиц и др.).

5.1.4. Вычертить эскиз детали, выделив утолщенными линиями поверхности или элементы, лимитирующие ее долговечность. На эскизе должны быть приведены размеры, параметры шероховатости и технические требования, относящиеся только к рассматриваемым лимитирующим поверхностям или элементам, а также габаритные размеры детали.

5.1.5. Применительно к рассматриваемым поверхностям или элементам установить, какие параметры качества и в каких пределах необходимо обеспечить в результате выполнения технологического процесса для достижения требуемого ресурса детали. Такими параметрами могут быть геометрические параметры (макро-, микрогеометрия и волнистость) и физико-механических параметры качества поверхности (структура, твердость, остаточные напряжения и др.).

5.2. Анализ обеспечения долговечности детали при осуществлении базового варианта технологического процесса.

5.2.1. На основе производственных данных установить, в какой мере упрочняющие операции базового технологического процесса обеспечивают нормативный ресурс работы детали с учетом планируемого в перспективе повышения ресурса машины. Проанализировать применяемый в производстве метод упрочнения с точки зрения технической и экономической эффективности, а также возможности проведения упрочняющих операций непосредственно в технологической линии изготовления детали без дополнительной транспортировки на другие производственные участки или в другие цеха

5.2.2. Определить надежность базового варианта технологичес-

кого процесса по обеспечению установленных в п. 5.1.5 параметров качества поверхности детали. Для этого рассчитать вероятность безотказного осуществления технологического процесса по приведенной выше методике (см. формулы (1)–(3), табл.П1 – 5).

5.3. Постановка задач по технологическому обеспечению надежности детали.

5.3.1. Дать заключение о приемлемости базового варианта технологического процесса с точки зрения обеспечения надежности детали, необходимости совершенствования или применения другого метода упрочнения.

5.3.2. Сформулировать задание по обеспечению надежности технологического процесса с указанием путей его реализации.

5.4. Выбор метода упрочнения детали.

На основании проведенного анализа и характеристик известных способов упрочнения (табл.П6) выбрать метод упрочнения лимитирующих поверхностей или элементов детали, удовлетворяющий поставленной задаче. При этом сначала надо рассматривать группы методов, а затем конкретные методы в выбранной группе. Произвести логическую оценку выбранного метода в сравнении с другими методами упрочнения. Описать физическую сущность механизма упрочнения выбранного метода.

5.5. Разработка технологического процесса упрочнения заготовки. Применительно к заданной детали (поверхностям, элементам) должны быть установлены:

- последовательность и содержание операций и переходов;
- применяемое оборудование, приспособления и инструменты;
- режимы упрочнения;
- контролируемые параметры, методы, средства.

В ряде случаев условия эксплуатации детали таковы, что не требуют применения упрочняющих технологий. Для таких деталей необходимо рассмотреть процесс снижения остаточных напряжений в исходных заготовках (отжиг, нормализацию, отпуск, вибро- или деформационное старение).

5.6. Обеспечение надежности проектируемого технологического процесса.

5.6.1. Разработать мероприятия по обеспечению надежности технологического процесса с целью обеспечения в заданных пределах (см. п. 5.1.5) параметров качества детали. Для этого могут быть

предусмотрены различные мероприятия, например, увеличение точности обработки, введение дополнительных контрольных операций или повышение их надежности, автоматизация технологического процесса или его элементов и др. Разработанные мероприятия должны быть внесены в технологическую документацию.

5.6.2. Определить надежность технологического процесса по обеспечению рассматриваемых параметров качества детали с учетом разработанных мероприятий. Расчет выполняется аналогично п. 5.2.2. Результаты расчета сравнить с одноименными показателями базового варианта технологического процесса. Сравнение производится отдельно по критериям  $P_{(xj)}$ ,  $P_{(kj)}$  комплексно по  $P_{(l)}$ .

5.7. Выводы. В лаконичной форме формулируются итоги проделанной работы по обеспечению надежности детали.



