

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

ТАШКЕНТСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи
УДК 629.33(075.8)

Насруллаев Лочин Хайруллаевич

**Разработка рекомендаций по повышению точности
размеров и формы деталей**

Диссертация

на соискание академической степени магистра

Специальность: 5А310604- Автомобили и автомобильное хозяйство

**Научный руководитель
доц. Тажиев А.Т.**

Ташкент-2013 год

ТАШКЕНТСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ ИНСТИТУТ

ОТДЕЛЬ МАГИСТРАТУРЫ

Кафедра: «РТСиТО».

«Утверждаю»

Проректор по научной работе

Рискулов О. А.

«__» _____ 2013 год

Магистрант: *Нусратуллаев Лочин Хайруллаевич*

Код и название специальности: *5А310604- Автомобили и*

автомобильное хозяйство

Тема диссертации: *Разработка рекомендаций по повышению точности размеров и формы деталей*

Содержание

Глава 1. Погрешности формы детали в процессе механической обработки.

- 1.1. Погрешности формы заготовок.
- 1.2. Формирование макрогеометрии деталей при обработке.
- 1.3. Формирование макрогеометрии гильз цилиндров
- 1.3. Выводы по главе.

Глава 2. Погрешности геометрических параметров при механической обработке.

- 2.1. Анализ погрешности механической обработки
- 2.2. Погрешность формы валов
- 2.3. Погрешности формы деталей при расточке.
- 2.4. Макрогеометрия деталей после шлифования.
- 2.5. Выводы по главе

Глава 3. Погрешности механизмов

- 3.1. Исследование процесса монтажа машин
- 3.2. Деформация цилиндров и сопряженных с ними деталей.
- 3.3. Исследование влияние резьбовых соединений
искажение формы деталей
- 3.3. Погрешности формы крепежных деталей
- 3.4. Выводы по главе

4. Общие выводы и рекомендации

5. Используемая литература.

Зав.кафедрой «РТСиТО»

Научный руководитель

Эксперт

Магистрант

проф. Шермухамедов А.А.

доц. Тожиев А.Т.

проф. Шукуров Р.У.

Насруллаев Л. Х.

**ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН
ТАШКЕНТСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ ИНСТИТУТ**

Факультет: Автомеханика

**Кафедра: «РТСиТО»
руководитель:**

**Учебный год: 2011-2013
5А310604**

автомобильное

хозяйство»

Студент магистратуры:

Насруллаев Л. Х.

Научный

доц. Тажиев А.Т

Специальность

«Автомобили и

**АННОТАЦИЯ МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ
Разработка рекомендаций по повышению точности
размеров и формы деталей.**

Актуальность темы. Работа посвящается исследованию влияния погрешности деталей при механической обработке.

Цель и задачи исследования. Повышение ресурса машин за счет снижения погрешности деталей при механической обработке.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования являются производимые детали машин.

Методология и методы исследования.

- технологический расчет погрешностей механической обработки деталей ;
- анализ причины возникновения погрешностей формы и расположения поверхностей деталей при механической обработке;
- методика проведения экспериментальных исследований по определению погрешностей деталей;
- методика анализа точности размеров деталей.

Научная новизна исследования:

- установлена связь влияния технологических факторов по формированию точности механической обработки деталей;
- совершенствована метода прогнозирования точности механической обработки деталей на этапе проектирования технологических процессов.

Практическая значимость и внедрение.

- технологические рекомендации по повышению точности размеров, формы и взаимного расположения поверхностей деталей будет использованы в реальных условиях авторемонтного завода.

- разработанная рекомендация по повышению точности обработки деталей включена в технологический процесс изготовления деталей.

Состав и структура диссертации:

Диссертация состоит из 89 листов: введение, 3 главы, таблица 4, рисунок 15, заключение 3, литература 53,

Основные результаты выполненных работ.

Разработаны рекомендации по повышению точности механической обработки деталей.

Краткая обобщенная формулировка выводов и предложений.

Рекомендации по повышению точности деталей способствуют к повышению точности изготовления деталей машин.

Научный руководитель:

доц. Тожиев А.Т.

Студент магистратуры:

Насруллаев Л. Х.

**MINISTRY OF HIGHER AND SECONDARY SPECIAL EDUCATION
OF THE REPUBLIC OF UZBEKISTAN
TASHKENT AUTOMOBILE AND ROAD INSTITUTE**

Faculty: Automobile Engineering

Chair: RTV and TE

Academic years: 2011-20013

Student of Master's Dept.

Nasrullayev N.

Scientific supervisor: Ass. Prf.

Tojiyev A.T.

Speciality 5A310604

“Automobiles and automobile
economy”

ANNOTATION OF THE MASTER'S DISSERTATION

“Development of recommendations for increasing of accuracy of the detail sizes and forms”

The actuality of the topic. Work is devoted to the research of influence of an error of details at machining process.

The purpose and research problems. Increase of a resource of cars at the expense of decrease in an error of details at machining.

Object and object of research.

Object of research are made details of cars.

Methodology and research methods.

- Technological calculation of errors mechanical processing of details;
- The reason analysis impact errors of the form and an arrangement of surfaces of details at mechanical processing.
- A technique of carrying out of experimental researches by definition of errors of details;
- A technique of the analysis of accuracy of the sizes of details.

Scientific novelty of the research:

- Connection of influence of technology factors on accuracy formation mechanical processing of details is established;
- improving the method of forecasting of accuracy mechanical processing of details at a design stage of technological processes.

The practical importance and introduction.

- Technological recommendations about hanging of accuracy of the sizes, the form and a relative positioning of surfaces of details are used in real conditions of automobile repairing factory.
- The developed recommendation about hanging of accuracy to processing of details are included in technological processes of manufacturing of details.

Structure and dissertation structure:

The dissertation consists from 89 sheet introduction, 3 heads table 4, drawing 15, the literature 53 is concluded 3,

The basic results of the executed works.

Recommendations about increase of accuracy of machining of details are developed.

The short generalized formulation of conclusions and offers.

Recommendations about increase of accuracy of details promote to increase of accuracy of manufacturing of details of cars.

Scientific supervisor of studies:

Tojiyev A.T.

Student of Master's Department:

Nasrullayev L.H.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
Глава 1. Погрешности формы детали в процессе механической обработки.	
1.2. Погрешности формы заготовок	
1.1.1. Температурные факторы при формировании макрогеометрии поверхности детали.....	7
1.1.2. Искажение формы заготовки при ее закреплении на станке.....	10
1.1.3. Деформации тонкостенных труб, закрепленных в патроне.....	13
1.1.4. Макрогеометрия деталей машин при обработке резанием.....	18
1.2. Формирование макрогеометрии деталей при обработке.....	25
1.3. Формирование макрогеометрии гильз цилиндров.....	28
1.4. Выводы по главе.....	36
Глава 2. Погрешности геометрических параметров при механической обработке.	
2.1. Анализ погрешности механической обработки.....	37
2.2. Погрешность формы валов.....	41
2.3. Погрешности формы деталей при расточке.....	44
2.4. Макрогеометрия деталей после шлифования.....	45
2.5. Выводы по главе.....	62
Глава 3. Погрешности механизмов	
3.1. Исследование процесса монтажа машин.....	64
3.2. Деформация цилиндров и сопряженных с ними деталей.....	68
3.3. Погрешности формы крепежных деталей.....	73
3.4. Выводы по главе.....	80
4. Общие выводы и рекомендации.....	82
5. Используемая литература.....	85

Введение

При оценке качества деталей и механизмов возникают проблемы связи, положения, фактического и номинального контакта. Исследование путей разрешения этих проблем порождает сложные задачи макрогеометрии, упругих и пластических деформаций. Определение оптимальных форм деталей и путей их правильного взаимодействия в узлах и агрегатах машин, до сегодняшнего дня остаётся актуальной проблемой машиностроения.

Результаты исследования показывают, что круговой цилиндр, плоская поверхность и другие идеальные геометрические формы не являются оптимальными очертаниями для сопряжения деталей машин. На перспективность принципа преднамеренного искажения контактирующих поверхностей деталей в целях достижения более совершенной работы сопряжений было указано многими исследователями. Однако разработка методов управления макрогеометрией поверхностей деталей с целью повышения качества продукции машиностроительной промышленности до сегодняшнего дня остаётся нерешенной проблемой. В данной диссертационной работе делаются первые шаги на пути решения этой задачи, на основании изучения обширного экспериментального материала полученного в результате исследований многих известных авторов.

Высокая точность машин и механизмов, достигаемая тщательным конструированием и технологической реализацией, иногда быстро теряется в условиях эксплуатации вследствие потери некоторыми деталями заданной геометрической формы. Искажения формы деталей проявляются также и в процессе механической обработки и сборки. Эти изменения формы деталей заготовок часто являются следствием остаточных напряжений исходных заготовок, механической обработки деталей, ошибок конструирования деталей и сборки узлов и механизмов машины.

Первая глава диссертации посвящена к анализу погрешностей деталей в процессе обработки. Рассматриваются исходные погрешности заготовок и их образование при закреплении деталей на оборудовании.

Вторая глава посвящена к исследованию формы и расположения элементов деталей при механической обработке.

В третьей главе исследуется влияние состояния резьбовых соединений на работу двигателя и разрабатываются конструктивные и технологические решения по улучшению качества производимых двигателей внутреннего сгорания.

На протяжении всего периода производства и эксплуатации машины происходит непрерывная трансформация макрогеометрии ее деталей и элементов под влиянием статических и динамических нагрузок, изнашивания трущихся поверхностей, недостаточной жесткости, процессов релаксации. Искажения геометрической формы и правильного расположения осей и поверхностей приводит к повышенному и неравномерному изнашиванию деталей, снижает точность работы подвижных соединений, искажает характер посадок, вызывает контактное трение, очаги задирав, неравномерное распределение напряжений в посадках с натягом. Величина и характер изменения макрогеометрии детали часто являются основным, а для пар трения и при интенсивно протекающих релаксационных процессах решающим критерием ее пригодности для дальнейшей эксплуатации.

Несоответствие детали требованиям, предъявляемым к ее форме или прочности, выявляется в начале работе детали или с течением времени вследствие постепенной утраты деталью своих первоначальных свойств. Большинство отказов происходит по причине износа, деформации и коррозии деталей, т.е. изменения размеров, формы и состояния их поверхностей. Поэтому должна прогнозироваться трансформация геометрической формы деталей, сопряжений, рассчитывается интенсивность и предельно допустимые изменения формы детали и

искажения ее положения в механизме. Необходимо изыскивать пути снижения трансформации макрогеометрии детали, предусматривать средства компенсации этих искажений, осуществлять принципы местного улучшения качества поверхности деталей, привлекать средства резервирования для повышения надёжности машин.

Результаты полученные в данной диссертационной работе могут быть использованы для улучшения качества производимых деталей за счёт внедрения производство конструктивных и технологических решений.

Актуальность работы. Работа посвящается исследованию влияния погрешности деталей при механической обработке.

Цель работы: Повышение ресурса машин за счет снижения погрешности деталей при механической обработке.

Объектом исследования являются производимые детали машин.

Научная новизна исследования заключается в разработке методики исследования влияния погрешности деталей машин на их ресурс.

Теоретическая ценность результатов данного исследования заключается в возможности использования разработанной методики для повышения ресурса аналогичных деталей машин и механизмов.

Практическая ценность работы заключается во внедрении результатов исследования для повышения ресурса деталей машин.

Глава 1. Погрешности формы детали в процессе механической обработки.

1.3. Погрешности формы заготовок.

1.1.1. Температурные факторы при формировании макрогеометрии поверхности детали

Термические остаточные напряжения развиваются в отливке после перехода в упругое состояние; под их воздействием центральные части охлажденной отливки оказываются растянутыми, а тонкие части отливки и поверхностные слои сжатыми. Части отливки, которые охлаждаются медленнее, бывают вогнутыми, а охлаждающиеся быстрее — выпуклыми. Участки заготовки, от которых в процессе отливки затруднен отвод тепла, должны быть тоньше на 15—25% участков, охлаждение которых протекает более интенсивно. При отливке длинных заготовок для компенсации прогиба в моделях предусматривают обратный прогиб. Известен еще ряд конструктивных и технологических средств, направленных на снижение коробления литых заготовок. Остаточные напряжения характеризуются величинами модуля упругости, коэффициентов линейного расширения и теплопроводности, температурного перепада. Снижение первых двух факторов и повышение третьего уменьшают напряжения в отливке. Поэтому коробление от релаксации напряжений в значительной степени определяется маркой материала, из которого изготовлена заготовка.

Для стабилизации геометрической формы и размеров отливок их подвергают старению. Чем более полно выполнена механическая обработка заготовки до процесса старения, тем меньше вероятность ее коробления после старения и последующей обработки; эффективность любого метода старения снижается, если оно проводится до предварительной механической обработки. Процессы старения можно разделить на две группы: а) значительное снижение первоначальных остаточных напряжений низкотемпературным отжигом; б) повышение

стойкости детали пластическими деформациями (ее упрочнение) и снижение исходных остаточных напряжений. Упрочняющая стабилизация достигается старением: естественным, вибрационным, статической нагрузкой, термоударом.

При вибрационном старении в отливке временно возникают дополнительные напряжения, вызывающие пластические деформации чугуна и повышение стойкости к последующему короблению. Вибрационное старение при стабилизирующем коэффициенте перегрузки 0,4—0,5 длится около 3 ч. Из трех параметров процесса — амплитуда, частота колебаний и время — наибольшее значение имеет первый. Основное преимущество вибрационного старения перед естественным — меньшая затрата времени. Снижение напряжений при рассматриваемом методе не превышает 10—15%; эффективность его достигается лишь в том случае, если закрепленная заготовка может свободно деформироваться в процессе колебательного движения. Источники вибрации к заготовкам большого веса крепят непосредственно. Старение методом статической перегрузки достигается созданием в заготовке дополнительных напряжений, процесс протекает менее интенсивно и захватывает меньший объем металла, чем при вибрационной обработке. Для интенсификации старения методом статической перегрузки коэффициент перегрузки назначают равным 1,2—1,3, т. е. он в 3 раза больше, чем при вибрации. Снижение напряжений при статической перегрузке достигает 10-30%. Применение вибрационного старения и старения методом статической перегрузки ограничивается деталями малой жесткости, с одним или двумя преобладающими размерами (столы, плиты, продолговатые детали коробчатого сечения и т. п.). Старение методом термоударов достигается пластическими деформациями, протекающими в заготовке под воздействием временных температурных напряжений [быстрый нагрев (25—35°С/мин) или охлаждение детали], либо местным ее нагревом или

охлаждением. При этом методе старения напряжения снижаются на 10—20% в заготовках любой конфигурации, включая заготовки с высокой конструктивной жесткостью (корпусы шпиндельных бабок, корпусные детали шлифовальных, фрезерных, станины координатно-расточных, зуборезных и других станков, головки цилиндров д. в. с. и компрессоров). При ускоренном нагреве в литой заготовке возникают напряжения, совпадающие по направлению с остаточными напряжениями, так как те и другие вызваны одной причиной. Ускоренная термическая обработка чугунных отливок производится при температуре загрузочной камеры 450—500°С (максимум 650-700°С); время выдержки в течение цикла 8—12 мин; число циклов нагрева и охлаждения 4—6; охлаждение 20—30 мин со скоростью 10—15° С/мин. Для интенсификации процесса охлаждения рекомендуется применять обдувку заготовок воздухом или смесью воздуха и воды.

Увеличение продолжительности охлаждения отливки блока в форме до 2 ч снижает средние значения остаточных напряжений до 50 Н/мм² и максимальные до 120 Н/мм², а двухчасовой отжиг при 500—600°С снижает напряжения соответственно до 37 и 109 Н/мм². Естественное старение блоков в течение 7 мес. уменьшает растягивающие напряжения: средние до 37 Н/мм², максимальные до 130 Н/мм². Отжиг полуобработанных блоков в течение 5 ч позволяет еще больше снижать напряженное состояние отливки. Замерами на ремонтных заводах было установлено, что деформация блоков цилиндров двигателей достигает 0,12 мм, т. е. такие блоки подлежат ремонту еще до эксплуатации. Из числа замеренных поршней 68% не отвечали техническим условиям по конусности и 4%—по овальности юбки. Вследствие перераспределения напряжений в отливке и воздействия сборочных операций максимальные деформации цилиндров в блоках, не подвергнутых старению, достигают 50 мкм, а

средние деформации — 20 мкм; в блоках, подвергнутых искусственному старению, средние деформации цилиндров не превышают 12 мкм. Двойным искусственным старением отливки до и после предварительной механической обработки удалось снизить более чем в 2 раза овальность гильз автомобильных двигателей. Для снижения деформаций искусственному старению при $205 \pm 5^\circ \text{C}$ в течение 6 ч подвергают поршни автомобильных двигателей, отливаемые из алюминиевых сплавов. С этой же целью чугунные поршневые кольца индивидуальной отливки после предварительного шлифования торцов подвергают термообработке по режиму: нагрев до 500°C в течение 1,5—2 ч, выдержка при 500°C —1 ч; охлаждение на воздухе.

1.1.2. Искажение формы заготовки при ее закреплении на станке.

В процессе механической обработки происходит приближение геометрического подобия заготовки к указанным в чертежах формам и размерам детали. Одновременно обработкой вносятся свои искажения, в том числе при установке и закреплении заготовки на станке для фиксации ее положения. Эти деформации являются следствием систематических и случайных погрешностей; их величина и характер зависят от вида и материала заготовки, способа приложения зажимных усилий и их величины, а также от жесткости элементов станка и приспособления. На заготовках следует различать поверхности: обрабатываемые; ориентирующие заготовку относительно инструмента или рабочих элементов станка; воспринимающие усилия зажимных устройств; используемые как база для измерений, свободные. Деформации, связанные с установкой детали, могут быть вызваны погрешностями: размеров и формы установочных элементов детали; выполнения установочных элементов приспособлений; базирования [25]. Следует придерживаться принципа совмещения установочной, измерительной и сборочной баз; соблюдать постоянство баз для всех операций; обеспечивать жесткость установки заготовки, т.

е. неизменность ее положения в процессе обработки. Если конфигурация детали не дает возможности выбрать базу, прибегают к обработке установочных поверхностей, так называемых искусственных баз. Таковыми являются цетровые гнезда для обработки деталей класса валов, площадки и отверстия при обработке моноблоков цилиндров двигателей автомобилей, выточки в юбках поршней и т. д. В связи с отклонениями базирующих поверхностей от правильных геометрических форм, особенно у черных и грубо обработанных заготовок, целесообразно их устанавливать на точечные опоры.

В местах касания заготовки с установленными элементами приспособлений на опоры со сферическими и рифлеными головками контактные деформации могут достигнуть величины в несколько десятых мм. При относительно больших размерах контактирующих поверхностей опор и заготовок деформации последних незначительны. Затруднения вызывает крепление нежестких заготовок; заданная форма, взаимное расположение поверхностей и размеры их относительно легко подвергаются изменениям. Длинные тонкие валы, ходовые винты, штоки, тонкостенные трубы, гильзы, цилиндры и многие другие заготовки относятся к группе нежестких. Ввиду значительных деформаций тонкостенных полых заготовок часто приходится отказываться от кулачковых и цанговых патронов и крепить такие заготовки по торцам. Однако и при таком методе крепления возможно искажение заготовки. В центрах закрепляют около 25% всех деталей, обрабатываемых на токарных станках. Несовпадение оси зацентровки с геометрической осью влечет за собой увеличение припуска на обработку, неравномерность глубины и усилия резания. Центровое отверстие обрабатывают разными способами. При центровке черного проката несовпадение центрального отверстия с центром торца составляет 0,3—0,8 мм, для холоднотянутых и обточенных заготовок несовпадение снижается до 0,05—0,1 мм. При

центровании валов на двусторонних центровальных станках несовпадение осей может быть сведено до 20—25 мкм.

Исследование погрешностей формы заготовок при их креплении на станках выполнено в МВТУ В. С. Корсаковым, М. Д. Солодовым, М. И. Калининым, а также в ЛПИ А. И. Гузюкиным и В. Г. Подпоркиным. Ниже приводим некоторые данные из этих работ. При закреплении заготовки в центрирующих призмах центровального станка центр ее не совпадает с центром призм. Наибольшая величина погрешности $\Delta\phi$ для самой неблагоприятной формы заготовок (при допущении отсутствия изогнутости) составляет при закреплении в приспособлениях с независимым перемещением призм

$$\Delta\phi = E_{c_{нб}} = 0,707 \sqrt{\Delta r_1^2 + \Delta r_2^2}$$

где $\Delta r_1 = r_{1нб} - r_{нм}$;

$$\Delta r_2 = r_{2нб} - r_{нм} ;$$

$r_{нм}$ -- наименьший радиус-вектор поперечного сечения, равный радиусу окружности, вписанной в данное сечение;

$r_{1нб}$, $r_{2нб}$ -- наибольшие радиусы окружности-векторы большего и меньшего выступов;

0.707 -- синус и косинус угла 45° .

