

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
ВОЛЖСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ФИЛИАЛ)
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

В. А. Санинский, Е. Н. Нестеренко

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ
СПЕЦИАЛЬНЫХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ**
(лабораторный практикум по проектированию способа
обработки глубоких отверстий)

Электронное учебное пособие



Волжский
2020

УДК 621.7.016.2(07)

ББК 34.53я73

С 183

Р е ц е н з е н т ы:

докт. тех. наук, проф. кафедры «Технология туризма и сервиса»
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего профессионального образования «Волгоградский государственный
социально-педагогический университет»

Каунов А. М.,

профессор кафедры «Фундаментальные дисциплины» ФГБОУ «НУИ
«МЭИ» в г. Волжском докт. физико-матем. наук

Кульков В. Г.

Издается по решению редакционно-издательского совета
Волгоградского государственного технического университета

Санинский, В.А.

Проектирование и исследование специальных методов обработки
(лабораторный практикум по проектированию способа обработки
глубоких отверстий) [Электронный ресурс] : учебное пособие /
В. А. Санинский, Е. Н. Нестеренко ; ВПИ (филиал) ВолгГТУ, –
Электрон. текстовые дан. (1 файл: 5,84 Мб). – Волжский, 2020. – Режим
доступа: <http://lib.volpi.ru>. – Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-5-9948-3469-5

Предназначено для студентов, обучающихся в магистратуре по направлению
«Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств».
Рассматриваются современное состояние технологии тяжелого машиностроения в
отраслях, связанных с производством трубных заготовок, в частности, с горячей
обработкой пустотелых заготовок для длинномерных цилиндров, перспективные
способы металлургической и механической обработки трубных заготовок на основе
применения больших подач режущего инструмента, в том числе режуще-
деформирующего прошивания, растачивания резцами с широкой зачищающей
режущей кромкой и совмещения их с вихрефрезерованием по методу винтовой
интерполяции, позволяющие решать стоящие перед специалистами проблемы
повышения точности и производительности обработки глубоких отверстий.

Ил. 65, табл. 41, библиограф.: 30 назв.

ISBN 978-5-9948-3469-5

© Волгоградский государственный
технический университет, 2020

© Волжский политехнический
институт, 2020

Оглавление

Введение.....	4
1 Заготовительные металлургические производства	6
1.1 Технологический процесс изготовления изделий из труб с регулярным периодическим профилем	6
1.2 Технология радиальнойковки полых изделий из сплошной заготовки без прошивки	10
1.3 Варианты пустотелых заготовок тел вращения с глубокими отверстиями для последующей механической обработки.....	14
2 Методы механической обработки глубоких отверстий.....	19
2.1 Расчет и назначение режимов резания и основного времени при расточивании широкими резцами	19
2.2 Расчет и назначение режимов резания и основного времени при контурном вихрефрезеровании отверстий	29
2.3 Совмещение планетарного шлифования глубоких отверстий и дорнования	33
3 Лабораторные работы.....	43
3.1 Лабораторная работа № 1. Размерная настройка расточных резцов для борштанг.....	43
3.2 Лабораторная работа №2. Назначение припусков при многопроходном растачивании с учетом износа расточных резцов	47
3.3 Лабораторная работа №3. Растачивание глубоких отверстий длинномерными борштангами с деревянными направляющими	53
3.4 Лабораторная работа № 4. Наладка токарно-винторезного станка	64
3.5 Лабораторная работа №5. Расчет погрешностей формы расточенного отверстия в ряду КПП ГПО	71
3.6 Лабораторная работа № 6. Контроль технологической точности направляющих станины и оси вращения шпинделя станка	75
3.7 Лабораторная работа №7. Определение величин изменения диаметра расточенного отверстия и коэффициент уточнении формы.....	82
3.8 Лабораторная работа №8.Определение размеров и погрешностей гильзы индикаторным нутромером.....	86
Заключение	92
Библиографический список	93
Приложение А	96
Приложение Б	107
Приложение В.....	112

Введение

В современном машиностроении существует проблема обеспечения качества, производительности и экономической эффективности механической обработки толстостенных цельнотянутых обсадных труб, применяемых в различных отраслях промышленности: нефтегазовой, атомной, ракетно-космической и др.

Отсутствие или недостаточность методологического обеспечения контроля производства труб связано с отсутствием достаточного обоснования применения современных способов обработки и контроля на промежуточном послеоперационном контроле и на сдаточных контрольных операциях.

Большое значение имеет поиск способов малоотходных и безотходных технологий получения наружных поверхностей труб в условиях металлургического производства, к которым относится обработка их в фильерах в горячем и полугорячем состоянии. При протягивании заготовки трубы (гильзы) через фильеру в горячем состоянии поверхности фильера подвергаются значительному термическому воздействию, поэтому фильеры изготавливают из термостойких материалов с износостойкими покрытиями, успешно работающих при повышенных температурах.

Качество наружных поверхностей труб связано с проблемами выхода неметаллических включений на обрабатываемую в последующем поверхность трубных заготовок. Поэтому рекомендуется получать исходную заготовку под прошивку и гильзы непрерывно-литым способом на установке непрерывного литья. Для производства горячекатаных труб и механической обработки трубных заготовок не рекомендуется использовать разливку стали в изложницы, т. к. при таком способе возможен выход неметаллических включений на поверхность труб. Для получения качественной поверхности труб необходимо обеспечить соблюдение основных требований к точности и износостойкости фильера. Поэтому методика конструкторско-технологического обеспечения повышения эксплуатационных характеристик рабочих поверхностей фильера на основе повышения точности их механической обработки и обеспечения дополнительной износостойкости рабочих поверхностей отверстий фильера является решением актуальной проблемы металлургического производства.

К предмету исследований можно отнести поиск и разработку методик осуществления новых способов совмещения процессов растачивания, контурного вихревого фрезерования, внутреннего шлифования глубоких отверстий в длинномерных трубных заготовках, совмещенных с режуще-деформирующим прошиванием, которая включает:

- метод достижения оптимальных режимов режуще-деформирующего прошивания, совмещенного с растачиванием, контурным фрезерованием и при планетарном движении пиноли, осуществляемых с целью

обеспечения производительности обработки и качества обработанной поверхности;

- способы механической обработки поверхности глубокого отверстия на основе применения пинолей и системы поддержки обрабатываемого органа в условиях организации натяга между базой дорнующей пиноли и обрабатываемой поверхностью – путь к повышению точности и жесткости станка.

Результатом исследований является разработка теоретического обоснования возможности осуществления совмещенной механической обработки глубоких отверстий, позволяющей обеспечить повышение качества без потери производительности механической обработки длинномерных трубных заготовок на основе исследований погрешностей изготовления исходной трубной заготовки и учета технологической наследственности погрешностей и дефектов на этапах производства и применения совмещенной механической обработки глубоких отверстий.

Сюда можно отнести разработанные новые методики, изучающие:

- размерные конструкторские и технологические связи, возникающие в процессе изготовления трубной заготовки, наследственные дефекты;
- временные связи в процессе получения заготовки непрерывным литьем, на прокатном стане, временные связи между рабочими ходами, влияние наладки борштанги пиноли на точность на черновых, получистовых и чистовых операциях механической обработки ГО;
- особенности методики проектирования пиноли специального станка, люнетов, координирующих пиноль, приспособления для базирования заготовки и отклонения, приспособление для его установки и настройки режущего инструмента на нужный размер.

Процессы механической обработки металлов делятся на две группы:

- обработка резанием (с образованием стружки);
- обработка давлением (без образования стружки).

В первом случае с материала снимаются поверхностные слои (припуск), например, фрезерование, строгание, шлифование. Во втором – материал принимает нужную форму и объем путем силового воздействия инструмента. К методам обработки давлением относятся прессование, прокатка, ковка и штамповка. Как правило, это черновые операции, предполагающие дальнейшую обработку заготовок резанием с целью получения наибольшей точности и наименьшей шероховатости поверхности деталей машин.

Обработка металлов резанием осуществляется на металлообрабатывающих станках. Она выполняется на токарных, фрезерных, сверлильных, шлифовальных, хонинговальных и других металлорежущих станках. Проходя учебную практику и выполняя лабораторные работы, студенты учатся производить расчеты режимов резания, а также анализировать, какие методы обработки будут оптимальны при проектировании технологического процесса. Настоящее учебное пособие

охватывает общие сведения о методах получения заготовок, основах обработки материалов резанием и применяемом режущем инструменте.

1 Заготовительные металлургические производства

Существуют различные способы получения заготовок для механической обработки тел вращения типа ступенчатых валов, цилиндров и т. п. К ним относятся способы получения заготовок со следующими характеристиками базовых поверхностей:

- прокат холоднотянутый калиброванный; предварительно обработанный; чисто обработанный;
- литье: в землю, центробежное, в песчаные формы, в постоянную форму, по выплавляемым моделям, под давлением;
- прокат горячекатаный предварительно обработанный, чисто обработанный;
- поковки: горячая штамповка в матрицах из круглого проката, штамповки на ГKM из круглого проката, в подкладной штамп;
- горячая штамповка в матрицах из трубного проката, штамповки на ГKM из трубного проката, в подкладных штампах из трубного проката;
- сварные и сборные: цельные заготовки, пустотелые заготовки с ложными центрами, пустотелые заготовки с центрами, выполненными с осевым отверстием;
- заготовки, полученные способами порошковой металлургии.

1.1 Технологический процесс изготовления изделий из труб с регулярным периодическим профилем

Производство заготовок для малоотходных технологий деталей машин – перспективный, быстро развивающийся вид обработки тел вращения, который зачастую является экономически более целесообразным, чем технологии изготовления их из горячекатаного круглого проката, штамповое или поковок.

В статье [1] представлен вариант разработки трубной заготовки с регулярным периодическим профилем (РПП), предназначенным для изготовления внутреннего кольца (ВК) роликоподшипника.

На рисунке 1.1 представлен пример профильной трубной горячекатаной заготовки с РПП из стали ШХ, полученной для механической обработки ВК.