## Литература

1. Проников, А.С. Надежность машин / А.С. Проников. – М.: Машиностроение, 1978. – 592 с.
2. Кочергин, А.И. Основы надежности металлорежущих станков / А.И. Кочергин. – Минск: Вышэйшая школа, 1982. – 175 с.
3. Сулима, А.М. Поверхностный слой и эксплуатационные свойства деталей машин / А.М. Сулима, В.А. Шулов, Ю.Д. Ягодкин. – М.: Машиностроение, 1988. – 240 с.
4. Технологические основы обеспечения качества машин / К.С. Колесников [и др.] – М.: Машиностроение, 1990. – 256 с.
5. Гаркунов, Д.Н. Триботехника / Д.Н. Гаркунов. – М.: Машиностроение, 1985. – 424 с.
6. Богданович, П.Н. Трение и износ машин / П.Н. Богданович, В.Я. Прушак. – Минск: Вышэйшая школа, 1999. – 374 с.
7. Иванова, В.С. Природа усталости металлов / В.С. Иванова, Терентьев В.Ф. – М.: Машиностроение, 1975. – 455 с.
8. Технологические методы обеспечения надежности деталей машин / И.М. Жарский [и др.]. – Минск: Вышэйшая школа, 2005. – 300 с.
9. Полевой, С.Н. Упрочнение металлов: справочник / С.Н. Полевой, В.Л. Едокимов. – М.: Машиностроение, 1986. – 320 с.
10. Папшев, Д.Д. Упрочняющая технология в машиностроении / Д.Д. Папшев. – М.: Машиностроение, 1978. – 152 с.
11. Газотермическое напыление композиционных порошков / А.Я. Кулик [и др.]. – Л.: Машиностроение, 1985. – 199 с.
12. Шнейдер, Ю.Г. Эксплуатационные свойства деталей с регулярным микрорельефом / Ю.Г. Шнейдер. – Л.: Машиностроение, 1982. – 248 с.

**ПРИЛОЖЕНИЯ**

Таблица П1

Значение функции Лапласа  $\Phi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{t^2}{2}} dt$

<i>t</i>	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,0	0,0000	0040	0080	0120	0160	0199	0239	0279	0319	0359
0,1	0398	0438	0478	0517	0557	0596	0636	0675	0714	0753
0,2	0793	0832	0871	0909	0948	0987	1026	1064	1103	1141
0,3	1179	1217	1255	1293	1331	1368	1406	1443	1480	1517
0,4	1555	1591	1623	1664	1700	1736	1772	1808	1844	1879
0,5	0,1915	1950	1985	2019	2045	2088	2123	2157	2190	2224
0,6	2257	2291	2324	2357	2389	2422	2454	2486	2517	2549
0,7	2580	2611	2642	2673	2703	2734	2764	2794	2823	2852
0,8	2881	2910	2939	2967	2995	3023	3051	3078	3106	3133
0,9	3159	3186	3212	3238	3264	3289	3315	3340	3365	3389
1,0	0,3413	3438	3461	3485	3508	3531	3554	3577	3599	3621
1,1	3643	3665	3683	3708	3729	3749	3770	3790	3810	3830
1,2	3849	3869	3888	3907	3925	3944	3962	3980	3997	4015
1,3	4032	4049	4066	4082	4099	4115	4131	4147	4162	4177
1,4	4192	4207	4222	4236	4251	4265	4279	4292	4306	4319
1,5	0,4332	4345	4357	4370	4382	4394	4406	4418	4429	4441
1,6	4452	4463	4474	4484	4495	4505	4515	4525	4535	4545
1,7	4554	4564	4573	4582	4591	4599	4608	4616	4625	4633
1,8	4641	4649	4656	4664	4671	4678	4686	4693	4699	4706
1,9	4713	4719	4726	4732	4738	4744	4750	4756	4761	4767
2,0	0,4772	4778	4783	4788	4793	4798	4803	4808	4812	4817
2,1	4821	4826	4830	4834	4838	4842	4846	4850	4854	4857
2,2	4861	4865	4868	4871	4875	4878	4881	4884	4887	4890
2,3	4893	4896	4898	4901	4904	4906	4909	4911	4913	4916
2,4	4918	4920	4922	4925	4927	4929	4931	4932	4934	4936
2,5	0,4938	4940	4941	4943	4945	4946	4948	4949	4951	4952
2,6	4953	4955	4956	4957	4959	4960	4961	4962	4963	4964
2,7	4965	4966	4967	4968	4969	4970	4971	4972	4973	4974
2,8	4974	4975	4976	4977	4978	4978	4979	4979	4980	4981
2,9	4981	4982	4982	4983	4984	4984	4985	4985	4986	4986

Окончание табл. П1

<i>t</i>	$\Phi(t)$	<i>t</i>	$\Phi(t)$	<i>t</i>	$\Phi(t)$
3,00–3,02	0,4987	3,14–3,17	0,4992	3,39–3,48	0,4997
3,03–3,04	0,4988	3,18–3,21	0,4993	3,49–3,61	0,4998
3,05–3,07	0,4989	3,22–3,26	0,4994	3,62–3,89	0,4999
3,08–3,10	0,4990	3,27–3,32	0,4995	4,50	0,499997
3,11–3,13	0,4991	3,33–3,38	0,4996	5,00	0,4999007