При зацентровке изогнутых заготовок с наибольшей стрелой прогнутости и смещение их геометрических осей является погрешностью Δ_u . Наибольшие величины этой погрешности составляют для заготовок: цилиндрических и полуседлообразных $\Delta_u = u/2$; конусных $\Delta_u = u/2 - \Delta r_u/4$; бочкообразных и полуконусных $\Delta_u = u - \Delta r_u/2$; седлообразных $\Delta_u = u + \Delta r_u/2$. Для заготовок, имеющих основную форму цилиндра, седла и полуседла, погрешность Δ_u будет при любой величине u . Для заготовок, имеющих основную форму бочки или полуконуса, погрешность будет лишь при $u > \Delta r_u$, а для заготовок имеющих форму конуса- при $u > \Delta r_u/2$. Погрешность зацентровки E_{zu} будет определяться составляющими,

зависящими от настройки станка и приспособления Δ_n ; изогнутости заготовки Δ_u формы заготовки Δ_ϕ в результате их сложения по правилу сложения случайных погрешностей:

$$E_{зи} = \sqrt{\Delta_n^2 + \Delta_m^2 + \Delta_\phi^2}$$

Вал, установленный в двух центрах, надлежит рассматривать как балку, свободно лежащую на двух опорах. Прогиб вала может быть уменьшен на 30-35%, если поджимом заднего центра создать соответствующее осевое усилие. В этом случае вал уподобляется балке, к концам которой, кроме осевых сил, приложены реактивные моменты, противодействующие поперечному прогибу. Для установки заготовок по длине применяют плавающий передний центр. При несовпадении осей центровых гнезд могут произойти кромочные касания центров с гнездами, возникнуть контактные деформации кромок и вследствие этого смещение заготовок в поперечном направлении. Установка вала на центровые гнезда увеличенного диаметра и глубины и с уменьшенным углом позволяет снизить прогиб обрабатываемого вала. Например, при уменьшении угла центров до 30° и увеличении их глубины в 2 раза прогиб может быть снижен на 20-30% по сравнению с прогибом при стандартных центрах.

1.1.3. Деформации тонкостенных труб, закрепленных в патроне.

Деформация тонкостенных цилиндров, сжатых двумя равными диаметрными силами, приложенными близко к торцу, встречается при закреплении круговых полых цилиндров в двухкулачковых патронах по наружной поверхности и в ряде конструкций машин, в частности, при креплении гильз цилиндров. Были исследованы [10] тонкостенные гладкие трубы с внешним диаметром $D = 40 \div 150$ мм, длиной $L = 30 \div 1000$ мм, толщиной стенки $a = 0,75 \div 3$ мм. В зависимости от размеров трубы нагрузка составляла от 200 до 2000 Н.

Характер деформации тонкостенной трубы под действием в одном из ее концов двух сосредоточенных диаметрально противоположных сил принципиально различен в зависимости от длины трубы и в пределах упругости не зависит от величины приложенной нагрузки и материала трубы. Ввиду отсутствия терминологии для рассматриваемого характера деформации вводим понятие прямолинейной деформации цилиндра (линейчатый эффект) и криволинейной деформации цилиндра (концевой эффект).

Первый вид деформации характерен тем, что после ее возникновения искажается геометрия цилиндра по всей его длине. Если мысленно выделить по образующей, вдоль оси цилиндра, элементарные полосы-своды, то под действием приложенных сил эти своды поворачиваются всей своей длиной на некоторый угол вокруг узлового сечения. Поверхность при этом остается линейчатой, т. е. описанной неким сложным движением прямой линии в пространстве или линией, близкой к прямой.

Второй вид деформации распространяется лишь на некоторую часть цилиндра, и на этой длине образующая принимает криволинейные очертания. Концевой эффект наблюдается в трубах большой длины. Если принять за ось абсцис недеформированную образующую, то деформированная образующая приобретает криволинейную форму в виде затухающей волны.

Крепление тонкостенных круговых заготовок в патронах применяют при растачивании, обтачивании, шлифовании и других видах механической обработки. Тонкостенные заготовки при таком креплении легко деформируются под действием зажимающего усилия. Например, при креплении в трехкулачковом патроне тонкостенных заготовок (рис. 1.1, *а*), гильз, втулок, колец они упруго деформируются (рис. 1.1, *б*), формы их искажаются. Обточенные или расточенные в таком виде заготовки (рис. 1.1, *в*)

после снятия со станка упруго восстанавливают свою форму и обработанная поверхность оказывается некруглой (рис. 1.1, *г*). В. С. Корсаковым [40] определены значения наибольших прогибов (δ_1), выпучиваний (δ_2) и соответствующих им погрешностей формы (Δ_ϕ) при закреплении тонкостенных колец в самоцентрирующих патронах (табл. 1.1), когда радиальные силы направлены к центру. В таблице $C = Pr^2 / Fl$ в см.

Для определения деформаций при креплении таких колец по внутренней поверхности можно пользоваться данными табл.1.1, соответственно изменив знаки перемещений.

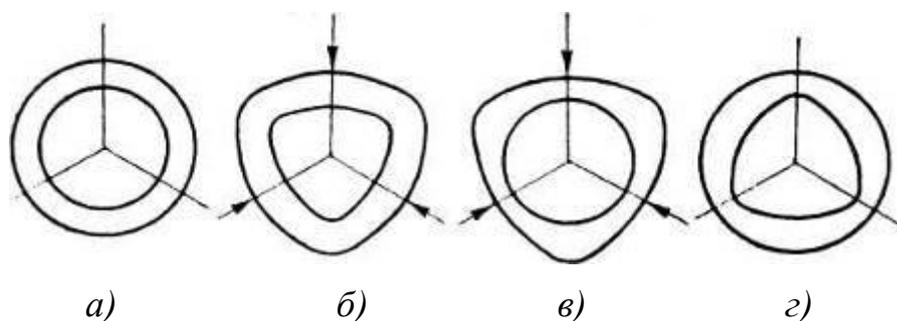


Рис. 1.1. Схема образования погрешностей кольца при обработке отверстия в трехкулачковом патроне. Форма кольца:

а — до закрепления; б — зажатого в патроне; в — после растачивания отверстия; г — вынутого из патрона после обработки.

Табл. 1.1. Величины наибольших перемещений и погрешностей формы при креплении колец в патронах

Условия крепления	Перемеще ния и погрешность формы	Число кулачков в патроне			
		2	3	4	6
$Q = \text{const}$	δ_1	0,174 <i>C</i>	0,016 <i>C</i>	0,006 <i>C</i>	0,0017 <i>C</i>
	δ_2	-0,068 <i>C</i>	-0,014 <i>C</i>	-0,005 <i>C</i>	-0,0016 <i>C</i>
	$\Delta\phi$	0,285 <i>C</i>	0,060 <i>C</i>	0,023 <i>C</i>	0,0066 <i>C</i>
$M_{mp} = \text{const}$	δ_1	0,174 <i>C</i>	0,011 <i>C</i>	0,003 <i>C</i>	0,0006 <i>C</i>
	δ_2	-0,068 <i>C</i>	-0,009 <i>C</i>	-0,003 <i>C</i>	-0,0005 <i>C</i>
	$\Delta\phi$	0,285 <i>C</i>	0,04 <i>C</i>	0,011 <i>C</i>	0,0022 <i>C</i>

Тонкостенную гильзу цилиндра ДВС подвергали сжатию диаметрально противоположными сосредоточенными силами вблизи торца без фланца. Данные измерений показали, что: все линии, показывающие положение образующих вне зависимости от величины нагрузки (в пределах упругости), пересекаются в одной точке, соответствующей узловому сечению.

При деформации гильзы обнаруживается типичный линейчатый эффект, зависимость деформации от величины нагрузки линейна (рис. 1., *а*); а, следовательно, деформация упруга. Линии, изображающие деформацию гильзы двух модификаций,— ребристые и гладкие пересекаются близко к их верхнему торцу (рис. 1.1., *б*), т. е. выявлен предел линейчатого эффекта.

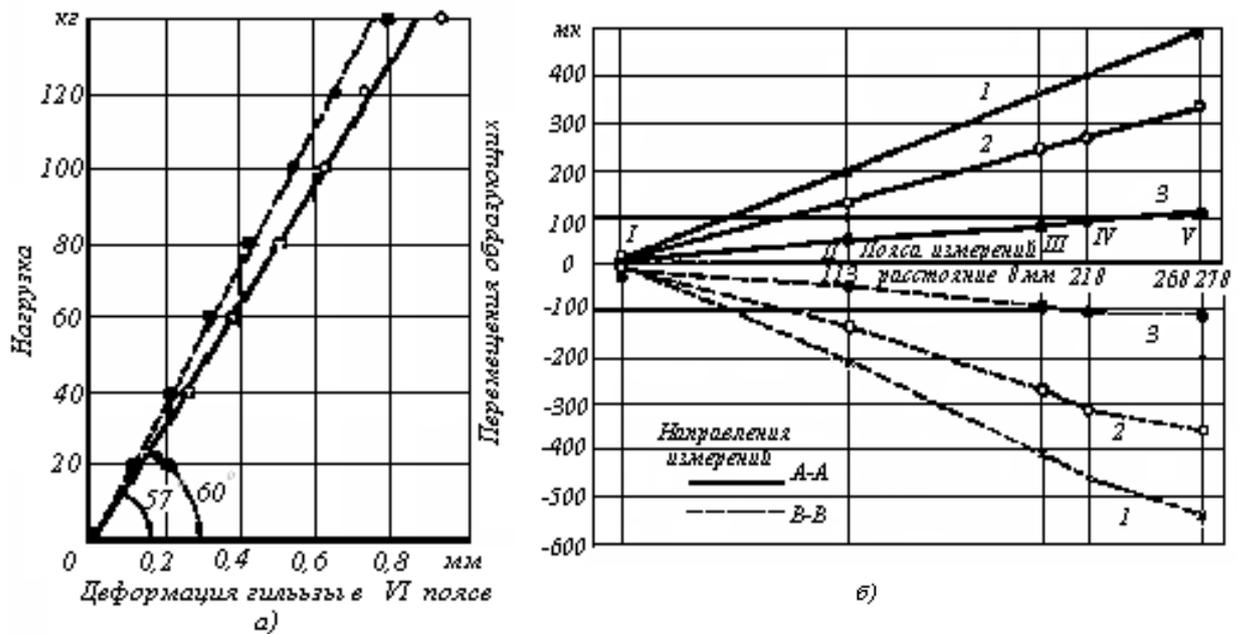


Рис. 1.1. Деформация гильзы: а -- № 1 в зависимости от нагрузки; б -- № 2 (ребристой) при нагружении в направлении ВВ на расстоянии 67 мм от нижнего торца силой: 1 -- 70 кГ ; 2 – 45 кГ ; 3 – 15 кГ [12]

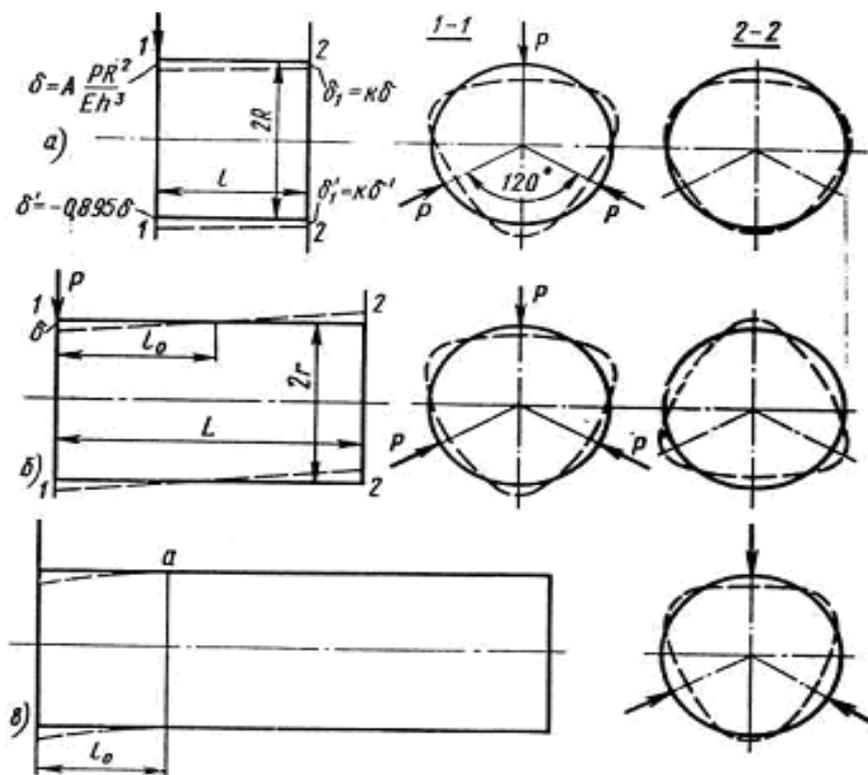
Местоположение узлового сечения, определенное для этих гильз расчетным путем, оказалось на 20 мм дальше от верхнего торца гильзы по сравнению с фактическим. Расхождение это было вызвано наличием фланца в верхней части гильзы. Когда нагрузка была приложена на расстоянии 13 мм от верхнего торца гильзы, узловые сечения отстояли от нижнего торца на расстояния, равные расчетным.

Деформация тонкостенных гильз при их креплении в трехкулачковом патроне исследована В. С. Корсаковым [16]. При расчете деформации гильзы приняты допущения, что срединная поверхность гильзы нерастяжима и что деформированная образующая сохраняет прямолинейность. Потенциальная энергия деформации круглого цилиндра при указанной схеме нагружения, является суммой потенциальных энергии изгиба и скручивания и определяется, согласно С. П. Тимошенко, по формуле

$$V = \frac{\mu c}{2r^4} \iint (W + \partial^2 W / \partial \varphi^2 + 2(1 - \mu)r^2 (\partial^2 W / \partial \varphi dx + \partial V / \partial x)^2) r d\varphi dx.$$

Начало от счета принято от плоскости приложения нагрузки.

Рис. 1.3. Характер деформации тонкостенной гильзы, закрепленной с



одного торца в трехкулачковом патроне: а — короткой; б — средней длины; в — длинной. Сплошные линии — форма гильзы до крепления; пунктирные линии — после крепления

Исходя из условия прямолинейности образующей гильзы, можно определить ее деформацию в любой точке по длине в плоскости и усилия зажима. Наибольшая деформация заготовки возникает при приложении зажимающего усилия у одного из торцов (рис. 1.3). Экспериментальная проверка расчетных данных была произведена применительно к трубам с отношением $l : D = 1,95, 1,26$ и $0,63$.

1.1.4. Макрогеометрия деталей машин при обработке резанием.

Механическая обработка может рассматриваться как последовательная смена форм, размеров и взаимного положения поверхностей заготовки, которая завершается некоторым их приближением к макрогеометрии детали, предусмотренной рабочим чертежом.

Правильно назначенные допуски убывают в следующей последовательности: на размеры между обрабатываемыми поверхностями, на их взаимное положение, точность формы, шероховатостей, т. е. величина допуска по чистоте поверхности должна быть наименьшей, а по размеру — наибольшей. В процессе обработки детали возникают новые погрешности формы, происходит наложение (суперпозиция) макроотклонений, волнистости и шероховатости поверхности, т. е. они суммируются с учетом знака относительно заданной геометрии. Эти погрешности образуются вследствие отклонений от идеальных взаимных перемещений в системе СПИД (кинематические погрешности) и искажений элементов системы под воздействием усилий резания (динамические погрешности). Кинематические погрешности не зависят от усилий резания и режима обработки, они остаются постоянными по величине в течение длительного периода эксплуатации станка. Динамические погрешности формы изделия зависят от выбранных режимов обработки, они переменны по величине. Искажение формы деталей при обработке резанием возникает и вследствие температурной деформации СПИД. Эти влияния на макрогеометрию детали рассмотрены ниже. Слагаемые продольной и поперечной погрешностей формы суммируют по правилу квадратного корня с учетом их: частичной компенсации [8].

Усилия резания при любом направлении в пространстве можно разложить по осям пространственной системы координат на составляющие P_x , P_y и P_z . Ось y имеет направление, нормальное к обрабатываемой поверхности в области касания инструмента и изделия, а оси x и z совпадают соответственно с направлениями подачи и резания. Вследствие упругости системы СПИД усилия резания перемещают ее элементы друг относительно друга, вызывают погрешности формы и размеров обрабатываемого изделия. Приведем несколько примеров. Контактные деформации (отжатия) при обработке в центрах па

токарных станках жестких деталей неодинаковы по длине, это придает деталям в продольном сечении седлообразную форму (рис. 1.4, с); прогиб детали придает ей бочкообразную форму (рис. 1.4, б).

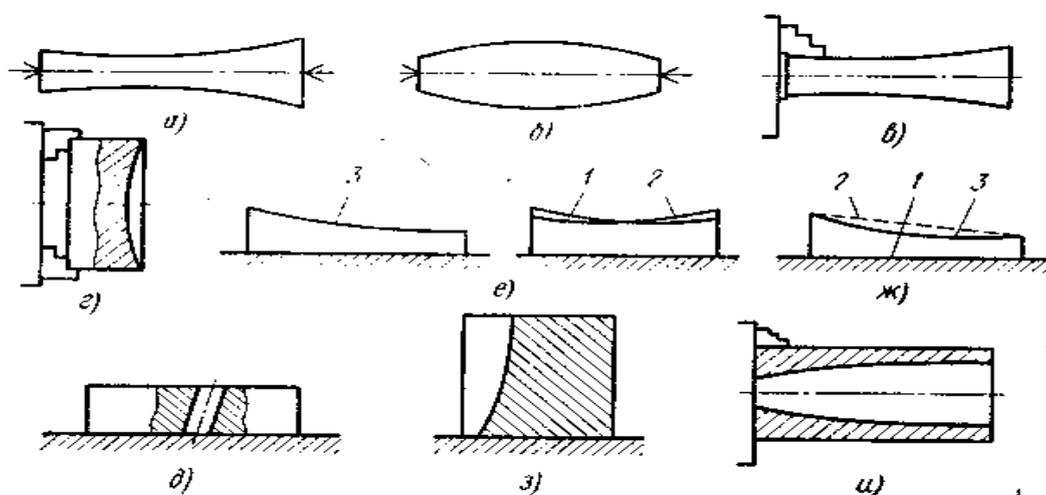


Рис. 1.4. Утрированные искажения формы поверхностей деталей, обработанных на станках

Форма детали в продольном сечении при обработке в патроне или цанге описывается кривой второго порядка (рис.1.4, в). При торцевой обработке детали на планшайбе или в патроне с одинаковыми усилиями отжатия в различных точках обрабатываемой поверхности зависят от плеч, к которым эти усилия приложены. Форма такой поверхности также описывается кривой второго порядка при обработке как от центра к периферии, так и наоборот; в последнем случае неплоскостность будет меньше (рис. 1.4, з.). Ось отверстия, выполненного на вертикальном сверлильном станке, окажется отклоненной от перпендикулярности к опорной поверхности изделия вследствие углового отжатия стола станка (рис. 1.4, д).

В зависимости от размещения на столе шепинга и направления подачи (1 — левое, 2 — правое) отжатия, возникающие при строгании, приводят к тому, что поверхность детали приобретает одну из трех форм, показанных на рис. 1.4, е. В результате обработки детали на горизонтально-фрезерном станке фрезой, ширина которой шире детали,

поверхность 1 окажется наклоненной под некоторым углом к базовой поверхности 2. Если ширина фрезы значительно меньше ширины детали, обработанная поверхность опишется кривой 3 (рис. 1.4, ж). Отжатия суппорта и ползуна приводят к искажению поверхности, обработанной на долбежном станке, она приобретает форму, показанную на рис. 1.4, з. Поверхность детали после расточки на револьверном станке криволинейна (рис. 1.4, и) вследствие отжатия инструмента.

На величину и характер погрешности формы изделия, возникающей при механической обработке, влияют процессы, протекающие с разной скоростью. Долями секунды измеряются периодичность вибрации узлов СПИД, изменения сил трения и колебания рабочей нагрузки вследствие неравномерного припуска, образования нароста на резце и др. Износ режущего инструмента (необратимый процесс), колебание температуры среды и собственно СПИД (обратимый процесс) протекают в периоды, измеряемые часами, долями часов. Месяцы и годы длится процесс износа рабочих поверхностей станка и приспособления, перераспределения напряжений в элементах системы, их коробления [8]. Некоторые из перечисленных факторов действуют закономерно, другие являются случайными функциями. Вследствие этого погрешности формы различны при обработке даже одинаковых деталей на одном и том же станке.

