

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
УЛЬЯНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

В. В. ЕФИМОВ

ИСКОРЕНЕНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗДЕЛИЙ

Учебное пособие

УЛЬЯНОВСК
2010

УДК 658.56(075)
ББК 30.607 я 7
Е 91

Рецензенты: цикл «Автомобили и транспорт» Ульяновского
государственного университета;
д-р техн. наук, профессор И. С. Антонов.

Утверждено редакционно-издательским советом университета в качестве
учебного пособия.

Ефимов, В. В.

Е 91 Искоренение погрешностей изделий : учебное пособие / В. В. Ефимов.
- Ульяновск : УлГТУ, 2010. - 59 с.

ISBN 978-5-9795-0611 -1

Исследованы погрешности изделий при сборке двух или нескольких деталей. Чаще всего погрешности возникают при неправильной эксплуатации машин, например, из-за износа поверхностей, жесткости станка, температурных деформаций и др. Погрешности в основном присущи отказу элементов деталей оборудования.

Пособие предназначено для студентов машиностроительных вузов, изучающих дисциплину «Технология машиностроения», а также работников предприятий, связанных с решением качества продукции качества и процессов изделий.

УДК 658.56(075)
ББК 30.607 я 7

ISBN 978-5-9795-0611-1

© Ефимов В. В., 2010
© Оформление. УлГТУ, 2010

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
1. Теоретические и геометрические погрешности	10
2. Размерная наладка по пробным деталям	16
3. Рекомендации по размерной наладке методом пробных деталей	18
4. Причины отклонения в размерных связях, возникающих при сборке машины	19
5. Погрешности бурового трехшарошечного долота в модульном представлении	21
6. Обеспечение заданной точности изготовления изделия	23
7. Погрешности основной кинематической схемы обработки ...	24
8. Погрешности жесткости станка	24
9. Геометрические погрешности станка	30
10. Обеспечение заданной точности изготовления изделия	32
11. Погрешности обработки, вызываемые размерным изнашиванием инструмента	33
12. Погрешности настройки инструмента на размер	38
13. Влияние погрешности поверхности на эксплуатационные свойства деталей машин	42
14. Погрешности изготовления заготовок	45
15. Погрешности при точении	48
Заключение	54
Контрольные вопросы	55
Словарь терминов	57
Библиографический список	58

ВВЕДЕНИЕ

Соединение представляет собой совокупность двух или нескольких деталей. Точность деталей и точность соединения или всей машины тесно связаны между собой. При сборке машин возникают погрешности взаимного положения деталей, некачественные сопряжения, а также деформации деталей. Эти обстоятельства снижают служебные характеристики машины и, прежде всего, - надежность.

При правильной эксплуатации машин поломки возникают сравнительно редко. Машины выходят из строя в основном из-за явлений, происходящих на поверхностях, например из-за износа, который усугубляется погрешностями собираемых деталей. Поэтому точность деталей и соединений тесно связаны с экономикой эксплуатации машины. Если в определенных пределах повышается точность собираемых деталей, то уменьшаются затраты на сборку, так как сокращается объем пригоночных работ. Однако затраты на изготовление деталей при этом растут. На рис. 1, а кривая 1 выражает изменение затрат на изготовление деталей в зависимости от среднего допуска IT на размеры сопряженных поверхностей, кривая 2 показывает изменение затрат на сборку, а кривая 3 характеризует суммарные затраты на изготовление изделия. В каждом конкретном случае возникает минимум затрат, к которому следует стремиться.

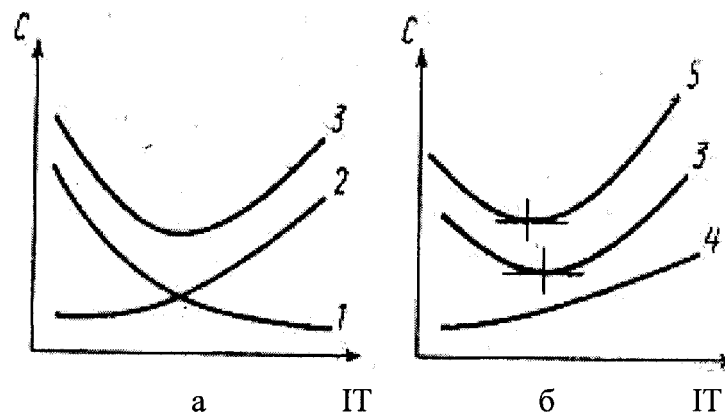


Рис. 1. График изменения затрат при формировании соединений

Точностные характеристики соединений и машин могут изменяться в соответствии с погрешностями, возникающими при сборке. Рассмотрим основные погрешности.

1. Изменения зазоров и натягов в соединениях приводят к изменению характера посадки. Причиной этого является отклонение размеров, формы и расположения поверхностей собираемых деталей. Эти же причины вызывают радиальные и торцевые биения, отклонения от параллельности, соосности, перпендикулярности и др.

2. Характер контактных сопрягаемых поверхностей может привести к изменению жесткости стыков, потере (снижению) герметичности, чрезмерным давлениям. Снижение таких характеристик вызывается отклонениями формы, отклонениями от плоскостности, прямолинейности и др.

3. Погрешности взаимного расположения деталей и элементов машин вызываются также погрешностями их фиксации друг относительно друга.

4. Ряд соединений требует в ходе сборки пригонки и регулирования, которые могут быть выполнены с погрешностями из-за отсутствия соответствующей технологической оснастки и измерительных средств.

5. Характер контактный деталей на разных участках сопрягаемых поверхностей может оказаться существенно различным из-за нарушения порядка затяжки резьбовых соединений, чрезмерной деформации деталей от сил закрепления. Такие погрешности приводят к перекосам, кромочным контактам, пластическим деформациям деталей.

6. Сборочные приспособления, инструмент, оборудование имеют собственные погрешности, которые в ходе сборки переносятся на соединение, снижая тем самым служебные характеристики машины в целом. Такие погрешности могут быть перенесены целиком или частично, что оценивают в процессе специального технологического анализа.

7. Сборочное оборудование часто настраивают на изготовление конкретного соединения, поэтому погрешности настройки переносятся на соединение, снижая его точностные характеристики.

8. Сборку производят в определенных температурных условиях, колебание которых отражается на точности соединения. Температурные

погрешности учитывают, как правило, на основе экспериментальных данных. Этот фактор особенно важен при сборке прецизионных соединений методами охлаждения или нагревания.

9. Деформации, возникающие при сборке, вызывают напряжения в деталях и особенно в их поверхностных слоях. Релаксация напряжений в последующем (при эксплуатации) вызывает деформации деталей уже в собранной машине, это снижает ее точностные характеристики.

10. Нетехнологичные конструкции деталей и машин вызывают обычно большие погрешности, чем технологичные, снижая общую надежность конструкции. Технологичные конструкции создают на основе опыта, экспериментов и расчетов.

Обеспечение заданной точности изготовления деталей и сборки часто зависят от производственных условий.

Допуск, указанный конструктором, при изготовлении деталей может быть выдержан несколькими способами. При изготовлении деталей сравнительно малыми партиями оправдывает себя *метод пробных ходов и измерений*. Он состоит в том, что заготовку выверяют на станке, закрепляют и, совершая последовательно ряд пробных ходов режущего инструмента или заготовки, каждый раз определяют с помощью измерительных средств степень приближения размеров обрабатываемой поверхности заготовки к размерам готовой детали. В этом случае точность детали, т. е. фактическое отклонение размеров, формы и расположения, в наибольшей степени определяется квалификацией рабочего. Способ позволяет добиться весьма высокой точности деталей, однако производительность оказывается, как правило, низкой, поскольку большое число рабочих ходов, выверка и измерения могут требовать больших затрат времени. Поэтому изготовление деталей со строгим соблюдением такта выпуска в этом случае исключается, а сам способ используют при обработке заготовок мелкими партиями.

С увеличением количества заготовок в партии применяют метод обработки на *предварительно настроенных станках*. В этом случае заготовки не выверяют, а закрепляют, как правило, в приспособлениях,

которые определяют их положение относительно оборудования и инструмента. Инструмент или заготовка совершает обычно один ход, в результате которого технологическая замкнутая система обеспечивает все необходимые точностные показатели детали. Такой способ обеспечивает заданную производительность с соблюдением такта выпуска, а точностные показатели зависят целиком от состояния технологической системы. Субъективные факторы влияют на точность лишь в том смысле, что рабочий в соответствии со своей квалификацией настраивает технологическую систему. Этот способ экономически себя оправдывает при больших партиях заготовок, когда затраты на настройку технологической системы раскладываются на стоимость большого количества деталей. Примерами этого распространенного способа является точение на гидрофицированных или многорезцовых автоматах, фрезерование на продольно-строгальных станках, тонкое растачивание и др.

Некоторые видоизменения первого способа достижения точности могут возникнуть при изготовлении уникальных деталей в тяжелом машиностроении. Сначала изготавливают тот элемент детали, который оказывается более трудоемким и связан с преодолением технологических трудностей (например, получение фасонного отверстия). Далее, с помощью измерительных средств определяют точностные показатели в заординированных сечениях обработанной поверхности. Значения этих показателей заносят в формуляр. Сопрягаемую деталь (например, фасонный вал) изготавливают по формуляру, который является исходным документом для станка, расположенного в другом цехе, фирме, стране и т. д.

Идея работы по формуляру развита в прецизионном машиностроении, когда в систему связаны два металлорежущих станка, изготавливающих сопряженные детали. Например, если на одном станке производят прецизионные гайки для шариковой шиповой передачи, то все отклонения параметров винтовой поверхности конкретной гайки автоматически передаются на станок, изготавливающий конкретный ходовой винт с учетом точностных особенностей конкретной гайки. Такая пара «винт-гайка»

обладает наивысшей точностью, но ее детали не являются взаимозаменяемыми.

Прогрессивным является способ достижения точности с *использованием подналадчиков*. В технологическую систему встраивают измерительное и регулирующее устройство, которое является подналадчиком. Изготавливаемые детали по окончании процесса обработки измеряют, и в случае выхода выдерживаемого размера из поля допуска система автоматически настраивается, т. е. корректируется, чтобы снова получать необходимые точностные характеристики. Такую систему используют, когда совершается один рабочий ход (например, растачивание). Если же заготовка обрабатывается за несколько рабочих ходов, то ее измеряют в процессе обработки. По достижении заданного размера система отключается автоматически. Этот способ позволяет повысить точность и производительность при наименьшем воздействии субъективных факторов. Способ находит свое развитие при создании самонастраивающихся (адаптивных) и самооптимизирующихся систем.

При выборе способа обеспечения заданного размера следует особо учитывать производимые затраты. На рис. 2 приведен график затрат C в зависимости от качества точности, достигаемого различными методами обработки. Кривая 1 показывает существенное увеличение затрат при достижении

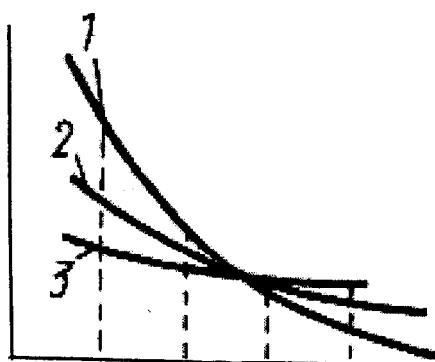


Рис. 2. График изменения затрат при использовании различных методов обработки: 1 – точение, 2 – чистовое шлифование, 3 – тонкое шлифование

достижении высокой точности, что связано с необходимостью применения прецизионных станков и квалифицированной рабочей силы. Этот эффект снижается с применением чистового шлифования (кривая 2) и далее - тонкого шлифования (кривая 3).

В ходе достижения заданного размера всегда используется замкнутая технологическая система, поэтому любой размер концентрирует погрешности, создаваемые всеми элементами системы. Тем не менее во многих случаях из

всех погрешностей можно выделить доминирующие, т. е. те, которые влияют на размер в наибольшей степени. Можно считать, что, например, при развертывании отверстия в заготовке диаметр D отверстия будет в основном определяться размерами инструмента. Поэтому *величину D* можно условно назвать «размер - инструмент». Аналогично размер P

будет в значительной степени определяться степенью настройки фрезерного станка относительно заготовки. Поэтому *величину P* можно условно назвать «размер - станок». При сверлении отверстий в заготовке, помещенной в приспособление (сверлильный кондуктор), расстояние A на детали в наибольшей степени будет зависеть от точности изготовления кондуктора. Поэтому *величину A* можно условно назвать «размер - приспособление». Такая классификация размеров может быть использована при общем анализе формирования точности деталей.

Способы достижения заданной точности на сборочных операциях в значительной степени определяют надежность всего изделия. В массовом и серийном производствах распространена сборка обеспечением полной взаимозаменяемости. При этом качественное соединение образуют любые сопрягаемые детали, входящие в сборочную единицу. Пригонки деталей отсутствуют. Допуски на сопрягаемые детали устанавливает конструктор, но взаимозаменяемость достигается, если эти допуски равны или больше допусков технологических. Чем больше деталей в размерной цепи сборочной единицы, тем более жестким должен быть допуск на каждую деталь. Это обстоятельство существенно удорожает производство.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОГРЕШНОСТИ

Все погрешности обработки на металлорежущих станках делятся на следующие основные виды.