Таблица П2

Величина средней статистической погрешности ( $6\sigma$ )  
при обработке на металлорежущих станках

Способ обработки	Квалитет	Диаметр обрабатываемой поверхности, мм		
		до 80	80–260	260–500
		Статистическая погрешность, мкм		
Точение: получистовое или однократное чистовое тонкое	12	300	400	500
	10–8	120	200	250
	9–6	80	100	120
Шлифование: предварительное чистовое тонкое	9–8	100	160	200
	7–6	80	100	120
	6–5	60	80	100
Сверление и рассверливание	12	150	200	300
Зенкерование литого или прошитого отверстия	11	120	150	200
Развертывание: нормальное точное	7	60	80	120
	6	50	75	100
Протягивание	7–6	70	85	110
Растачивание	6–5	50	70	100
Шлифование: предварительное, чистовое	7–6	120	170	200

Таблица П3

Значения параметра  $P_k$ 

A <sub>мет</sub> (σ) %	P <sub>k</sub> в зависимости от IT/σ <sub>тех</sub> .							
	до 1,0	1,0–1,5	1,5–2,0	2,0–2,5	2,5–3,0	3,0–3,5	3,5–4,0	св. 4,0
10	0,9755	0,9720	0,9695	0,9730	0,9790	0,9860	0,9920	0,9935
12	0,9680	0,9670	0,9640	0,9680	0,9750	0,9835	0,9910	0,9925
16	0,9590	0,9540	0,9530	0,9595	0,9690	0,9795	0,9990	0,9995

Таблица П4

## Приложение 4 – Поля допусков валов и отверстий, мкм

Интервал размеров, мм	Квалитет точности							
	5	6	7	8	9	10	11	12
30–50	11	16	25	39	62	100	160	250
50–80	13	19	30	46	74	120	190	300
80–120	15	22	35	54	87	140	220	350
140–160	18	25	40	63	100	160	250	400
200–225	20	29	46	72	115	185	290	460
250–315	23	32	52	81	130	210	320	520
315–400	25	36	57	89	140	230	360	570
400–500	27	40	63	97	155	250	400	630

Таблица П5

## Экономическая точность обработки на металлорежущих станках

Способ обработки	Квалитет	Параметр шероховатости $Ra$ , мкм
1	2	3
<b>Наружные поверхности вращения</b>		
Точение предварительное Точение чистовое Шлифование однократное	8–6	0,8
Точение предварительное Точение чистовое Точение тонкое	7–6	0,4
Точение однократное Шлифование предварительное Шлифование чистовое	7–6	0,4
Точение предварительное Точение чистовое Шлифование предварительное Шлифование чистовое	6	0,4
Точение предварительное Точение чистовое Шлифование предварительное Шлифование чистовое	6–5	0,2
Точение предварительное Точение чистовое Шлифование предварительное Шлифование чистовое Шлифование тонкое	5	0,2–0,1
<b>Поверхности цилиндрических отверстий</b>		
В сплошном металле Сверление, зенкерование и развертывание	9–8	1,6–0,8
Сверление, двукратное развертывание	8–7	1,6–0,6
Сверление, зенкерование и двукратное развертывание	8–7	0,8–0,4
Сверление, зенкерование и шлифование	8–7	0,8–0,4

Окончание табл.П5

1	2	3
В заготовках с отверстиями		
Зенкерование или растачивание и развертывание	9–8	3,2–1,6
Двукратное зенкерование и развертывание или двукратное растачивание и развертывание	9–8	1,6–0,8
Зенкерование или двукратное растачивание и двукратное развертывание или тонкое растачивание	8–7	0,8–0,2
Протягивание и шлифование	8–7	0,8–0,2

Таблица П6

Классификация и технологические возможности методов упрочняющей поверхностной обработки  
деталей машин

Процессы и параметры поверхностного слоя, обуславливающие упрочнение	Методы упрочнения	Материал заготовки	Точность обработки	Шероховатость поверхности по ГОСТ 2789-73 (СТ СЭВ 638-77)	Твердость обработанной поверхности	Величина и знак изменения остаточных напряжений в поверхностном слое, МПа	Толщина упрочненного или нанесенного слоя, мм	
							минимальная	максимальная
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Упрочнение пластическим деформированием поверхностного слоя (наклепом).	Обработка дробью	Чугун, сталь, сплавы из цветных металлов и	Сохраняется после предшествующей обработки	$Rz$ 160–10 $Ra$ 2,5–0,63	Увеличивается на 20–40 %	Напряжения сжатия 400–800	0,4	1,0