Поверхностный слой заготовок при механической обработке подвергается механическому разрушению; происходит отделение стружки от обрабатываемого тела; пластически деформируется: поверхность изделия и стружки; тепло по-разному распределяется между стружкой, резцом и обрабатываемой заготовкой. Кроме того, при обработке резанием в поверхностных слоях деталей происходят изменения, влияющие на пределы прочности, текучести и пропорциональности; вязкость, твердость и объемный вес, электрические и магнитные характеристики. Холодная обработка не нарушает

кристаллическое строение материала, однако наблюдаемый астеризм пятен на лауэграммах указывает на измельчение зерен, неоднородные искажения решетки, упругие искажения, обусловленные внутренними напряжениями, изменение ориентировки зерен и образование текстуры, внутрикристаллитные и межкристаллитные нарушения. Степень этих изменений и глубина, на которую они проникают в заготовку, зависят от физических и химических свойств обрабатываемых материалов, метода обработки, выбранных режимов, наличия и состава смазывающе-охлаждающей жидкости.

Ограничимся кратким рассмотрением формирования макрогеометрии деталей машин при некоторых видах механической обработки.: Для подробного ознакомления с рассматриваемым вопросом следует обратиться к трудам. Величина возникающих в процессе механической обработки отклонений формы, размера и взаимного положения поверхностей — функция многих переменных: характера обработки (черновая, промежуточная, окончательная); класса точности обработки; вида производства (индивидуальный, серийный, массовый) и соответствующей ему оснастки (универсальные, специализированные и специальные станки, наличие кондукторов, приспособлений и т. д.); размера и веса заготовки; формы заготовки (простая, сложная, сплошная, полая, жесткая, нежесткая); вида заготовки (отливка, поковка, штамповка, прокат, сварная заготовка); способа изготовления заготовки (отливка в землю, в оболочковые формы, свободная ковка, штамповка в штампах, чеканка и т. д.); материала заготовки (чугун, сталь, цветной металл, пластмасса) и других.

Основными факторами, влияющими на точность обработанной детали, являются вид обработки, точность и жесткость СПИД — станка, приспособления, заготовки и инструмента; в некоторых случаях превалирует один из этих факторов. В зависимости от типа станка и погрешностей, допущенных при его изготовлении, возникают

погрешности геометрической формы и размеров обрабатываемой на нем детали. По мере износа поверхностей трения станка погрешности обрабатываемых деталей возрастают. Величина поля рассеивания погрешностей формы составляет значительную часть суммарной погрешности об работки [8,12,13]. Кривые распределения погрешностей формы при разных видах механической обработки различны — от асимметричных кривых Максвелла до кривых нормального распределения.

Непараллельность оси центров направляющим станины в горизонтальной плоскости обуславливает конусность, изготавливаемых деталей. Извернутость направляющих токарного станка вызывает появление погрешности формы детали (конусность, бочкообразность) по длине, на которой станина извернута. Задняя плоская направляющая изнашивается меньше передней треугольной. Это вызывает наклон суппорта и появление погрешности формы обрабатываемого вала в виде бочкообразности. Направляющая суппорта резца, обрабатывающего цилиндрическую поверхность, может быть прямой, но не параллельной оси детали. Если ось детали и направляющая лежат в одной плоскости, то обработанная деталь получится конусной. Если обе линии скрещиваются, то деталь примет форму гиперboloида вращения.

Неперпендикулярность верхних направляющих суппорта к оси вращения шпинделя влечет за собой отклонение от перпендикулярности подрезанных торцов вала к его оси. Биение переднего или заднего вращающегося центра вызывает биение обрабатываемого вала относительно линии, соединяющей оси центральных отверстий. Величина этого биения различна по длине детали. Неизменность положения оси вращения шпинделя токарного станка обуславливает отсутствие овальности обточенной детали; поэтому отклонения шеек шпинделя от кругового цилиндра должны быть минимальны и ограничиваться 2—3 мкм для станков обычного назначения.

Искажение формы и размеров обрабатываемых валов происходит главным образом под действием поперечной силы P_y (радиальная составляющая силы резания) и отчасти силы P_z (главная составляющая силы резания). Аксиально направленная сила P_x воспринимается центром и не зависит от положения резца относительно длины обрабатываемого вала. Вследствие переменной податливости обрабатываемого вала погрешность размера его диаметра в любой точке по длине равна удвоенной величине изгиба оси; в продольном сечении вал будет иметь бочкообразную форму, профиль которой очерчивается параболой четвертого порядка. Продольная погрешность вала прямо пропорциональна действующей силе и кубу длины вала и обратно пропорциональна четвертой степени его диаметра. При обтачивании жестких валов силой подачи радиально смещаются бабки и вал приобретает конусность. Величина конусности прямо пропорциональна податливости бабок, силе подачи и диаметру вала и обратно пропорциональна квадрату его длины.

Осевая сила P_x создает внешний момент $M_x = P_x \frac{d}{2}$, где d — диаметр обрабатываемого вала. Если считать, что обе бабки абсолютно жесткие, ось вала под действием момента M_x изогнется. Правая половина вала получит погрешность в виде равномерной корсетности, а левая — такую же по величине бочкообразность. Продольная погрешность в этом случае прямо пропорциональна квадрату длины вала и обратно пропорциональна кубу диаметра. Вибрации, удары и толчки в процессе обработки изменяют силы трения, и отжатия узлов станков возрастают по сравнению с плавным нагружением.

При неизменных режимах резания и геометрии резца колебания токарных станков меняются с изменением диаметра и длины заготовки, вылета резца или пиноли задней бабки и т. д. На точность обработки больше влияет изменение перемещений в системе в процессе резания, чем абсолютная величина этих перемещений. Разница в величине отжатий

возрастает с увеличением глубины и скорости резания, подачи вылета пиноли, а также с уменьшением углов резца φ и γ . С повышением жесткости крепления оправки отжатые суппорта уменьшается [11,12,13].

Жесткость токарных станков средних размеров, предназначенных для работы инструментом из быстрорежущей стали, составляет 2—2,5 т/мм, а для работы инструментом, армированным твердым сплавом, 4—5 т/мм. Если жесткость узлов станка выше жесткости детали, то образующая последней принимает выпуклую форму. При обработке жесткого вала образующая его получается вогнутой. При близких величинах жесткостей узлов станка и обрабатываемой заготовки вследствие взаимной компенсации погрешностей образующая обточенного вала спрямляется. При равных жесткостях передней и задней бабок станка профиль образующей симметричен относительно среднего, поперечного сечения вала. Если жесткости этих узлов различны, то образующая не имеет оси симметрии, а кривая профиля обточенного вала может иметь точки перегиба. Регулирование жесткости технологической системы при токарной обработке осуществляется задней бабкой выдвиганием пиноли; наибольшая жесткость соответствует убранной пиноли.

Для получения наименьшей погрешности формы обтачиваемого вала надлежит выбрать такое значение жесткости задней бабки и такой интервал изменения x от $x = l$ до $x \geq \frac{l}{2}$, достигалась минимальная разность между полученными предельными значениями фактической глубины резания (x — расстояние от переднего центра до точки приложения составляющей усилия резания, направленной по нормали к обрабатываемой поверхности, а l — длина заготовки). Выравнивание образующей вала может быть частично достигнуто также путем сдвигания задней бабки в поперечном направлении. Получающаяся конусность компенсирует выпуклость образующей вала при смещении

задней бабки назад и вогнутость образующей вала при смещении бабки вперед. Погрешность формы и расположения поверхностей, не зависящие от нагрузки (при снятии малых стружек), составляют: овальность и конусность при обтачивании образца, зажатого в патроне без задней бабки, на длине 300 мм для станков с высотой центров ≤ 400 мм — 10 мкм, а > 400 мм — 20 мкм. Отступление от плоскостности при торцовом обтачивании поперечной подачей заготовки $\varnothing 300$ мм составляет до 20 мкм.

1.2 Формирование макрогеометрии деталей при обработке.

При изготовлении и ремонта деталей, сборке механизмов, а также в процессе их эксплуатации происходят искажения формы и размеров звеньев, изменяется характер сопряжения, возникает деформация деталей, которые изменяют динамические свойства механизмов и заметно влияют на точность и надежность выполнения. При изготовлении и ремонта деталей, сборке механизмов, а также в процессе их эксплуатации происходят искажения формы и размеров звеньев, изменяется характер сопряжения, возникает деформация деталей, которые изменяют динамические свойства механизмами заданных функций [26].

Качество рабочих поверхностей деталей двигателей и их геометрические и физико-механические параметры, а также зазоры в сопряжениях оказывают непосредственное влияние на надежность узлов и двигателя в целом.

Применение блока с легкоъемными "мокрыми" гильзами способствует не только снижению тепловой напряженности и интенсивности износа деталей цилиндро-поршневая группа, но и позволяет решать ряд конструктивно-технологических и эксплуатационных задач. К ним можно отнести повышение технологичности изготовления блока цилиндров, возможность изготовления гильз из более качественных материалов.

Искажение макрогеометрии цилиндров наблюдается во всех двигателях. Специфика конструкции двигателя и схемы передачи в нем усилий существенно влияют на численное значение и характер деформации цилиндров, ориентацию искажений по их высоте и периметру [16, 19].

Если в моноблоках искажение форм цилиндров зависит от жесткости блока, от качества материала, от расположения цилиндров и шпилек крепления и некоторых других факторов, то в блоках со вставными гильзами к перечисленным факторам прибавляются еще и другие, к числу которых можно отнести высоту выступа гильзы, качество сопрягаемых поверхностей (по всем параметрам), величину зазора в сопряжениях блок-гильза и много других параметров, характеризующих состояние гильзы в собранном двигателе.

Результаты работ [15] и [19] показывают, что долговечность гильз заметно снижается как при чрезмерном увеличении зазора и сопряжения блок цилиндров- гильза, так и при его уменьшении.

Авторы работы считают, что одной из основных причин искажения формы цилиндрических гильз с нерезистивными вставками является их относительно низкая жесткость по сравнению с моногильзами. Поэтому авторы рекомендуют заменить их моногильзами из износостойких материалов или из чугуна с хромированными рабочими поверхностями. Вместе с этим они замечают, что в хромированных гильзах на стадии приработки повышается вероятность появления задирав на их поверхностях.

В НАМИ авторами были проведены исследования по эффективности применения хромированных гильз в рядке карбюраторных двигателей, а также по обеспечению нормальной приработки поршня и хромированной гильзы. Стендовые испытания хромированных гильз в двигателях ЗМЗ-21 и ЗМЗ-53 при различной маслотеплотности поверхности гильзы, различных монтажных зазорах между гильзой и поршнем, при нанесении ряда

покрытий на юбку поршня показали, что задиры полностью и стабильно устраняются при анодировании юбки поршня на определенную глубину [16].

По данным эксплуатационных испытания двигателей ЗИЛ-130, ЗИЛ-53, М-21, износ хромированных гильз с виброраскатанной и сульфационированной рабочей поверхностью ниже износа серийных гильз из серого чугуна с нерезистовой вставкой примерно в 2,5 раза. Одновременно в 1,5-2,5 раза уменьшается износ первых поршневых колец [16]. Однако следует заметить, что главным достоинством моногильз, как уже выше было сказано, является их жесткость, способствующая снижению монтажной овализации цилиндров. Это объясняется тем, что в двигателях ЗИЛ-130 ресурс цилиндров ограничивается не износами, а макрогеометрическими отклонениями [24] .

Гуревич И.Б. исследованием влияния затяжки гаек на шпильках и болтах головки блока с минимальными и максимальными усилиями в пределах технических условия установил, что различий в деформациях нет. Вместе с тем определил влияние степени затяжки на деформации гильзы, когда она выступает над плоскостью блока цилиндров. Автор рекомендует ограничить величины этого параметра допуском 0,02-0,05 мм [16]. Исследованиями также установлено, что деформации гильзы возрастают при увеличении биения посадочных плоскостей и посадочного гнезда в блоке и при уменьшении монтажного зазора гильзы в блоке цилиндров.

Чарычанский В.Г. исследовал влияние отклонений в сопряжении блок цилиндров-гильза на вибрации цилиндрических гильз, отремонтированных двигателей ЗИЛ-130 [21] .

Он установил, что увеличение зазора по верхнему пояску более 0,17 мм приводит к резкому усилению колебаний гильзы, что, в свою очередь, интенсифицирует износ деталей ЦПГ. Он также установил, что нарушение параметров сопряжения приводит к искажению макрогеометрии.

Для соблюдения параметров в допустимых пределах автор считает целесообразным подбор гильз по блокам цилиндров.

У двигателей ЯМЗ-236, ЯМЗ-238, поступающих в капитальный ремонт, наблюдаются значительные коррозионно-эрозионные повреждения в зоне нижних посадочных поясков под гильзы в блоках цилиндров, представляющие собой раковины глубиной 2-3 мм. Эти повреждения приводят к нарушению герметичности уплотнения между гильзой и блоком и проникновению воды в картер двигателя. Они вызваны, в первую очередь, явлениями, возникающими во время колебаний гильзы при «перекладке» поршня.

На авторемонтных заводах наибольшее применение получили как способы устранения этого дефекта, расточка нижнего посадочного пояса под ремонтный размер и установка ремонтной детали-втулки.

Автор работы [18] считают наиболее эффективным способом восстановления этой поверхности нанесение на нее полимерной композиции и установку калибрующей справки для формирования правильной геометрической формы посадочного пояса в процессе затвердевания композиции.

Вопросы ремонтпригодности гильз цилиндров двигателя исследованы Гетуном А.И. [12]. Разработана методика определения ремонтпригодности гильз и технологические меры повышения качества рабочей поверхности цилиндров при капитальном ремонте двигателей. Влияния состояния сопрягаемых поверхностей гильзы с блоком и другими деталями на формирование точности рабочей поверхности цилиндра не исследовалось.

Следовательно, исследование механизма возникновения макрогеометрических отклонений и разработка конструктивно-технологических методов их устранения для блоков со вставными гильзами сложнее, чем для моноблоков.

Несмотря на эти сложности, возникшие с применением блоков со вставными гильзами, такая конструкция блоков в настоящее время нашла широкое применение в мировом двигателестроении.

1.3. Формирование макрогеометрии гильз цилиндров

В двигателях с повышенной долговечностью часто применяются блоки с легкоъемными «мокрыми» гильзами. В нашей стране в основном выпускают двигатели с блоками такой конструкции.

Механизм формирования макрогеометрии тонкостенных втулок под действием усилий разного характера экспериментально впервые исследован проф. Бlichem Ш.М. Он исследовал искажение формы цилиндров на различных этапах технологии изготовления гильзы производство двигателя. [15].

Искажение рабочей поверхности цилиндров при изготовлении деталей может быть результатом несоблюдения режимов старения и нарушения режимов механической обработки.

Автором работы [15] было показано, что на характер и величину деформации цилиндра в процессе монтажа, а в последующей эксплуатации на ступи и задиры цилиндров существенно влияет операция завинчивания шпилек и болтов в блок, затяжка и порядок затяжки крепящих деталей, а также конструкции и материал прокладки, устанавливаемой между блоком и головкой.

Исследуя деформации цилиндров при сборке, автор приходит к выводу, что если деформация в процессе сборки образуется в результате случайного сочетания размеров сопрягаемых деталей, тогда искажение геометрической формы цилиндров нужно устранять технологическими средствами. Эта задача должна решаться в конструктивной сфере, если макрогеометрические отклонения цилиндра имеют определенные закономерности [15].

Результаты исследований показывают, что численные значения искажения формы цилиндров при сборке зависят от комплекса случайных

и закономерных факторов, как конструктивных, так и технологических, а характер деформаций определяется конструкцией двигателя. По этому проф. Билик Ш.М. справедливо считает верными такие суждения, которые основываются на выводах статического анализа результатов многократного наблюдения за достаточно большим количеством исследуемых объектов[12].

Соцков Д.А. исследовал влияние высоты буртика гильзы на искажение формы цилиндра двигателя ЗИЛ-130 [19].

Автор теоретически и экспериментально установил, что макрогеометрию рабочей поверхности гильз цилиндров двигателя ЗИЛ-130 (после установки их в блок) можно существенно улучшить за счет увеличения высоты буртика гильзы до 7,3 мм, против существующей 5 мм. Однако автор в данном случае не учитывает того, что высоту буртика при неизменности габаритов блока можно увеличить за счет уменьшения жесткости блока цилиндров в перемычках. Из практики авторемонтного производство известно, что в блоках двигателей ЗИЛ-130 одно из наименее прочных частей образуются трещины. По этому данная рекомендация автора по конструктивному усовершенствованию гильзы неприемлема, так как она связана с дальнейшим ослаблением прочности блока цилиндров в перемычках.

Керчер Б.М. и Вахтель В.Ю. [14] исследовали влияние конструктивных параметров уплотнительной прокладки головки блока цилиндров на искажение формы цилиндров двигателей СМД-14. Исследуя взаимодействие прокладки с гильзой при неизменности других условий, авторы предложили конструкцию прокладки с конфигурацией, позволяющей значительно снизить овализацию цилиндров. Авторы также отмечают, что на овализацию цилиндров влияют и различные отклонения в геометрии сопрягаемых поверхностей блока и гильзы, неодинаковая толщина прокладки и другие факторы. Однако все это оказывается не на средних значениях, а на поле рассеивания величин овальности гильз.

Отсюда авторы делают заключение, что повышение точности обработки является необходимым, но недостаточным условием устранения овализации гильз цилиндров при сборке двигателя.

Некоторые причины овализации мокрых вставных гильз рассмотрены Взоровым Б.А. [12]. Им было установлено, что основная овализация гильз вызывается деформацией верхней плиты блока цилиндров под действием усилий, возникающих при затяжке шпилек крепления головки блока цилиндров. Бурт гильзы цилиндра, зажимаемый между головкой и блоком под действием усилия со стороны прокладки, повторяет деформации верхней плиты блока. Следствием этого является деформация самой гильзы.

Авторами [12,15,19] исследован и предложен еще один способ устранения монтажной овализации гильзы цилиндров, сущность которого сводится к точному перераспределению сил давления по окружности бурта гильзы, при котором отсутствовала бы его деформация.

В практике двигателестроения применяются также блоки с сухими гильзами. По сравнению с мокрыми сухие гильзы более склонны к монтажным деформациям. Кроме того, сухие гильзы не обеспечивают равномерного отвода тепла в блок, так как между ними образуются местные тепловые сопротивления, что также способствует местной деформации.

Для устранения указанных недостатков сухих гильз фирма МАН рекомендует: скользящую посадку гильзы в блоке с зазором от 0,01 до 0,037 мм ;выточку глубиной 0,12—0,16 мм на верхней цилиндрической части цилиндра перед буртиком для того, чтобы, силы, возникающие при затяжке шпилек головки цилиндров, передавались только на часть буртика, опирающуюся на блок; подвод масла под давлением в зазор между гильзой и блоком для обеспечения равномерного отвода тепла. Применение этих рекомендаций позволило снизить деформации цилиндров, уменьшить угар масла, практически устранить колебания

температуры гильзы; наружная поверхность гильзы при этом остается чистой, без отложений, и гильза может быть демонтирована от руки. Однако ряд технических трудностей, возникающих при изготовлении, ограничивает широкое применение блоков такой конструкции .

Демянов Л.А. и Сарафанов С.К. [14] исследовали конструктивно-технологические методы снижения овализации гильз цилиндров двигателей ГАЗ-13 и М-21. Они предложили, что если подвергнуть двойному старению гильзы цилиндров двигателя ГАЗ-13, то их овализацию, возникающую в процессе эксплуатации, можно снизить в 2 раза. Было установлено также, что для двигателя ГАЗ-21 очень существенным является увеличение посадочного зазора гильзы в блоке.

Брайман Ф.А. [13] исследуя влияние зазоров между поршнем и гильзой, а также в сопряжении блок цилиндров-гильза, определил, что с увеличением зазора между поршнем и гильзой и повышением жесткости (уменьшением зазора) посадки гильзы в блоке резко увеличивается ускорение вибрации.

Автор отмечает, что за 200 ч стендовых испытаний двигателей СМД-14 при зазоре поршень-гильза 0,5 мм гильза всегда интенсивно поражалась кавитацией, при зазоре 0,23 мм в отдельных случаях, при зазоре 0,16 мм поражения не было [19].

Усачев В.А. и Шилов Г.Т. [16] исследовали факторы, влияющие на деформацию гильз цилиндров. Авторы утверждают, что отклонения профиля продольного сечения гильзы в наименьшей степени, чем некруглость, способствуют повышению удельных давлений контактируемых поверхностей, образованию локальных зон с высокими температурами и нарушению герметизации надпоршневого пространства [19]. Авторы работали на специально изготовленном приспособлении, имитирующем посадки гильзы в блок цилиндров, определяли влияние несоосности верхнего и нижнего посадочных поясков блока, а также их овальности на деформацию цилиндра.