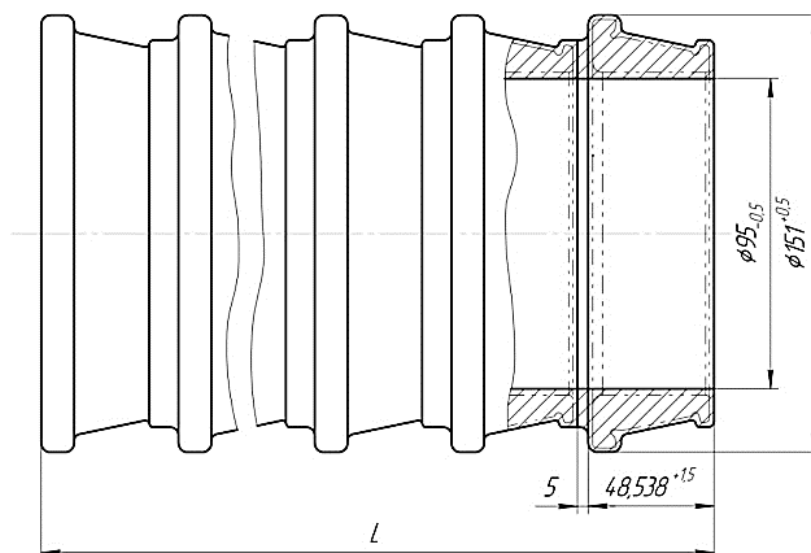


Рисунок 1.1 – Вид трубной заготовки с РПП для механической обработки внутреннего кольца роликоподшипника

Для получения длинномерной трубной заготовки с РПП применяют технологию, аналогичную технологии изготовления велосипедной втулки заднего колеса. Для получения длинномерной трубной заготовки с РПП применяют технологию [1]. Прокатка гильзы в трубу производится на пилигримовом стане (рисунок 1.2) в калибре переменного сечения, образуемом двумя валками, которые вращаются в разные стороны противоположно направлению прокатываемой трубы. Гильза задается в валки кольцевыми участками в момент максимального раствора калибров.

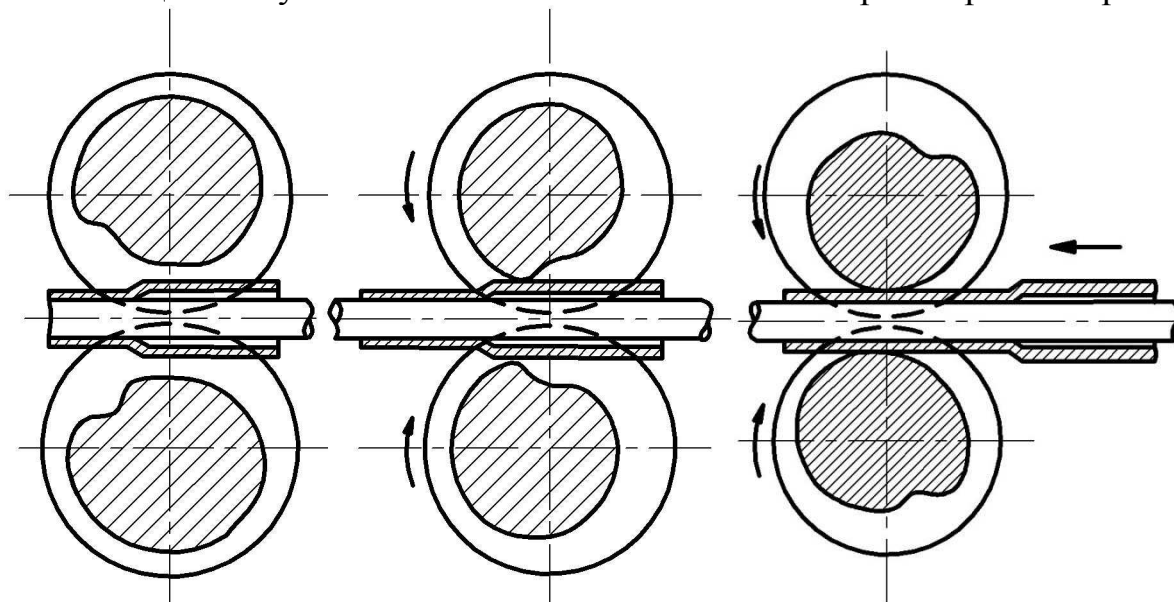


Рисунок 1.2 – Схема пилигримовой прокатки

При дальнейшем вращении валков вследствие уменьшения сечения калибра кольцевой участок толстостенной гильзы раскатывается на оправке – дорне до заданной толщины стенки. После полного оборота валков гильза кантуется, в валки подается новый кольцевой участок, и цикл повторяется.

Разработка длинномерной трубной заготовки с РПП для ВК

Заготовка с РПП, соответствующим профилю ВК, представляет собой фасонный горячекатаный круглый профиль, соответствующий профилю ВК, на который наложены припуски на механическую обработку.

Технологический процесс механической обработки трубной заготовки состоит из следующих операций:

- 005 Отбор металла
- 006 Перемещение
- 010 Мойка труб
- 011 Перемещение
- 020 Автоматно–токарная (разрезание длины труб)
- 021 Перемещение
- 080 Автоматно–токарная
- 081 Перемещение на контрольную точку
- 082 Перемещение на термообработку
- 085 Плоскошлифовальная предварительная
- 090 Сортировка колец по высоте
- 095 Доводка торцов
- 100 Промывочная
- 105 Консервация
- 110 Одновременное шлифование р.д. и у.б. предварительное
- 115 Одновременное шлифование р.д. и у.б. чистовое
- 120 Шлифование отверстия предварительное
- 125 Шлифование отверстия окончательное
- 130 Промывочная
- 135 Размагничивание
- 140 Маркирование
- 145 Технический контроль
- 150 Консервация.

На Волжском подшипниковом заводе ВПЗ-15 повышение точности токарной обработки внутреннего кольца подшипника 7506А достигается: концентрацией операций – полная токарная обработка колец на токарном многошпиндельном горизонтальном патронном полуавтомате мод. 1Б265П-8КД; применением оптимальных режимов резания; использованием размерно- и геометрически точных заготовок с целью получения равноразмерных и минимальных припусков.

Точность размеров и погрешности геометрической формы колец, обработанных на станках токарного типа, обусловлена рядом факторов, основными из которых являются: геометрическая точность станка, технологической оснастки и профилирующих режущих инструментов; точность базирования штучных заготовок; стабильность механических свойств обрабатываемого металла и припусков на механическую обработку; жесткость технологической системы, ее температурные деформации, износ режущих инструментов в процессе резания. Поскольку только погрешность индексации на токарном многошпиндельном горизонтальном

патронном полуавтомате мод. 1Б265П-8КД составляет 0,05 мм, то необходимы дополнительные варианты повышения точности токарной обработки внутреннего кольца подшипника 7506А.

Альтернативный техпроцесс изготовления, включающий металлургические операции. У колец, обработанных из профилированных труб, увеличивается геометрическая точность, а также вследствие благоприятного расположения волокон повышается долговечность.

005. Металлургическая.

Изготовить гильзу – трубу методом выдавливания – прессования

010. Металлургическая.

Выполнить РПП трубную заготовку на пилигримовой установке

015 Расточная специальная.

Расточить глубокое отверстие с диаметра 73, 4-0,5 до диаметра 74.6+0,1 мм в заготовке на всю длину 5300 мм

20 Программно-комбинированная (рисунок 1.3).

Токарно-винторезный станок с ЧПУ мод 1732 РФ 3

Обточить заготовку по программе согласно эскизу (рисунок 1.4)

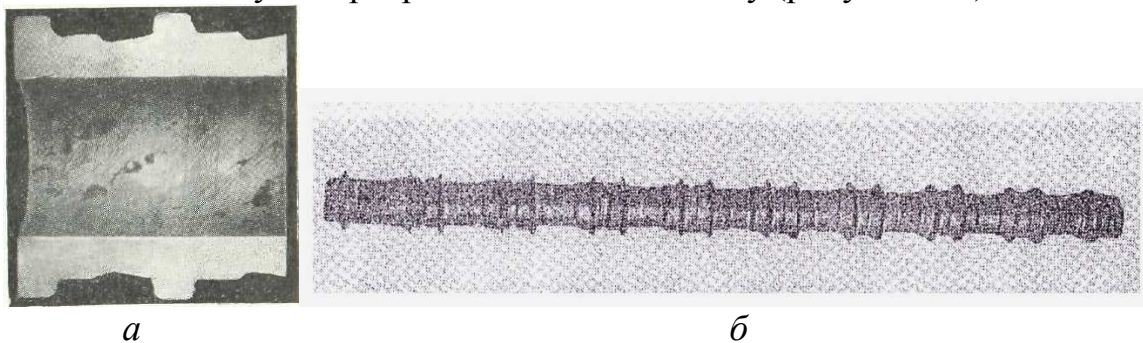


Рисунок 1.3 – Вид заготовок с РПП: а- микрошлиф ; б- вид заготовки с РПП для велосипедной втулки

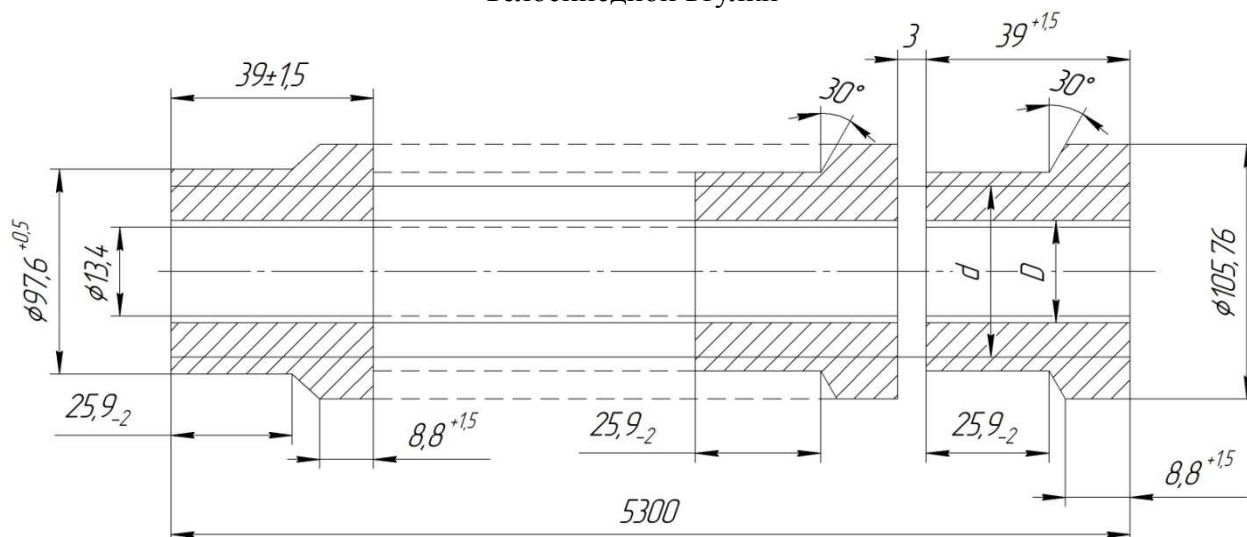


Рисунок 1.4 – Операционный эскиз длиномерной трубной заготовки (ДТЗ) с РПП и припусками под механическую обработку ВК: L = 5300 – длина заготовки с РПП; 97,6+0,5 – диаметр наружной поверхности РПП; 73,4- диаметр прошито отверстия; 8,5+1,5 – размер длины бурта; 25,9-2 – линейный размер заготовки под дорожку качения; 3- размер припуска под отрезку заготовки ВК отрезным резцом; 3° –угол наклона бурта

010 Токарная.