Продолжение табл.П6

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Повышение физико-механических свойств поверхностного слоя, изменение величины и знака остаточных напряжений в поверхностном слое, улучшение микрогеометрии обработкой поверхности	Дробеабразивная обработка	-//-	-//-	$Rz\ 20-20$ $Ra\ 2,5-0,32$	-//-	То же	0,2	0,6
	Центробежная обработка	-//-	-//-	Значения высотных параметров уменьшаются в 2–4 раза	Увеличивается на 15–60 %	-//-	0,3	0,7
	Накатывание роликами	-//-	-//-	$Ra\ 1,25-0,04$	Увеличивается на 20–50 %	Напряжения сжатия 600–800	1,0	20,0
	Вибрационное накатывание	-//-	-//-	$Ra\ 1,25-0,04$	-//-	-//-	1,0	35,0
	Накатывание шариками	-//-	-//-	$Ra\ 0,32-0,04$	-//-	-//-	0,3	5,0
	Поверхностное раскатывание	-//-	5–9 квал.	$Ra\ 0,32-0,04$	-//-	-//-	0,3	5,0
	Упрочнение чеканкой	-//-	14–16 квал.	$Rz\ 160-20$	-//-	-//-	0,5	35,0



1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Упрочнение резанием	-//-	11–13 квал.	$Rz$ 80–10	Увеличивается на 20–50%	Напряжения сжатия 300–700	0,05	0,5
	Вибродарная обработка	-//-	Сохраняется от предшествующей обработки	$Rz$ 40–10 $Ra$ 2,5–0,63	Увеличивается на 20–40%	Напряжения сжатия 600–800	0,1	0,7
	Гидровибродарная обработка	-//-	-//-	$Rz$ 20–10 $Ra$ 2,5–0,32	-//-	-//-	0,1	0,7
	Галтовка	-//-	-//-	$Ra$ 0,63–0,08	Увеличивается на 20–50%	Напряжения сжатия 600–800	0,7	0,7
	Гидрогалтовка	-//-	-//-	$Ra$ 0,63–0,08	Увеличивается на 20–40%	Напряжения сжатия 200–400	0,1	0,3
	Вибрационная галтовка	-//-	-//-	$Ra$ 0,16–0,02	Увеличивается на 10–15%	Напряжения сжатия 100–150	0,05	0,2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Ультразвуковая упрочняющая обработка	-//-	-//-	Значения высотных параметров уменьшается в 4–8 раз	Увеличивается на 50–90%	Напряжения сжатия 800–1000	0,1	0,9
	Гидрополирование	-//-	-//-	$Ra$ 0,63–0,04	Увеличивается на 20–30%	Напряжения сжатия 300–700	0,01	0,20
	Алмазное сглаживание	-//-	-//-	$Ra$ 0,63–0,04	Увеличивается на 30–60%	Напряжения сжатия 300–700	0,01	0,20
Упрочнение поверхностной химико-термической (термодиффузионной) обработкой. Изменение физико-химических	Цементация	Маломуглеродистая сталь	Коробление (поводка) 0,05–0,15 мм	Значения высотных параметров уменьшается в 2–4 раза	$HRC$ 60-70	Напряжения сжатия 400–1000	0,5	2,0

1	2	3	4	5	6	7	8	9
свойств и структуры поверхностного слоя изменение величины и знака остаточных напряжений в поверхностном слое	Азотирование	Сталь, чугун	Коробление 0,05– <b>0,10мм</b>	-//-	Микротвердость <i>HV</i> 650– 1200	-//-	0,05	0,60
	Цианирование	Сталь	-//-	-//-	<i>HRC</i> 60– 75	-//-	0,01	2,5
	Алитирование	Сталь, чугун	Коробление 0,05– <b>0,15 мм</b>	-//-	-//-	-//-	0,05	0,5
	Алитирование	Сталь, чугун	Коробление 0,05– <b>0,15 мм</b>	-//-	-//-	-//-	0,05	0,5
	Хромирование	-//-	-//-	-//-	Микротвердость <i>HV</i> 1600– 2000	-//-	0,02	0,30
	Силоцирование	-//-	-//-	-//-	-//-	-//-	0,02	0,03
	Сульфидирование	-//-	Коробление 0,05– <b>0,10 мм</b>	Не изменяется	Не изменяется	-//-	0,05	1,00