Теоретические погрешности, т. е. заранее допущенные отклонения геометрической формы деталей от теоретической. Например, при обтачивании заготовок дисковыми фасонными резцами, изготовленными без корректирования профиля, возникают искажения профиля обтачиваемой заготовки и ее размеров, при фрезеровании цилиндрических зубчатых колес наборами дисковых модульных фрез возникает искажение эвольвентного профиля зубьев, так как профиль зуба каждой фрезы теоретически соответствует только одному числу зубьев данного модуля [13].

Величины возникающих погрешностей можно рассчитать заранее, но обычно для неответственных деталей этими отклонениями пренебрегают из-за их малой величины.

Погрешности, возникающие от неточности работы станков, зависят от работы станков, их можно рассматривать при работе станка в ненагруженном состоянии и под нагрузкой. Погрешности, возникающие в ненагруженном состоянии, зависят в основном от неточностей, допущенных при изготовлении отдельных деталей станка и при его сборке. Погрешности станка в ненагруженном состоянии поддаются контролю и не должны превышать стандартных норм точности.

Погрешности, возникающие в процессе работы станков под нагрузкой, зависят от многих причин, не связанных между собой какой-либо зависимостью, и поддаются исследованию только путем математической статистики, т. е. наблюдением за точностью выполнения технологических процессов с последующей математической обработкой полученных данных.

Отклонения, возникающие в нагруженном состоянии, оказывают существенное влияние как на точность получаемых размеров деталей, так и на искажение их геометрической формы.

Например, при отклонении от соосности центров станка в плоскости, параллельной направляющей станины, получается деталь с погрешностью геометрической формы - конусом (рис. 3, а), при отклонении от соосности центров станка в плоскости, перпендикулярной к направляющим станины, получается деталь вогнутой формы - гиперboloид вращения (рис. 3, б).

Для того чтобы представить геометрическую форму детали, получаемую в последнем случае, рассмотрим два сечения (траектория движения резца условно расположена между линиями центров станка). Если в сечении А-А (рис. 3, в) резец только касается образующей цилиндра, то в сечении Б-Б он находится ниже центра и не касается образующей.

Если резец переместить в радиальном направлении так, чтобы он касался заготовки в сечении Б-Б (рис. 3, г), то при его перемещении вдоль оси детали в сечении А-А будет обтачиваться поверхность диаметром, равным диаметру заготовки, уменьшенному на величину $2e$. Очевидно, проведя еще несколько сечений, можно убедиться в характере получаемой формы детали.

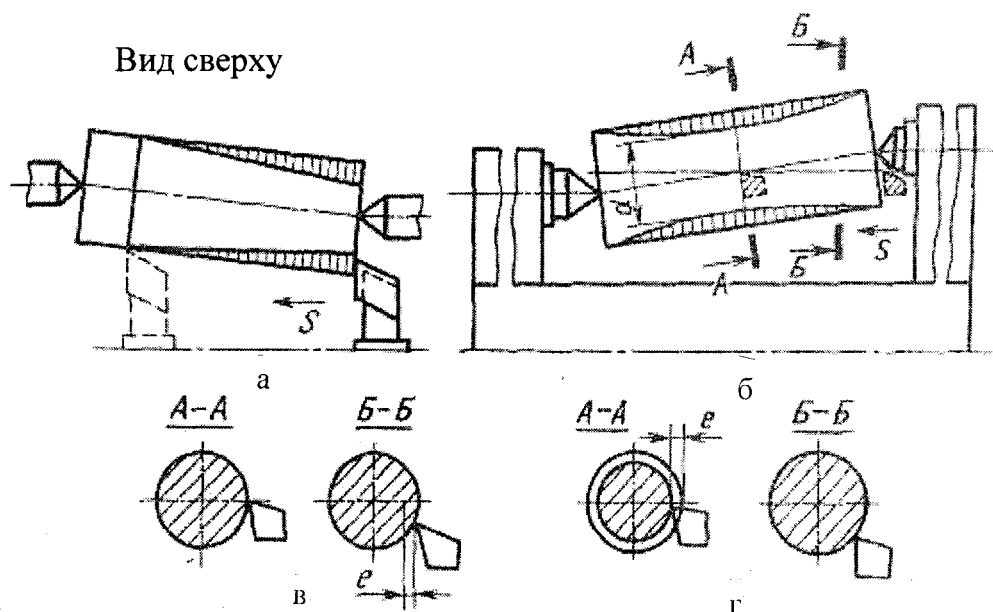


Рис. 3. Погрешности геометрической формы детали при отклонении от соосности центров станка

Биение шпинделя станка является одной из причин образования овальной формы детали.

Плохая балансировка частей станка, приспособления и обрабатываемой заготовки вызывают вибрацию станка, быстрый износ подшипников и, как следствие, возникновение огранки на обрабатываемой детали.

Отклонение от параллельности или от перпендикулярности стола по отношению к шпинделю, а следовательно, к инструменту, чаще всего вызывает также погрешности геометрической формы.

«Погрешности, возникающие вследствие деформации упругой технологической системы станок — приспособление — инструмент - заготовка». При обработке заготовок на металлорежущих станках технологическая система упруго деформируется под действием сил резания, сил зажима и ряда других факторов. Возникновение деформации объясняется наличием зазоров в стыковых соединенных частей станка, упругой деформацией отдельных его частей, деформацией приспособления, инструмента и детали. Упругие деформации технологической системы вызывают рассеяние размеров деталей в обрабатываемой партии, а также являются основной причиной возникновения волнистости.

Характерным примером действия упругих деформаций является и обработка на шлифовальных станках. Шлифование даже на совершенно новых станках, как правило, выполняют с выхаживанием, т. е. производят несколько ходов без подачи шлифовального круга на обрабатываемую заготовку.

Величина деформации зависит от способности узлов и деталей оказывать сопротивление действующим силам и определяется жесткостью.

Жесткость J_c , Н/м, упругой технологической системы есть отношение действующих сил резания, направленных по нормали обрабатываемой поверхности, к величине смещения режущей кромки инструмента:

$$J_c = P_y / y,$$

где J_c - жесткость технологической системы, Н/м; P_y - радиальная составляющая силы резания, Н; y - величина смещения режущего инструмента, деформация инструмента, м.

Величину, обратную жесткости, называют *податливостью упругой системы*:

$$\omega = \frac{1}{J} = \frac{y}{P_y}$$

Величину деформации, мкм, можно определить по формуле

$$y = \frac{P_y 1000}{J_c} = P_y \omega$$

Погрешности геометрической формы, возникающие от действия силы резания. Основной причиной возникновения погрешностей геометрической формы под действием силы резания является недостаточная жесткость обрабатываемых деталей.

При обработке валов, установленных в центры токарного или круглошлифовального станков, под действием радиальной составляющей силы резания P_Y возникает деформация вала, имеющая наибольшее значение в его середине. Таким образом, режущий инструмент, установленный на определенный размер, снимает больше металла в сечениях, близких к центрам, и меньше — в середине вала, т. е. в сечении, обладающем наименьшей жесткостью. Вал в данном случае имеет бочкообразную форму с диаметром в наибольшем сечении, увеличенном на удвоенную величину деформации оси вала (стрела прогиба).

Величину деформации можно приближенно вычислить (без учета ряда факторов, вызывающих дополнительную деформацию: затупление инструмента, неравномерное распределение припуска и т. п.), рассматривая вал как балку, лежащую на двух опорах и нагруженную силой P_y .

Величину деформации (стрелу прогиба) определяют по формуле

$$f = \frac{P_y l^3}{48EJ}$$

где P_y - радиальная составляющая силы резания, Н; l - длина вала, м; E - модуль упругости, Па; J - момент инерции, м⁴; для валов $J = \pi d^4/4$.

Допустимая погрешность геометрической формы вала не должна превышать величины допуска на диаметр

$$2f \leq \delta \text{ или } f \leq \delta/2.$$

При обработке валов с закреплением их в патроне или цанге под действием силы резания P_y также может возникнуть погрешность геометрической формы. Погрешность формы объясняется тем, что жесткость заготовки увеличивается по мере приближения резца к патрону, отжим заготовки от резца меняется от максимального значения до минимального. Величину прогиба можно определить, если принять заготовку за консольную балку, тогда

$$f = \frac{P_y l^3}{3EJ},$$

где P_y - радиальная составляющая силы резания, Н; l - длина вала, м; E - модуль упругости, Па; J - момент инерции, м⁴.

Для уменьшения влияния сил резания на погрешности геометрической формы обрабатываемой детали необходимо:

- разделить операции на предварительную и окончательную, окончательную обработку производить на более точном оборудовании;
- подбирать геометрическую форму режущего инструмента, обеспечивающую наиболее благоприятное распределение сил резания (например, приняв для токарных резцов угол $\phi = 90^\circ$, можно уменьшить силу P_y , вызывающую прогиб детали).

Погрешности установки и базирования заготовок. Кроме указанных ранее погрешностей базирования, порождаемых несовпадением установочной и конструкторской (или измерительной) баз, могут возникнуть смещения или деформации заготовки под действием сил зажима. В этом случае большое значение имеет правильный выбор опорных поверхностей, точек приложения сил зажима и жесткости приспособления.

Температурные погрешности, т. е. изменения размеров и формы деталей под действием температуры. Причинами возникновения температурных деформаций являются метеорологические условия (температура воздушной среды на производстве), нагрев обрабатываемой детали вследствие выделения теплоты при резании.

Температурная погрешность размеров деталей вследствие их нагрева при резании зависит от величины линейных размеров и коэффициента линейного расширения металла.

$$\Delta l = l\alpha(t - t_0),$$

где l - размер обрабатываемой заготовки; $t - t_0$ - изменение температуры нагрева заготовки за время обработки; α - температурный коэффициент (линейного расширения).

Для уменьшения деформаций, вызванных влиянием температуры, можно рекомендовать: тщательный подбор режимов резания и высокое качество заточки режущего инструмента, применение смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ). При выполнении особо точных работ СОЖ необходимо охлаждать до $+10^\circ\text{C}$.

Погрешности, вызванные напряжениями. Напряжения возникают под действием различных факторов: в литых и кованных заготовках - от неравномерного охлаждения, при механической обработке - вследствие перераспределения напряжений после удаления поверхностного слоя металла. Для уменьшения влияния напряжений на размеры и форму деталей механическую обработку обычно делят на черновую и чистовую, а точные детали подвергают искусственному или естественному старению.

Погрешности, вызванные силами зажима. При закреплении заготовок на станке или в приспособлении под действием сил зажима происходит деформация как самой детали, так и поверхностного слоя металла. Особо большое значение это имеет при закреплении деталей сложной формы, тонкостенных втулок, длинных валов и т. д.

2. РАЗМЕРНАЯ НАЛАДКА ПО ПРОБНЫМ ДЕТАЛЯМ

Наладка динамическая производится в три этапа:

- предварительная наладка;
- статистическая проверка положения центра группирования;
- регулировка положения инструмента (коррекция) по результатам

проверки.

Предварительная наладка производится по первой пробной заготовке способом пробных стружек и промеров. Затем при неизменном положении режущего инструмента изготавливаются несколько пробных деталей.

Статистическая проверка заключается в том, что все пробные детали тщательно измеряют. По размаху колебаний их размеров судят о правильности расчета поля рассеивания, а среднее арифметическое размеров пробных деталей принимают за характеристику достигнутого положения центра группирования

$$d_{cp} = \bar{d}_m = \frac{d_1 + d_2 + \dots + d_m}{m},$$

где m - количество пробных деталей.

Если среднее значение размеров пробных деталей отличается от расчетного наладочного размера $d_{нр}$, то положение инструмента регулируют так, чтобы привести центр группирования d_{cp} к его расчетному положению [14]

$$\Delta_{поп} = \frac{d_{cp} - d_{нр}}{2}.$$

Затем обрабатывается вся партия заготовок.

Для определения отклонения среднего размера пробных деталей от действительного центра группирования размеров партии деталей рассмотрим некоторые сведения из математической статистики.

Если распределение размеров партии деталей подчиняется нормальному закону со средним квадратичным распределением a , то при

разбивке партии на группы по « m » штук в каждой группе распределение групповых средних подчиняется тому же закону, но со средним квадратичным отклонением

$$\sigma_{гр} = \frac{\sigma}{\sqrt{m}}.$$

Рассмотрим пример для $n = 100$ деталей. Разобьем партию деталей на 20 групп, т. е. $m = 5$ деталей. Вычислим $L_{ср}$ для 20 групп. После рассеивания 20 размеров $L_{ср5}$ будет равно $\Delta_{р.гр5} = \frac{\Delta_{р100}}{\sqrt{5}}$, т. е. размеры $L_{ср5}$ будут колебаться в пределах $6\sigma_{ср5} = \Delta_{р.гр5}$. Таким образом, после изготовления « m » пробных деталей среднее арифметическое этой группы деталей \bar{d}_m может отличаться от средней арифметической всей совокупности \bar{d} не более чем на $\pm \frac{\sigma}{\sqrt{m}}$ (рис. 4).