В результате исследования влияния этих факторов авторы пришли к выводу, что наибольшее влияние на деформации гильзы при сборке двигателя оказывают величина несоосности посадочных поясков блока и гильзы, их овальности и неравномерность затяжка болтов головки блока, а также не перпендикулярность посадочных поясков гильзы к плоскости блока [19]. Авторы рекомендуют устранить эти погрешности восстановлением с последующей механической обработкой до требуемых размеров и точности посадочных поясков как блока, так и гильз цилиндров.

В работе [6,16] рекомендуется восстанавливать сопряжение блок цилиндров-гильз расточкой или разверткой посадочных мест в блоке под гильзу до ремонтного размера и гальваническим наращиванием посадочных поясков гильз с последующей механической обработкой до требуемого размера. В другой [6] рекомендуют восстанавливать посадочные пояски гильзы шлифованием до диаметра менее номинального на 0,05 мм, с последующей приваркой лент определенной толщины и обработкой поясков до нужного размера.

Шиловский Н. [15] исследовал закономерности деформации гильз в зависимости от величины выступа опорного бурта на специально разработанном приспособлении, имитирующем «жесткий» цилиндр.

В результате выполненного исследования установлено, что с увеличением высоты выступа бурта деформация гильзы возрастает. В качестве предельно допустимой величины высота выступа опорного бурта гильз цилиндров над верхней плоскостью блока рекомендуется 0,15 мм.

Для соблюдения высоты выступа гильз и допустимых пределах автор рекомендует комплектовать гильзы и блоки цилиндров по соответствующим параметрам.

Как показывает анализ работ по исследованию функциональных свойств деталей и узлов двигателя и методов управления ими механизм формирования работоспособности деталей цилиндра-поршневой группы

достаточно сложен. На работоспособность деталей влияют многочисленные факторы.

Основной деталью цилиндра-поршневой группы двигателей типа ЗИЛ-130 является гильза цилиндров. От качества обработки ее поверхностей и других параметров во многом зависит ресурс деталей этой группы и двигателя в целом.

Анализ работ, посвященных исследованию работоспособности цилиндров показывают, что в большинстве работ исследуются конструктивные недостатки и технология изготовления деталей цилиндра-поршневой группы, а также вопросы сохранения и поддержания работоспособности в эксплуатационных условиях. Вопросы, связанные с обеспечением требуемого качества рабочих поверхностей деталей при капитальном ремонте двигателей данного типа рассматриваются в весьма ограниченном количестве работ.

Хотя результаты работ по исследованию конструктивно-технологических и эксплуатационных свойств деталей и узлов представляют собой ценную информацию для повышения качества капитального ремонта двигателей, они не могут служить готовыми инструментами осуществления этой цели.

Поэтому многие вопросы, связанные с обеспечением требуемого качества рабочей поверхности цилиндров двигателей типа ЗИЛ-130 с необходимой эффективностью при капитальном ремонте, остаются нерешенными.

Состояние вопроса требует неотложного решения. Как показывают исследования, рабочая поверхность гильз цилиндров, отремонтированных двигателей существенно искажается, при этом величина искажения часто превышает предельно допустимую величину при эксплуатации. Известно, что плохое начальное состояние рабочих поверхностей деталей сопровождается в последующем интенсивными разрушительными и

износowymi явлениями, приводящими к резкому сокращению срока службы механизмов.

Исходя из этого, можно сделать вывод, что разработка эффективных методов обеспечения требуемой точности параметров, характеризующих состояние рабочей поверхности гильз цилиндров капитально отремонтированных двигателей, является одной из основных и весьма актуальных задач на пути повышения межремонтного ресурса деталей цилиндра-поршневой группы и двигателя в целом. Эффективное решение этой задачи во многом зависит от принятого технологического метода восстановления сопряжения блок цилиндров-гильза.

1.4. Выводы по главе.

1. Характер деформации тонкостенной трубы под действием в одном из ее концов двух сосредоточенных диаметрально противоположных сил принципиально различен в зависимости от длины детали и в пределах упругости не зависит от величины приложенной нагрузки и материала детали.

2. Как показывает результаты анализа работ по исследованию функциональных свойств деталей двигателя и методов управления ими, механизм формирования макрогеометрии деталей в процессе производства двигателей достаточно вложен.

3. В моноблоках искажения формы цилиндров зависит от жесткости блока, от качества материала, от расположения цилиндров, шпилек крепления и некоторых других факторов. В блоках со вставными гильзами к перечисленным факторам прибавляются еще другие, к числу которых можно отнести высоту выступа гильзы, количества сопрягаемых поверхности, величину зазора в сопряжениях блок цилиндров – гильза и много других параметров, характеризующих состояния гильзы в собранном двигателе.

Глава 2. Погрешности геометрических параметров при механической обработке.

2.1. Анализ погрешности механической обработки

Механическая обработка может рассматриваться как последовательная смена форм, размеров и взаимного положения поверхностей заготовки, которая завершается некоторым их приближением к макрогеометрии детали, предусмотренной рабочим чертежом. Правильно назначенные допуски убывают в следующей последовательности: на размеры между обрабатываемыми поверхностями, на их взаимное положение, точность формы, шероховатостей, т. е. величина допуска по чистоте поверхности должна быть наименьшей, а по размеру — наибольшей. В процессе обработки детали возникают новые погрешности формы, происходит наложение (суперпозиция) макроотклонений, волнистости и шероховатости поверхности, т. е. они суммируются с учетом знака относительно заданной геометрии. Эти погрешности образуются вследствие отклонений от идеальных взаимных перемещений в системе СПИД (кинематические погрешности) и искажений элементов системы под воздействием усилий резания (динамические погрешности). Кинематические погрешности не зависят от усилий резания и режима обработки, они остаются постоянными по величине в течение длительного периода эксплуатации станка. Динамические погрешности формы изделия зависят от выбранных режимов обработки, они переменны по величине. Искажение формы деталей при обработке резанием возникает и вследствие температурной деформации СПИД. Эти влияния на макрогеометрию детали рассмотрены ниже. Слагаемые продольной и поперечной погрешностей формы суммируют по правилу квадратного корня с учетом их: частичной компенсации.

Усилия резания при любом направлении в пространстве можно разложить по осям пространственной системы координат на составляющие P_x , P_y и P_z . Ось y имеет направление, нормально к

обрабатываемой поверхности в области касания инструмента к изделия, а оси x и z совпадают соответственно с направлениями подачи и резания. Вследствие упругости системы СПИД усилия, резания перемещают ее элементы друг относительно друга, вызывают погрешности формы и размеров обрабатываемого изделия.. Приведем несколько примеров. Контактные деформации (отжатия) при обработке в центрах на токарных станках жестких деталей неодинаковы по длине, это придает деталям в продольном сечении седлообразную форму; прогиб; детали придает ей бочкообразную форму. Форма: детали в продольном сечении при обработке в патроне или цанге описывается кривой второго порядка. При торцовок обработке детали на планшайбе или в патроне с одинаковыми усилиями отжатия в различных точках обрабатываемой поверхности зависят от плеч, к которым эти усилия приложены. Форма, такой поверхности также описывается кривой второго порядка при обработке как от центра к периферии, так и наоборот; в последнем случае неплоскостность будет меньше. Ось отверстия, выполненного на вертикальном сверлильном станке, окажется отклоненной от перпендикулярности к опорной поверхности изделия вследствие углового отжатия стола станка.

В зависимости от размещения на столе шепинга и направления подачи отжатия, возникающие при строгании, приводят к тому, что поверхность детали приобретает одну из трех форм. В результате обработки детали на горизонтально-фрезерном станке фрезой, ширина которой шире детали, поверхность окажется наклоненной под некоторым углом к базовой поверхности. Если ширина фрезы значительно меньше ширины детали, обработанная поверхность опишется кривой. Отжатия суппорта и ползуна приводят к искажению поверхности, обработанной на долбежном станке. Поверхность детали после расточки на револьверном станке криволинейна вследствие отжатия инструмента.

На величину и характер погрешности формы изделия, возникающей при механической обработке, влияют процессы, протекающие с разной скоростью. Долями секунды измеряются периодичность вибрации узлов СПИД, изменения сил трения, колебания рабочей нагрузки вследствие неравномерного припуска, образования нароста на резце и др. Износ режущего инструмента (необратимый процесс), колебание температуры среды и собственно СПИД (обратимый процесс) протекают в периоды, измеряемые часами, долями часов. Месяцы и годы длится процесс износа рабочих поверхностей станка и приспособления, перераспределения напряжений в элементах системы, их коробления. Некоторые из перечисленных факторов действуют закономерно, другие являются случайными функциями. Вследствие этого погрешности формы различны при обработке даже одинаковых деталей на одном и том же станке.

Поверхностный слой заготовок при механической обработке подвергается механическому разрушению; происходит отделение стружки от обрабатываемого тела; пластически деформируется поверхность изделия и стружки; тепло по-разному распределяется между стружкой, резцом и обрабатываемой заготовкой. Кроме того, при обработке резанием в поверхностных слоях деталей происходят изменения, влияющие на пределы прочности, текучести и пропорциональности; вязкость, твердость и объемный вес, электрические и магнитные характеристики. Холодная обработка не нарушает кристаллическое строение материала, однако наблюдаемый астеризм пятен на лауэграммах указывает на измельчение зерен, неоднородные искажения решетки, упругие искажения, обусловленные внутренними напряжениями, изменение ориентировки зерен и образование текстуры, внутрикристаллитные и межкристаллитные нарушения. Степень этих изменений и глубина, на которую они проникают в заготовку, зависят от физических и химических свойств обрабатываемых материалов, метода обработки, выбранных режимов, наличия и состава смазывающе-охлаждающей жидкости.

Ограничимся кратким рассмотрением формирования макрогеометрии деталей машин при некоторых видах механической обработки. Для подробного ознакомления с рассматриваемым вопросом следует обратиться к трудам. Величина возникающих в процессе механической обработки отклонений формы, размера и взаимного положения поверхностей — функция многих переменных: характера обработки (черновая, промежуточная, окончательная); класса точности обработки; вида производства (индивидуальный, серийный, массовый) и соответствующей ему оснастки (универсальные, специализированные и специальные станки, наличие кондукторов, приспособлений и т. д.); размера и веса заготовки; формы заготовки (простая, сложная, сплошная, полая, жесткая, нежесткая); вида заготовки (отливка, поковка, штамповка, прокат, сварная заготовка); способа изготовления заготовки (отливка в землю, в оболочковые формы, свободная ковка, штамповка в штампах, чеканка и т. д.); материала заготовки (чугун, сталь, цветной металл, пластмасса) и других.

Основными факторами, влияющими на точность обработанной детали, являются вид обработки, точность и жесткость СПИД — станка, приспособления, заготовки и инструмента; в некоторых случаях превалирует один из этих факторов. В зависимости от типа станка и погрешностей, допущенных при его изготовлении, возникают погрешности геометрической формы и размеров обрабатываемой на нем детали. По мере износа поверхностей трения станка погрешности обрабатываемых деталей возрастают. Величина поля рассеивания погрешностей формы составляет значительную часть суммарной погрешности обработки. Кривые распределения погрешностей формы при разных видах механической обработки различны — от асимметричных кривых Максвелла до кривых нормального распределения.

2.2. Погрешность формы валов

Непараллельность оси центров направляющим станины в горизонтальной плоскости обуславливает конусность, изготавливаемых деталей. Извернутость направляющих токарного станка вызывает появление погрешности формы детали (конусность, бочкообразность) по длине, на которой станина извернута. Задняя плоская направляющая изнашивается меньше передней треугольной. Это вызывает наклон суппорта и появление погрешности формы обрабатываемого вала в виде бочкообразности. Направляющая суппорта резца, обрабатывающего цилиндрическую поверхность, может быть прямой, но не параллельной оси детали. Если ось детали и направляющая лежат в одной плоскости, то обработанная деталь получится конусной. Если обе линии скрещиваются, то деталь примет форму гиперболоида вращения.

Неперпендикулярность верхних направляющих суппорта к оси вращения шпинделя влечет за собой отклонение от перпендикулярности подрезанных торцов вала к его оси. Биение переднего или заднего вращающегося центра вызывает биение обрабатываемого вала относительно линии, соединяющей оси центральных отверстий. Величина этого биения различна по длине детали. Неизменность положения оси вращения шпинделя токарного станка обуславливает отсутствие овальности обточенной детали; поэтому отклонения шеек шпинделя от кругового цилиндра должны быть минимальны и ограничиваться 2—3 мкм для станков обычного назначения.

Искажение формы и размеров обрабатываемых валов происходит главным образом под действием поперечной силы P_y (радиальная составляющая силы резания) и отчасти силы P_z (главная составляющая силы резания).

Аксиально направленная сила P_x воспринимается центром и не зависит от положения резца относительно длины обрабатываемого вала. Вследствие переменной податливости обрабатываемого вала погрешность

размера его диаметра в любой точке по длине равна удвоенной величине изгиба оси; в продольном сечении вал будет иметь бочкообразную форму, профиль которой очерчивается параболой четвертого порядка. Продольная погрешность вала прямо пропорциональна действующей силе и кубу длины вала и обратно пропорциональна четвертой степени его диаметра. При обтачивании жестких валов силой подачи радиально смещаются бабки и вал приобретает конусность. Величина конусности прямо пропорциональна податливости бабок, силе подачи и диаметру вала и обратно пропорциональна квадрату его длины.

Осевая сила P_x создает внешний момент $M_x = P_x \frac{d}{2}$, где d — диаметр обрабатываемого вала. Если считать, что обе бабки абсолютно жесткие, ось вала под действием момента M_x изогнется. Правая половина вала получит погрешность в виде равномерной корсетности, а левая — такую же по величине бочкообразность. Продольная погрешность в этом случае прямо пропорциональна квадрату длины вала и обратно пропорциональна кубу диаметра. Вибрации, удары и толчки в процессе обработки изменяют силы трения, и отжатия узлов станков возрастают по сравнению с плавным нагружением.

При неизменных режимах резания и геометрии резца колебания токарных станков меняются с изменением диаметра и длины заготовки, вылета резца или пиноли задней бабки и т. д. На точность обработки больше влияет изменение перемещений в системе в процессе резания, чем абсолютная величина этих перемещений. Разница в величине отжатий возрастает с увеличением глубины и скорости резания, подачи вылета пиноли, а также с уменьшением углов резца φ и γ . С повышением жесткости крепления оправки отжатие суппорта уменьшается.

Жесткость токарных станков средних размеров, предназначенных для работы инструментом из быстрорежущей стали, составляет 2—2,5 т/мм,

а для работы инструментом, армированным твердым сплавом, 4—5 m/mm . Если жесткость узлов станка выше жесткости Детали, то образующая последней принимает выпуклую форму. При обработке жесткого вала образующая его получается вогнутой. При близких величинах жесткостей узлов станка и обрабатываемой заготовки вследствие взаимной компенсации погрешностей образующая обточенного вала спрямляется. При равных жесткостях передней и задней бабок станка профиль образующей симметричен относительно среднего поперечного сечения вала. Если жесткости этих узлов различны, то образующая не имеет оси симметрии, а кривая профиля обточенного вала может иметь точки перегиба. Регулирование жесткости технологической системы при токарной обработке осуществляется задней бабкой выдвижением пиноли; наибольшая жесткость соответствует убранной пиноли.

Для получения наименьшей погрешности формы обтачиваемого вала надлежит выбрать такое значение жесткости задней бабки и такой интервал изменения x от $x = l$ до $x \geq \frac{1}{2}$, чтобы достигалась минимальная разность между полученными предельными значениями фактической глубины резания (x — расстояние от переднего центра до точки приложения составляющей усилия резания, направленной по нормали к обрабатываемой поверхности, а l — длина заготовки). Выравнивание образующей вала может быть частично достигнуто также путем сдвигания задней бабки в поперечном направлении. Получающаяся конусность компенсирует выпуклость образующей вала при смещении задней бабки назад и вогнутость образующей вала при смещении бабки вперед. Погрешность формы и расположения поверхностей, не зависящие от нагрузки (при снятии малых стружек), составляют: овальность и конусность при обтачивании образца, зажатого в патроне без задней бабки, на длине 300мм для станков с высотой центров < 400 мм — 10

мкм, а > 400 *мм* — 20 *мкм*. Отступление от плоскостности при торцовом обтачивании поперечной подачей заготовки θ 300 *мм* составляет до 20 *мкм*.

2.3. Погрешности формы деталей при расточке.

Для получения цилиндрического отверстия должны быть обеспечены точность номинального диаметра и его постоянство в любом поперечном сечении (отсутствие конусности), отсутствие отклонений от круглой формы (овалов и граненности) и прямолинейность оси. В деталях машин требуется соблюдение, кроме того, определенного взаимоположения оси отверстия по отношению к другим осям или поверхностям детали. В зависимости от схемы обработки деталь может иметь разные виды отклонений от кругового цилиндра. Жесткость горизонтально-расточных станков составляет $1—1,5$ *т/мм* для универсальных и $3—4$ *т/мм* для станков тяжелых типов. По А. П. Соколовскому от 75 до 97% суммарной деформации станка приходится на шпиндельную бабку. Три четверти деформации шпиндельной бабки составляет деформация шпинделя, остальная часть деформации распределяется между корпусом бабки и планшайбой. Статическая радиальная податливость шпиндельных узлов алмазно-расточных станков определяется диаметром шпинделя. Зазоры при посадке подшипников на вал приводят к увеличению угловой податливости опоры, и при зазоре $2—3$ *мкм* податливость шпиндельного узла возрастает на $10—20\%$. Погрешности формы и расположения поверхностей при снятии малых стружек составляют: конусность $10—20$ *мкм* при подаче шпинделем и растачивании отверстий $\Theta 70—100$ *мкм* на длине $150—200$ *мм*; овальность до 10 *мкм* при растачивании резцом; отступление от параллельности осей (подача шпинделем или столом) по отношению к поверхности стола и относительно друг друга 30 *мкм* на длине 300 *мм* для диаметров ≥ 70 *мм*.

Тонкое или алмазное точение позволяет получить при обработке валов точность до 6-го, при расточке отверстий до 7-го качества. Тонкое точение деталей из стали и цветных металлов может обеспечить цилиндричность с погрешностью в пределах 1—2 мкм при овальности не выше 1 мк. При тонком растачивании цилиндров $\varnothing 80—100$ мм на многошпиндельных станках достигается точность обработки 7-го качества. Эллиптичность и конусность выдерживаются в пределах 2—3 мкм; прямолинейность в пределах 3—5 мкм, неперпендикулярность осей цилиндров к оси коленчатого вала — 10 мкм на 100 мм длины, допуск на диаметр 5—12 мкм.

При упругом креплении инструмента форма в поперечном сечении детали (некруглость, огранка) и в продольном направлении (конусность, бочкообразность, корсетность) после алмазного выглаживания мало изменяется, а волнистость иногда увеличивается по сравнению с исходной. При жестком креплении алмазный наконечник не копирует исходную форму изделия, деформирование поверхности происходит неравномерно и за счет этого достигается исправление формы. При этом образуются неоднородные шероховатость, наклеп и напряжение обработанной поверхности.

Необходимость жесткого крепления инструмента сопряжена с повышением требований к точности и жесткости станка, креплению инструмента и детали.

2.4. Макрогеометрия деталей после шлифования.

Применением доводочных операций стремятся не только получить заданную чистоту поверхности, но и снизить волнистость, отклонения от правильной геометрической формы, образовавшиеся в процессе предшествующей обработки. Поэтому выбранный метод доводки должен обеспечить удаление слоя металла, превосходящего отклонения от

правильной геометрической формы и высоту микронеровностей. Так, для устранения волнистости в целях достижения минимального уровня вибрации необходимо при доводке беговых дорожек роликовых подшипников обеспечить съём 25—30 мкм металла по диаметру при исходной шероховатости $1,26\sqrt{\quad}$; 15 мкм при $0,63\sqrt{\quad}$ и 10 мкм при шероховатости $0,32\sqrt{\quad}$.

Погрешности, образованные в процессе доводки, должны быть меньше допускаемых техническими условиями на изготовление детали. При шлифовании требования к высокой точности геометрической формы противоречат требованиям получения высокой чистоты поверхности. Для получения последней применяют мелкозернистые круги, развивающие большое давление на деталь, которое часто приводит к ее деформации и искажению геометрической формы. Точность формы достигается при острых крупнозернистых шлифовальных кругах, работающих с минимальными усилиями резания. Геометрию абразивного зерна можно оценивать по количеству режущих углов и выступов (макрогеометрия зерна), по степени гладкости (микрогеометрия), поверхности зерна и по радиусу закругления углов и выступов. Шлифование точных деталей высокой чистоты производят в две-три операции, после шлифования вводят процесс полирования, обработку гибкими абразивными кругами, связка которых содержит искусственную смолу, кругами с графитным наполнителем.