Обточить заготовку (рисунок 1.3) по программе согласно эскизу (рисунок 1.4)

015 Расточная. Станок специальный с пинолью

025 Разрезная. Разрезать заготовку на 4 части под шлифование наружных поверхностей станок типа мод. 3Б151.

030 Шлифовальная.

Круглошлифовальный станок типа мод. 3Б151.

Шлифовать предварительно наружные поверхности до диаметра 74.8-0,1

035 Термическая.

Закалить по технологии (ОГМет) до твердости HRC 60... 65.

040 Операция абразивно-отрезная.

Абразивно-отрезной станок

Разрезать заготовку с РПП на отдельные заготовки ВК

045 Контрольная.

Шлифовать под закалку наружные поверхности трубной заготовки.

Круглошлифовальный станок мод 3Б15.

Техническая подготовка альтернативного техпроцесса изготовления трубной заготовки с РПП в серийном производстве создает условия для получения технико-экономического эффекта за счет проектирования применения предложенной методики создания малоотходной технологии.

1.2 Технология радиальной ковки полых изделий из сплошной заготовки без прошивки

Технология радиальной ковки основана на использовании специальных режимов деформирования сплошной заготовки на радиально-ковочной машине (РКМ), представленной на рисунке 1.5. Технология предусматривает наличие прошивня как калибрующего готовое отверстие инструмент.



Рисунок 1.5 – Вид радиально-ковочной машины [3]

Назначением РКМ является ковка и изготовление валов определенного диаметра от 60 до 150 мм длиной до 1200 мм. Производительность РКМ высокая, но его долго и сложно переналаживать на ковку новых изделий. Изначально заготовка подвергается нагреванию в специальном нагревателе индукционного типа, затем специальное устройство выдает заготовку на рольганг, а далее с помощью специального захватного устройства – на машину ковки. Заготовку зажимают при помощи специального захвата, и она поступает в зону работы бойков ковочного типа. РКМ работает в автоматическом режиме: по заданной программе бойки производят ковку заготовки. Захватное устройство непрерывно вращает заготовку, и она в результате поступательного движения между бойками меняет свои свойства вследствие деформации поверхностного слоя. РКМ включает электродвигатель, подающий главное движение через шатун на эксцентриковые буксы, на валу которых укреплены бойки, работающие от копирных барабанов. Барабаны предназначены для автоматизации РКМ. После индукционных печей, предварительно нагретая, длинномерная заготовка круглого или многогранного сечения (рисунок 1.6) при помощи специального оборудования подается к патронам, где осуществляется её зажим и медленное вращение, смещенное с осевой подачи в механизм обжатия, включающий в себя радиально подвижные бойки. В результате заготовка обжимается по периметру.

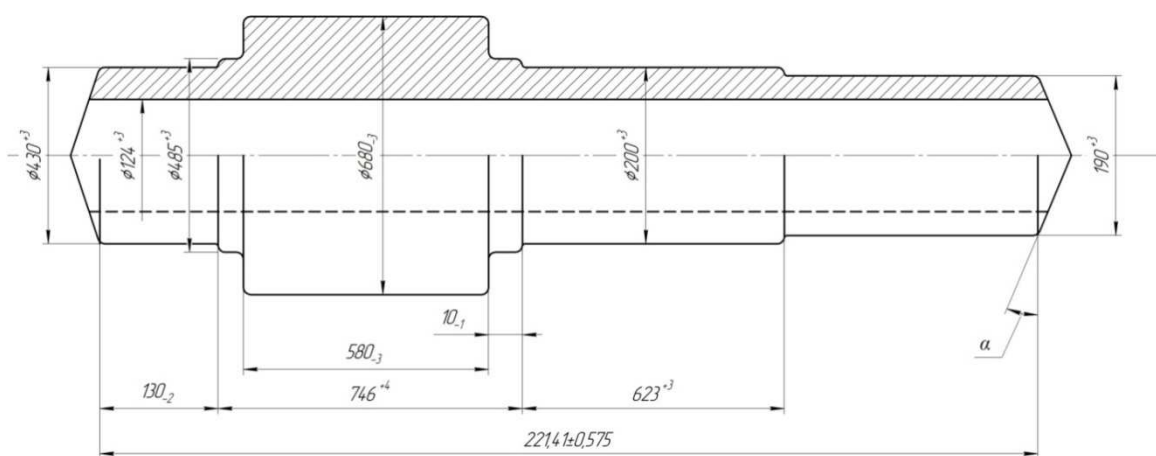


Рисунок 1.6 – Вид пустотелой заготовки, полученной из проката квадратного сечения

Режимы обжатия и подачи заготовок в осевой зоне обеспечивают многократно растягивающие напряжения, превышающие предел прочности металла. В этих условиях обеспечивается вскрытие осевой полости в любом, даже высокопластичном материале и развитие осевой полости с постепенным увеличением осевого отверстия правильной формы и сохранением оплошности остальной части поковки. Технология сделает возможным изготовление бесшовных кованых труб диаметром от 15 мм и более, в том числе особо больших диаметров (1000-1300 мм), с толщиной стенки 25-100 мм и более. При этом не требуются большие усилия при ковке, так как она осуществляется не по всему ее объему, а в зоне действия бойков. На РКМ усилием 1000 т.с. по паспорту можно ковать заготовки с максимальным

диаметром 550 мм. Технологияковки на РКМ может найти применение при изготовлении высококачественных толстостенных труб большого диаметра 1000-1300 мм с толщиной стенки 25-50 мм, работающих при внутреннем давлении более 15 МПа, может быть использована для получения изделий с внутренними полостями. Для интенсификации проработки структуры металла в осевой зоне поковки вначале ковку ведут до получения закрытой осевой полости, а затем эту полость закрывают (заваривают) путем всесторонней деформации. Предполагаемым экономическим эффектом является обеспечение данной технологией экономии металла на 30-50 %, по сравнению с технологией, использующей сверление, уменьшение трудоемкости изготовления полых изделий, уменьшение технологических усилийковки в 2-4 раза. Современная ковка пустотелых поковок применяет операцию протяжки на оправке как основную формоизменяющую, так и окончательно формирующую свойства металлоизделий. Традиционно она осуществляется комбинированными или вырезными бойками, а для формирования многоугольных полых сечений используются плоскопараллельные. Детали, полученные радиальной ковкой, обладают следующими преимуществами [3]:

- Благодаря высокой точности получаемой поверхности, изделия в большинстве случаев не требуют дополнительной механической обработки, что приводит к экономии металла и снижает себестоимость производства.
- Прочность деталей, получаемых радиальной ковкой значительно выше, что позволяет заменять сплошные детали на полые и существенно снизить вес готового изделия.

Благодаря радиальной ковке можно добиться больших степеней деформации по сравнению с обычными процессами ОМД без применения промежуточного отжига, что, в свою очередь, снижает количество требуемых операций для изготовления конечной детали. На рисунке 1.7 показано моделирование радиальнойковки.

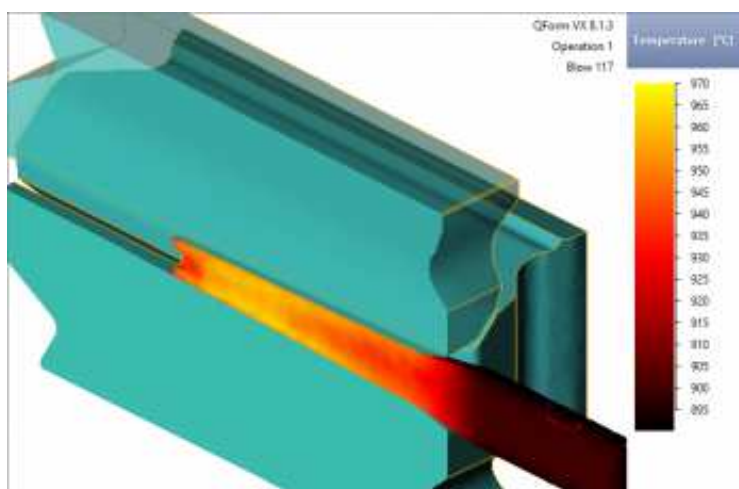


Рисунок 1.7 – Моделирование радиальнойковки в QForm и поле температуры [4]

В поковках увеличивают внутренний диаметр небольшими обжатиями и большой подачей, используя сплющивание стенок поковок при их обжатии плоскими бойками (рисунок 1.8).

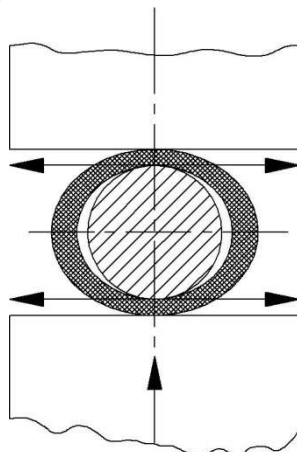


Рисунок 1.8 – Схема обжатия поковки для ее съема с оправки после протяжки

$$y = \frac{F}{F_k} = \frac{D_{нар.исх}^2 - d_{вн.исх}^2}{D_{нар.к}^2 - d_{вн.к}^2} = \frac{L}{L_k} \quad (1.1)$$

Раскатка – это увеличение диаметра кольцевой заготовки за счет уменьшения толщины стенок путем последовательного воздействия инструмента (рисунок 1.9). Операцию раскатки можно представить, как протяжку заготовки, которая свернута в кольцо. При этом длина такой заготовки равна длине средней окружности кольцевой заготовки, ширина кольца – соответственно ширине, а толщина – высоте заготовки.