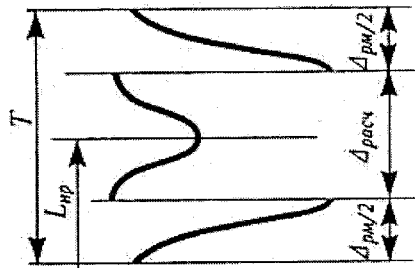


Рис. 4. Схема для определения погрешности положения центра группирования размеров всей партии деталей

Отличие \bar{d}_m группы пробных деталей от действительного центра группирования и будет погрешность $\Delta_{расч}$. Таким образом, погрешность размерной наладки по пробным деталям включает погрешности, возникающие на всех этапах проведения размерной наладки

$$\Delta_{рн} = k \sqrt{\Delta_{изм}^2 + \Delta_{рег}^2 + \Delta_{изм}^2}.$$

3. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАЗМЕРНОЙ НАЛАДКЕ МЕТОДОМ ПРОБНЫХ ДЕТАЛЕЙ

Способ рассчитан на ожидание пренебрежительно малого размерного износа при изготовлении пробных деталей, ибо только в этом случае колебание действительных размеров пробных деталей будет правильно отражать влияние отжатий технологической системы.

При измерении пробных деталей следует использовать универсальные измерительные средства повышенной точности $\Delta_{\text{изм}} = (0,1 \dots 0,05)/T$.

Для предотвращения неисправимого брака пробных деталей из-за ошибок в расчете Δ_p , на 1-й стадии наладки можно принять в качестве предварительного наладочного размера средний размер готовой детали

$$d_{\text{нр(предв)проб.}} = \frac{d_{\text{max}} + d_{\text{min}}}{2}$$

Достоинствами этого метода наладки являются сокращение вспомогательного времени по сравнению с работой по промерам и пробным рабочим ходам. Повышаются точность и надежность наладки, подкрепленные непосредственной опытной проверкой положения центра группирования и размаха колебаний размеров.

Недостатками являются сравнительная сложность наладки и все-таки значительные затраты вспомогательного времени (до 20% от общего фонда времени механической обработки). Для устранения этого недостатка следует заменять наладки подналадками.

Основной областью применения этого метода является серийное производство деталей со сравнительно небольшой площадью обрабатываемой поверхности.

4. ПРИЧИНЫ ОТКЛОНЕНИЙ В РАЗМЕРНЫХ СВЯЗЯХ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ СБОРКЕ МАШИНЫ

Точность реализации размерных связей в машине и процессе ее сборки зависит от многих факторов, влияющих на относительное положение деталей в машине: точность их сопряжения, относительного движения и надежность работы. Прежде всего проявляют себя отклонения формы, относительного поворота, расстояния и размеров поверхностей деталей, которые возникли в процессе их изготовления. Действуя в совокупности, эти отклонения приводят к отклонениям положения деталей от требуемого, к неправильному сопряжению, потере свободы или точности их движения и т. д.

Эти явления усугубляют силы, воздействующие на детали. Поскольку детали машин являются не абсолютно твердыми телами, то под воздействием собственной массы, а также массы деталей, монтируемых на них, сил крепления деформируются сами детали и их стыки. Деформирования обоих видов являются причинами изменения геометрической точности деталей по всем показателям, а следовательно, и их положения, достигнутого до приложения сил.

Большое влияние на точность реализации размерных связей в машине оказывают погрешности измерений, которыми сопровождается процесс сборки. Возникая на составляющих звеньях технологических размерных цепей, погрешности измерения являются частями суммарных отклонений замыкающих звеньев. Свою долю вносит также неточность и состояние применяемой технологической оснастки.

Причинами погрешностей сборки могут быть относительные сдвиги деталей при фиксации достигнутого положения с помощью штифтов. Для установки штифтов в деталях, соединенных винтами, необходимо просверлить и развернуть отверстия. Транспортирование соединенных деталей к месту обработки отверстий, их установка на станке могут сопровождаться толчками и ударами. При обработке отверстий на детали воздействуют силы резания. Все вместе взятое может привести к тому, что

относительное положение деталей, достигнутое при монтаже, окажется нарушенным. Причинами погрешностей сборки могут быть также попадание в стыки деталей грязи и заусенцев, задиры на поверхностях сопряжения при соединении деталей с натягом, образование забоин и пр. Качество сборки машины во многом зависит от квалификации сборщиков, их аккуратности и ответственности при выполнении работы.

Следует отметить, что происхождение погрешностей, возникающих в процессе сборки машины, пока мало изучено. Можно только предполагать, что явления, сопутствующие процессу соединения деталей, сложны и влекут за собой изменения как свойств материала деталей, так и их геометрических характеристик. Из перечисленных выше причин отклонений в размерных связях при сборке машин ниже более подробно рассмотрены проявления отклонения формы, относительного поворота и расстояния поверхностей деталей при их монтаже в машине и погрешности измерения [14].

5. ПОГРЕШНОСТИ БУРОВОГО ТРЕХШАРОШЕЧНОГО ДОЛОТА В МОДУЛЬНОМ ПРЕДСТАВЛЕНИИ

Буровое трехшарошечное долото является породоразрушающим инструментом при бурении скважин (рис. 5). Оно состоит из трех секций, каждая из которых содержит лапу 1, опорный подшипник, состоящий из двух наборов цилиндрических роликов 2, 3 и набора шариков 4, насадку 5 гидромониторного канала, замковый палец 6 и шарошку 7 с зубками в количестве 28 штук. Лапа каждой секции представляет собой сектор в виде двугранного угла в 120° , вследствие чего три соединенные лапы образуют в поперечном сечении круг, а наборы роликов и шариков образуют соответствующие подшипники. В процессе бурения скважины долото вращается и совершает поступательное движение, одновременно вращаются и шарошки, разрушая породу.

Для описания долота в модульном исполнении сначала строится граф 1 его сборочных единиц и деталей. Построение должно начинаться с определения базовой детали, однако конструкция трехшарошечного бурового долота отличается отсутствием базовой детали, поэтому его называют *бескорпусным долотом*. Такое решение объясняется дефицитом пространства, в которое должно вписываться долото.

Как следует из сборочного чертежа, отсутствие базовой детали у долота привело к дефекту его конструкции, заключающемуся в наличии степеней свободы у каждой секции. Действительно,

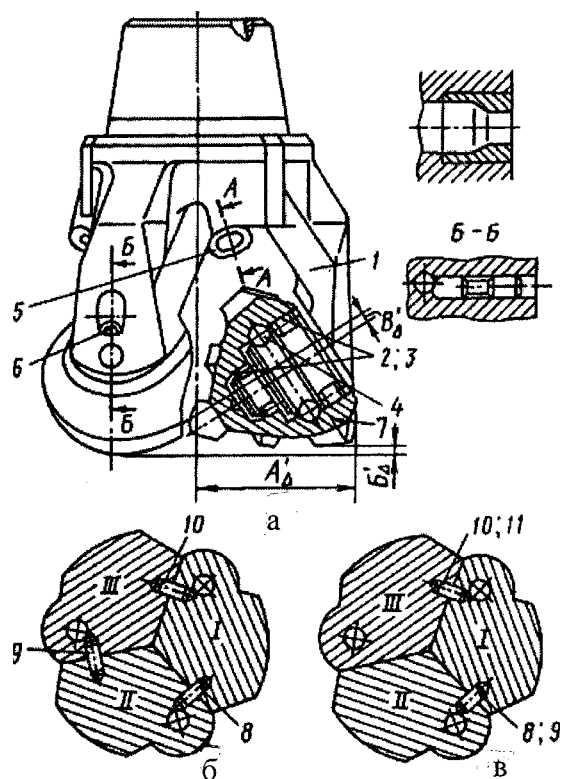


Рис. 5. Трехшарошечное долото:
а – общий вид; б – схема базирования секций долота с помощью трех штифтов;
в – схема базирования секций долота с помощью двух пар штифтов 8, 9 и 10, 11

секции в долоте соединяются друг с другом посредством совмещения плоскостей двугранного угла их лап. Такое базирование секций оставляет каждой из них два перемещения на плоскости двугранного угла лапы и одно вращение вокруг оси, перпендикулярной к плоскости двугранного угла.

Неподвижность секций долота достигается их сваркой в стыках лап. Чтобы осуществить сварку секций, необходимо предварительно их сориентировать относительно друг друга, для чего в конструкцию долота введены три технологических штифта цилиндрической формы, с помощью которых соединяются все секции.

Относительная ориентация секций долота и обеспечение постоянства их положения до сварки осуществляется следующим образом. Одну из секций условно выбирают в качестве базовой и к ней присоединяют вторую секцию, а ко второй секции присоединяют третью секцию.

Чтобы построить граф 1 долота, надо знать подчиненность всех деталей долота, а для этого необходимо установить схемы базирования каждой детали и сборочной единицы. В результате ввода трех технологических штифтов базирование одной секции относительно другой осуществляется по плоскости двугранного угла и цилиндрическому штифту (рис. 5, б). Контакт по плоскости лишает секцию трех степеней свободы, а контакт с цилиндрическим штифтом - двух степеней свободы. В итоге у каждой секции остается по одной степени свободы - вращение вокруг цилиндрического штифта. Следовательно, имеют место неполные комплекты основных и вспомогательных баз. Наличие указанных степеней свободы затрудняет фиксирование положения секций перед сваркой. С целью облегчения фиксации секций относительно друг друга введен третий штифт, соединяющий первую и третью секции. Однако введение третьего штифта нарушает правило шести точек, согласно которому для лишения шести степеней свободы необходимо и достаточно шести опорных точек. С вводом третьего штифта количество базирующих точек увеличивается до девяти, а какие шесть из них будут образовывать фактическую схему базы? Теперь определим суммарные потери качества для нашего примера при различных положениях номинального значения относительно середины поля допуска.

6. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЗАДАННОЙ ТОЧНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЯ

Чем выше требования к точности изготовления деталей, тем сложнее технологический процесс механической обработки заготовок. Одной из основных задач технологического процесса является обеспечение заданной точности изготовления деталей при наименьших затратах живого и овеществленного труда [1].

Заданная чертежом точность детали может быть обеспечена двумя основными, принципиально различными методами: 1) методом пробных рабочих ходов и промеров; 2) методом автоматического получения размеров на предварительно настроенных станках.

При первом методе положение заготовки на станке определяется ее индивидуальной выверкой, при этом часто применяется предварительная разметка: контур будущих поверхностей наносят тонкими линиями специальным инструментом (чертилками, кернами и т. п.).

Метод пробных рабочих ходов и промеров характеризуется низкой производительностью и может давать точные результаты, если его применяет лишь рабочий высокой квалификации. Этот метод, как правило, используется в единичном и мелкосерийном производстве.

В условиях серийного и массового производства используют метод автоматического получения размеров на предварительно настроенных станках. В этом случае индивидуальная выверка заготовок исключается, так как их установка осуществляется в специальных приспособлениях, а размер обеспечивается соответствующей установкой режущего инструмента. Этот метод позволяет обеспечить высокую производительность обработки, использовать рабочих невысокой квалификации, повысить точность обработки, а также дает возможность осуществлять комплексную механизацию и автоматизацию технологических процессов изготовления деталей, многостаночное обслуживание. Независимо от метода достижения заданной точности обработки необходимо знать причины возникновения погрешностей.

7. ПОГРЕШНОСТЬ ОСНОВНОЙ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ОБРАБОТКИ

Станок, разработанный в соответствии с заданной кинематической схемой, обеспечивает определенные движения режущей (рабочей) части инструмента относительно заготовки, в результате которых образуется обрабатываемая поверхность. В определенных условиях эта схема является источником образования погрешностей обработки. Например, погрешность в шаге резьбы неизбежно образуется при нарезании резьбы на токарном станке с приближенным подбором сменных шестерен. Такие погрешности могут быть заранее определены соответствующими расчетами.

8. ПОГРЕШНОСТИ ЖЕСТКОСТИ СТАНКА

Под действием сил резания звенья упругой системы «станок - приспособление - инструмент - заготовка» перемещаются. Вследствие этого режущие кромки, образующие обрабатываемую поверхность, отклоняются от исходного статического положения, а фактический размер детали будет отличаться от настроенного.

Значения перемещений упругой системы «станок - приспособление - инструмент - заготовка» зависят от жесткости этой системы и сил резания, действующих на нее [5].

Жесткостью упругой системы «станок - приспособление - инструмент - заготовка» называют отношение составляющей силы резания, направленной по нормали к обрабатываемой поверхности, к смещению лезвия инструмента относительно заготовки (y), отсчитываемому в том же направлении:

$$J = P_y/y, \quad (1)$$

где P_y - сила резания, направленная по нормали к обрабатываемой поверхности, Н; y - смещение лезвия инструмента относительно детали, м.

Следовательно, понятие «жесткость» — комплексное. При определении жесткости задается направление смещения, но рассматривается влияние не только одной составляющей силы резания P_y , но и других составляющих.

Схема обработки вала заготовки на токарном станке приведена на рис. 6.