Процесс шлифования реализуется в малых поверхностных слоях обрабатываемого изделия. Он характерен высокими скоростями резания, большими удельными давлениями, динамическим приложением нагрузки. Все это обуславливает высокие тепловые нагрузки, значительное развитие пластической деформации и работы трения. Последнее — основной источник тепла, выделяемого при шлифовании, деформация стружки и изделия сопровождается незначительным его выделением. Нагрев поверхности изделия при шлифовании колеблется между 300—400°C, достигая

на отдельных участках 1000—2000°С. Количество тепла, выделяемое при рассматриваемом процессе, возрастает с повышением твердости шлифовального круга и изделия. Для скорости камня 20 м/сек и длины отрезка пути 1 мм время нагрева до температуры 1000° С составит $5 \cdot 10^{-5}$ сек. Наличие высокотемпературных очагов приводит к нагреву всего поверхностного слоя. Усилия резания при, шлифовании самые высокие среди всех методов механической обработки, они колеблются между 1,40 и 14,00 кН/см². Объемное изменение нагретого при шлифовании поверхностного слоя и переход за пределы пластичности при сохранении постоянного объема остальной массы металла является причиной изменения структуры, появления ожогов, разрывов и трещин.

В результате обработки прямолинейных направляющих базовых деталей станков абразивным инструментом получают более высокую точность герметической формы и чистоту поверхностей, чем после обработки металлическим инструментом. На некоторых моделях серийно выпускаемых станков достигается точность геометрической формы до долей микрона, а чистота отработанной поверхности $\sqrt[0,08]{}$. В опытном станке для шлифования шеек шпинделей форма шейки была выдержана с точностью порядка десятых и даже сотых долей микрона. На плоскошлифовальных станках особо высокой точности достигается плоскостность и параллельность поверхностей обрабатываемых деталей в пределах 2—2,5 мкм. Отклонение от прямолинейности направляющей на длине 10 м не превосходит 50 мк, а в поперечном направлении 20 мк. Конусность и овальность цапф шпинделей токарно-винторезных станков диаметром 62 и длиной 115 мм допускается до 1 мкм, а фактически составляет 0,3—0,6 мкм. По М. О. Якобсону, шероховатость поверхности при этом не превосходит величины $Rz = 0,2$ мкм. В шлифованных зубчатых колесах средних размеров металлорежущих станков ошибки основного шага находятся в пределах 4 мкм, профиля ± 3 мкм, разность

соседних шагов не превышает 3—5 мкм, а накопленная ошибка окружного шага 10—20 мкм.

При обработке валов на круглошлифовальных станках продольной подачей без выключения подачи на глубину наблюдаются упругие отжимы узлов станка и заготовки, искажение формы обрабатываемой поверхности. Возникновение упругих отжатий станка при шлифовании жестких валов поперечной подачей круга приводит к образованию конической поверхности. Это нарушение формы начинает уменьшаться с выключением подачи вследствие упругого восстановления системы, и к концу обработки практически образуется цилиндрическая поверхность. Шлифование гибкими абразивными кругами способствует увеличению продольной дуги контакта с изделием. При обработке волнистой поверхности перекрывается минимум два смежных гребня и происходит их интенсивное срезание (рис. 2.1, а). При большом шаге (15—50 мм) и высоте (15—20 мкм) гранность гибким кругом почти не исправляется, круг огибает гранность и воспроизводит ее форму. Обработка кругами с графитовым наполнителем характерна малой размерной стойкостью, высокой температурой в зоне резания, обуславливающей возникновение структурных изменений в поверхностных слоях обрабатываемой детали. Процесс не позволяет существенно уменьшить величину волнистости, некруглости, огранки. Взаимодействие колебаний, исходящих при шлифовании из нескольких источников, выражается результирующим колебанием системы с частотой преобладающего источника. Колебания технологической системы происходят не в плоскости, а в пространстве и в сочетании с вращательным движением изделия приводят к образованию волнистости разных видов. С повышением жесткости системы СПИД колебания приобретают большую частоту, величина амплитуды снижается, а волнистость уменьшается. Волнистость шлифованной поверхности

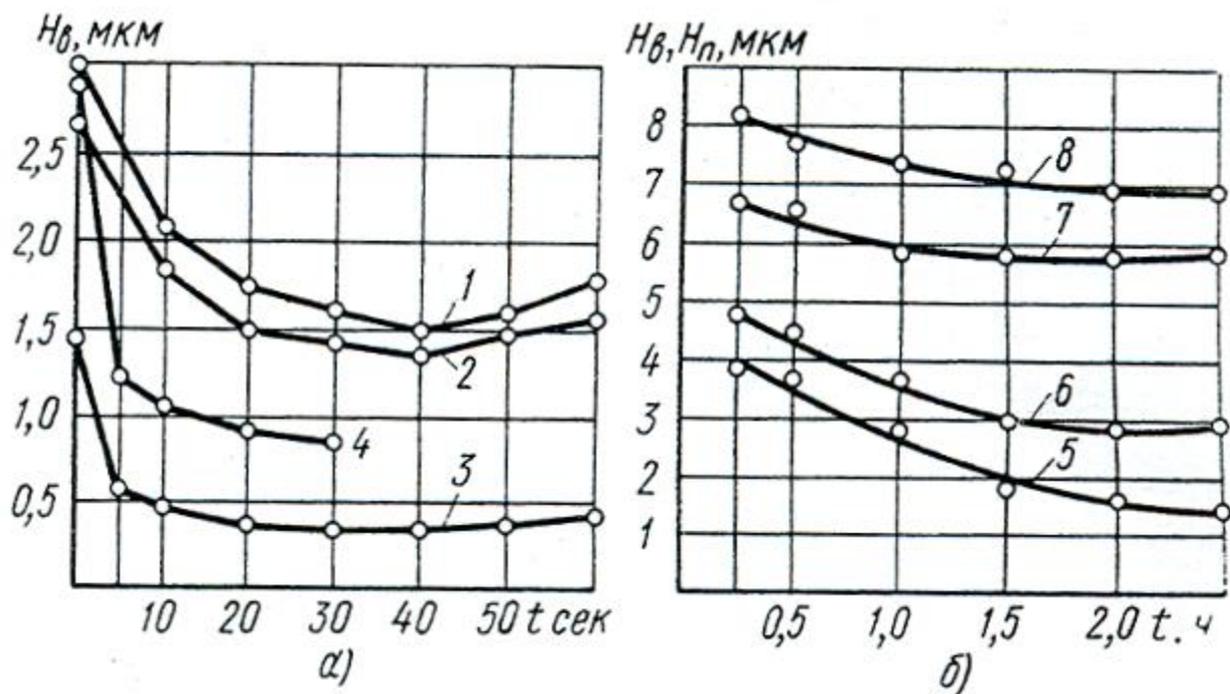


Рис. 2.1. Макрогеометрия шлифованной поверхности в зависимости от методов и длительности обработки: а — волнистость H_b ; б — волнистость H_b и суммарные пространственные отклонения H_n ; 1 и 2 — шлифование гибким кругом соответственно при $v_{кр} = 22,5$ и 25 м/сек; 3 — полирование после шлифования гибким кругом; 4 — полирование после обычного шлифования; 5 и 6 — волнистость при $v_{кр} = 42$ и 25 м/сек; 7 и 8 — пространственные отклонения при $v_{кр} = 42$ и 25 м/сек

уменьшается с увеличением числа оборотов изделия за рабочий цикл, так как при этом возрастает кратность смещения гребней волн. Интерференция волн эффективно проявляется в период выхаживания, т. е. в период окончания шлифования, когда заканчивается процесс формообразования поверхности. Процесс выхаживания снижает также величину овальности (рис. 2.2, а) отверстий (модальное значение $3,5$ мкм вместо $5,5$ мкм при отсутствии выхаживания) и неперпендикулярности образующей (рис. 2.3, б) шлифованного отверстия к торцу кольца (модальные значения 3 и $4,5$ мкм). При внутреннем шлифовании волна является огибающей семейства окружностей, образующихся в результате

различного взаимного положения круга относительно поверхности движущегося изделия. Поэтому объемность шлифовального круга влияет на высоту волны при внутреннем шлифовании и почти не влияет при наружном круглом шлифовании, когда длина контакта круга с изделием значительно короче. Увеличение скорости вращения кругов больших диаметров часто приводит к росту волнистости, здесь сказывается дисбаланс абразивного инструмента. На величину волнистости влияет и тепловой режим (см. рис. 2.1, б) СПИД; стабилизация его приводит (через 1—1,5 ч работы) к повышению жесткости станка и снижению волнистости поверхности.

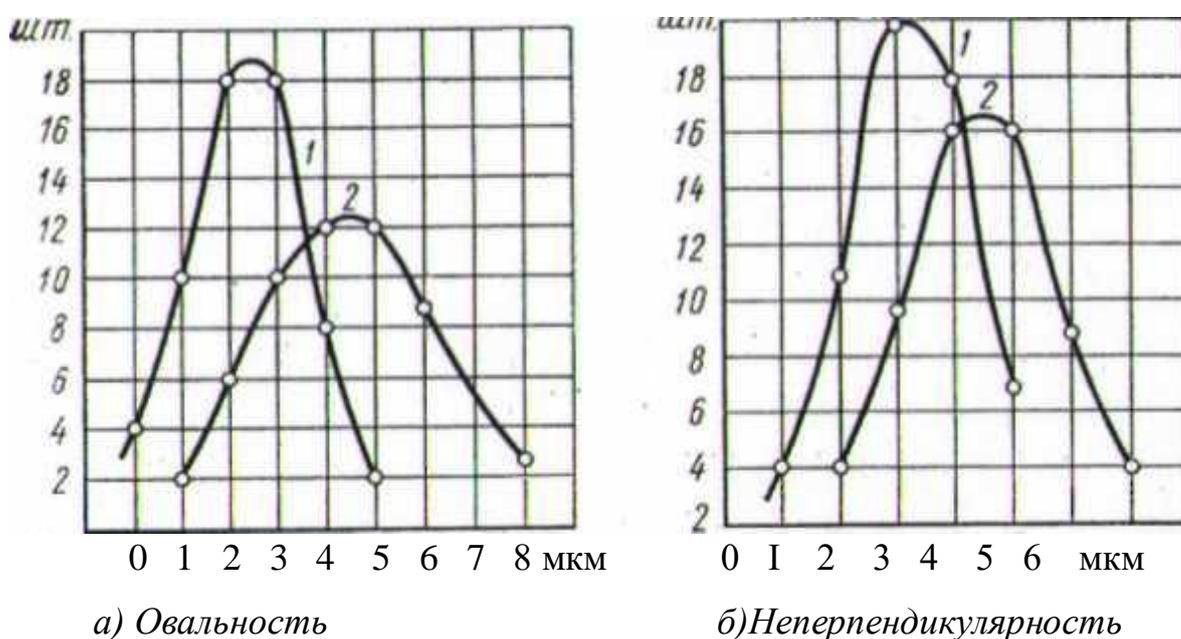


Рис. 2.2. Зависимость от цикла шлифования:

а — величины овальности; б — величины неперпендикулярности;

1 — шлифование с выхаживанием; 2 — без выхаживания

Суммарная величина погрешности обработки при наружном бесцентровом шлифовании методом сквозной подачи зависит от жесткости станка, величины размерного износа шлифующего круга, погрешности установки опорного ножа и направляющих призм, от погрешности

установки кругов на размер, а также от режимов резания. Погрешность формы в поперечных сечениях выражается в виде огранки, овальности, а в продольном направлении — бочкообразностью или седлообразностью, состоящей из ряда элементарных конусов; огибающая последних выражается кривой второго порядка.

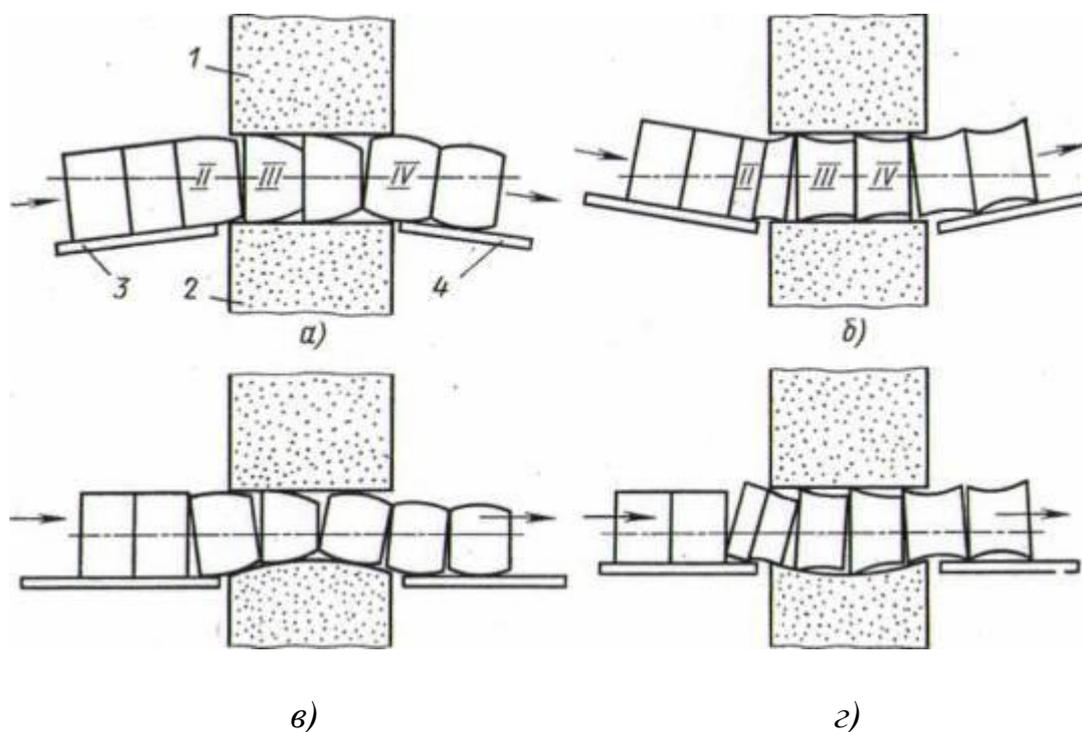


Рис. 2.3. Схема влияния на макрогеометрию детали установки щечек и заправки ведущего абразивного круга:
1 — шлифующий круг; 2 — ведущий; 3 и 4 — направляющие щечки

Искажение формы в продольном направлении — обычно следствие неправильного положения щечек и ножа. При смещении первых в стороны ведущего круга (рис. 2.3, а) детали приобретают выпуклую образующую: они закругляются на входной стороне (положения II и III), а затем на выходной (положение IV). Смещение щечек в сторону шлифующего круга (рис. 2.3, б) вызывает образование вогнутой образующей. Аналогичные погрешности, но менее резко выраженные, возникают при правильном положении щечек при выпуклой контактной линии ведущего круга (рис. 2.3, в) или вогнутой (рис. 2.3, г), а также при нарушении правильного

положения ножа в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Овальность устраняется при бесцентровом шлифовании, если центр детали находится на центральной линии кругов, т. е. когда превышение h центра детали над этой линией равно или близко к нулю. Увеличение h положительно сказывается на выводе гранности; значение h нужно выбирать, сообразуясь с минимальной величиной этих двух искажений. При шлифовании сырой и закаленной стали с постоянным углом наклона направляющих призм по мере увеличения глубины резания, подачи и окружной скорости возрастает величина получаемой огранки, уменьшается бочкообразность и седлообразность в продольном сечении. С увеличением глубины резания, продольной подачи и окружной скорости детали величина огранки возрастает в результате приращения окружного проскальзывания обрабатываемой детали в зоне шлифования, а бочкообразность или седлообразность уменьшаются вследствие возникновения больших радиальных усилий и отжатий кругов.

При шлифовании деталей непрерывным потоком огранка и бочкообразность или седлообразность могут образоваться одновременно. При одиночном способе шлифования в продольном направлении одновременно может возникнуть и конусность и бочкообразность. Так, при смещении входных направляющих призм у заготовки срезается передний конец и образуется «полубочка», а по мере выхода детали из зоны шлифования при сходе с кругов у заготовки образуется конусность. Погрешность формы определяется суммированием величины огранки в наибольших сечениях по длине детали и наибольшей величины бочкообразности, седлообразности или конусности.

Хонингование применяют для обработки внутренних и наружных цилиндрических и конических поверхностей, а также плоскостей. Хонинг допускает обработку изделий диаметром от 6—7 мм до 1 м и более и длиной в несколько метров. Нагрев поверхности при обработке находится в пределах 35—150° С. Глубина прогреваемого и деформированного слоя

металла составляет от 2 до 25 мкм. Увеличение съема металла в процессе хонингования при сообщении бруску, двигающемуся по винтовой линии, дополнительных колебательных движений вдоль образующей детали объясняется интенсификацией процесса самозатачивания' бруска под воздействием динамических нагрузок на брусок в перпендикулярном оси детали направлении. Скорость вращения детали и амплитуды колебания бруска определяют угол сетки царапин, образующихся на обрабатываемой поверхности. С возрастанием скорости вращения детали и уменьшением амплитуды колебаний угол между царапинами уменьшается. Увеличение скорости вращения детали и скорости колебательного движения бруска при сохранении их соотношения повышает съем металла, не увеличивая шероховатости, создаваемой брусками.

В зависимости от применяемой конструкции хонинг-головки (самоустанавливающаяся, самоцентрирующаяся, жестко закрепленный хонинг-шпиндель) можно частично или полностью исправлять овальность и конусность, оставшуюся от предшествующих операций. Степень исправления некруглости зависит и от режущей способности абразивных брусков. На устранение овальности тонкостенных цилиндров типа гильз тракторных дизелей при прочих равных условиях влияет длительность обработки, число абразивных брусков, их режущая способность, жесткость изделия. Для исправления конусности и получения правильного цилиндрического отверстия уменьшают длину абразивных брусков; при этом повышается равномерность износа брусков и съема припуска по длине отверстия. При хонинговании коротких отверстий жесткими хонами их точность в значительной степени зависит от применяемой длины абразивных брусков. При большой длине брусков затрудняется исправление в продольном направлении погрешностей формы отверстия, возникающих при предшествующей обработке. В зависимости от требований, предъявляемых к точности формы отверстия, назначают длину брусков от $\frac{1}{3}$ до 3A длины обрабатываемого отверстия. Увеличение

ширины и количества брусков ограничивается уменьшением жесткости головки и, следовательно, понижением способности инструмента исправлять погрешность формы отверстия. Перебег на сторону принимают в пределах 0,25—0,35 длины бруска; при большей длине перебега получается выпуклая, а при меньшей длине — вогнутая образующая обрабатываемого отверстия. Цилиндры диаметром 10—50 мм могут быть обработаны хонингованием с точностью 1,5—8 мкм, а цилиндры диаметром от 50 до 1000 мм — с точностью 8—25 мкм. Меньшая точность достигается при однократном, большая — при последовательном хонинговании.

Наружные цилиндрические поверхности диаметром до 125 мм и длиной до 2,5 м можно обработать с точностью (конусность, овальность) 2,5—5 мкм. Применением приспособления с «плавающим» креплением изделия и жестко закрепленным хоним обеспечивается перпендикулярность оси изделия к его торцам. Для устранения несимметричной деформации при зажиме тонкостенных гильз с торцов (деформация иногда превышает величину допускаемого чертежом отклонения формы) рекомендуется применять гидравлическое или пневматическое устройство. Оно оснащено резиновой манжетой, которая охватывает гильзу по всей ее высоте. Корректировку диаметра изделия на величину упругой деформации δ_y определяют по формуле $\delta_y = qD^2 / 4Ea$, где D и a — диаметр и толщина стенки гильзы, q — давление в системе зажимного устройства.

Суперфиниш — процесс двух-, трехстадийный. В первой, или в двух первых стадиях, удаляют микронеровности поверхности детали, появившиеся при предшествующих операциях, а в завершающей стадии — неровности, созданные абразивными брусками в первой или первых стадиях рассматриваемого процесса. Требуемую геометрическую форму и точность изделия необходимо получить предыдущей обработкой, оставляя припуск на отделку стали 2—5 мкм и алюминия 20—25 мкм.

Неглубокие штрихи (следы вибрации инструмента предшествующей операции) идущие в круговом направлении, суперфиниш устраняет. Однако малый съем металла (2—6 мкм) и незначительное удельное давление не позволяют удалять с поверхности дефектные слои металла, возникающие при шлифовании.