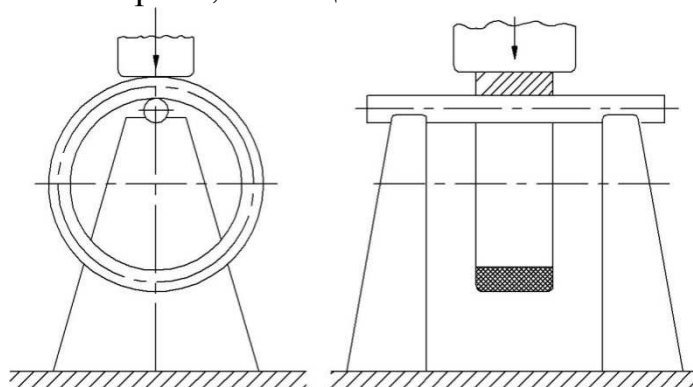


Рисунок 1.9 – Схема раскатки

При раскатке нижний боек отсутствует, его заменяет цилиндрическая оправка, опирающаяся на подставки (рисунок 1.9) и длина бойка перекрывает всю длину поковки (ширину кольца). Раскатку проводят на раскаточной оправке – дорне, который опирается концевыми участками на две опоры (рисунок 1.9). Зазор между опорами и поковкой не должен превышать 100-150 мм. Кольцевую заготовку с исходными наружным $D_{нар.исх}$ и

внутренним $d_{вн.исх}$ диаметрами (формула 1.1) обжимают между верхним плоским бойком и оправкой с круглым сечением. Вращение кольца осуществляют чаще вручную с помощью клещей или с помощью мостовых коловых кранов. Заданные размеры кольца получают после заданного числа оборотов заготовки. Диаметр оправки подбирают по нормальям с учетом внутренних диаметров поковки и прошитой перед раскаткой заготовки. При ковке крупных поковок с внутренним диаметром поковки до 900 мм применяют оправки диаметром 300 мм, для поковок с большим внутренним диаметром диаметр оправки берут 800 мм. При интенсивной раскатке без значительного уширения заготовки применяют узкий боек с формой в виде прямоугольника с большой стороной, расположенной вдоль ширины кольцевой заготовки.

Для крупных поковок опытным путем были установлены зависимости, с помощью которых по конечной ширине кольца можно определить его начальную ширину (рисунок 1.10), а протяжку с оправкой и раскатку часто комбинируют, совмещая их в одном технологическом процессе.

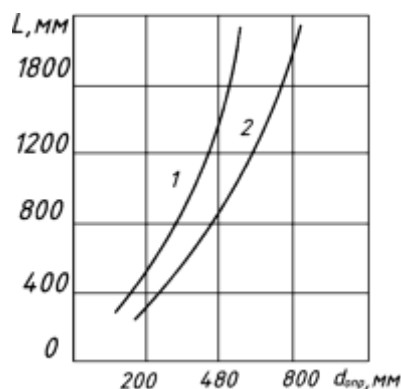


Рисунок 1.10 – Зависимость диаметра оправки от длины заготовки с толстой (2) и тонкой (1) стенкой

Назначение операции радиальнойковки пустотелого тела вращения позволяет снизить металлоемкость и, соответственно, улучшить текстуру металла деталей типа пустотелого вала или цилиндров путем применения исходной трубной заготовки.

1.3 Варианты пустотелых заготовок тел вращения с глубокими отверстиями для последующей механической обработки

Рассмотрим наиболее распространенные варианты получения пустотелых заготовок для механической обработки тел вращения типа вал-шестерни и аналогичные пустотелые заготовки гидро- и пневмоцилиндров.

Вариант 1. В качестве исходной заготовки непосредственно для механической обработки принимается горячекатаный прокат круг с химическим составом и механическими свойствами по ГОСТ 1050 -75 и геометрическими параметрами сортамента по ГОСТу 2598-88 (круг ГОСТ

1050-78/ГОСТ 2590-88. Такая заготовка для механической обработки обычно применяется на стадии освоения разового образца, в единичном производстве, например, на этапе производства опытных образцов машин.

Вариант 2 – штамповка на ГKM или поковка на молотах в подкладной и другой штамп, матрицах. Применяется в серийном производстве на этапе серийного производства машин.

Технический процесс механической обработки, представленный в работе [7], разработан так, что содержит унификацию операций, что позволяет применить его, с небольшими доработками, для любого вида разработанных заготовок. Т. е. разработанный техпроцесс можно считать типовым для данного вида тел вращения.

Он может быть выполнен так, что при определенном составе металлорежущего оборудования его использование окажется приемлемо для любого вида из рассмотренных заготовок. При проектировании участка механической обработки таких деталей следует, исходя из рабочего чертежа детали (рисунок 1.11), выполнять типовой чертеж (рисунок 1.12) и в дальнейшем при разработке проекта технологии механической обработки такой детали ориентироваться на унификацию оборудования, типовых чертежей и технологий. Результатом такой унификации становится проект типового специализированного участка гибкого производства.

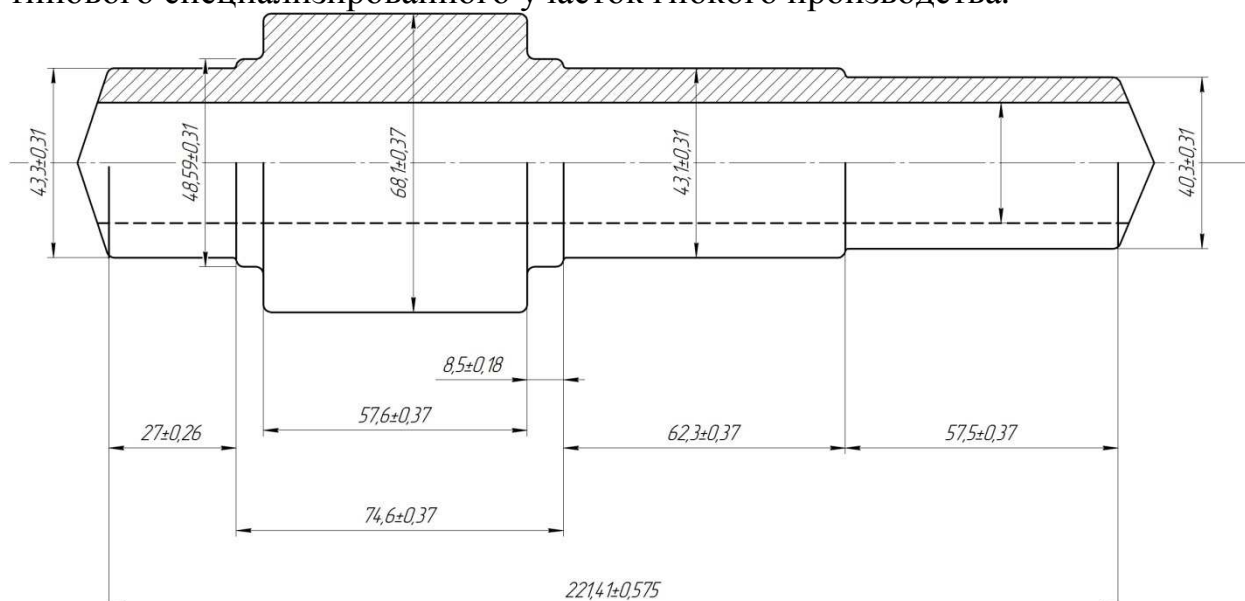


Рисунок 1.11 – Вид рабочего чертежа индивидуальной детали тела вращения

Для обоснования метода расчета эффективности разработок через коэффициент использования материала могут быть рассмотрены варианты заготовок тел вращения типа вала-шестерни, аналогичных гидро – и пневмоцилиндров, что охватывает основные традиционные технические решения, наиболее приемлемым из которых выбран вариант поковки из пустотелой трубной заготовки (рисунок 1.12).

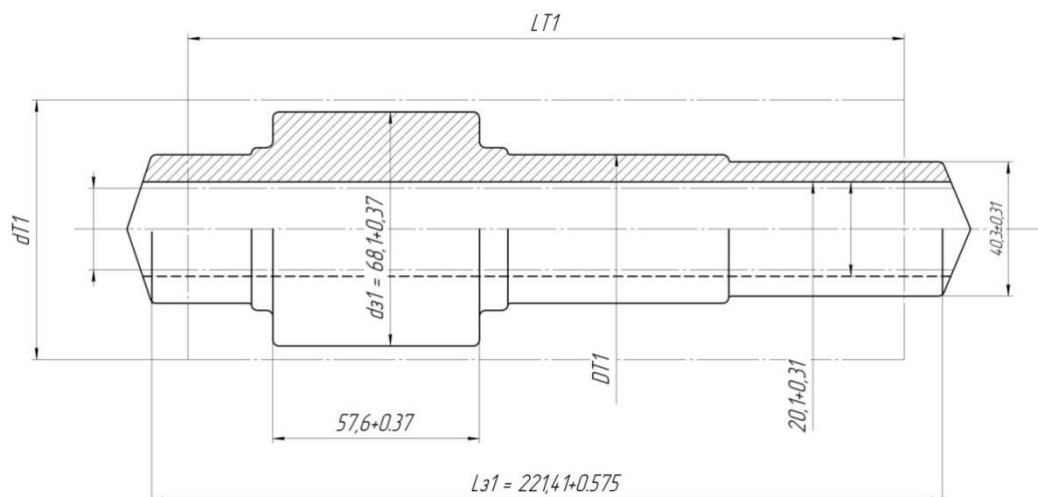


Рисунок 1.12 – Эскиз заготовки из трубы большего диаметра d_{T1} и меньшей длины L_{T2} по сравнению с расчетным диаметром заготовки d_{31} и длиной L_{31} поковки вала по варианту 1.

Очевидно, что поковки могут быть получены протяжкой исходной трубной заготовки, либо осадкой [5].

Протяжка полой заготовки (рисунок 1.13) представляет собой увеличение длины прошитой заготовки обжатием ее по обе стороны оправки двумя бойками (рисунок 1.14).