Сила P_y оказывает наибольшее влияние на точность обработки. Смещение лезвия инструмента по нормали к обрабатываемой поверхности оказывает решающее влияние на формирование погрешности обработки. Перемещение в направлении по касательной к обрабатываемой поверхности оказывает незначительное влияние.

Рассуждения о жесткости всей системы «станок—приспособление—инструмент—заготовка» можно отнести и к жесткости ее составляющих звеньев: станка, приспособления, инструмента, заготовки. В свою очередь жесткость станка можно рассматривать как величину, состоящую из жесткости его узлов, например суппорта, передней бабки, задней бабки.

Понятие «жесткость» учитывает как упругие свойства системы, так и условия ее нагружения; при изменении условий нагружения жесткость также изменяется. Например, при обтачивании вала жесткость его при положении резца посередине будет отличаться от жесткости вала при положении резца у конца вала. В соответствии с этим и жесткость отдельных звеньев системы, отнесенная к вершине резца, будет также различной.

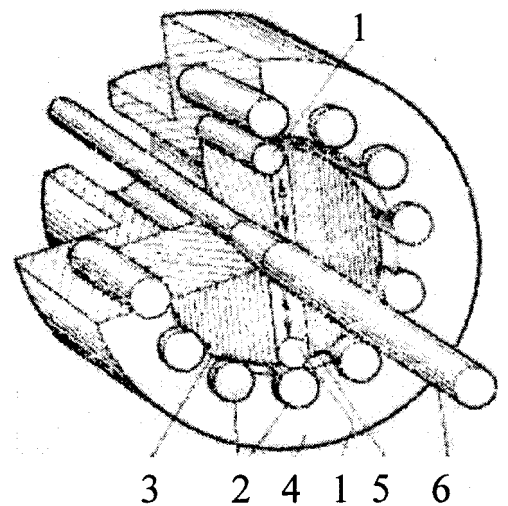


Рис. 6. Схема радиального обжатия:
1, 2 – ролики; 3 – шпиндель;
4 – обойма; 5 – бойки;
6 – заготовка

Расчеты жесткости технологической системы по жесткости отдельных ее звеньев, а также определение погрешностей обработки, связанных с упругими перемещениями этих звеньев, значительно упрощаются, если пользоваться понятием *податливости*. Податливостью ω (м/Н) технологической системы называют величину, обратную жесткости:

$$\omega = y/P_y.$$

Если приравнять деформации n звеньев системы ($y_1, y_2, y_3, \dots, y_n$), приведенные к точке и направлению, принятым при измерении жесткости, к деформации всей системы (y), можно записать:

$$y = y_1 + y_2 + y_3 + \dots + y_n.$$

Тогда общее выражение для податливости будет иметь вид

$$\omega = \omega_1 + \omega_2 + \omega_3 + \dots + \omega_n.$$

Заменив значения податливости значениями жесткости, найдем зависимость

$$1/j = 1/j_1 + 1/j_2 + 1/j_3 + \dots + 1/j_n$$

Число звеньев технологической системы в различных случаях может быть различно. Например, при токарной обработке в центрах обычно учитывают перемещения станка и обрабатываемой заготовки, считая перемещение резца пренебрежимо малым.

В этом случае система «станок-приспособление-инструмент-заготовка» сводится к системе «станок-заготовка».

При растачивании перемещениями расточных оправок или борштанг пренебрегать нельзя, деформации же обрабатываемой заготовки в этом случае пренебрежимо малы. Поэтому в данном случае рассматривается система «станок—инструмент» и т. д.

Жесткость обрабатываемой заготовки с известным приближением можно определить по обычным формулам сопротивления материалов и теории упругости. Так, например, при обтачивании гладкого вала в центрах его можно рассматривать как балку, свободно лежащую на двух опорах. Рассчитав прогиб вала для этого случая при положении резца на расстоянии от передней бабки X , можно определить жесткость вала в отмеченном сечении (рис. 7).

Жесткость режущего инструмента имеет существенное значение при растачивании отверстий, особенно глубоких. Жесткость расточного режущего инструмента может быть также определена по формулам сопротивления материалов и теории упругости.

Жесткость специальных приспособлений определяют экспериментальным путем.

Для определения жесткости станков наибольшее распространение получили статические и динамические методы. В первом случае к узлу станка с помощью специальных приспособлений прикладывают нагрузку и наблюдают его деформации. Испытания проводят при неработающем станке. Во втором случае жесткость станков определяют в результате обработки заготовки резанием. К динамическим методам относится производственный метод, который основан на обработке поверхности с переменным припуском и некоторых расчетах. Разновидностью производственного метода является метод ступенчатого резания. При этом методе берут жесткую заготовку, деформациями которой можно пренебречь по сравнению с деформациями станка и инструмента. Обрабатывают два участка заготовки: один с большей t_1 а второй с меньшей t_2 глубиной резания (рис. 8). Остальные условия обработки остаются неизменными. Разность $t_1 - t_2$ называют *погрешностью заготовки* (Δ_3).

При обработке участка с большей глубиной резания будут большие силы резания, следовательно, будут и большие отжатия лезвия инструмента. Поэтому на обработанной поверхности получается уступ величиной $\Delta_d = y_1 - y_2$, который нетрудно определить измерением (y_1 - отжатие на участке с глубиной резания; y_2 - отжатие на участке с глубиной резания t_2).

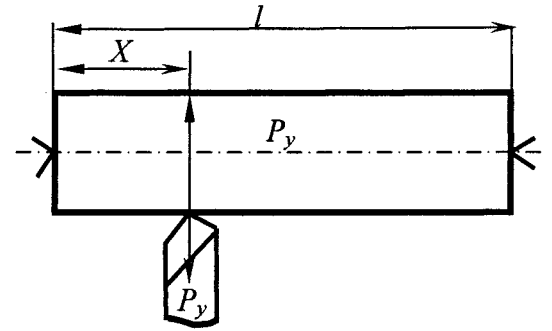


Рис. 7. Схема для расчета жесткости гладкого определения жесткости станка вала при его обработке в центрах токарного станка

Отношение, показывающее, во сколько раз в результате обработки уменьшилась неточность заготовки, названо проф. А. П. Соколовским «уточнением» (ε):

$$\varepsilon = \Delta_3 / \Delta_d . \quad (2)$$

Преобразовав формулу (2), можно определить жесткость станка следующим образом:

$$C = \lambda C_p S_0^x \varepsilon , \quad (3)$$

где $\lambda = P_p/P_z$; C_p – коэффициент, характеризующий материал заготовки и зависящий от геометрических параметров инструмента и степени его затупления; S_0 – подача, мм/об; x – показатель степени (показатель степени при глубине резания принят равным единице).

Имеются и другие разновидности производственного метода (по определению разности глубины резания, установленной по лимбу станка и измеренной после обработки заготовки; метод прямой и обратной подачи и др.).

Обозначив $C = \lambda C_p S_0^x$ и $C_1 = \lambda C_p S^x / j$, а также учитывая (2) и (3), можно получить следующие формулы:

$$j = C\varepsilon \quad ; \quad (4)$$

$$\Delta_d = C_1 \Delta_3 . \quad (5)$$

Из полученных зависимостей (1), (2), (4), (5) можно сделать вывод о том, что жесткость технологической системы является важным фактором в формировании погрешностей обработки и оказывает существенное влияние на повышение производительности труда.

Зная жесткость технологической системы и силу, можно определить погрешность обработки от упругих деформаций этой системы (Δy).

Для односторонней обработки $\Delta y = y$, для двусторонней $\Delta y = 2y$. Величина y определяется из зависимости (1):

$$y = P_y / j = \lambda C_p t^q S^x / j ,$$

где q — показатель степени.

Упругие перемещения технологической системы вызывают также погрешности формы детали как в поперечном, так и в осевом сечениях.

Из формулы (5) видно, что погрешность заготовки как бы копируется на детали. Коэффициент C_1 является коэффициентом переноса погрешности заготовки на готовую деталь. Его значение зависит главным образом от жесткости системы «станок—приспособление—инструмент—заготовка», в частности жесткости станка и подачи при неизменных геометрических параметрах инструмента и обрабатываемого материала.

Анализируя конкретные производственные условия, необходимо стремиться к максимальному повышению жесткости звеньев системы «станок-приспособление-инструмент-заготовка», а также выравнивать жесткость в различных сечениях и направлениях.

Вопросы образования погрешностей под действием упругих перемещений заготовки и элементов приспособлений, погрешности неточности установки заготовки на станке были рассмотрены в разделе 3. Возможно возникновение деформации заготовки под влиянием сил зажима.

9. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОГРЕШНОСТИ СТАНКА, ПРИСПОСОБЛЕНИЙ И РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Металлорежущие станки, режущий инструмент и приспособления, как и все изделия, изготавливают с определенной степенью точности. Погрешности изготовления этих звеньев системы «станок-приспособление-инструмент-заготовка» оказывают влияние на точность изготовления деталей.

Геометрическая точность новых станков определяется стандартами; в процессе эксплуатации она понижается вследствие изнашивания отдельных узлов станка, нарушения регулировки и других причин. Погрешности изготовления металлорежущих станков приводят к образованию погрешностей обработки заготовок, которые определяют соответствующими рас-

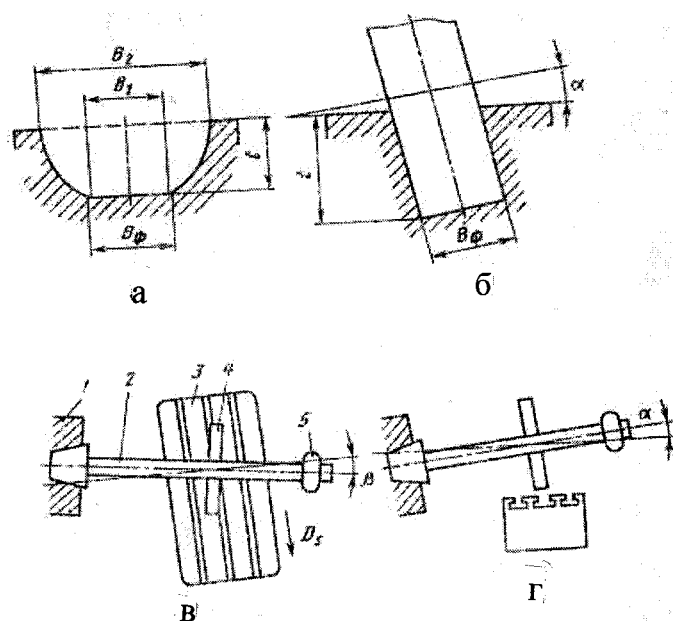


Рис. 8. Влияние геометрических погрешностей станка на образование погрешностей при обработке прямоугольных пазов:
1 – шпиндель станка;
2 – оправка; 3 – стол; 4 – фаза;
5 – подвеска

четами, В качестве примера рассмотрим обработку прямоугольных пазов на горизонтально-фрезерном станке. В таких пазах наиболее ответственными являются боковые поверхности; точность размеров между этими поверхностями (B) определяется 8-11-м качествами. Точность размера глубины паза (t) невелика; она соответствует 12-14-му качеству [8].

На точность обработки паза оказывают влияние погрешности станка: отклонение β от перпендикулярности оси вращения фрезы в горизонтальной плоскости,

отклонение a от параллельности оси вращения фрезы рабочей поверхности стола (рис. 8, г).

Погрешности обработки паза при наличии угла β приведены на рис. 8, а. При наличии угла α происходит разворот паза на этот угол (рис. 8, б).

При одновременном влиянии отклонений (α и β) увеличение ширины паза у его верхней части

$$\Delta B = 2 \frac{\sin \beta}{\sin^2 \alpha} \sqrt{t(D_{\phi} \cos \alpha - t)}.$$

Учитывая малые значения углов, для практических целей можно пользоваться упрощенной зависимостью

$$\Delta B = 2 \sin \beta \sqrt{t(D_{\phi} - t)},$$

где D_{ϕ} - диаметр фрезы.

Погрешности мерного режущего инструмента (сверла, зенкера, развертки, протяжки и т. п.), а также профильного инструмента (фасонные резцы, фрезы и т. п.) оказывают непосредственное влияние на образование погрешностей изготовления деталей. Погрешности немерного и непрофильного инструмента оказывают влияние на точность обработки косвенно. Например, торцовое биение трехсторонних дисковых фрез оказывает влияние на размер между боковыми поверхностями пазов.

Допустимые значения геометрических погрешностей режущего инструмента и приспособлений приводят в чертежах на их изготовление.

10. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЗАДАННОЙ ТОЧНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЯ

Чем выше требования к точности изготовления деталей, тем сложнее технологический процесс механической обработки заготовок. Одной из основных задач технологического процесса является обеспечение заданной точности изготовления деталей при наименьших затратах живого и овеществленного труда.

Заданная чертежом точность детали может быть обеспечена двумя основными, принципиально различными методами:

- 1) методом пробных рабочих ходов и промеров;
- 2) методом автоматического, получения размеров на предварительно настроенных станках [2].

При первом методе положение заготовки на станке определяется ее индивидуальной выверкой, при этом часто применяется предварительная разметка: контур будущих поверхностей наносят тонкими линиями специальным инструментом (чертилками, кернами и т. п.).