Обработка поверхностей, имеющих волнистость, корсетность, бочкообразность или другие отклонения от правильной геометрической формы, затруднена. Если величина этих макронеровностей больше величины припуска, который может быть удален при суперфинише, то чистота поверхности улучшается лишь на вершинах указанных неровностей, а во впадинах исходная шероховатость останется нетронутой. Так, при врезном шлифовании шеек коленчатых валов автомобилей на Московском автозаводе имени Лихачева высота волнистости составляла 10—30 мкм. При суперфинише этих шеек прекращение резания, по данным Н. И. Городецкого, наступало после удаления припуска в 5 мкм, дальнейшая обработка производилась абразивным полотном.

Ограниченность перемещения абразива в осевом направлении и наличие между бруском и деталью промежуточного слоя шлама препятствуют получению стабильной чистоты поверхности при разной исходной шероховатости. Для уменьшения макрогеометрических погрешностей детали необходимо, как указывалось, чтобы величина снимаемого слоя металла превышала погрешности формы, допущенные предшествующими операциями, и чтобы абразивный брусок не самоустанавливался, а был жестко закреплен и перемещался параллельно оси обрабатываемой детали. При этих условиях конусность, бочкообразность, вогнутость и овальность уменьшаются в среднем на 50% от первоначальной их величины; высокая чистота обрабатываемой поверхности сохраняется. Применение синтетических алмазов расширило технологические возможности суперфиниша.

При обработке пальцев ($d = 40, l = 69 \text{ мм}$) прицепного шатуна (сталь 20ХНЗА $HRC \geq 58$) трактора ДЭТ-250 в три перехода (черновой, получистовой, чистовой) удалялось на диаметр 15—17 мкм металла, некруглость (рис. 2.4, а) и конусность (рис. 2.4, б) не превышали 1 мкм. Обработка шлифованием цементованных поршневых пальцев ($d = 28, l = 78 \text{ мм}$) из стали 20Г $HRC \geq 58$, тракторных (Т-100М) позволила получить 8-й класс чистоты поверхности. Алмазное суперфиниширование повысило чистоту поверхности до $\nabla 9$ и снизило суммарные отклонения от геометрической формы до 2 мкм. (рис. 2.4, в). Применение рассматриваемой операции при обработке коренных и шатунных шеек коленчатых валов (сталь 45Г2 $HRC \geq 48$) двигателя Д-108 позволило осуществить съём 7—12 мкм металла, обеспечить 86 класс чистоты поверхности. Однако геометрическая форма шеек в результате этой операции не улучшилась [14].

Создание ряда модификаций этого нового процесса чистовой обработки позволило расширить технологические возможности операций доводки. Абразивному бруску сообщают колебательное движение по траектории, не совпадающей [24] с образующей вращающейся детали. Перемещение бруска может быть осуществлено движением по прямо- или криволинейной траектории, а также сложением двух или нескольких коле

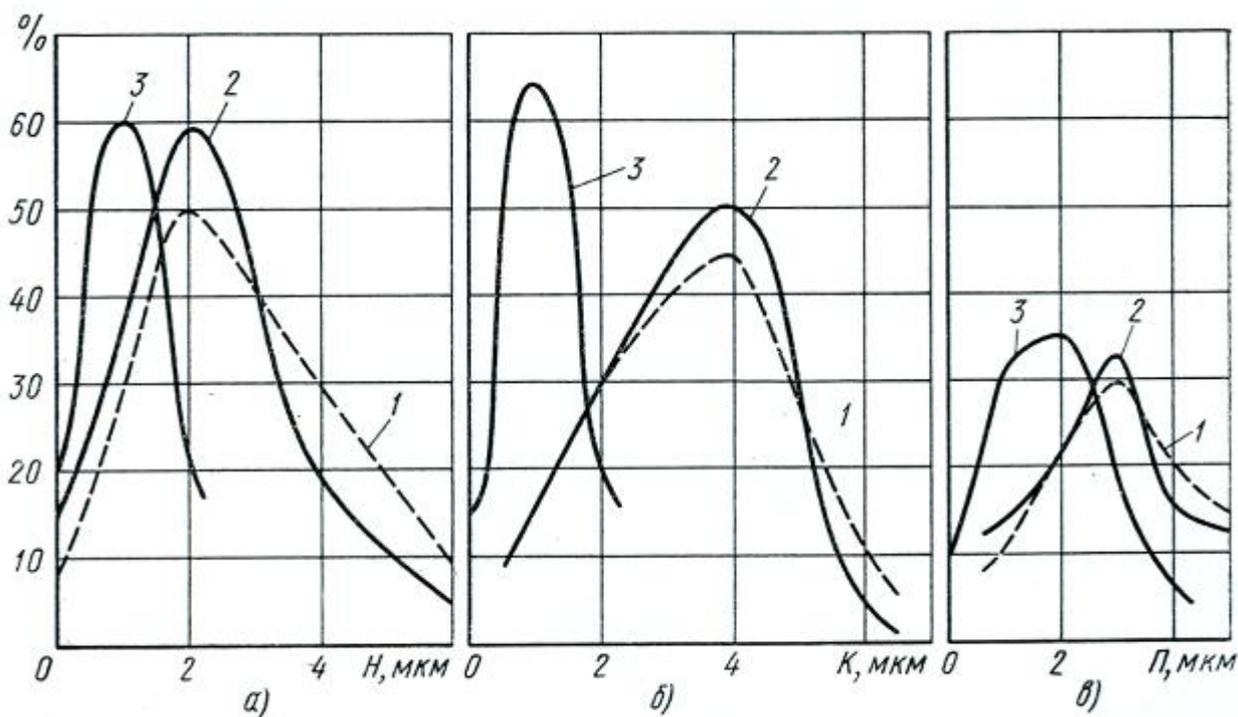


Рис. 2.4. Распределение после шлифования (1), абразивного суперфиниширования (2) и алмазного суперфиниширования (3): а - пальцев прицепного шатуна по некруглости H ; б - то же по конусности K ; в - поршневых пальцев по суммарным пространственным отклонениям

Π бательных (возвратно-поступательных) движений. Особенности кинематики процесса и формы рабочей поверхности абразивного бруска обеспечивают осуществление микродоводки в две стадии. В первой происходит непрерывное резание и самозатачивание зерен, расположенных на рабочих поверхностях абразива; снижается исходная шероховатость, волнистость (рис. 2.5), огранка, овальность, конусность. Во второй стадии сьем металла прекращается, шероховатость поверхности уменьшается вплоть до V14, несколько снижаются макронеровности, образовавшиеся в первой стадии процесса.

Продольная и поперечная волнистость поверхности уменьшается в первой стадии обработки при соударении с изделием боковых граней рабочей поверхности бруска. При этом на последней образуются неровности, которые формируют на поверхности изделия

новую волнистость; снижение ее достигается введением возвратно-поступательного движения абразивного инструмента вдоль образующей изделия. Во второй стадии процесса боковые грани бруска в работе не участвуют и дальнейшее уменьшение волнистости производится зернами плоской площадки (при обработке наружных поверхностей или площадки, образованной в зоне боковых граней (при обработке отверстий)).

Продольная волнистость уменьшается при микродоводке: коленчатых валов с 4 до 0,8 *мкм*, конической поверхности веретен с 10—12 до 2 *мкм*, отверстий с 36 до 2 *мкм*, колец роликоподшипников с 1,8 до 0,3 *мкм*. При обработке отверстий в изделиях из *ХВГ(НРС 58—60)* поперечная волнистость снижается с 5 до 0,1 *мкм*, а беговой дорожки внутреннего кольца (рис. 2.6, в) роликоподшипника — с 3 до 0,25 *мкм*.

Гранность удаляют также как и поперечную волнистость. Уменьшению величины гранности способствует больший угол охвата изделия бруском, а также увеличение в определенных пределах окружной скорости. При микродоводке шатунных шеек коленчатых валов компрессоров гранность снижается с 0,9 до 0,3 *мкм*, при доводке цилиндрических отверстий с 1,5 до 0,3 *мкм*, точных конических отверстий с 0,36 до 0,2 *мкм*, а дорожек качения колец подшипников с 3,7 до 0,5 *мкм* (рис. 2.6, в).

Овальность снижается при микродоводке под динамическим воздействием абразивных зерен рабочей поверхности бруска. При окружной скорости изделия 70 и 140 *м/мин* исходная овальность вала 8 *мкм* уменьшается соответственно до 6 и 4 *мкм*. При микродоводке цилиндрического отверстия в течение 25 *сек* овальность его уменьшается с 7,5 до 3,2 *мкм*, а конического отверстия — с 2,84 до 1,72 *мкм*. На 10 ГПЗ после косоугольной микродоводки была определена овальность 200 внутренних колец роликоподшипников № 2310, а после угловой доводки 200 наружных

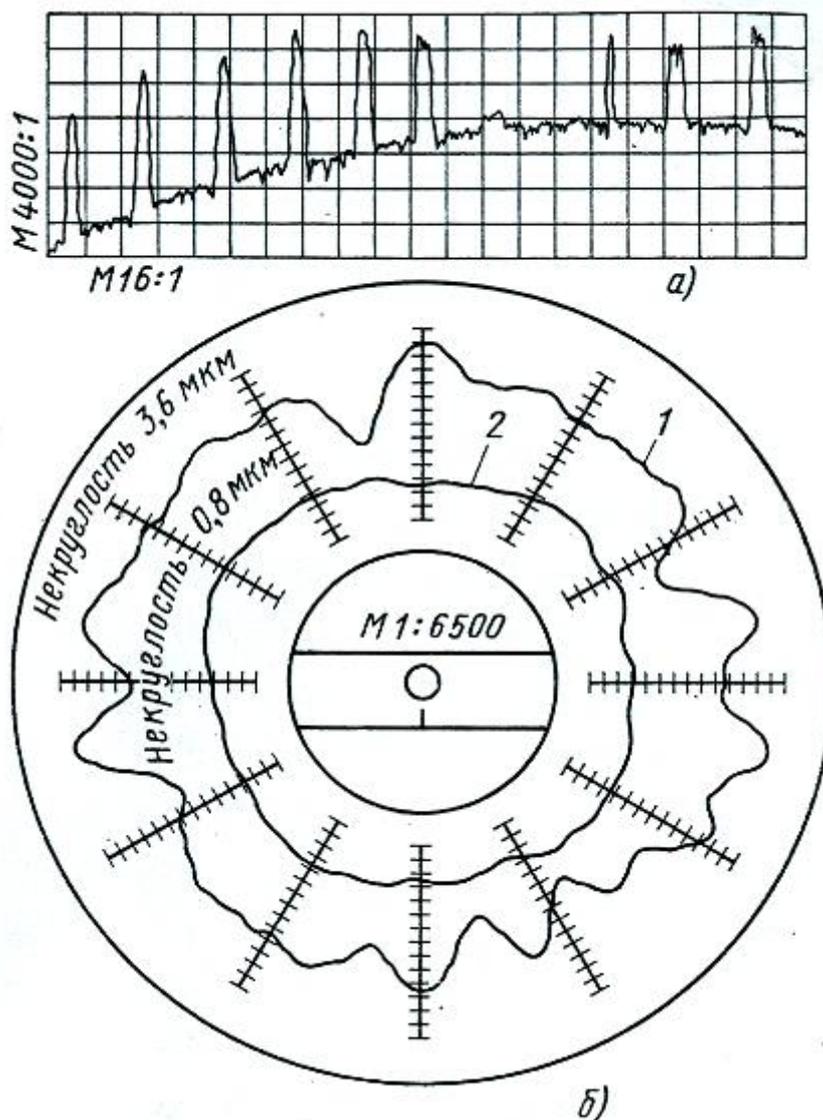


Рис.2.5. Профилограммы поверхностей: а-волнистость (увеличение горизонтальное, $\times 8$, вертикальное, $\times 2000$); б-некруглость; 1-до и 2-после микродоводки

колец. Доводка колец производилась абразивными брусками Э9М20С₂К при 3000 кол/мин, прижатыми к обрабатываемой поверхности усилием 8,5 кГ/см (для внутренних колец) и 6,5 кГ/см (для наружных). Угол наклона бруска к образующей детали при обработке внутренних колец составлял 15°, ход в первой стадии 2, а во второй 1,2 мм, окружная скорость 160 м/мин; возвратно-поступательное перемещение вдоль детали осуществлялось столом модернизированного станка модели ЗА227 на 0,5 мм с частотой 100 кол/мин. Доводка наружных колец производилась при окружной скорости 180 м/мин;

величина хода колебательного движения в первой и второй стадиях вдоль оси

оси

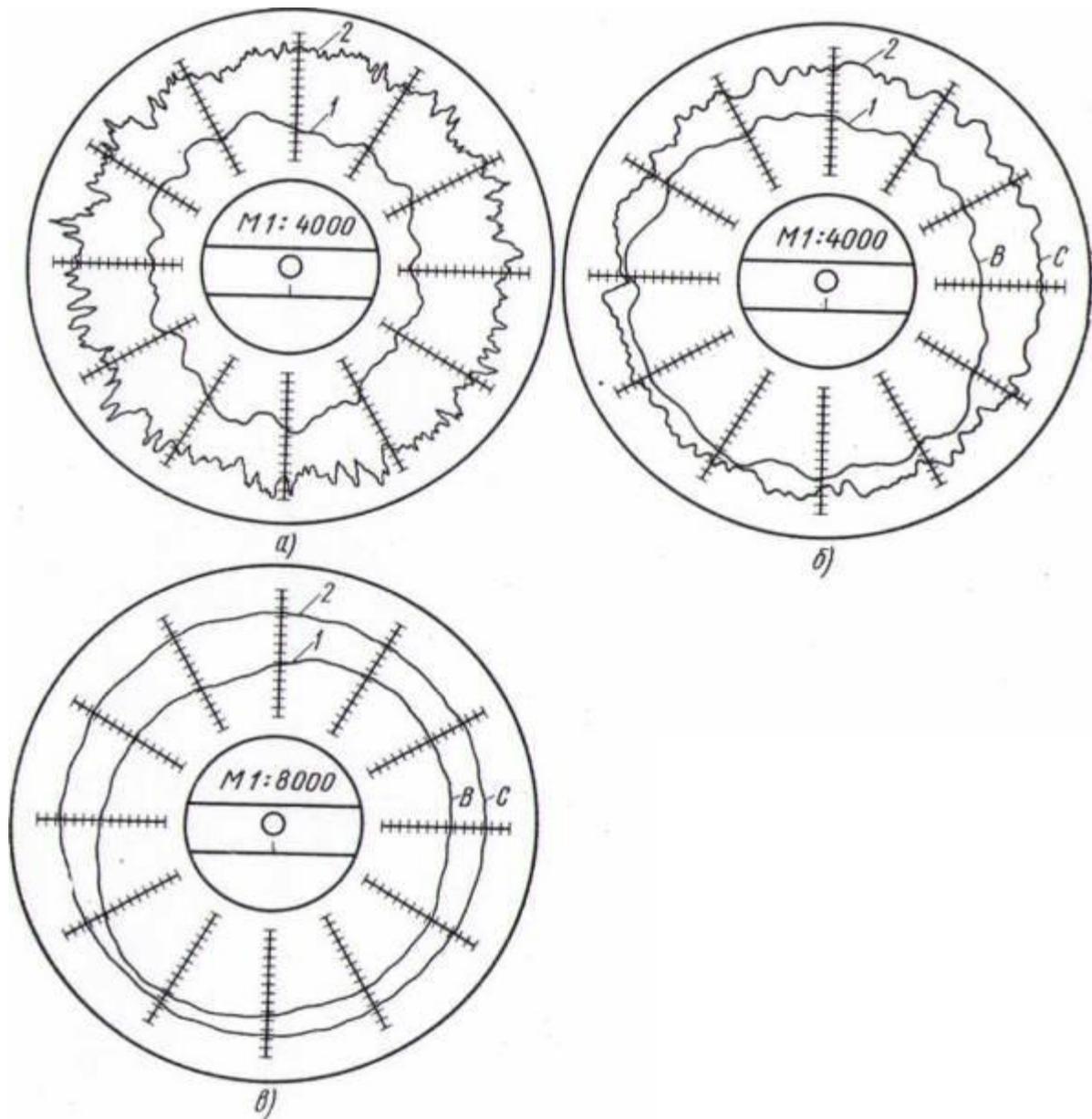


Рис. 2.6. Профилограммы поверхностей качения внутренних колец роликоподшипников 2310 после обработки: а — чистовым шлифованием; б - чистовым шлифованием и доводкой графитовым кругом; в — чистовым шлифованием и микродоводкой. 1 — гранность соответственно: 3,7; 1,6 и 0,5 мкм; 2 — волнистость: 3; 2 и 0,25 мкм

детали равнялась 3 и 2,3 мм, вокруг центральной оси 8 и 5,5°, а возвратно-поступательное перемещение абразивного бруска вдоль оси кольца составляло 0,5 мм. Средняя величина овальности после микродоводки

внутренних колец составила 3,62 мкм при исходной 6,74 мкм, а наружных колец 4,6 мкм при исходной 7,5 мкм. Таким образом, овальность части внутренних колец была ниже овальности, допускаемой для подшипников класса Н (6 мкм) и не превышала величину этого отклонения, допускаемого для класса В (4 мкм). После шлифования наружных колец овальность не превышала предельные значения для класса Н (12 мкм), а после микродоводки — для класса А (6 мкм).

Конусность в процессе микродоводки может быть уменьшена перераспределением удельного давления по длине бруска и достигается смещением его относительно оси качания в держателе. Вершину конусности обрабатываемых деталей ориентируют в одну сторону, а центр качания бруска смещают в сторону, где необходимо осуществить больший съем металла. При этом конусность с 4,5 мкм снижается до 0,5—1,0 мкм. Такая конусность соответствует нормам на изготовление подшипников качения класса А. При микродоводке отверстий партии деталей конусность в среднем была уменьшена с 4,4 мкм до 2,82 мкм. Измерения беговых дорожек подшипников качения показали среднюю величину конусности для внутренних колец после шлифования 3,24 мкм, после микродоводки 1,72 мкм, а для наружных колец соответственно 4,22 и 2,94 мкм.

Преднамеренные искажения геометрической формы деталей машин часто способствуют повышению их надежности и долговечности. Так, дорожкам качения колец роликоподшипников придают в поперечном сечении выпуклую форму, которая снижает вредные влияния перекосов и других неточностей узла. Величина выпуклости зависит от размеров подшипников, ожидаемых усилий, неточности монтажа и находится в пределах от нуля до нескольких микрон. Для роликовых подшипников № 2310 класса Н выпуклость задается в пределах до 6 мкм. Изменением рабочей поверхности абразивного инструмента можно формировать

заданные искажения. Для получения на кольцах указанной выпуклости в центральной части рабочей поверхности абразивного бруска выполняли паз под углом к его оси симметрии, а также корректировали ход колебательного и возвратно-поступательного движения. Замерами было установлено, что достигнутая выпуклость составляла в среднем 2,6 мкм на наружных и 3,5 мкм на внутренних кольцах; максимальное значение выпуклости не превышало 4,5 мкм. Данные об изменении формы и размеров деталей при термической обработке приведены в работе.

2.5. Выводы по главе

1. В результате обработки детали на горизонтально-фрезерном станке фрезой, ширина которой шире детали, поверхность окажется наклоненной под некоторым углом к базовой поверхности. Если ширина фрезы значительно меньше ширины детали, обработанная поверхность опишется кривой. Отжатия суппорта и ползуна приводят к искажению поверхности, обработанной на долбежном станке. Поверхность детали после расточки на револьверном станке криволинейна вследствие отжатия инструмента.

2. Поверхностный слой заготовок при механической обработке подвергается механическому разрушению; происходит отделение стружки от обрабатываемого тела; пластически деформируется поверхность изделия и стружки; тепло по-разному распределяется между стружкой, резцом и обрабатываемой заготовкой.

3. Основными факторами, влияющими на точность обработанной детали, являются вид обработки, точность и жесткость СПИД — станка, приспособления, заготовки и инструмента; в некоторых случаях превалирует один из этих факторов. В зависимости от типа станка и погрешностей, допущенных при его изготовлении, возникают погрешности геометрической формы и размеров обрабатываемой на нем детали.

4. Для получения цилиндрического отверстия должны быть обеспечены точность номинального диаметра и его постоянство в любом поперечном сечении (отсутствие конусности), отсутствие отклонений от круглой формы (овалов и граненности) и прямолинейность оси.

5. При обработке валов на круглошлифовальных станках продольной подачей без выключения подачи на глубину наблюдаются упругие отжимы узлов станка и заготовки, искажение формы обрабатываемой поверхности. Возникновение упругих отжатий станка при шлифовании жестких валов поперечной подачей круга приводит к образованию конической поверхности.

6. Обработка поверхностей, имеющих волнистость, корсетность, бочкообразность или другие отклонения от правильной геометрической формы, затруднена. Если величина этих макронеровностей больше величины припуска, который может быть удален при суперфинише, то чистота поверхности улучшается лишь на вершинах указанных неровностей, а во впадинах исходная шероховатость останется нетронутой.