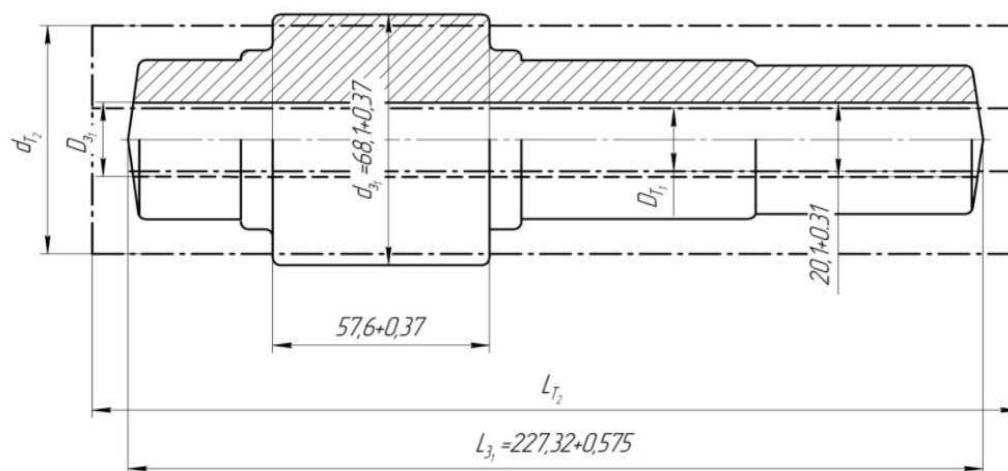


Рисунок 1.13 – Эскиз заготовки, полученной из трубы большего диаметра d_{T2} и меньшей длины L_{T2} по сравнению с расчетными диаметром заготовки d_{31} и длиной L_{31} поковки вала по варианту 2.

При этом наружный диаметр и толщина стенки заготовки уменьшаются. Эту операцию применяют для изготовления пустотелых поковок (барабанов котлов, сосудов высокого давления, корпусов химических реакторов и т.п.). Оправку вставляют в полость нагретой заготовки с небольшим зазором и удерживают при ковке с одного или двух концов на цепях крана.

Если толщина стенки поковки превышает радиус оправки, то для предотвращения выпучивания рекомендуется использовать для протяжки нижний вырезной и верхний плоский бойки. В этом случае протяжку на

оправке производят вдоль узкой стороны плоского бойка. С этой же целью при более тонких стенках протяжку на оправке выполняют в обоих вырезных бойках. Ширину бойков для протяжки на оправке берут равной примерно половине ширины плоских бойков.

Для облегчения схода с нее поковки рабочую часть оправки выполняют конусной (от 1:100 до 1:150) и с буртом на ее толстом конце. Размеры оправок определяются по соответствующим нормам машиностроения. Оправки делают сплошными и пустотелыми. Последние используют дляковки крупных поковок, во избежание чрезмерного перегрева и смятия оправки полость оправки охлаждают проточной водой.



Рисунок 1.14 – Схема протяжки полой заготовки: 1 — нижний вырезной боек; 2 — бурт оправки; 3 — заготовка; 4 — плоский боек; 5 — готовая поковка; 6 — оправка; 7 — отверстие для охлаждения водой

Технология протяжки полой заготовки на конической оправке заключается в следующем (рисунок 1.14). Полую заготовку надевают на оправку вплотную к бурту и обжимают с кантовкой по кругу и продольными подачами.

Чтобы поковка не застревала на оправке, протяжку выполняют в определенной последовательности (рисунок 1.15). Сначала куют кольцевой участок 7, затем до промежуточного размера куют участок 2, после чего обжимают до размеров, близких к окончательным, участки 5, 4 и 3.

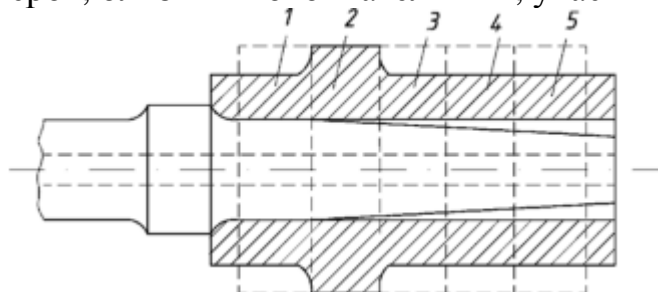


Рисунок 1.25 – Деление заготовки на участки при протяжке полой заготовки

При такой последовательности концы поковки, которые охлаждаются быстрее, куют первыми, а поковка легче снимается с оправки. При обжатии каждого участка металл заготовки, упираясь в бурт оправки, как бы стекает с

оправки. Следовательно, при большой длине заготовки только небольшая ее часть, прилегающая к бурту, плотно сидит на оправке. На остальной части заготовки имеется зазор, который облегчает съем поковки с оправки. Зазор между оправкой и заготовкой в начальный моментковки для ускорения надевания заготовки на оправку и с целью получения чистой от окалины внутренней поверхности принимается равным 30-100 мм на сторону. При этом величина зазора берется тем больше, чем больше диаметр оправки и толщина стенки заготовки. В процессековки важно контролировать технологический процесс, не допуская искривления оправки и появления дефектов на ее поверхности.

Длинные пустотелые оправки изготавливаются протяжкой с применением постепенно уменьшающихся по диаметру оправок. Число оправок ориентировочно определяется по формуле 1.2:

$$k = \frac{D_{нар.исх}^2 - d_{вн.исх}^2}{y_c (D_{нар.к}^2 - d_{вн.к}^2)} \quad (1.2)$$

где $D_{нар.исх}$, $d_{вн.исх}$ — наружный и внутренний диаметры исходной полый заготовки перед протяжкой соответственно; $D_{нар.к}$, $d_{вн.к}$ — наружный и внутренний диаметры наименьшего сечения поковки после протяжки на оправке соответственно; y_c — средняя степень укова [6].

Число нагревов при протяжке на оправке обычно определяется опытным путем. На практике длина проковываемой на оправке части поковки при $y_c = 2$ составляет 4-6 м за вынос. Если протяжка выполняется за два выноса, ковку начинают с середины заготовки и ведут в следующем направлении: при первом выносе — в сторону донной части; при втором выносе — в сторону прибыльной части слитка. Усилие при протяжке с оправкой $P_{пр.о}$, МН, определяется по формуле 1.3:

$$P_{пр.о} = 1,05 / \sigma_s D_{нар.исх} \left[1 + \mu_s \left(\frac{1}{S} - \frac{1}{D_{нар.исх}} \right) \frac{1}{3} \right], \quad (1.3)$$

где $D_{нар.исх}$ — наружный диаметр заготовки, м; σ_s — подача, м; S — толщина стенки кольцевой заготовки при протяжке, м; μ_s — фактор трения.

Во всех случаях интенсивная ковка на оправке ведется по направлению к упорному бурту оправки, что сокращает конусность отверстия поковки и облегчает сход поковки с оправки. Оправку извлекают из поковки гидравлическим экстрактором.

Результаты исследований вариантов заготовок для создания типового проекта позволяют сделать вывод о том, что на основе предложенной методики конструкторско-технологического проектирования может быть решена задача снижения металлоемкости деталей типа пустотелого цилиндра путем применения исходной трубной заготовки для получения заготовки поковки или штамповки, вследствие чего становится возможным применение методики проектирования типовых чертежей заготовок, технологий и специализированных участков при обеспечении снижения коэффициента использования материала.

2 Методы механической обработки глубоких отверстий

2.1 Расчет и назначение режимов резания и основного времени при растачивании широкими резцами

Для устранения остаточных микронеровностей при обтачивании или растачивании резцами с широкой зачищающей кромкой предусмотрена обработка режущими зубьями прошивки, напресованной на пиноль (рисунок 2.1). Этим конструкторско-технологическим приемом создаются условия для обеспечения равномерного припуска под дорнование, снижения параметров шероховатости до величины $Ra\ 0,63-1,25$. Обеспечив таким образом стабилизацию процесса режуще-деформирующего прошивания процессов, можно осуществить и совмещенную обработку резцом с широкой зачищающей режущей кромкой.

Дальнейшим развитием процесса совмещенной обработки является применении вихрефрезерования с планетарно-круговой подачей, совмещенной с осевой подачей фрезы, оснащенной зачищающей широкой режущей кромкой [1]. Для повышения качества обработанной вихрефрезерованием поверхности может быть предусмотрено также режуще-деформирующее прошивание калибрующими зубьями прошивки и дорнованием [2, 3]. Последнее способно обеспечить параметры шероховатости $Ra\ 0,32$, близкие к параметрам абразивной обработки.

Таким образом, результаты исследований показывают, что с целью повышения производительности обработки глубоких отверстий [3], обеспечения деления стружки целесообразно совмещать операции растачивания, вихрефрезерования и режуще-деформирующего протягивания [5, 6].

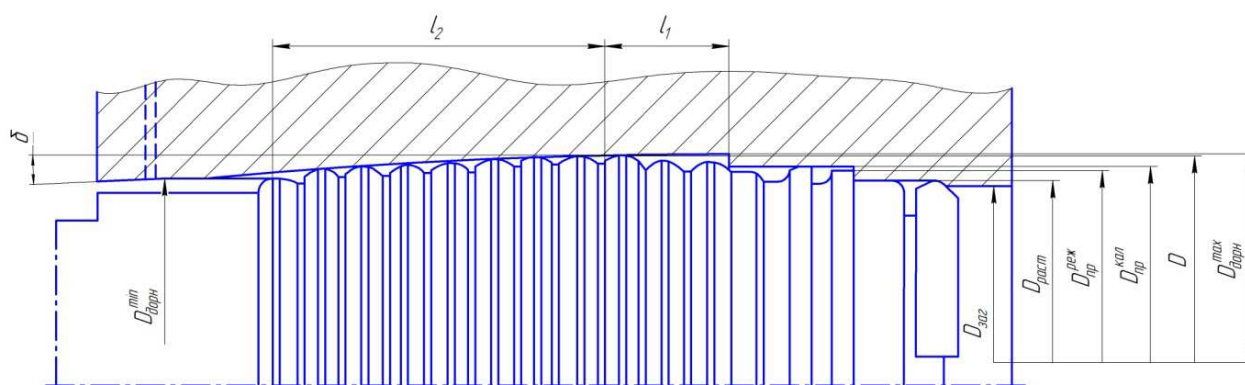


Рисунок 2.1 – Схема расположения и съема припуска резцом с зачистной кромкой в сечении, перпендикулярном продольной оси отверстия (а), и в продольном сечении (б) при обработке пинолью с режуще-деформирующей прошивкой [2, 3].