Метод пробных рабочих ходов и промеров характеризуется низкой производительностью и может давать точные результаты, если его применяет рабочий высокой квалификации. Этот метод, как правило, используется в единичном и мелкосерийном производстве.

В условиях серийного и массового производства используют метод автоматического получения размеров на предварительно настроенных станках. В этом случае индивидуальная выверка заготовок исключается, так как их установка осуществляется в специальных приспособлениях, а размер обеспечивается соответствующей установкой режущего инструмента. Этот метод позволяет обеспечить высокую производительность обработки, использовать рабочих невысокой квалификации, повысить точность обработки, а также дает возможность осуществлять комплексную механизацию и автоматизацию технологических процессов изготовления деталей, многостаночное обслуживание. Независимо от метода достижения заданной точности обработки необходимо знать причины возникновения погрешностей.

11. ПОГРЕШНОСТИ ОБРАБОТКИ, ВЫЗЫВАЕМЫЕ РАЗМЕРНЫМ ИЗНАШИВАНИЕМ ИНСТРУМЕНТА

В процессе резания инструмент изнашивается. Его изнашивание может происходить по задней или передней поверхности, а также одновременно по этим поверхностям (рис. 9). Обычно при чистовой обработке происходит изнашивание по задней поверхности инструмента. За критерий изнашивания инструмента принимают износ h^3 по задней поверхности.

На точность обработки оказывает влияние износ и лезвия инструмента в направлении, перпендикулярном к обрабатываемой поверхности, который называют *размерным износом*. Этот износ зависит от износа по задней грани инструмента, но не на участке главной режущей кромки, а на участке, прилегающем к вершине режущего инструмента. Поэтому вычисление размерного износа по формуле $u = h_3 \operatorname{tg} \alpha$ дает значительную погрешность, вследствие чего его определяют экспериментальным путем. Погрешности вследствие размерного изнашивания инструмента будут равны: для двусторонней обработки $\Delta u = 2u$; для односторонней обработки $\Delta u = u$ [18].

Следует отметить, что стойкость режущего инструмента выражается временем его работы между двумя последовательными повторными заточками. С точки зрения точности обработки основной является зависимость размерного износа и от пути резания: $l = vT$, где l - путь, пройденный инструментом в металле, м; v - скорость резания, м/мин; T - время резания, мин. Эта зависимость представлена на рис. 10.

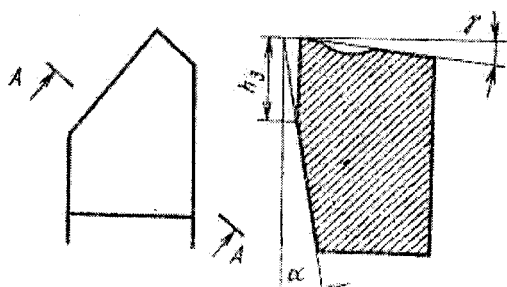


Рис. 9. Износ реза по задней и передней граням

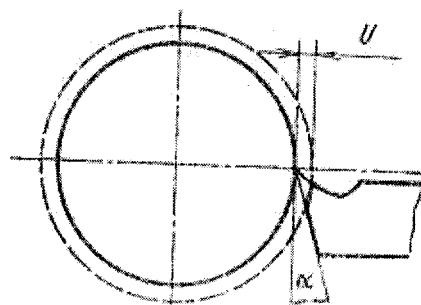


Рис. 10. Схема образования размерного износа

В начальный период работы режущего инструмента (участок I; l) наблюдается повышенный его износ (кривая износа является выпуклой). Этот участок является незначительным, не превышает 1000 м и называется *начальным износом* (u_n). Второй период (участок II; l_2) является основным и характеризуется нормальным износом инструмента, его длина составляет примерно 8 000-30 000 м. Этот участок прямолинеен, угол наклона прямой характеризует интенсивность размерного изнашивания инструмента. Третий период (участок III; l_3 , кривая вогнута) соответствует быстрому изнашиванию: через короткий промежуток времени происходит разрушение инструмента. Работа на участке III недопустима.

Характеристикой интенсивности размерного изнашивания на втором участке является относительный износ (u_0) - размерный износ (мкм), отнесенный к 1000 м пути резания: $u_0 = 1000u/l$.

Зная величину u_0 , можно определить размерный износ (мкм) для любого пути резания на участке II: $u = u_0 l / 1000$.

Для определения размерного износа на всем пути резания вновь заточенным инструментом необходимо учитывать начальный размерный износ u_n . Обобщая результаты выполненных экспериментальных исследований, можно сделать вывод о том, что величину u_n можно учесть увеличением в формуле (10) пути резания на 1000 м по эмпирической формуле

$$u = u_0 (l + 1000) / 1000.$$

Величина относительного износа приведена в работе далее.

Режущий инструмент, который допускает корректировку настроечного размера (резцы, фрезы, шлифовальные круги, раздвижные развертки и т. п.), позволяет компенсировать влияние размерного изнашивания на точность обработки. Для жестких размерных и фасонных (профильных) инструментов такая компенсация исключена.

При обработке заготовок методом пробных рабочих ходов разовая установка инструмента исключает влияние размерного износа на точность размера обрабатываемой поверхности, однако погрешности формы в результате воздействия этого фактора будут иметь место.

При обработке заготовок на настроенных станках своевременный контроль их размеров позволяет принимать решения по соответствующей корректировке наладки станка. При обработке заготовок в автоматическом режиме (например, на автоматических линиях) используют автоматические подналадчики, которые устраняют влияние размерного износа на точность обработки.

Температурные деформации системы «станок-приспособление, инструмент-заготовка». В процессе механической обработки происходит нагрев системы «станок-приспособление-инструмент-заготовка» в результате выделения теплоты в зоне резания, в различных узлах металло-режущих станков вследствие трения, а также поступления теплоты от внешних источников. Результаты проведенных исследований позволяют сделать вывод о том, что температурные деформации станков общего назначения оказывают незначительное влияние на точность обработки.

При конструировании прецизионных станков следует принимать необходимые меры, уменьшающие влиянием колебания температуры на появление погрешностей: подбор материалов для сопряженных деталей с малым коэффициентом расширения, изменение направления температурного деформирования отдельных узлов станка таким образом, чтобы оно не влияло на точность обработки, и др.

Для устранения влияния колебаний температуры окружающей среды на прецизионные станки их устанавливают в помещении с постоянной температурой. Нагревание заготовок в процессе обработки происходит благодаря теплоте резания. Основное количество теплоты аккумулируется в стружке (при точении, фрезеровании, наружном протягивании). В обрабатываемую заготовку переходит незначительное количество теплоты, примерно 3-9%. При сверлении же большая часть теплоты (более 50%) остается в заготовке.

Для уменьшения температурных деформаций обрабатываемых заготовок обработку следует вести с обильным охлаждением, чистовая обработка должна выполняться после черновой и получистовой обработки с перерывом, достаточным для охлаждения заготовки.

Температура рабочей поверхности резцов в зоне резания составляет 800-1000°C и выше; с отдалением от зоны резания температура стержня резца заметно снижается.

Зависимость удлинения резца от времени резания под действием теплоты приведена на рис. 11.

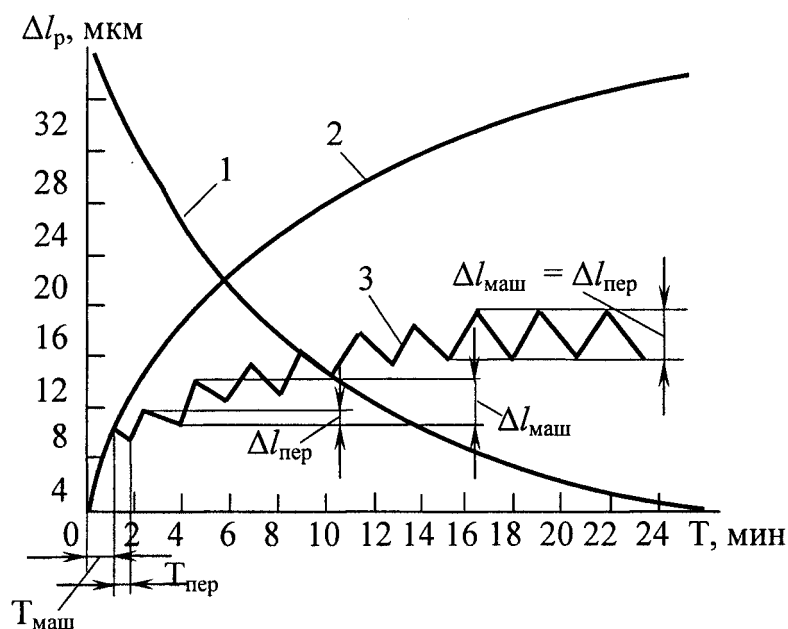


Рис. 11. Влияние перерывов работы резца на его тепловые деформации:
 1 – охлаждение резца; 2 – нагревание резца при непрерывной работе;
 3 – работа в условиях резания с перерывами; $\Delta l_{\text{маш}}$ – удлинение резца за машинное время; $\Delta l_{\text{пер}}$ – уменьшение длины резца при охлаждении за время перерыва

В начале резания наблюдается быстрое повышение температуры резца и его соответствующее удлинение. Затем наступает тепловое равновесие, и удлинение резца прекращается. По результатам экспериментальных исследований установлена эмпирическая формула для расчета удлинения резца с пластиной из твердого сплава Т15К6 при установившемся тепловом равновесии

$$\Delta l_T = C \frac{L_p}{F} \sigma_b (t S_0)^{0,75} v^{0,5}, \quad (6)$$

где C - постоянная (при $t < 1,5$ мм, $S^0 < 0,2$ мм/об, $v = 100 \dots 200$ м/мин; $C = 0,45$); L_p - вылет резца, мм; F - площадь поперечного сечения резца, мм²; σ_B - временное сопротивление материала заготовки, МПа; t - глубина резания, мм; S_o - подача, мм/об; v - скорость резания, м/мин.

Удлинение резца, соответствующее любому моменту времени (τ) от начала работы, определяют по формуле $\Delta L = \Delta L_T (1 - e)^{\frac{\tau C}{4}}$. Если резание при обработке заготовок производится с перерывами, то в зависимости от длительности перерыва резец охлаждается частично или полностью. При такой работе удлинение ΔL_n резца в момент наступления теплового равновесия получается меньше, чем при непрерывной его работе (рис. 11). Его определяют из формулы (6):

$$\Delta L_T = K_n \Delta L_T. \quad (7)$$

Здесь $K_n = \frac{t_0}{t_0 + t_n}$ - коэффициент, где t_0 - время работы резца; t_n - время перерывов.

Погрешности, вызываемые температурным деформированием режущего инструмента, можно практически исключить, если в зону резания подводить большое количество охлаждающей жидкости.

12. ПОГРЕШНОСТИ НАСТРОЙКИ ИНСТРУМЕНТА НА РАЗМЕР

При автоматической обработке требуется предварительная установка (настройка) режущего инструмента относительно заготовки в такое положение, при котором обеспечивается размер обрабатываемой поверхности в соответствии с требованиями чертежа. Это положение режущего инструмента определяется установочным размером. Настройка инструмента в статическом состоянии системы «станок-приспособление-инструмент-заготовка» должна учесть все явления, которые происходят в процессе обработки (упругие деформации системы, температурные деформации и др.). Установочный размер не может быть выдержан абсолютно точно, он будет колебаться в определенных пределах, которые и определяют погрешность настройки инструмента, приводящей к образованию погрешности обработки. Погрешность настройки инструмента зависит от многих факторов (методы настройки, точность измерений при настройке др.).

Погрешности, возникающие одновременно в процессе обработки, формируют суммарную, или результирующую погрешность.

Суммарная погрешность является мерой точности конкретного метода обработки. Для определения ожидаемой суммарной погрешности обработки используют три метода: с помощью таблиц экономической точности обработки; статистический; расчетно-аналитический.

Погрешности обработки можно подразделить на систематические и случайные.

Систематической погрешностью называют погрешность, которая для всех деталей рассматриваемой партии остается постоянной или же закономерно изменяется при переходе от каждой детали к следующей.

Случайной погрешностью называют погрешность, которая для различных деталей рассматриваемой партии имеет различные значения, причем колебание этих значений в партии не подчиняется какой-либо

закономерности. Случайные погрешности вызываются действием факторов случайного характера. Например, колебание деформации системы «станок-приспособление-инструмент-заготовка» происходит в результате изменения нормальной составляющей силы резания R_y , которое неизбежно возникает в результате колебаний в пределах установленного допуска размеров и твердости заготовки. К случайным следует отнести также погрешности установки и ряд других.

Случайные погрешности, суммируясь с систематическими, приводят к рассеянию суммарной погрешности, а следовательно, - к рассеянию действительных размеров. Систематические погрешности можно заранее предвидеть и учесть соответствующими расчетами.

Случайные погрешности относят к категории случайных величин. Случайные величины и законы их распределения (рассеяния) изучаются в теории вероятностей и математической статистике, использование которых для исследования точности обработки позволяет учитывать случайные погрешности.