Глава 3. Погрешности механизмов

3.1. Исследование процесса монтажа машин

Машины состоят из сопрягаемых деталей, их изготовление завершается одним из наиболее ответственных и трудоемких процессов производства — сборкой. При серийном изготовлении автомобилей, тракторов, комбайнов, экскаваторов и других машин 20—25% общей трудоемкости приходится на сборку и 50—60% при их капитальном ремонте на разборку и сборку. С повышением точности механизма трудоемкость сборки его резко возрастает. Так, трудовые затраты на сборку металлорежущего станка нормальной и особо высокой точности относятся как 1:10.

На качество сборочных процессов влияют как размеры, так и пространственные погрешности отделочных деталей, узлов и механизмов. Точность относительных поворотов и других перемещений исполнительных поверхностей, расстояний между ними, совершенство их геометрических форм — требования, которые в общем виде относятся к узлам и деталям всех машин при всем их разнообразии и чрезвычайно широком отличии служебного назначения. Точность формы деталей и взаимного расположения их поверхностей и осей наиболее полно выявляется в процессе сборки, так как искажения, относящиеся к трем измерениям и достигающие лишь сотых долей миллиметра, визуально не улавливаются и труднее поддаются определению измерительным инструментом, нежели линейные величины. Суммарную погрешность сопряжения или механизма нельзя рассматривать как сумму погрешностей их составляющих. Так, для втулки и вала, взятых отдельно, достаточна геометрическая мера точности, а при их сопряжении возникают оценки зазоров (которые, в свою очередь, в состоянии движения переменны), износов, натягов, изменяющихся по сложным законам. При изучении деформации гильзы цилиндра в процессе сборки двигателя недостаточно исследовать изменения ее макрогеометрии, необходимо выявить и

пространственные искажения элементов блока и головки блока, поведение прокладки и колец, уплотняющих газовый и жидкостный стык. Только комплексное исследование сопряженных деталей представляет возможность установить закономерности влияния особенностей конструкции, схемы нагружения, технологии изготовления, случайных факторов.

Точность сборки машины определяется неизменным взаимным расположением поверхностей трения и стыковых поверхностей относительно сборочных баз. Последними называют совокупность поверхностей, линий или точек детали, которые определяют ее положение в узле или изделии. Постоянство контакта поверхностей должно обеспечиваться конструкцией, которая позволила бы прилагать силы и моменты для силового замыкания сопрягаемых деталей. Поэтому для обеспечения заданного положения детали при сборке часто подвергаются значительным нагрузкам, в местах соединений и переходных сечениях создаются сложные напряженные состояния, характеризующиеся неоднородным распределением напряжений, а следовательно, и деформацией.

Деформации деталей и узлов, возникающие при сборке, могут быть условно разделены на вредные (искажение формы и перекосы при запрессовке деталей, затяжке резьбовых соединений, сварке, отклонения от прямолинейности при неточном базировании) и полезные, преднамеренно создаваемые (развальцовка, растяжение болтов, шпилек при затяжке и др.). Многоосность и неоднородность напряженного состояния возникают вследствие особенностей формы детали даже при линейно приложенной внешней нагрузке. Так, сложное напряженное состояние возникает в болте, работающем на растяжение, в месте перехода цилиндрической части в головку; в стержнях, имеющих начальную кривизну и неравномерное распределение материала по сечению, и во многих других деталях.

Способность машины, узла, сочленения сопротивляться упругим перемещениям, т. е. жесткость машины, в значительной степени определяется процессом сборки. Как уже указывалось, под воздействием сил и моментов при сборке могут нарушаться заданные взаимоположения деталей, происходить смещения и перекосы осей вследствие накопления линейных и угловых погрешностей во всей цепи размеров сопряжений, а также вследствие собственных деформаций деталей, включая корпусные и контактные деформации, образующиеся в стыках. Деформации деталей возникают под влиянием их собственного веса, усилий крепления, перераспределения внутренних напряжений. Контактные деформации — следствие смятия сопрягаемых поверхностей деталей и упругих деформаций поверхностных слоев материала. Искажения макрогеометрии деталей и взаимного расположения их поверхностей приводят к отклонениям от расчетных траекторий движения механизма. Этому способствует характерный для любых сопряжений и деталей упругий мертвый ход, проявляющийся в отставании ведомой детали сопряжения при изменении направления движения ведущей его детали.

Упругий мертвый ход прямо пропорционален силе трения и обратно пропорционален жесткости сопрягаемых деталей. Так, при зубчатых передачах вследствие погрешностей, вызываемых мертвым ходом, перекоса осей, деформации зубчатых колес, ошибок шага возникают линейные и угловые отклонения от заданной траектории. Для металлорежущих станков жесткость — один из главных факторов, влияющих на их производительность, точность и чистоту обработки изделий. Чем меньше погрешности, допущенные при сборке всей цепи соединяющих и координирующих деталей, тем точнее относительные движения и положения исполнительных поверхностей машины, тем выше ее эксплуатационные свойства, работоспособность и долговечность.

Для обеспечения относительной неподвижности деталей при работе машины или свободы смещений и поворотов предусматриваются

неподвижные и подвижные сопряжения, которые характеризуются соответственно величиной натяга и зазора. В полных сопряжениях (например, вал — подшипник) условия сопряжения считаются неизменными в процессе работы машины, даже в случае изменения условий контакта. Неполные сопряжения являются переменными, и перемещение одной сопрягаемой детали происходит по другой детали. Таковыми являются сопряжения, образующие пары, в которых изменение условий сопряжения во времени меняет кинематику и динамику (кулачки, копиры). Выбор сопряжений не является чисто геометрической задачей, здесь сочетаются проблемы конструирования, теории массовых явлений, физики, технологии, металловедения, метрологии, теории смазки, теории машин и механизмов.

Следует различать погрешности сборки одиночного экземпляра от погрешности сборки группы машин, так как нельзя обеспечить строгую идентичность выпускаемой продукции. Так, по М. О. Якобсону, данные испытаний 50 карусельных станков мод. 1532, изготовленных в одинаковых производственных условиях, показали, что мощность их работы вхолостую колеблется в пределах от 12,5 до 25 *квт*. По Р. В. Кугелю значения моментов для провертывания коленчатого вала после сборки на конвейере перед обкаткой, измеренные у 260 автомобильных двигателей, колебались в пределах от 7 до 20 *кГм*, у 50% двигателей пределы' ограничивались 10—15 *кГм*. Эти отклонения возникают потому, что в каждой машине в некоторых пределах колеблются величины зазоров, неперпендикулярность и непараллельность осей, овальность, конусность, волнистость и шероховатость поверхностей; имеются отличия в структуре и твердости деталей, по-разному деформируются валы, цилиндры, корпусные и другие детали.

Изложенное показывает, что в процессе монтажа возникают значительные деформации деталей и узлов машин; этим отклонениям

подвержены и наиболее ответственные сочленения, определяющие срок службы и надежность машин и механизмов.

Более полное рассмотрение влияния сборки на искажение геометрической формы деталей и пространственные погрешности механизмов приводится ниже применительно к деталям цилиндрической группы д. в. с. и некоторым подшипникам качения.

3.2. Деформация цилиндров и сопряженных с ними деталей.

Увеличение срока службы и повышение качества работы д. в. с. было длительное время направлено лишь на улучшение качества смазочных масел, изыскание износостойких материалов, совершенствование фильтрации воздуха и топлива, повышение приспособляемости поршневых колец и т. п. Не учитывалось, что жесткость корпусных деталей влияет на надежность цилиндро-поршневой группы, сопряжений коленчатый вал — подшипники, уплотнения газового стыка и др. Повышенная податливость картера, головки, блока, подшипников, цилиндров под воздействием процессов сборки, тепловых и рабочих нагрузок может вызвать нарушение правильной работы распределительной системы и герметичности клапанов, прогорание прокладок, увеличение прорыва газов в картер, перерасход масла, рост износа деталей поршневой и кривошипно-шатунной групп и др.

Искажение макрогеометрии цилиндров наблюдается во всех двигателях. Специфика конструкции двигателя и схема передачи в нем усилий существенно влияют на численное

Деление существующих конструкций в зависимости от способа передачи картеру статических и динамических усилий в известной степени условно. При осуществлении первой или второй силовой схемы гильзы участвуют в передаче усилий, хотя они считаются свободными; при наличии сальникового резинового го уплотнения водяной полости

гильзы составляют как бы единое целое с рубашкой и работают в пределах некоторых нагрузок, как цилиндры в моноблоке. Конструкции блоков обычно ослаблены каналами для охлаждающей жидкости, отверстиями под штанги механизма газораспределения и др. Ослабленные участки верхней плиты между силовыми шпильками прогибаются под действием монтажных и других нагрузок.

Увеличение жесткости легких д. в. с. достигается при отливке цилиндров в моноблоке, полноопорной конструкции коленчатого вала, введении дополнительных ребер и стенок, в кольцевые утолщения которых устанавливаются гильзы цилиндров и вкладыши коренных подшипников. Так, например, для снижения деформации гильз при сборке и уменьшения их износа в процессе эксплуатации на четырехтактных дизелях ЯМЗ увеличены толщина гильз и жесткость опорного пояса. Деформация гильз может быть снижена введением ребер-опор на стенках блока в плоскости качения шатуна. Ребра снабжены канавками, которые после установки гильз в блок заполняются через сверление вязкотекучей быстротвердевающей массой, например пластмассой с добавкой отвердителя, которая болтами продавливается между ребром и гильзой. Принцип дополнительной опоры реализован и опробован в опытных образцах другого

Большинство деталей машин, механизмов, приборов имеют резьбу; кроме того, они оснащаются болтами, шпильками и другими резьбовыми деталями. От 25 До 40% трудоемкости сборки машин приходится на резьбовые соединения. В зависимости от условий эксплуатации машины к крепежу предъявляют следующие требования: высокий предел текучести, низкая чувствительность к концентрации напряжений, высокая жаропрочность и релаксационная стойкость, достаточная ударная вязкость, стабильность свойств при длительной эксплуатации, сопротивляемость задиранью, равный или близкий к материалу сопряженных элементов коэффициент линейного расширения.

Выносливость деталей крепежа определяется механическими свойствами материала, из которого он выполнен, конструкцией, термообработкой, методом изготовления резьбы и чистотой ее поверхности; сказывается также конструкция элементов соединения и масштабный фактор. Влияние формы резьбы характеризуется, главным образом, концентрацией нагрузки по виткам, а влияние изготовления — характером поля остаточных напряжений и упрочнением впадин резьбы. Коэффициент неравномерности k реактивных сил на первом рабочем витке резьбы при растяжении соединения зависит от конструктивных и технологических факторов; определяющими при одинаковом шаге резьбы являются: форма гайки и схема ее опирания (рис. 3.2), число работающих витков n ; относительная величина шага t резьбы $\frac{t}{d}$, где d , — наружный диаметр резьбы болта; чистота поверхности резьбы. Большие значения коэффициентов k , приведенные в табл.3.6, соответствуют резьбам с крупным шагом ($\frac{t}{d} \approx 0.1 \div 0.2$) и высокой чистотой поверхности [23].

Повышение усталостной прочности резьбовой детали достигается увеличением радиуса впадины резьбы r по отношению к шагу витка. Это учтено отечественными стандартами и новой системой резьб ИСО; последняя предусматривает $z = 0,16$, в самолето- и ракетостроении часто применяют $z = 0,232$ [26, 100]. Около половины всех разрушений резьбовых деталей происходит вследствие конструктивных недостатков, 25% по причинам несовершенства изготовления и 25% в результате неправильной эксплуатации машин.

Для обеспечения надежной работы стыков элементов машин резьбовые соединения подвергаются в процессе монтажа предварительной затяжке P_3

Таблица 3.1.

Значения коэффициента k для резьбовых соединений

Индекс по рис.3.19	Тип соединения	n	k
а	болт – гайка	6	1,45-1,95
		8	1,85-2,5
б	стяжка	6	1,1-1,25
		8	1,25-1,45
в	»	6	1,0-1,1
		8	1,05-1,15
г	»	6	1,0
		8	1,0

Правильно выбранная величина P_3 повышает работоспособность соединения. Так, при нагрузке болта от 0 до 4 T предварительная затяжка 0,6 T обеспечивает его работу в течение 6 тыс. циклов, последовательное увеличение P_3 до 2,5; 3 и 4 T сопровождается повышением работоспособности болта соответственно до 35 тыс., 215 тыс. и 5 млн. циклов; увеличение затяжки в 6—7 раз позволило повысить число циклов в 1000 раз [40]. Повышенные и заниженные значения P_3 могут вызвать нарушение нормальной работы узла, повышенные износы сопряжений, в некоторых случаях аварии. Затяжка резьбовых соединений в современном машиностроении должна выполняться

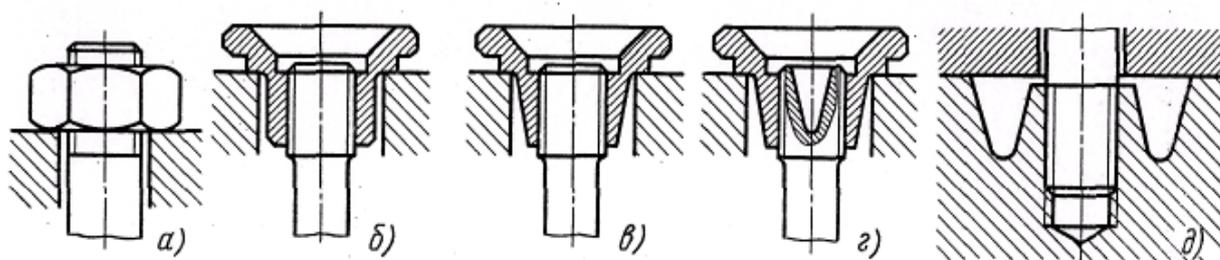


Рис. 3.1. Конструктивные схемы болта, стяжек, гаек и места ввинчивания шпильки с улучшенным распределением нагрузки по виткам резьбы

с заданным усилием. Для этой цели применяют тарированные ключи с измерителями момента, либо реже приборы, определяющие удлинение затягиваемой резьбовой детали. В обоих случаях затяжка производится с некоторой ошибкой; для тарированных ключей она обуславливается ошибками измерительного прибора и колебаниями величины σ как в резьбе, так и на торце гайки или головки болта. Для измерения удлинения болта требуются чувствительные приборы, доступ к обоим торцам резьбовой детали, их параллельность и плоскостность, либо дополнительные устройства; при измерении резьбовых деталей с длиной более 50 мм этот способ дает небольшую ошибку.

На величину предварительной затяжки резьбового соединения влияют состояние опорных поверхностей собираемых и крепежных деталей, точность резьбы, наличие перекосов, жесткость скрепляемых деталей. Ослаблению затяжки способствуют: пластические деформации деталей соединения; наличие поперечной нагрузки; радиальная деформация гайки под рабочей нагрузкой, возникновение относительных перемещений в контакте резьбы болта и гайки, снижающие самоторможение; шероховатость стыкующихся поверхностей; наличие в сопряжении деталей, изготовленных из материалов с повышенной ползучестью под нагрузкой. Под отказом резьбового соединения понимают разделение деталей или их взаимное движение, при котором нарушается заданная функция сопряжения. В циклически нагруженных соединениях винт (реже гайка) может разрушиться, может произойти самоотвинчивание гайки. Величина и необходимая степень стабильности P_3 зависит от функции крепления. В соединениях, где болты работают на срез (например, в металлоконструкциях), предварительная затяжка должна вызвать осевые напряжения, способные предотвратить самоотвинчивание. Выше должна быть затяжка во фрикционных соединениях для исключения влияния на резьбовые соединения изгибных обычно знакопеременных напряжений. Предварительная затяжка должна достигать или несколько

превышать предел пропорциональности материала крепящей детали, если соединение воспринимает внешнюю осевую силу.

3.3. Погрешности формы крепежных деталей

Погрешности формы деталей крепежа, перекосы опорных поверхностей головок, эксцентриситеты, поводки при термообработке и в процессе монтажа вызывают в них напряжения изгиба. Такие напряжения снижают жесткость соединения и повышают нагрузку, воспринимаемую крепежом. Так, для болтов с пределом прочности 110 и 150 кг/мм² при перекосе опорной поверхности на 1° число циклов до разрушения уменьшается соответственно на 58 и 79%, а при перекосе на 30' — на 19—48%. Остаточные контактные деформации зависят от чистоты обработки сопрягаемых поверхностей элементов. При нагрузках, нормальных плоскости стыка, эти деформации следует принимать 2* мкм для поверхностей с шероховатостью 4 мкм для шероховатостей, а при поперечных нагрузках соответственно 4 и 8 мкм. На возрастание усталостной прочности с повышением чистоты обработки поверхностей резьбы указывают в своих работах П. А. Павлов и А. У. Бугров. Вместе с тем в болтовых соединениях

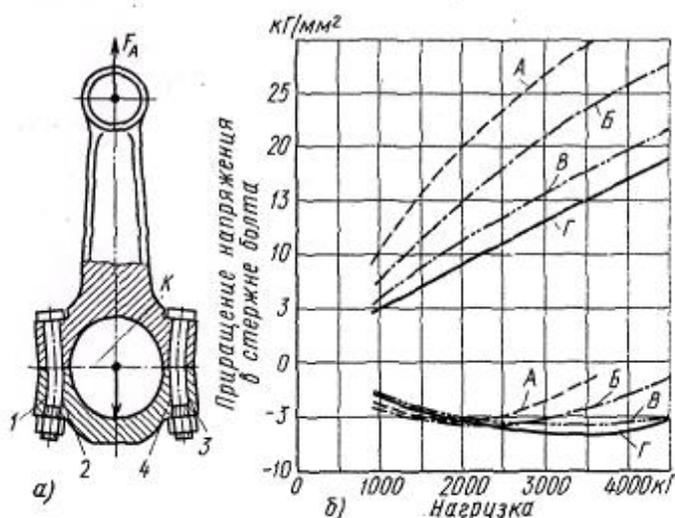


Рис. 3.2. Влияние эксцентричной нагрузки на работу резьбового соединения:

а — схема работы болтов нижней головки шатуна: 1 и 3 — места наклейки тензодатчиков на сжатой; 2 и 4 — то же на растянутой стороне болтов; б — зависимость приращения напряжений в стержне болта от нагрузки на крышку шатуна в в. м. т. Верхние кривые построены по показателям датчиков 2 и 4; нижние — по / и в. Усилия затяжки: А — 1360; Б - 2300; В — 3000; Г — 3400 кг. К — участки фреттинг-коррозии

роторов гидроагрегатов колебание чистоты обработки поверхностей резьбы, торцов гаек и головок болтов в пределах от 3 до 7 мкм не оказывает при переменных нагрузках заметного влияния на релаксацию начальных (18 кг/мм^2) напряжений, приложенных в процессе монтажа. Величина этих напряжений во всех случаях снижалась на 22—30% и процесс релаксации заканчивался при $(2 \div 3) \cdot 10^6$ циклах переменных напряжений. Многие крепежные детали энергетического, транспортного и химического оборудования подвержены действию нагрузок и температуры, вызывающих деформации ползучести, перераспределение нагрузок между витками резьбы и осевые смещения скрепленных деталей.

В неподвижных резьбовых соединениях машин иногда возникают микроперемещения сопряженных элементов. Эти перемещения вызывают пластические деформации в поверхностных слоях контактирующих тел и, как следствие,—трение, схватывание первого рода, абразивный и окислительный процессы.

Протекающие процессы известны под названием фреттинг-коррозии. Соотношение и развитие форм этого вида износа зависят от конструкции и условий работы соединения. Наличие пластических деформаций в тонких поверхностных слоях сопряженных деталей подтверждается рентгенографическим анализом, а наличие трения — исследованием продуктов коррозии и изнашивания деталей. Процесс изнашивания

деталей неподвижных соединений не поддается непосредственному наблюдению и его результаты обнаруживаются лишь при появлении значительных зазоров, ударных нагрузок или разрушения конструктивного элемента. В эксцентрично нагруженных соединениях вдвое снижается приращение напряжения $\Delta\sigma$ (на растянутой стороне) болта с повышением P_3 с 1360 до 3400 кг. Такое значение P_3 почти предельно для резьбы, однако в области плоскости разъема (рис. 3.4) возникало трение стержня болта о шатун, контактная коррозия сопровождалась снижением усталостной прочности и разрушением болта в этом сечении. При пяти последовательно проведенных капитальных ремонтах (после 1400, 3200, 5400, 8000 и 10 900 ч работы машины) Х. Б. Кордонским и Х. Я. Орловым наблюдались 19 однотипных неподвижных соединений, в которых фланцы двух деталей из алюминиевого сплава АК6 стянуты болтами диаметром 14 Аз из стали 30ХГСА. Болты в соединении работали на растяжение, но при нагружении изгибающими моментами возникали микропрогибы болтов. Эти прогибы в сочетании с микроперемещениями сопровождалась износом сопряженных деталей и овализацией отверстий под болты. Овальзация отверстий исправлялась при каждом ремонте развертыванием, устанавливались болты большего диаметра. Овальзация отверстий под болты составляла к первому ремонту машины от 0,1 до 0,2 мм, а к пятому ремонту сумма этой погрешности колебалась в пределах от 0,25 до 1,15 мм.