Осевая подача резца выбирается в зависимости от прочности и жесткости системы: станок–приспособление–инструмент–заготовка.

Для лучистовой обработки могут быть ориентировочно приняты подачи от 1 до 5 мм/об.

Средневолжский станкостроительный завод рекомендует две конструкции В.А. Колесова (рисунок 2.2) [9]. Для точения валков на проход резец оснащен пластинкой из твердого сплава Т15К6. На рисунке 2.2 показан резец В.А. Колесова для точения ступенчатых валков. Резец оснащен пластинкой твердого сплава Т16К6.

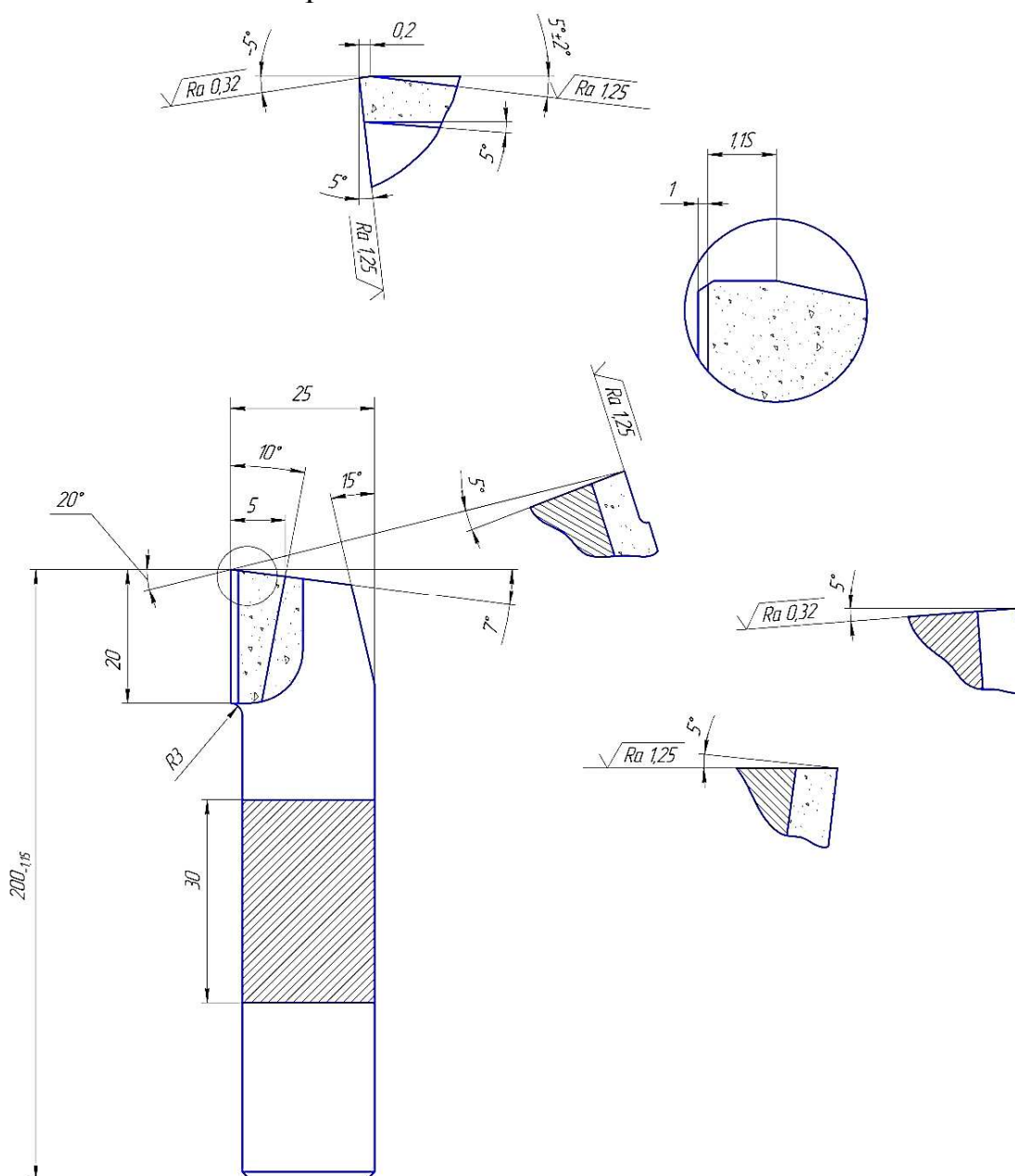


Рисунок 2.2 – Резец В.А. Колесова для точения ступенчатых валков: пластинка твердого сплава Т15К6

Резец конструкции Унанова Б.Г. (рисунок 2.3), как и резец Колесова В.А., предназначен для обработки металлов резанием с большими подачами и чистой обрабатываемой поверхности в пределах Ra 2,5 мкм.

Резец Унанова Б. Т. пригоден не только для чистовой и получистовой обработки, но и для чернового обтачивания по корке с неравномерными припусками при ударной нагрузке.

Отличительными особенностями конструкции режущей части резца Унанова являются:

- отсутствие стружкозавивательного уступа и накладного стружколома;

- замена переходной режущей кромки, направленной под углом 20° в резце Колесова, закруглением радиусом 0,5 мм.

Резец Унанова имеет следующие геометрические параметры: наклон передней поверхности по кромке главного угла в плане равен 6° .

Этот угол наклона обеспечивает ломку сходящей стружки.

Задние углы по всем режущим кромкам составляют:

а) по пластинке твердого сплава - от 5° до 6° ;

б) по державке резца - от 7° до 8° .

Отрицательные фаски по режущим кромкам отсутствуют.

Таблица 2.1 – Поддачи при точении стали и чугуна резцами с главным углом в плане, равным 45°

Способ установки детали	Диаметр детали в мм	Длина обработки в мм	Мощность станка в кВт							
			до 5		до 8		до 12		св. 12	
			глубина резания в мм до:							
			1,0-2,0	2,1-4,0	1,0-2,0	2,1-5,0	1,0-2,0	2,1-5,0		5
			подача в мм/об							
В центрах	До 40	До 300	1,8-2,5	1,1-2,0	2,2-3,0	1,3-2,2	-	-	-	
		До 400	1,2-2,0	0,8-1,4	1,2-2,0	0,8-1,4	-	-	-	
	До 60	До 500	1,8-3,0	1,1-2,0	2,5-3,2	1,6-2,5	2,5-3,2	1,6-2,5	-	
		До 600	1,8-2,5	1,1-2,0	1,8-2,5	1,2-2,2	1,8-2,5	1,2-2,2	-	
	До 75	До 600	1,8-3,0	1,1-2,0	2,5-3,2	1,6-2,5	2,5-3,5	1,8-2,5	2,0-5,0	
		До 750	1,8-2,5	1,1-2,0	2,0-2,5	1,3-2,2	2,2-3,0	1,5-2,3	1,8-4,5	
	Св. 75	-	1,8-3,0	1,1-2,0	2,5-3,6	1,6-2,5	3,0-4,0	2,0-3,5	2,5-5,0	
В патроне с поджатием задним центром	До 40	До 300	1,8-2,5	1,1-2,0	2,2-3,0	1,3-2,2	-	-	-	
		До 400	1,5-2,0	1,2-1,8	1,5-2,0	1,2-1,8	-	-	-	
	60	До 500	1,8-3,0	1,1-2,0	2,5-3,6	1,6-2,5	2,5-4,0	2,0-3,5	-	
		До 600	1,8-3,0	1,1-2,0	2,0-3,5	1,3-2,2	2,2-4,0	1,5-2,5	-	
	75	До 600	1,8-3,0	1,1-2,0	2,5-3,6	1,6-2,5	2,5-4,0	2,0-3,5	2,5-5,0	
		До 750	1,8-3,0	1,1-2,0	2,0-3,0	1,5-2,5	2,3-3,5	1,8-3,0	1,8-4,5,	
	Св. 75	-	1,8-3,0	1,1-2,0	2,5-3,6	1,6-2,5	3,0-4,0	2,0-3,5	3,0-5,0	
В патроне	До 300	-	1,2-2,0	0,9-1,8	1,8-2,5	1,2-2,0	-	-	-	
	Св. 300	-	-	-	2,0-3,0	1,5-2,5	2,0-3,5	2,0-3,5	2,5-4,0	
На конс. оправке	До 50	-	1,1-1,3	-	-	-	-	-	-	
	До 150	-	1,3-1,8	-	1,5-2,2	-	-	-	-	

Примечания:

1. При точении резцами с главным углом в плане, равным 90°. устанавливать подачу в пределах 1,0-1,5 мм/об.
2. Верхние пределы подачи рекомендуется брать для меньших глубин резания, при обработке менее прочных сталей, при обработке чугуна, а также при более жесткой системе станок – деталь – инструмент.

Выбранную в таблице 2.1 величину подачи (при обработке в центрах или в патроне с поджатием детали задним центром) необходимо проверить по Таблица 1.2.