Вероятностью x какого-либо события называют отношение числа m случаев, благоприятствующих этому событию, к общему числу n всех равновероятных, несовместимых и независимых друг от друга случаев: $P_x = m/n$.

Из всех законов распределения случайных величин наибольшее практическое значение имеет так называемый закон нормального распределения, изображаемый кривой распределения Гаусса. Уравнение этой кривой имеет следующий вид (8):

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}, \quad (8)$$

где σ - среднеквадратическое отклонение.

Практически вся (99,73%) площадь кривой нормального распределения находится в пределах $\pm 3\sigma$.

Среднеквадратическое отклонение имеет вид для дискретных величин

$$\sigma = \sqrt{\frac{x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + \dots + x_n^2}{n}}. \quad (9)$$

Кроме закона нормального распределения в математической статистике используют и законы *распределения существенно положительных величин, равной вероятности, закон Симпсона (распределение по треугольнику)* и другие [14].

Практическое использование закона нормального распределения можно пояснить конкретным примером. После обработки партии заготовок (например, 100 шт.) на предварительно настроенном станке (по методу автоматического получения размеров) их размеры измеряют. Результаты измерений заносят в таблицу, в которой также отражаются следующие данные: интервалы значений действительных размеров (случайные значения x); число деталей с действительными размерами данного интервала K_i (частота); $m_x = K_i / n$ - относительная частота, или частость.

Сумма всех частот должна быть равна числу деталей в исследуемой партии: $(\sum_{i=1}^n K_i = n)$, а сумма всех частостей - единице ($\sum m_x = 1$). Полученное эмпирическое распределение можно представить графически (рис. 12, 13).

Полученная таким образом кривая получила название *практической кривой распределения*.

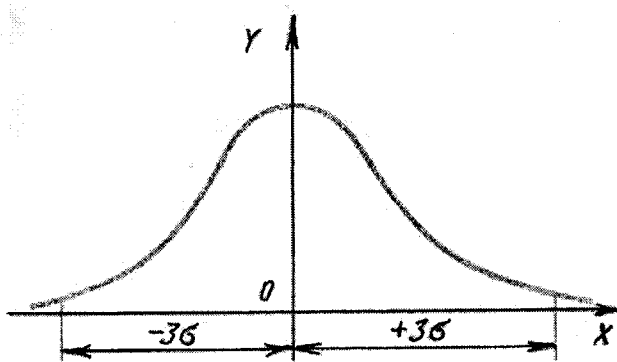


Рис. 12. Кривая нормального распределения

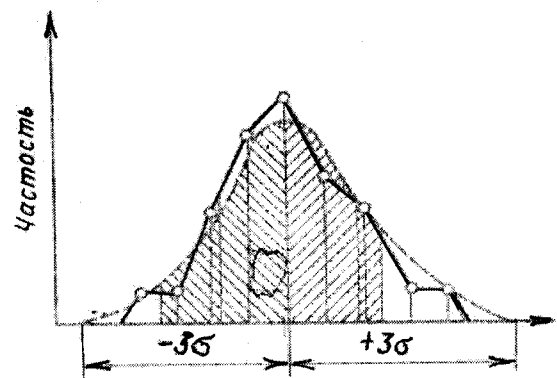


Рис. 13. Кривая рассеяния фактических размеров и кривая нормального распределения: — кривая распределения фактических размеров; - - - кривая нормального распределения

В теории вероятностей доказывается, что между частотой и вероятностью существует приближенное равенство, точность которого возрастает с увеличением числа наблюдений: $[P(x) = m/n \approx K_i/n, \text{ если } n \rightarrow \infty]$.

Близость практической кривой распределения к кривой нормального распределения оценивается либо визуально, либо с помощью критериев, которые рекомендуются в курсе математической статистики. Для изучения распределения случайных величин в практических условиях используют две основные статистические характеристики:

1) \bar{X} - среднеарифметическое значение случайной величины

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i K_i}{n}, \quad (10)$$

где X_i - середина интервала наблюдаемых значений x , разбитых на интервалы; K_i - частота значений x ; n - общее число наблюдений;

2) σ - среднеквадратическое отклонение случайной величины от ее среднего значения:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2 K_i}{n}}. \quad (11)$$

По результатам многочисленных экспериментальных исследований машиностроителями сделан очень важный практический вывод: если при изготовлении партии деталей на настроенном станке систематические погрешности были постоянными, то распределение действительных размеров в такой партии подчиняется закону нормального распределения.

В настоящее время для статистических исследований точности обработки и определения суммарной погрешности обработки используются два метода: метод кривых распределения и больших выборок; метод точечных диаграмм и малых выборок.

13. ВЛИЯНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ПОВЕРХНОСТИ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Качество поверхности оказывает существенное влияние на эксплуатационные свойства деталей машин: износоустойчивость, усталостную прочность, стабильность посадок деталей (зазоры, натяги), коррозионную стойкость и др.

В начальный период работы сопряженных поверхностей деталей машин, т. е. в процессе их приработки, даже при небольшом давлении возможен разрыв масляной пленки в местах выступающих вершин шероховатостей; в результате происходит сухое трение, упругое и пластическое деформирование на этих участках, что приводит к интенсивному изнашиванию контактирующих поверхностей. Таким образом, после приработки параметр шероховатости поверхности будет отличаться от полученного после механической обработки.

На рис. 14 приведена типовая зависимость износа сопряженной пары от времени ее работы. В этой зависимости можно выделить две критические точки и три характерных участка, которые отмечаются также и в зависимости размерного износа резца от пути резания. Точка А представляет конец начального износа (приработки) на участке I. Участок II характеризует нормальное, естественное изнашивание, медленно нарастающее в

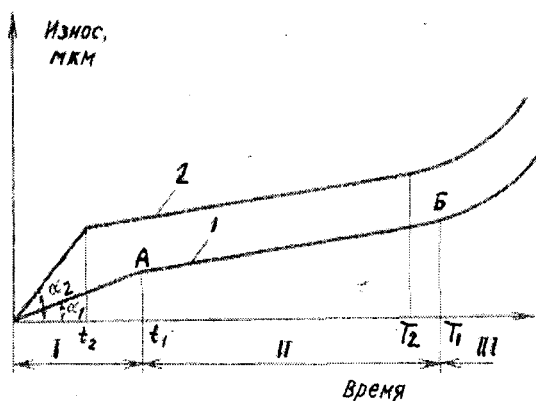


Рис. 14. Зависимость износа от времени работы сопряженной пары

процессе эксплуатации. После определенного периода работы износ достигает таких размеров, когда дальнейшая эксплуатация машины становится практически невозможной (точка Б). При продолжении работы (участок III) износ растет чрезвычайно быстро. В точке Б необходима остановка машины и направление ее в ремонт [6].

На рис. 14 представлены зависимости износа от времени работы сопряженной пары с различными параметрами шероховатости. Рабочие поверхности пары 1 имеют меньший параметр шероховатости. Начальный износ (приработка) заканчивается в точках t_1 и t_2 .

Нормальный износ для всех случаев приблизительно можно характеризовать одинаковым углом наклона прямых, которые выражают зависимости износа от времени работы сопряженной пары и свойственны данным материалам и условиям работы. Таким образом, продолжительность (T_1 и T_2) работы трущихся пар 1 и 2 до границы допустимого износа будет различной в зависимости от шероховатости поверхности.

На начальный износ сопряженных деталей влияют также форма и направление неровности относительно направления скольжения поверхностей.

Наклеп, возникающий в поверхностном слое, уменьшает износ поверхностей в 1,5-2 раза.

Сопротивление материала усталости под действием переменной нагрузки возрастает одновременно с понижением параметра шероховатости поверхности, причем тем больше, чем более чувствителен материал детали к концентрации напряжений.

Для легированных сталей падение усталостной прочности при переходе от полированного образца к обточенному может достигать 30-40%. Падение усталостной прочности объясняется концентрацией напряжений во впадинах неровностей поверхности; концентрация напряжений тем больше, чем острее впадины; мелкие надрезы поверхности, риски и т. п. вызывают появление трещин, которые, развиваясь, могут привести к разрушению детали.

Наклеп и остаточные напряжения сжатия в поверхностном слое повышают усталостную прочность, а остаточные напряжения растяжения снижают ее.

Шероховатость поверхности в значительной степени влияет на стабильность посадок деталей. Характер подвижной посадки изменяется в

связи с изнашиванием сопрягаемых поверхностей. При неподвижных посадках большое значение имеет площадь опорных поверхностей.

Если же соединение неподвижных посадок осуществляется благодаря тепловому воздействию (охлаждение вала или нагревание втулки), микронеровности способствуют повышению прочности соединений.

Установлено, что поверхности с меньшей шероховатостью меньше подвержены коррозии. Коррозирующие вещества собираются на дне впадин неровностей поверхности. Распространяясь в глубь металла, они разрушают гребешки шероховатости, образуя новые, и т. д. Очевидно, чем меньше высота неровности, тем медленнее будет протекать коррозия. Поэтому в некоторых ответственных машинах, работающих в неблагоприятных атмосферных условиях, полируют даже те поверхности деталей, которые при обычных условиях эксплуатации можно было бы не обрабатывать.

Наклеп ускоряет коррозию в 1,5-2 раза. Это объясняется тем, что при пластическом деформировании поликристаллического материала в нем создаются микронеоднородности, способствующие возникновению большого числа очагов коррозии.

14. ПОГРЕШНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗАГОТОВОК

Одним из этапов разработки технологического процесса является выбор размеров и способа изготовления исходной заготовки. В некоторых случаях эти данные приводят на рабочем чертеже детали. Размеры заготовки определяются по результатам расчета припусков на механическую обработку.

Основными способами изготовления заготовок являются литье, обработка давлением и комбинированные способы. Детали изготавливаются также из сортового и фасонного проката. Получают распространение специальные способы изготовления заготовок. Оптимальный вариант при выборе заготовки для изготовления конкретной детали определяется сравнительным технико-экономическим анализом.

Рассмотрим лишь краткие сведения о способах изготовления заготовок, позволяющих добиться снижения себестоимости изготовления деталей машин [18].

Ежегодно большое количество металла идет в стружку. Образование каждой тонны стружки сопровождается расходом электроэнергии 430 кВт и работой металлорежущих станков в течение 140 ч. Это очень большие потери, но они неизбежны, так как современные требования к точности и качеству обрабатываемых поверхностей деталей машин в основном обеспечиваются обработкой металлов резанием. Практика машиностроительной технологии красноречиво свидетельствует о том, что только в одном случае из ста металлическая деталь может быть изготовлена без отходов в виде стружки. Неслучайно поэтому коэффициент использования металла в машиностроении невысок и составляет в среднем примерно 0,7, в крупносерийном и массовом производстве он равен 0,85 и в единичном 0,5-0,6.

Поэтому возникла необходимость создавать технологические процессы, обеспечивающие наибольшее приближение формы и размеров заготовок к форме и размерам готовых деталей, т. е. получать заготовки, поверхности которых не требуют дальнейшей обработки или имеют минимальные припуски на последующую обработку резанием. К таким технологическим процессам относятся: 1) специальные точные виды литья

— в оболочковые формы, по выплавляемым моделям, в металлические модели (кокиль), под давлением и ее разновидность - штамповка жидкого металла, центробежное литье; 2) обработка металлов давлением - различные способы прокатки, горячая объемная штамповка и ее разновидности; плоскостная, объемная и комбинированная калибровка; 3) листовая штамповка; 4) порошковая металлургия; 5) сварка для получения комбинированных заготовок; 6) штамповка взрывом, штамповка выдавливанием в разъемных матрицах, изотермическая штамповка и т. п.

Применение литья в оболочковые формы вместо литья в песчаные формы повышает коэффициент использования металла до 0,8-0,85, обеспечивает параметр шероховатости поверхности $Rz = 20 \dots 160$ мкм и точность размеров, соответствующих 14-15-му квалитетам.

Параметр шероховатости поверхностей, полученных литьем под давлением, $Rz - 20 \dots 40$ мкм, а точность их размеров соответствует 12-му квалитету. При тщательной доводке форм точность увеличивается и соответствует 10-11-му квалитетам. У таких заготовок, как правило, обработке резанием подвергаются лишь сопрягаемые поверхности.

Деталепрокатные станки, разработанные во Всероссийском научно-исследовательском и проектно-конструкторском институте металлургического оборудования (ОАО АХК ВНИИМЕТМАШ), могут изготавливать заготовки различных деталей (валов, осей, зубчатых колес, втулок, сверл) с большой производительностью и с незначительными отходами металла (2-3% вместо 27-28%).

Расчеты, проведенные на основе практических данных, показывают, что перевод каждого миллиона тонн проката черных металлов с обработки резанием на обработку пластическим деформированием и сваркой обеспечит экономию металлопроката в 250 тыс. т, при этом повышается производительность труда, сокращаются 15 тыс. металлорежущих станков и более 20 тыс. рабочих.

Комбинированные сварные заготовки (листо-сварные, сварно-литые, штамповано-сварные, сварно-комбинированные) позволяют значительно сократить трудоемкость изготовления деталей и сборочных единиц.