Для создания болтом М10 силы затяжки 2,7 Т требуется в среднем приложить на ключе момент 4,5 кгм, из которого по 1,9 кгм затрачивается на преодоление трения на торце и в резьбе и лишь 0,7 кгм на растяжение болта. В зависимости от состояния резьбы численные значения коэффициента трения μ колеблются в пределах от 0,1 до 0,4. Для ответственных резьбовых соединений двигателей ГАЗ-53 и ГАЗ-21 (табл. 3.2) определялись [15] значения усилий P_3 и приведенных коэффициентов трения μ_0 в резьбе и на торце гайки при четырехкратной затяжке.

Таблица 3.2.

Значения μ и M при креплении некоторых деталей автомобильных двигателей

Параметры	ГАЗ-2 1		ГАЗ-53	
	Головка цилиндров	Крышка коренного подшипника	Головка цилиндров	Крышка коренного подшипника
	M11x1	M14x1,5	M11x1	M12x1,25
Заданная величина				
момента в $кГм$: M_{max}	7,8	13,6	7,8	12,0
M_{min}	7,3	12,5	7,3	11,0
M_0 в резьбе и по торцу гайки при первой затяжке; M_{0max}	0,15	0,3	0,22	0,29
M_{0min}	0,1	0,15	0,1	0,17
То же при повторных затяжках: M_{0max}	0,2	0,3	0,22	0,4
M_{0min}	0,09	0,14	0,1	0,14
Предельное напряжение при затяжке σ_{zn} в $кГ/см^2$	6600	3850	6550	5000

Было выявлено, что при контроле по крутящему моменту затяжки значения μ_0 в резьбе и по торцу гайки, а также усилие затяжки изменяются: отношение максимального μ_0 к минимальному составляло 1,5—2,5. При минимальных значениях μ_0 напряжения в стержне болта или шпильки достигают при затяжке в ряде случаев опасной величины $(0,9 \div 1,0)\sigma_m$, а при максимальных μ_0 — усилие при затяжке не всегда обеспечивает плотность стыка. Так, при креплении коренного подшипника коэффициент

запаса по плотности стыка меньше единицы, что может привести к его раскрытию.

В связи со значительными колебаниями коэффициентов трения в резьбе и по торцу гайки не всегда правильны рекомендации технической литературы по выбору величины затяжки при резьбовых соединениях элементов машин. Верхний предел затяжки $\sigma_{зп}$ ограничен пределом текучести материала крепежа $\sigma_{нт}$, и поэтому обычно назначают $\sigma_{зп} < (0,5—0,8) \sigma_{нт}$. По данным справочной литературы, величину предварительной затяжки резьбового соединения назначают на 20—50% больше минимального ее значения, обеспечивающего неразмыкание стыка, или на 50—80% больше полезной нагрузки. Реализация таких рекомендаций приводит к значительным колебаниям величин остаточной затяжки, которые часто отличаются для аналогичных условий работы в несколько раз.

Для повышения точности затяжки резьбы ответственных соединений применяют после механизированных гайковертов дозатяжку ручными динамометрическими ключами. Эта операция производилась и при монтаже головок блоков двигателей ГАЗ-53 и ЗМЗ-21. Установлено, что около 20% гаек (М11Х 1) при дозатяжке незначительно смещаются. Из-за различия значений μ для движения и покоя момент трения при сдвигании больше, чем при ее вращении. Поэтому усилие, возникающее в стержне резьбовой детали, не всегда одинаково при одном и том же значении крутящего момента.

Тензометрированием показано, что дозатяжка гаек в групповом резьбовом соединении головок блока приводит к ослаблению ранее затянутых шпилек в среднем на 20—25%, а в отдельных случаях до 40—50%. Применение усовершенствованных гайковертов с предохранительной муфтой позволило снизить неравномерность затяжки групповых резьбовых соединений головки блока (М11 X 1), крышки шатуна (М10 XI), коренного подшипника (М14 X 2), маховика (М11 X 1) двигателей ГАЗ-53

и ЗМЗ-21 до 0—2,5% вместо 10—40% при пользовании стандартными гайковертами ЭК-5 и ЭК-3.

Рассмотрим еще несколько примеров. В трехпорных валах паровых турбин легко нарушить центровку при затяжке соединительных призонных болтов полумуфт; затяжка болтов должна сопровождаться проверкой биения вала ротора высокого давления валовым индикатором. Нарушение этого правила повлекло за собой аварию двухцилиндровой конденсационной турбины номинальной мощностью 35 тыс. *квт*, 70 ат, 485° С. По данным В. З. Любацкого, последовал излом консольного конца вала, на котором была насажена ведущая цилиндрическая шестерня для привода масляного насоса и регулятора скорости, выплавились задний подшипник низкого давления, передний и задний подшипники генератора, подшипник возбuditеля. Кроме того, были полностью смяты и срезаны гребешки заднего уплотнения цилиндра низкого давления, а чугунная обойма этого уплотнения была раздавлена. Неравномерная затяжка винтов, крепящих подшипниковый щит, расположенный у выходного конца валов ротора электродвигателей металлорежущих станков, приводит, по данным А. Г. Павлова, к нарушению соосности опор, резкому изменению частотного состава спектра, повышению уровня вибрационных возмущений, которые на частоте вращения ротора возрастают в 1,6 раза и более. При отработке конструкции двигателей «Континенталь» (США) было обнаружено, что гильзы деформируются в поперечных и продольных сечениях (рис. 3.4, а, б). Дефект возник вследствие консольного расположения шпилек относительно продольных стенок блока, и фирма изменила конструкцию крепления головки. В принципе дефект этот мог быть устранен постановкой шпилек непосредственно в продольную стенку блока и ее усилением ребрами жесткости. Аналогичные трудности были и у фирмы МАН при выпуске в 1966 г. новой модели двигателя.

в). При некотором отклонении сопрягающихся поверхностей корпуса и иглы распылителя подвижность иглы уменьшается, а иногда и полностью утрачивается. Корпус форсунки д. в. с. 2Д100 тепловозов ТЭ-3 также чувствителен к деформациям, которым он подвергается при креплении в адаптере. По данным А. П. Чиркина, неравномерная затяжка шпилек перекашивает корпус, нарушает стыковые соединения, искажает форму деталей, находящихся внутри узла. Напряжения по образующей с левой и правой сторон форсунки (в плоскости, проходящей через отверстия под шпильки) достигают 13—15 кГ/мм^2 и имеют разные знаки. Нарушение нормальной посадки иглы в распылителе и ее прилегания по запорному концу вызывает подтекание топлива.

3.4. Выводы по главе

1. Повышенная податливость картера, головки, блока, подшипников, цилиндров под воздействием процессов сборки, тепловых и рабочих нагрузок может вызвать нарушение правильной работы распределительной системы и герметичности клапанов, прогорание прокладок, увеличение прорыва газов в картер, перерасход масла, рост износа деталей поршневой и кривошипно-шатунной групп.

2. На характер и величину деформации цилиндра д. в. с. в процессе монтажа, а в последующей эксплуатации на стуки и задиры цилиндров существенно влияет операция завинчивания шпилек и болтов в блок, затяжка и порядок затяжки крепящих деталей, а также конструкция и материал прокладки, устанавливаемой между блоком и головкой.

3. Если деформация цилиндров в процессе сборки образуется в результате случайного сочетания размеров сопрягаемых деталей, тогда искажение геометрической формы цилиндров нужно устранять технологическими средствами.

4. На величину предварительной затяжки резьбового соединения влияют состояние опорных поверхностей собираемых и крепежных деталей, точность

резьбы, наличие перекосов, жесткость скрепляемых деталей. Ослаблению затяжки способствуют: пластические деформации деталей соединения; наличие поперечной нагрузки; радиальная деформация гайки под рабочей нагрузкой, возникновение относительных перемещений в контакте резьбы болта и гайки, снижающие самоторможение; шероховатость стыкующихся поверхностей; наличие в сопряжении деталей, изготовленных из материалов с повышенной ползучестью под нагрузкой.

4. Общие выводы и рекомендации

1. Характер деформации тонкостенной трубы под действием в одном из ее концов двух сосредоточенных диаметрально противоположных сил принципиально различен в зависимости от длины детали и в пределах упругости не зависит от величины приложенной нагрузки и материала детали.

2. Как показывает результаты анализа работ по исследованию функциональных свойств деталей двигателя и методов управления ими, механизм формирования макрогеометрия деталей в процессе производства двигателей достаточно вложен.

3. В моноблоках искажения формы цилиндров зависит от жесткости блока, от качества материала, от расположения цилиндров, шпилек крепления и некоторых других факторов. В блоках со вставными гильзами к перечисленным факторам прибавляются еще другие, к числу которых можно отнести высоту выступа гильзы, количества сопрягаемых поверхности, величину зазора в сопряжениях блок цилиндров – гильза и много других параметров, характеризующих состояния гильзы в собранном двигатели.

4. В результате обработки детали на горизонтально-фрезерном станке фрезой, ширина которой шире детали, поверхность окажется наклоненной под некоторым углом к базовой поверхности. Если ширина фрезы значительно меньше ширины детали, обработанная поверхность опишется кривой. Отжатия суппорта и ползуна приводят к искажению поверхности, обработанной на долбежном станке. Поверхность детали после расточки на револьверном станке криволинейна вследствие отжатия инструмента.

5. Поверхностный слой заготовок при механической обработке подвергается механическому разрушению; происходит отделение стружки от обрабатываемого тела; пластически деформируется поверхность изделия и стружки; тепло по-разному распределяется между стружкой, резцом и обрабатываемой заготовкой.

6. Основными факторами, влияющими на точность обработанной детали, являются вид обработки, точность и жесткость СПИД — станка, приспособления, заготовки и инструмента; в некоторых случаях превалирует один из этих факторов.

7. Для получения цилиндрического отверстия должны быть обеспечены точность номинального диаметра и его постоянство в любом поперечном сечении (отсутствие конусности), отсутствие отклонений от круглой формы (овалов и граненности) и прямолинейность оси.

8. При обработке валов на круглошлифовальных станках продольной подачей без выключения подачи на глубину наблюдаются упругие отжимы узлов станка и заготовки, искажение формы обрабатываемой поверхности. Возникновение упругих отжатий станка при шлифовании жестких валов поперечной подачей круга приводит к образованию конической поверхности.

9. Обработка поверхностей, имеющих волнистость, корсетность, бочкообразность или другие отклонения от правильной геометрической формы, затруднена. Если величина этих макронеровностей больше величины припуска, который может быть удален при суперфинише, то чистота поверхности улучшается лишь на вершинах указанных неровностей, а во впадинах исходная шероховатость останется нетронутой.

10. На характер и величину деформации цилиндра двигателей внутреннего сгорания в процессе монтажа, а в последующей эксплуатации на стуки и задиры цилиндров существенно влияет операция завинчивания шпилек и болтов в блок, затяжка и порядок затяжки крепящих деталей, а также конструкция и материал прокладки, устанавливаемой между блоком и головкой. При разработке технологического процесса сборки необходимо учитывать конструктивные особенности соединяемых деталей.

11. Если деформация цилиндров в процессе сборки образуется в результате случайного сочетания размеров сопрягаемых деталей, тогда

искажение геометрической формы цилиндров нужно устранять технологическими средствами.

5. ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА.

1. Президент Ислом Каримовнинг 2012 йил 17 февралдаги “Юксак билимли ва интеллектуал ривожланган авлодни тарбиялаш – мамлакатни барқарор тараққий эттириш ва модернизация қилишнинг энг муҳим шарти” мавзусидаги ҳалқаро конференциянинг очилиш маросимидаги нутқи. www.президент.уз
2. Президент Ислом Каримовнинг 2012 йил 19 январдаги 2011 йилнинг асосий якунлари ва 2012 йилда Ўзбекистонни ижтимоий-иқтисодий ривожлантиришнинг устувор йўналишларига бағишланган Вазирлар Маҳкамасининг мажлисидаги “2012 йил Ватанамиз тараққиётини янги босқичга кўтарадиган йил бўлади” мавзусидаги маърузаси. www.президент.уз
3. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2011 йил 7 декабрдаги Ўзбекистон Республикаси Конституцияси қабул қилинганининг 19 йиллигига бағишланган тантанали марасимдаги “Бизнинг йўлимиз – демократик ислоҳатларни чуқурлаштириш ва модернизация жараёнини изчил давом эттириш йўлидир” мавзусидаги маърузаси.. www.президент.уз
4. И.А. Каримов «Ватан озодлиги олий саодат», 1999 г.
5. И.А. Каримов «Ўзбекистон келажаги буюк давлат» 1992 г.
6. Автомобильный двигатель ЗИЛ-130/ под ред.проф.А.М. Кригера М.: Машиностроение1986г. 264 с.
7. Автомобиль ЗИЛ/ под ред. А.Г. Зарубин М. : Транспорт. 1974366 с.
8. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Гарановский Ю.В. Планирования эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.:Наука 1976-286 с.
9. Бартамов Л.В. Справочник конструктора и технолога по технико-экономическим расчетам- М.: Машиностроение 1985 121 с.
10. Бусленко Н.П., Калашников В.В., Коваленко И.Н. Лекции по теории сложных систем.- М.: 1984 Советское радио- 439 с.

- 11.Вентцель Е.С. Теория вероятностей. М.: Наука, 1979. 572 с.
- 12.Взоров Б.А., Исаев Е.В. и др. Исследования жесткости корпусных деталей и гильз цилиндров тракторных двигателей. Проблема прочности, 1979г. № 3, с.85-92.
- 13.Взоров Б.А., Исаев Е.В. и др. Исследования динамических деформаций гильз цилиндров. Автомобильная промышленность, 1971г. № 5 с 4-8
- 14.Гурвич И.Б. Исследования путей повышения износостойкости цилиндров, поршней и поршневых колец автомобильных двигателей. В кн : Повышение износостойкости деталей ДВЫ. М.:1972 с.70-77.
- 15.Демьянов А.А., Сарафанов С.К. Пути повышения надежности и долговечности автотракторных двигателей. М.:Воениздат, 1987.152
- 16.Долецкий В.А. и др. Конструкторско-технологические методы обеспечения надежности двигателей. М.:Издательство стандартов, 1973 60 с.
- 17.Канарчук В.Е. Исследование интенсивности износа гильз цилиндров двигателей ЯМЗ-236. Автомобильная промышленность, 1970, № 4, с 6-7.
- 18.Капур К., Ламберсон Л. надежность и проектирование системы (пер. англ. Под ред. Проф.И.А.Ушакова, М.: Мир, 1989. 606 с.
- 19.Лллойд Д., Липов М. Надежность \ Пер. с англ. М.: Советское радио, 1974, 686 с.
- 20.Масино М.А. Повышение долговечности автомобильных двигателей при ремонте. М.: Транспорт, 1982. 174 с.
- 21.Методика (основные положения) определения экономической эффективности использования в народном хозяйстве новой техники, изобретений и рационализаторских предположений. М. 1977. 54 с.

- 22.Повышение износостойкости деталей двигателей внутреннего сгорания (сборник статей). М.: Машиностроение. 1982 с.3-5
- 23.Пономарев В.М. Ресурс гильз цилиндров двигателя ЗИЛ-130. За технический процесс. 1979, № 7 с. 41-42.
- 24.Проников А.С. Надежность машин . М.Машиностроение, 1978. 592
- 25.Скалли Дж., Основы учения о коррозии и защите металлов (пер. с англ. Проф. Шрейдра. М.:Мир, 1978 223 с.
- 26.Тайц Б.А., Коротков В.П. Основы метрологии и точности механизмов и приборов. М. Машгиз, 1987. 400 с.
- 27.Якушев А.И., Дунинг-Барковский И.В., Чекмарев А.Н. Взаимозаменяемость и качество машин и приборов. М.: Издательство стандартов, 1987. 233 с.
- 28.Афанасьев А.М. Исследования влияния макроотклонений поверхностей разъемов деталей остава на точность сборки дизелей.
- 29.Balucinhi Jan, Stepinski Jon. Wykorzystanie metod oceny Stanu technicznego silnikow przy kwalifikareaniy ich do napraray/ « Techn.mot», 1975,25,,№ 11, 18-21/
- 30.Kolbenschaden “Bd Вaxumagchinedinst”, 1976, 12, № 13. 542-543.
- 31.Lund Bob, New wey to solve the mechanic shartage problem. “Motor” (USA),1976, 145, № 3, 37-39.
- 32.Pados Janos. A gepjarmuvek pptimalls eletartamanak promlemaci es megattarazaya /1976, 2,№ 3,179-192.
- 33.Reconditioning servise for all makes of engine/ Truckand Bas Transp.” 1976, 40. №9,38-39/
34. Smiey C. Critical docel engine overhdue. “Avtomob. Jnt.”,1978,55,№6, 26-29.
- 35.Smit T. Ann Reliabil and Maintainability, 1976, V 01.6. NEW YORK, N.Y.SAE.
- 36.Fist fiush of guccess “ Garage and Transport”, 1980,26, №11 36.

37. Farkas T. Kozuti jarmu motorok eletttartama tg tartossaga “Yarmuvek, mezo gapek”. 1979, 26, № 66 65-68.
38. Liu Qingbin, Song Yonglun, Xu Guan. Zhongguo jixie gongchend+ China Mech.tng.
39. Zhand Yishan Kong Xianma Chen Darong. Qinghua daxue xuebao, Ziran Kexue ban+ Sci. And Technol.
40. Measurement of ceccle to cecele variations and cecleresolood turbulence in an IC engihe usings a 3-d particle tracking velocimetry. Choi woong-Chul, Guezennec Yann G JSME Int Y/D/
41. Precision cylindrical face grinding . Shih Albert I. , Lee Men L. Precic. End
42. State of the art of multidimensional modeling of engine reacting Hows. Gosman A..D. Oil and Gaz Sci. and Tech. Revinst. Fr. Petrole
43. Lohr Uilfried: Volkswagen A. G. Stutz Kosole fur eine Brehnkraft magehine
44. Iron Wilfind in new diesel engenes ,Metal Bull. Moh
45. Fan Shunchend , Wand Xiaohui, Zhang Jiahjun. Heba daxue xuebao+ J.Hebe Univ. Technd.
46. BMW fertigt Premiun- Motoren mit Lineard n trrieben prod.
47. Motoren montage fur BMW Werk steyr DHF. Int. Fachzeitschr. Forder, Lager, Transorttechn. And logist.
48. DMW-Rover. 130 FTS- Fahrzeuge fur Motorenmontage bei DMW-Rove, DHF. Int Fachzerlschr/ Forder, Lager, Transorttechn And logist.
49. Безъязычный В.Ф., Непомилуев В.В.
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ТЕОРИИ ПОДОБИЯ ПРИ
ИССЛЕДОВАНИИ ИЗНОСА.
http://tribo/ru/new/annotations_06.html.
50. Криштал М.М., Чудинов Б.А., Череменинский В.П.
ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ПОКРЫТИЙ АЛЮМИНИЕВЫХ

ДЕТАЛЕЙ ТРЕНИЯ РОТОРНО-ПОРШНЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ.

http://tribo/ru/new/annotations_06html.

51.Павлихин С.Е., Полунин В.И., Крючков А.Н.

ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ СТЕРЖНЕЙ ВЫПУСКНЫХ КЛАПАНОВ
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТВЕРДОСТИ ПОВЕРХНОСТНОГО
СЛОЯ. http://tribo/ru/new/annotations_06html.

51.Вестник ВНИИЖТ: Трибологические свойства чугуна втулок
цилиндров тепловозных дизелей с маслоудерживающим
рельефом

<http://www.css-mps.ru/vestnik-vniizht/v2002-3/v2-5...>

52.Реферат: АРХИТЕКТУРА | Шероховатость поверхности и ее
изображение на чертежах (WinWord)

<http://www.studik.ru/002140-8.html>

53.Российская академия наук

<http://www.ipme.ru/ipme/conf/BULATOV/i1.html>

Сайты интернета:

<http://www.ipme.ru>

http://tribo/ru/new/annotations_

<http://www.studik>

<http://www.css-mps.ru/vestnik-vniizht>

<http://tribo/ru/new/annotations>

<http://www.css-mps.ru/vestnik-vniizht>