Таблица 1.1 – Поддачи, допускаемые прогибом детали, при точении гладких валов

Диаметр детали в мм	L/D	Длина детали L в мм	Обработка в центрах							Обработка в патроне с поджатием задним центром						
			глубина резания в мм до													
			1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0		
			подача в мм об/мм													
35	5	175	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0		

	6	210	5,0	5,0	5,0	5,0	3,9	3,3	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
	7	245	5,0	4,6	3,7	2,8	2,2	1,9	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	4,5
	8	280	3,8	2,8	2,2	1,7	1,3	1,1	5,0	5,0	5,0	4,0	3,2	2,7
	9	315	2,4	1,8	1,4	1,1	-	-	5,0	4,3	3,5	2,6	2,0	1,7
	10	350	1,6	1,2	0,98	-	-	-	4,0	2,9	2,3	1,7	1,4	1,2
40	5	200	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
	6	240	5,0	5,0	5,0	5,0	4,7	3,9	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
	7	280	5,0	5,0	4,4	3,2	2,6	2,2	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	4,3
	8	320	4,5	3,2	2,7	2,0	1,6	1,3	5,0	5,0	5,0	4,0	3,2	2,7
	9	360	2,9	2,0	1,7	1,2	1,0	-	5,0	4,9	4,1	3,0	2,4	2,0
	10	400	1,9	1,4	1,1	0,85	-	-	4,6	3,4	2,7	2,0	1,6	1,4
50	6	300	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
	7	350	5,0	5,0	5,0	4,3	3,5	2,9	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
	8	400	5,0	4,4	3,5	2,6	2,1	1,8	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	4,3
	9	450	3,8	2,8	2,3	1,7	1,3	1,1	5,0	5,0	5,0	4,0	3,2	2,7
	10	500	4,6	1,9	1,5	1,1	0,91	-	5,0	4,5	3,7	2,7	2,2	1,8
60	6	360	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
	7	420	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	4,5	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
	8	480	5,0	5,0	5,0	3,9	3,2	2,80	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
	9	540	5,0	4,3	3,4	2,5	2,1	1,8	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	4,2
	10	600	3,9	2,9	2,3	1,7	1,4	1,2	5,0	5,0	5,0	4,0	3,3	2,9
75	7	525	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
	8	600	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	4,2	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
	9	675	5,0	5,0	4,5	3,3	2,7	2,3	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
	10	750	5,0	3,8	3,0	2,3	1,8	1,5	5,0	5,0	5,0	5,0	4,3	3,7
90	8	720	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
	9	810	5,0	5,0	5,0	5,0	4,0	3,4	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
	10	900	5,0	5,0	4,6	3,4	2,8	2,3	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
110	8	880	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
	9	990	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	4,3	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
	10	1100	5,0	5,0	5,0	4,3	3,5	3,0	3,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
125	9	1125	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
	10	1250	5,0	5,0	5,0	5,0	4,7	4,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0

Поправочные коэффициенты на подачу в зависимости от твердости обрабатываемого материала:

Таблица 2.2 – Зависимость значений поправочных коэффициентов на подачу от твердости обрабатываемого материала

Твердость Нв	136-152	153-170	171-189	190-211	212-237	238-268
Коэффициент	1,75	1,44	1,2	1,0	0,83	0,69

Примечания:

1. Поддачи рассчитаны для работы по 5-му классу точности.
2. При обработке ступенчатых валиков поддачи могут быть повышены без ущерба для точности обработки, если в первом приближении за расчетный диаметр детали принимать средний диаметр валика.

Выбор глубины резания

При работе с большими подачами допустимая глубина резания зависит от прочности дополнительной режущей кромки резца и прочности пластинки твердого сплава.

Глубину резания в зависимости от обрабатываемого материала и марки твердого сплава можно выбрать по таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Значения глубины резания в зависимости от обрабатываемого материала

Обрабатываемый материал	Марка твердого сплава	Глубина резания в мм
Сталь	T30K4	от 0,2 до 0,5
	T15K6, T14K8, TT10K8Б	от 0,5 до 2,0
	T5K10	до 3,0
Чугун	BK2, BK3	до 2,0
	BK6, BK8	до 5,0

При наличии большего припуска обработку следует вести в два и более прохода.

Выбор скорости резания

После выбора подачи и глубины резания скорость резания назначается в соответствии с режущими свойствами выбранной марки твердого сплава. Скорости резания определяются по таблицам 2.4 и 2.5. В этих таблицах даны поправочные коэффициенты для измененных условий эксплуатации резцов.

Таблица 2.4 – Скорость резания (сталь конструкционная, резцы T15K6)

Глубина резания в мм	Подача в мм/об до:														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
До 0,6	1,6	2,3	3,4	5,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
До 0,7	1,05	1,6	2,3	3,4	5,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
До 0,85	0,78	1,05	1,6	2,3	3,4	5,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
До 1,1	0,7	0,85	1,05	1,6	2,3	3,4	5,0	-	-	-	-	-	-	-	-
До 1,3	0,64	0,78	0,95	1,2	1,6	2,3	3,4	5,0	-	-	-	-	-	-	-
До 1,6	-	0,7	0,8	1,5	1,3	1,6	2,3	3,4	5,0	-	-	-	-	-	-
До 1,9	-	-	0,78	0,95	1,15	1,4	1,7	2,3	3,4	5,0	-	-	-	-	-
До 2,3	-	-	0,7	0,85	1,05	1,3	1,6	1,9	2,3	3,4	5,0	-	-	-	-
До 2,8	-	-	-	0,78	0,95	1,15	1,4	1,7	2,1	2,5	3,4	5,0	-	-	-
До 3,4	-	-	-	0,7	0,85	1,05	1,3	1,6	1,9	2,3	2,8	3,4	5,0	-	-
До 4,1	-	-	-	-	0,78	0,9	1,15	1,4	1,7	2,1	2,5	3,1	3,7	5,0	-
До 5,0	-	-	-	-	0,7	0,85	1,05	1,3	1,6	1,9	2,3	2,8	3,4	4,1	5,0

Таблица 2.5 – Назначение подач в зависимости от обрабатываемого материала

Главный угол в плане	Обраба- тываемый материал		Подача в мм/об до:														
	σ_B , кг/мм ²	HB	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
45	50	140	255	240	226	214	201	190	179	168	158	150	141	133	125	118	111
	57	158	226	214	201	190	179	168	158	150	141	133	125	118	111	105	99
	63	178	201	190	179	168	158	150	141	133	125	118	111	105	99	94	88
	72	200	179	168	158	150	141	133	125	118	111	105	99	94	88	83	78
	80	226	158	150	141	133	125	118	111	105	99	94	88	83	78	74	70
	92	255	141	133	125	118	111	105	99	94	88	83	78	74	70	65	62
90	50	140	179	167	157	148	140	132	124	117	110	104	98	93	87	82	77
	57	158	158	148	140	132	124	117	110	104	98	93	87	82	77	73	69
	63	178	141	132	124	117	110	104	98	93	87	82	77	73	69	65	61
	72	200	125	117	110	104	98	93	87	82	77	73	69	65	61	58	54
	80	226	111	104	98	93	87	82	77	73	69	65	61	58	54	51	-
	92	255	98	93	87	82	77	73	69	65	61	58	54	51	-	-	-

Примечание. Жирными линиями показан пример пользования таблицей: при выборе глубины резания 1,6 мм и подачи 3,4 мм/об для материала с пределом прочности $\sigma_B=63-72$ кг/мм², скорость резания назначается в пределах 133-118 м/мин.

В качестве примера рассмотрим обработку трех длинномерных заготовок из стали 40Х диаметров 60Н, 100Н, 150Н, 200Н, главный угол в плане (ϕ) равен 6° как наиболее широко применяемый при обработке конструкционных сталей, количество проходов $i=1$.

Результаты расчета режимов обработки и норм времени на каждом этапе механической обработки приведены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Расчеты режимов резания и основного времени при растачивании широкими резцами

Вид операции	<i>d</i> , мм	Квалитет	<i>l</i> , мм	<i>l_l</i> ,мм	<i>l₂</i> , мм	<i>L</i> , мм	<i>t</i> , мм	<i>s</i> , мм/об	<i>v</i> , м/мин	<i>n</i> , об/мин	<i>T_о</i> , мин
Заготовка: d0=38±2; марка 40X; Dз=70±0,5											
Черновое расточивание	48	H14 ^{+0,62}	6000	47,60	2	6049,60	5	2	52	345	17
Получистовое расточивание	56	H12 ^{+0,3}	6000	38,08	2	6040,08	4	1,6	59	336	22
Чистовое расточивание	59,76	H9 ^{+0,074}	6000	18,09	2	6020,09	1,9	1,2	72	384	26
Тонкое расточивание	60	H8 ^{+0,046}	6000	1,14	2	6003,14	0,12	0,5	120	780	31
									Итого		97
Заготовка: d0=74±2; марка 40X; Dз=110±0,5											
Черновое расточивание	86	H14 ^{+0,87}	6000	57,12	2	6059,12	6	3,2	43	159	24
Получистовое расточивание	96	H12 ^{+0,35}	6000	47,60	2	6049,60	5	2	52	173	35
Чистовое расточивание	99,74	H9 ^{+0,35}	6000	18,09	2	6020,09	1,9	1,6	65	208	36
Тонкое расточивание	100	H8 ^{+0,054}	6000	1,24	2	6003,24	0,13	1,2	113	360	28
									Итого		123
Заготовка: d0=130±2; марка 40X; Dз=165±0,5											
Черновое расточивание	136	H14 ⁺¹	6000	57,12	2	6059,12	6	3,2	43	101	37
Получистовое расточивание	146	H12 ^{+0,4}	6000	47,60	2	6049,60	5	2,2	51	111	49
Чистовое расточивание	149,74	H9 ^{+0,1}	6000	18,09	2	6020,09	1,9	2	60	128	47
Тонкое расточивание	150	H8 ^{+0,063}	6000	1,24	2	6003,24	0,13	1,2	113	240	42
									Итого		175
Заготовка: d0=170±2; марка 40X; Dз=210±0,5											
Черновое расточивание	186	H14 ⁺¹	6000	76,15	2	6078,15	8	4	38	65	46
Получистовое расточивание	196	H12 ^{+0,46}	6000	47,60	2	6049,60	5	3,5	43	70	49
Чистовое расточивание	199,74	H9 ^{+0,115}	6000	18,09	2	6020,09	1,9	3	52	83	48
Тонкое расточивание	200	H8 ^{+0,072}	6000	1,24	2	6003,24	0,13	1,6	102	162	46
									Итого		190

Перед растачиванием глубокого отверстия резцом 4 в отверстии d го. заг. заготовки (рис. 2.4) при выполняется расточка под заход деревянных направляющих 1 – расположенных во пазах втулки 2, установленной на корпус 3 (рис. 2.5).