Достаточно отметить, что замена литых деталей сварными конструкциями может дать экономию металла до 30%.

При порошковой металлургии исходное сырье в виде порошка прессуется или формуется в заготовку (или готовую деталь) заданных размеров и подвергается термической обработке (спеканию). Этот метод обеспечивает такие точность размеров поверхностей и их шероховатость, которые позволяют исключить механическую обработку или же при необходимости выполнять ее в малом объеме. Рассмотренная технология позволит повысить производительность обработки в 10 раз, сократить отходы производства до 1-5%: изготовление десяти тысяч тонн изделий из железного порошка высвобождает около 2 тыс. рабочих, 1 тыс. металлорежущих станков, экономит 20 тыс. тонн стального проката и сберегает 15 млн рублей. Порошковая металлургия позволяет также получать материалы с уникальными свойствами - жаропрочные, коррозионно-стойкие, с повышенными фрикционными свойствами.

В настоящее время проводятся большие работы по изысканию новых методов обработки, направленных на повышение качества металла, поиску новых материалов. Наряду с металлическими сплавами в современном машиностроении большое распространение получают полимерные и композиционные материалы.

В машиностроении достаточно широко используют пластмассы, что позволяет экономить черные, цветные и легированные сплавы, приводит к снижению массы машин, сокращению трудоемкости их изготовления. Получают распространение и композиционные материалы, которые состоят из металлической или неметаллической основы (матрицы) и армирующего упрочнителя, распределение которого задано соответствующим образом. В практику внедряются новые армирующие волокна графита (углеродные), бора, сапфира, карбидов и нитридов легких элементов; Прочность композиционных материалов на их основе превышает прочность сталей на целый порядок; они обладают также достаточно большой жесткостью.

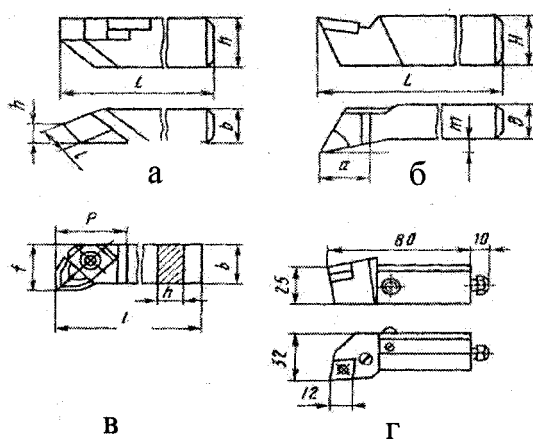
Композиционные материалы используются в авиационной и космической технике, начинают применяться и в других отраслях машиностроения.

15. ПОГРЕШНОСТИ ПРИ ТОЧЕНИИ

Обработка на токарных станках. Для обработки наружных поверхностей применяют как центровые, так и бесцентровые станки. Широкое применение нашли универсальные токарные патронно-центровые станки горизонтальной компоновки, станки с ЧПУ [3].

Наиболее распространенным методом обработки цилиндрических наружных поверхностей является точение резцом (резцами).

При установке и обработке данных заготовок валов, осей стержней и



т. п. в качестве дополнительной опоры, повышающей жесткость технологической системы, применяют люнеты (подвижные и неподвижные).

Для точения цилиндрических поверхностей и поверхностей, прилегающих к ним и ограничивающих их длину (торцы, уступы, канавки, радиусы и т. п.), применяют проходные, подрезные (прямые и отогнутые), отрезные, канавочные и другие резцы с напайными пластинами из быстрорежущей стали или твердых сплавов и композиционных материалов (рис. 15).

Рис. 15. Токарные резцы:
а – проходной; б – подрезной;
в – многогранный
с механическим креплением;
г – резец проходной для станков
с ЧПУ

Напайные пластины на резцах применяют в единичном производстве чаще, чем многогранные пластины с механическим креплением, которые широко распространены в серийном и массовом производстве при обработке заготовок на станках с ЧПУ (рис. 15, в).

Проходные резцы для чистовой обработки выполняют с большим радиусом закругления при вершине резца и более тщательно доводят режущие грани. При достаточной жесткости станка применяют чистовые

широкие резцы из твердого сплава (ГОСТ 18881-73), чем достигается высокое качество поверхности.

На черновых операциях повышения производительности обработки добиваются увеличением глубины резания (уменьшение числа рабочих ходов), а также подачи.

На чистовых операциях подача ограничивается заданной шероховатостью поверхности, поэтому сокращение основного времени возможно за счет увеличения скорости резания.

Чистовое точение, как правило, осуществляется путем скоростного резания с использованием твердосплавного инструмента.

Для повышения производительности применяют силовое резание — обработку с большими подачами твердосплавными резцами, имеющими вспомогательный угол в плане $\varphi_1 = 0$. Силовое резание позволяет получать поверхность с $Ra = 3,2 \dots 1,6$ мкм при подаче $S_0 = 3 \dots 4$ мм/об и скорости резания $v = 60 \dots 150$ м/мин.

Обработка на токарно-карусельных станках. На универсальных токарно-карусельных станках обрабатывают заготовки деталей типа тел вращения разнообразной формы с $D \leq 10\,000$ мм при $L/D \leq 1$. Основными типами токарно-карусельных станков, выпускаемых станкостроительной промышленностью, являются: одностоечные с одним вертикальным суппортом с пятипозиционной револьверной головкой и боковым суппортом с четырехрезцовым поворотным резцедержателем; двухстоечные с двумя вертикальными и одним боковым суппортами.

Токарно-карусельные станки с ЧПУ позволяют автоматизировать обработку и в 2-2,5 раза повысить производительность труда.

Обработка на токарно-револьверных станках и полуавтоматах. На токарных станках *общего* назначения переходы сложной операции выполняют последовательно один за другим.

При обработке на токарно-револьверных станках в серийном производстве производительность труда повышают путем совмещения переходов операции и применения многоинструментных наладок. На токарно-револьверных станках обрабатывают разнообразные заготовки деталей

типа тел вращения из пруткового материала или из штучных заготовок. Характерной особенностью токарно-револьверных станков является наличие револьверной головки, в которой размещается режущий инструмент. Подвод инструмента в рабочую зону осуществляется поворотом револьверной головки.

Различают токарно-револьверные станки с вертикальной осью вращения револьверной головки и с горизонтальной осью вращения. Револьверные головки имеют возвратно-поступательное движение, а с горизонтальной осью — еще и поперечное перемещение. Совмещение переходов обработки в операции типично для револьверных станков.

Токарно-револьверные станки при обработке наружных поверхностей обеспечивают точность по 12-9-му квалитетам и параметр шероховатости поверхности $Ra = 12,5 \dots 6,3$ мкм.

Обработка на токарных многорезцовых станках и копировальных полуавтоматах. Токарно-многорезцовые станки рассчитаны (так же как и револьверные станки) на повышение производительности труда путем совмещения переходов операций и автоматического получения операционных размеров. Эти станки предназначены для обработки (в патроне или в центрах) заготовок деталей типа ступенчатых валов, блоков шестерен, валов-шестерен, фланцев, шкивов и т. п. в условиях среднесерийного и крупносерийного производства.

Токарные многорезцовые станки и копировальные полуавтоматы имеют два суппорта, работают в полуавтоматическом цикле. Они, как правило, одношпиндельные с горизонтальной и вертикальной компоновками. Обычно на многорезцовых станках обрабатывают заготовки диаметром до 500 мм, длиной до 1500 мм.

Основным режущим инструментом при обработке на многорезцовых станках является резец. Схемы наладок для обработки ступенчатых валов приведены на рис. 16.

Настройка резцов (рис. 16, а) производится так, чтобы обработка всех участков вала заканчивалась одновременно.

Основное время рассчитывают для резца, который обрабатывает наиболее длинную поверхность (или в совокупности по двум и более поверхностям, образующим общую длину обработки).

На рис. 16, б показана обработка заготовки детали по копиру.

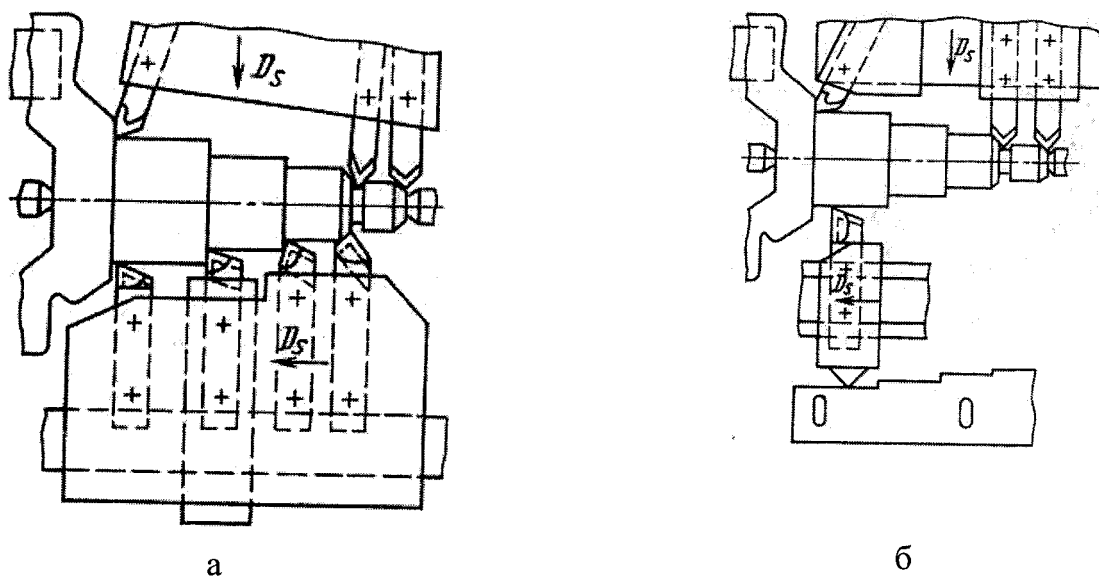


Рис. 16. Схемы наладок многолезцовых станков:
а — без копира; б — по копиру

Рис. 16. Схемы наладок многолезцовых станков:
а — без копира; б — по копиру

Точность обработки на многолезцовых станках обеспечивается в пределах 13-14-го квалитетов. Для получения более высокой точности (12-11-го квалитетов) при обработке заготовок ступенчатых деталей необходимо применять широкие фасонные резцы и предусматривать последовательную работу инструментов продольного и поперечного суппортов.

Обработка на одношпиндельных и многошпиндельных токарных автоматах и полуавтоматах. В крупносерийном и массовом производстве наружные цилиндрические поверхности заготовок деталей типа тел вращения в основном обрабатывают на автоматах и полуавтоматах.

Автоматы и полуавтоматы, в зависимости от компоновок, делятся на горизонтальные и вертикальные, а по числу шпинделей - на одношпиндельные и многошпиндельные. Горизонтальные одношпиндельные автоматы подразделяют на автоматы продольного точения и токарно-револьверные. На автоматах продольного точения изготавливают детали из прутка диаметром до 30 мм и длиной до 100 мм, при этом обеспечивается

точность по 7-6-му квалитетам и $Ra = 0,63 \dots 0,16$ мкм. Такие автоматы чаще всего применяют в часовой, радио- и приборостроительной промышленности.

На токарно-револьверных автоматах изготавливают детали сложной формы из прутков диаметром 10-63 мм, точность обработки соответствует 10-8-му квалитетам, $Ra = 2,5 \dots 0,63$ мкм.

Многошпиндельные горизонтальные автоматы и полуавтоматы подразделяют на горизонтальные прутковые автоматы и патронные полуавтоматы. Токарные многошпиндельные прутковые автоматы (четырёх-, шести- и восьмишпиндельные) применяются для обработки заготовок из прутков диаметром 12-100 мм и длиной до 160 мм. Точность обработки обеспечивается в пределах 7-10-го квалитетов, а $Ra = 2,5 \dots 0,63$ мкм.

На токарных многошпиндельных патронных полуавтоматах обрабатывают, как правило, штучные заготовки длиной до 200 мм и диаметром в зависимости от модели станка. По точности они не уступают прутковым автоматам. При обработке заготовок на автоматах и полуавтоматах применяют различные схемы построения операций (параллельная, последовательная и параллельно-последовательная).

Обработка на многошпиндельных вертикальных полуавтоматах. В массовом и крупносерийном производстве для обработки наружных цилиндрических поверхностей заготовок деталей типа тел вращения широкое применение нашли многошпиндельные токарные вертикальные полуавтоматы последовательного и непрерывного (параллельного) действия.

Полуавтоматы последовательного и непрерывного действия применяют для обработки заготовок различных деталей диаметром до 630 мм. Они имеют шесть-восемь шпинделей. Заготовки устанавливают в патронах, центрах или специальных приспособлениях.

Многошпиндельные полуавтоматы последовательного действия предназначены для обработки заготовок в патронах и могут работать как по последовательной, так и по параллельно-последовательной схемам. Принципиальные схемы работы полуавтоматов приведены на рис. 17 (с одной загрузочной позицией - на рис. 17, а, с двумя загрузочными позициями - рис. 17, б).