Продолжение табл.П6

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Упрочнение поверхностной термической обработкой. Изменение физико-механических свойств и структуры поверхностного слоя, изменение величины и знака остаточных напряжений	Закалка с нагревом газовым пламенем	Сталь, чугун	Коробление 0,03–0,1 мм	Значения высотных параметров увеличиваются в 2 раза	<i>HRC</i> 40–70	Напряжения сжатия 300–800	0,5	10,0
	Закалка с нагревом т.в.ч.	Сталь	Коробление 0,03–0,07 мм	Не изменяется	<i>HRC</i> 40–70	То же	0,2	10,0
Упрочнение наплавкой материалов с высокими эксплуатационными свойствами	Ручная газовая наплавка	Сталь, чугун и сплавы из цветных металлов	Значительная деформация	Грубая поверхность	Микротвердость <i>HV</i> 200–400 и более	Растягивающие напряжения 100–500	0,5	20 и более
1	2	3	4	5	6	7	8	9

	Ручная электродуговая наплавка	-//-	-//-	-//-	Микротвердость <i>HV</i> 200-400 и более	-//-	2,0	20 и более
	Электродуговая биметаллизация	Сталь и сплавы цветных металлов	14–16 квал.	-//-	Микротвердость <i>HV</i> 200-400 и более	-//-	0,5	3–5
	Механизованная наплавка под слоем флюса	Сталь, чугун и сплавы из цветных металлов	Значительная деформация	-//-	Микротвердость <i>HV</i> 250–450	-//-	1,5	40,0
	Электродшлаковая наплавка	-//-	-//-	-//-	Микротвердость <i>HV</i> 500–650	-//-	2,0	40,0 и более
	Вибродуговая наплавка	-//-	Незначительная деформация	-//-	Микротвердость <i>HV</i> 500–650	-//-	0,3	3,0
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Упрочнение напылением материалов с высокими эксплуатационными свойствами	Газовая металлизация	Металлы и неметаллические материалы	Деформации нет	Грубая поверхность	Микротвердость HV 120–420 и более	На наружных цилиндрических поверхностях возникают напряжения сжатия, а на внутренних поверхностях и плоскостях – напряжения растяжения	0,3	15,0
	Электрометаллизация	-//-	-//-	-//-	-//-	-//-	1,3	15,0
	Плазменная металлизация	Сталь, чугун и сплавы из цветных металлов	Значительная деформация	-//-	Микротвердость HV 500–2000 и более	-//-	0,3	20–30

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Упрочнение нанесением покрытия на рабочие поверхности деталей электрическим способом с высокими эксплуатационными свойствами	Хромирование	Сталь, чугун и сплавы цветных металлов	Деформации нет, точность сохраняется от предстоящей обработки	<i>Ra</i> 2,5–0,32	Микротвердость <i>HV</i> 500–1200	Напряжения растяжения 200-600	0,01	1,0

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Осталивание	Сталь, чугун и сплавы цветных металлов		$Rz 80-10$	Микротвердость $HV 120-600$		0,2	5,0
	Борирование	Сталь		$Rz 80-10$	Микротвердость до $HV 2200$		0,1	0,3
	Наращивание тонких слоев сплавов	Сталь, чугун и сплавы цветных металлов		$Rz 40-10$ $Ra 2,5-0,63$	Микротвердость $HV 40-120$		0,05	2,0



1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Эматалирование	Сталь, чугун, цветные металлы, алюминий и его сплавы			Микротвердость <i>HV</i> 600-700		0,001	0,012
	Глубокое оксидирование	Алюминий и его сплавы	-//-	-	Микротвердость <i>HV</i> 400-450	-	0,01	0,2-0,3
Упрочнение нанесением покрытия на рабочие поверхности деталей химическим способом	Никелирование, хромирование, покрытие кобальтом и никель-кобальтом	Чугун, сталь, цветные металлы	Деформации нет	<i>Ra</i> 2,5–0,08	Микротвердость <i>HV</i> 800-950	-	0,01	0,3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Упрочнение нанесением на рабочие поверхности деталей покрытия из неметаллических материалов	Эмалирование	Сталь, чугун	Незначительная деформация	<i>Rz</i> 80–10	-	-	0,05	0,3
	Лакокрасочные покрытия	Металлы и неметаллы	Деформации нет	<i>Rz</i> 80–10	-	-	0,05	0,3
	Покрытие пластмассами и специальными материалами	-//-	То же	<i>Rz</i> 80–10	-	-	0,15	0,3