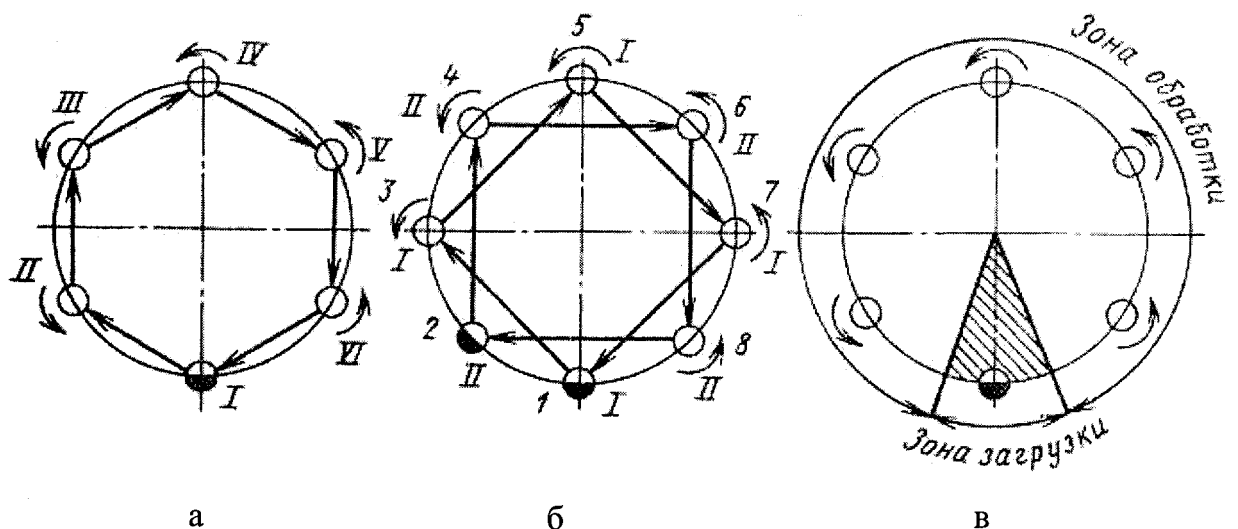


Рис. 17. Принципиальные схемы работы полуавтоматов последовательного и непрерывного действия: а — с одной загрузочной позицией; б — с двумя загрузочными позициями; в — непрерывного действия

а б в
Рис. 17. Принципиальные схемы работы полуавтоматов последовательного и непрерывного действия: а — с одной загрузочной позицией; б — с двумя загрузочными позициями; в — непрерывного действия

Шпиндель, имеющий одну загрузочную позицию (первую), последовательно перемещается с позиции на позицию (I-VI). На каждой позиции производится обработка одной или нескольких поверхностей заготовки в соответствии с циклом обработки. На этих станках можно производить предварительное и окончательное точение различных поверхностей с точностью по 9-8-му квалитетам. Установку и снятие заготовки выполняют при остановленном шпинделе (позиция I). На схеме рис. 17, б показано перемещение шпинделей по параллельно-последовательной схеме: позиции 1-3-5-7-1 и 2-4-6-8-2.

Полуавтоматы непрерывного действия предназначены для обработки заготовки в центрах и патронах. Они служат для обработки поковок и отливок сравнительно несложной формы. Точность обеспечивается по 11-10-му квалитетам. Принципиальная схема работы шестишпиндельного полуавтомата непрерывного действия приведена на рис. 17, в.

За один полный оборот карусели на каждом шпинделе, проходящем загрузочную зону, заканчивается обработка заготовки. После этого шпиндель останавливается, суппорт отводится. Обработанную заготовку снимают со станка и устанавливают для обработки очередную. Закрепление заготовки, возобновление вращения шпинделя и подвод суппорта осуществляются автоматически.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Погрешности изделий возникают на стыке соединений двух или нескольких деталей. Чаще всего погрешности возникают при неправильной эксплуатации машин, например, из-за износа, жесткости станка, температурных деформаций и т. д. Поэтому точность деталей и соединений тесно связаны с экономикой эксплуатации машин.

Если возникновение брака присуще изготовлению изделия, то погрешности, как правило, присущи отклонениям элементов оборудования при неправильной эксплуатации. Погрешности возникают также при контактировании сопрягаемой поверхности с жесткими стыками, потере герметичности, чрезмерных давлениях.

Снижение таких характеристик вызывается отклонениями формы, плоскости и прямолинейности. Ряд соединений требует в ходе сборки пригонки и регулирования, которые могут быть выполнены с погрешностями из-за отсутствия соответствующей технологической оснасткой.

Сборные приспособления, инструмент, оборудование имеют собственные погрешности, которые в ходе сборки переносятся на соединения, снижая тем самым служебные характеристики машины в целом.

Сборку желательно проводить в определенных условиях, колебания которых отражается на точности соединения. Температурные погрешности учитывают, как правило, на основе экспериментальных данных. Этот фактор особенно важен при сборке прецизионных соединений методами охлаждения или нагревания.

Нетехнологические конструкции деталей и машин вызывают обычно большие погрешности, чем технологические, снижая общую надежность конструкции. Технологические конструкции создают на основе опыта, эксперимента и расчетов. Обеспечение заданной точности изготовления деталей и сборки часто зависит от производственных условий.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Оценить геометрические формы деталей при отклонении от соосности станка.
2. Определить среднее значение пробных деталей от расчетного наладочного размера $D_{нр}$.
3. Определить отклонения размерных связей, возникающих при сборке машин.
4. Погрешности можно подразделить на систематические и случайные. Раскройте эти погрешности.
5. Наклеп и остаточные напряжения сжатия в поверхностном слое изменяют прочность усталости. Объясните, с чем это связано?
6. Описать буровой трехшарошечный бур и его назначение.
7. Какие требования надо предъявить, чтобы обеспечить точность изготовления деталей при стыковке деталей?
8. Из каких составляющих элементов системы собирается узел?
9. При расчете жесткости технологической системы по жесткости отдельных ее звеньев определите, каким фактором связаны с упругими перемещениями эти звенья.
10. Используя рис. 7, рассчитать прогиб вала для этого случая при положении резца на расстоянии от передней бабки X .
11. Какие факторы точности обработки паза оказывают влияние на погрешности станка?
12. Какие методы, заданные чертежом детали, могут обеспечиться двумя принципиально различными методами?
13. Почему возникает износ вершины режущей кромки грани инструмента?
14. В процессе механической обработки происходит нагрев станков системы «станок-заготовка». Определите, почему происходит нагрев системы?

15. Чем отличается систематическая погрешность от случайной погрешности?
16. На рис. 12 и 13 отражены кривые нормального распределения. Найдите различия между рисунками.
17. Найдите на рис. 14 две критические точки и три характерных участка.
18. Перечислите технологические процессы, используемые для получения заготовок.
19. Какое количество методов точения на токарных станках применяется при искоренении погрешностей?

СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ

1. Буровное долото - инструмент для бурения.
2. Баланс - сохранение от падения.
3. Гиперболоидная передача - зубчатая передача.
4. Деталь - элемент машины.
5. Жесткость - способность тела сопротивляться.
6. Заготовка - предмет производства с дальнейшей работой в процессе.
7. Консольная балка - несущая конструкция.
8. Деформация - изменение формы размера.
9. Калибр - диаметр канала.
10. Листовая штамповка - процесс получения деталей и готовых изделий из листовых металлических заготовок деформированием их под действием давления.
11. Кривая нормального распределения - закон Гаусса.
12. Модуль упругости - какой-то важный коэффициент, например «модуль зубов».
13. Наклеп - частичное изменение структуры.
14. Наладка - приведение инструмента, например лезвия, к середине.
15. Отжатие - раздвижение металла.
16. Отжиг - термическая обработка.
17. Напряженность - быстросхватываемый элемент.
18. Пробная деталь - первая деталь в процессе.
19. Прокатка - обработка металла давлением.
20. Риск - выход из заказанного диаметра от границ диаметра влево или вправо.
21. Токарный станок - самый распространенный станок.
22. Токарно-вертикальный станок - инструмент.
23. Твердый сплав - предмет производства из износостойкого материала.
24. Точение - вид резания.
25. Токарно-карусельный станок - инструмент.
26. Сборка машин - соединение деталей и агрегатов.
27. Суппорт - основной узел станка.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Базров, Б. М. Основы технологии машиностроения : учебник для вузов / Б. М. Базров. - М.: Машиностроение, 2005. - 736 с.
2. Балакшин, Б. С. Основы технологии машиностроения / Б. С. Балакшин. - М.: Машиностроение, 1969. - 358 с.
3. Егоров, М. Е. Технология машиностроения : учебник для вузов / М. Е. Егоров и др. - 2-е изд., доп. - М.: Высшая школа, 1976. - 534 с.
4. Ковшов, А. Н. Технология машиностроения : учебник / А. Н. Ковшов. - 2-е изд. испр. - СПб.: Изд-во «Лань», 2008. - 320 с.
5. Колесов, И. М. Основы технологии машиностроения : учеб. для машиностроит. спец. вузов / И. М. Колесов. - 2-е изд., испр. - М. : Высшая школа, 1999.-591 с.
6. Корсаков, В. С. Основы технологии машиностроения : учебник для вузов / В. С. Корсаков. - М.: Высшая школа, 1974. - 336 с.
7. Марков, Н. Н. Нормирование точности в машиностроении : учебник для вузов / Н. Н. Марков. - М.: Высшая школа, 2001. - 320 с.
8. Маталин, А. А. Технология машиностроения : учебник / А. А. Маталин. - 2-е изд., испр - СПб. : Издательство «Лань», 2008. - 512 с. - (Учебники для вузов. Специальная литература).
9. Маталин, А. А. Технология машиностроения : учебник для машиностроит. вузов по спец. «Технология машиностроения», «Металлорежущие станки и инструменты» / А. А. Маталин. - Л. : Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1985. - 496 с.
10. Маталин, А. А. Технология механической обработки / А. А. Маталин. - Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние , 1977. - 464 с.
11. Медведев, А. И. Сборник практических работ по технологии машиностроения : учебное пособие / А. И. Медведев, В. А. Шкред, В. В. Бабук и др.; под ред. И. П. Филонова. - Минск : БГТУ, 2003. - 486 с.
12. Мосталыгин, Г. П. Технология машиностроения : учебник для вузов по инженерно-экономическим специальностям / Г. П. Мосталыгин, Н. Н. Толмачевский. - М.: Машиностроение, 1990. - 288 с.

13. Сборник задач и упражнения по технологии машиностроения: учебное пособие для машиностроит. вузов по спец. «Технология машиностроения», «Металлорежущие станки и инструменты» / В. И. Аверченков, О. А. Горленко, В. Б. Ильицкий и др.; под общ. ред. О. А. Горленко. - М. : Машиностроение, 1988. - 192 с.

14. Справочник технолога-машиностроителя. В 2 т.-3-е изд. перераб. Т. 1 / под ред. Косиловой и Р. К. Мещерякова. - М. : Машиностроение, 1972.-694 с.

15. Технология машиностроения (специальная часть) : учебник для машиностроительных специальностей вузов / А. А. Гусев, Е. Р. Ковальчук, И. М. Колесов и др. - М.: Машиностроение, 1986. - 480 с.

16. Технология машиностроения. Сборник задач и упражнений : учебное пособие / В. И. Аверченков и др.; под общ. ред. В. И. Аверченкова и Е. А. Польского. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : ИНФА-М, 2005. - 288 с. - (Высшее образование).

17. Технология машиностроения: в 2 т. Т. 1. Основы технологии машиностроения : учебник для вузов / В. М. Бурцев, А. С. Васильев, А. М. Дальский и др.; под ред. А. М. Дальского. - 2-е изд., стереотип. - М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2001. - 564 с.

18. Технология машиностроения: в 2 кн. Кн. 1. Основы технологии машиностроения : учебное пособие для вузов / Э. Л. Жуков, И. И. Козарь, С. Л. Мурашкин и др.; под ред. С. Л. Мурашкина. - М. : Высшая школа, 2003.-278 с.

19. Технология машиностроения : учебное пособие / М. Ф. Пашкевич и др.; под ред. М. Ф. Пашкевича. - Минск : Новое знание, 2008. - 478 с. - (Техническое образование).

20. Худобин, Л. В. Разработка технологических процессов сборки в курсовых и дипломных проектах : учебное пособие / Л. В. Худобин, В. Ф. Гурьянихин, М. А. Белов. - Ульяновск : УлГТУ, 2007. - 130 с.

21. Якушев, А. И. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения / А. И. Якушев. - М.: Машиностроение, 1974. - 473 с.

Учебное издание

ЕФИМОВ Владимир Васильевич

ИСКОРЕНЕНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗДЕЛИЙ

Учебное пособие

Редактор Н. А. Евдокимова

Компьютерная верстка О. А. Донгузова

ЛР № 020640 от 22.10.97 г.

Подписано в печать 30.08.2010. Формат 60 х 84/16.

Усл. печ. л. 3,49.

Тираж 50 экз. Заказ 864.

Ульяновский государственный технический университет
432027, Ульяновск, ул. Северный Венец, 32.

Типография УлГТУ, 432027, Ульяновск, ул. Северный Венец, 32.