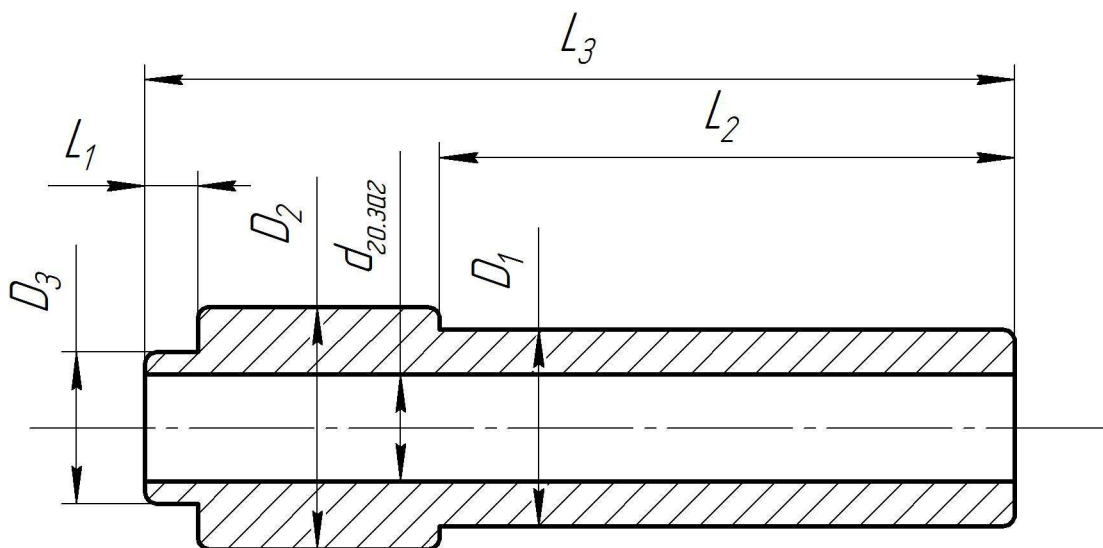


Рисунок 2.4 – Вид заготовки при растачивании глубокого отверстия

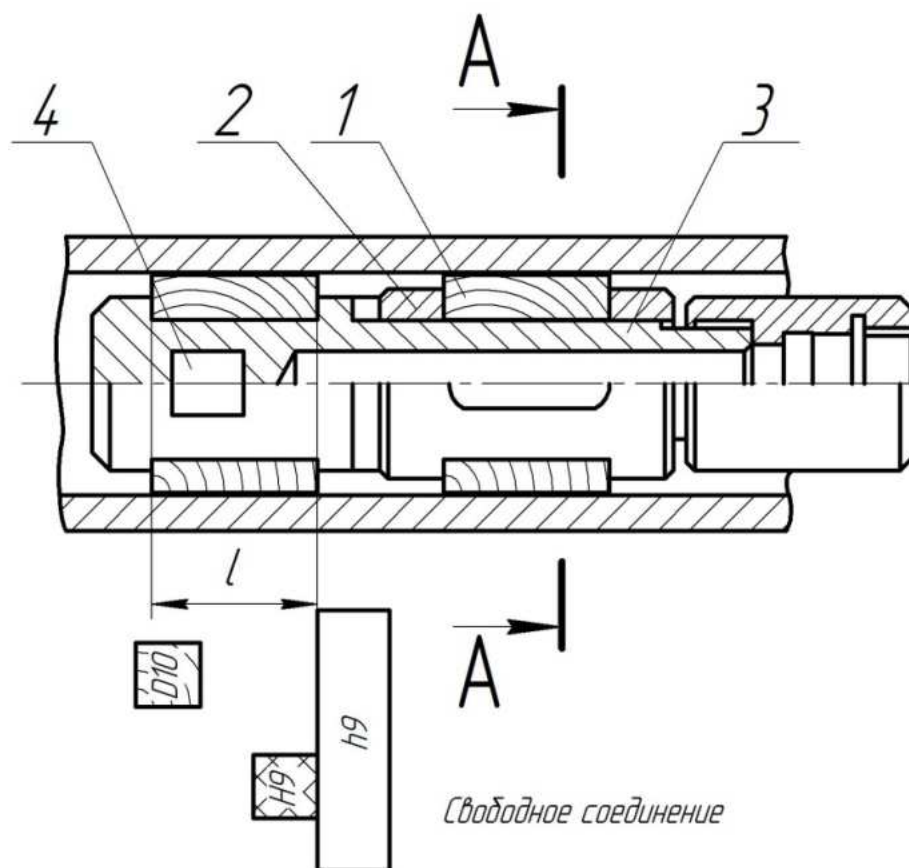


Рисунок 2.5 – Схема центрирования расточной головки направляющими при свободном или нормальном соединении с пазами по их длине: 1- направляющая, 2- втулка; 3- корпус борштанги расточного станка; 4 - расточной резец

На рисунке 2.6 представлено поперечное сечение расточной головки с деревянными направляющими элементами, образующими соединение с натягом с поверхностью обрабатываемого ГО длинномерной трубной заготовки. Она может быть одно, двух и трехлезвийной.

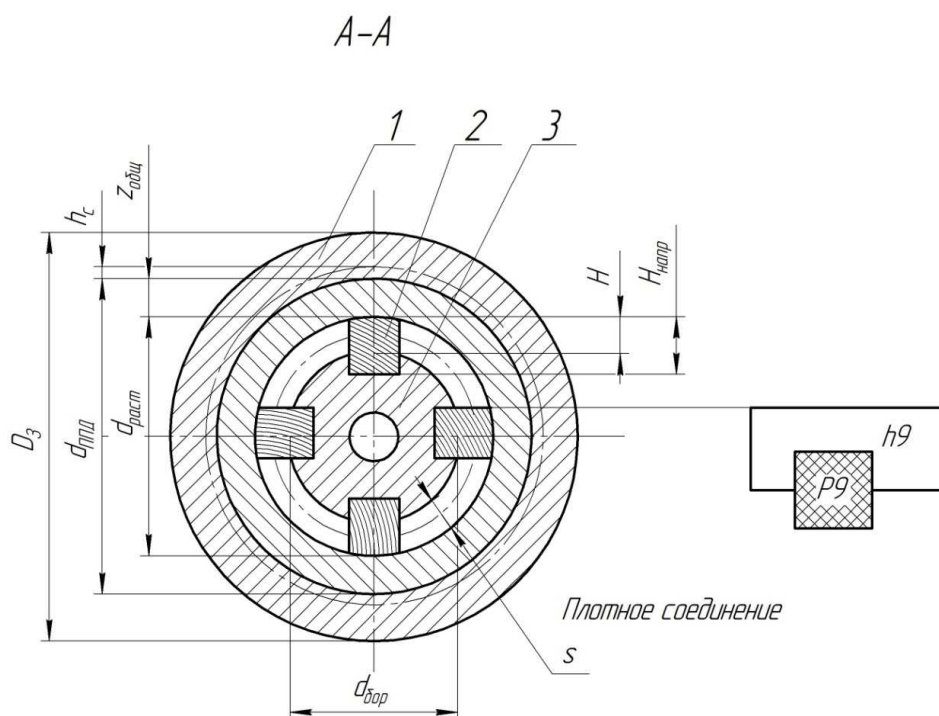


Рисунок 2.6 – Схема съема общего припуска: 1 – трубная заготовка; 2 – деревянная направляющая; 3 – расточная борштанга; D_3 – наружный диаметр заготовки; $d_{нпд}$ – диаметр ГО, образованный в процессе резания расточным резцом борштанги при съеме большого припуска с образованием поверхностной пластической деформации; h_c – глубина полезного слоя при осуществлении ППД; $z_{общ}$ – общий припуск на растачивание ГО; $d_{раст}$ – диаметр растачивания ГО; $d_{бор}$ – диаметр борштанг; S – зазор между расточной борштангой 3 и заготовкой трубы 1; $H_{напр}$ – общая высота деревянной направляющей; H – выступающая часть деревянной направляющей

Пройдя через насечки, выполненные на входе в растачиваемое отверстие d го. заг. трубной заготовки 1 (рис. 2.4), направляющие 2 (рис. 2.6) обжимаются поверхностью отверстия $d_{раст}$ – диаметр растачивания ГО с образованием натяга или плотного беззазорного соединения поверхностей направляющих с расточенным отверстием диаметром d_o независимо от того отклонения, которое получено при растачивании ГО в соответствии с назначенным допуском.

Другим направлением усовершенствования методики стала разработка системы допусков и посадок направляющих такого типа.

2.2 Расчет и назначение режимов резания и основного времени при контурном вихрефрезеровании отверстий

Известно, что расточка широким резцом типа Унанова невозможна при нестабильных припусках, а в отверстиях труб часто попадают наросты и наплывы, приводящие к внезапному и непрогнозируемому увеличению припусков, что приводит к поломке резцов и браку дорогостоящей трубы.

Последнее свойство обработки вынуждает обращаться к способам совмещенной механической обработки альтернативным растачиванию. Примером может служить процесс вихрефрезерования, который обеспечивает хорошее стружкоделение. В основу конструкции новых станков положены процессы вихрефрезерования с планетарно-круговой подачей, совмещенной с осевой подачей фрезы. При этом для повышения качества обработанной вихрефрезерованием поверхности предусмотрено режуще-деформирующее прошивание калибрующими зубьями прошивки, установленной на наружной поверхности пиноли, что позволяет совместить способы винтовой интерполяции (рисунок 2.7) и режуще-деформирующее прошивание в одном рабочем ходе обрабатывающего органа - пиноли.

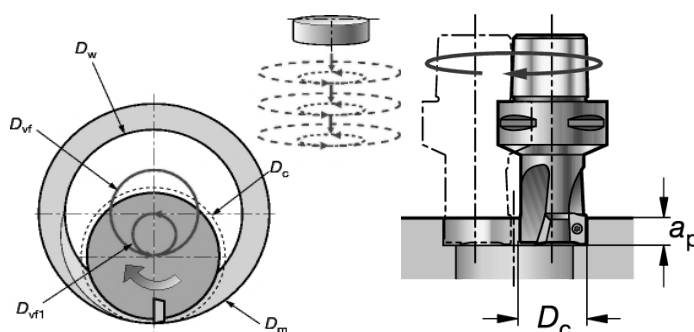


Рисунок 2.7 – Круговая интерполяция с врезанием по 2 осям: а- схема врезания фрезы 1 вдоль оси заготовки 2 методом винтовой интерполяции заготовки; D_w – диаметр отверстия обрабатываемой заготовки; D_{vf} – траектория оси шпинделя с фрезой в начале врезания фрезы; D_{vf1} – траектория оси шпинделя с фрезой в конце врезания фрезы; D_m – диаметр окончательно обработанной поверхности; б – схема врезания фрезы перпендикулярно оси заготовки, a_p – величина подачи фрезы за 1 оборот заготовки или планетарного поворота борштанги с фрезой вокруг оси отверстия (рекомендации фирмы Sandvik).

На рисунке 2.8 заготовка неподвижна, а инструмент – фреза совершает два вида вращения: вокруг своей оси и планетарное движение по круговой орбите с определенной подачей, как и в пинольных станках. Круговую интерполяцию можно применять, используя большинство фрез с углом в плане 90 градусов, совершая кольцевой проход (рисунки 2.8, 2.9, 2.9).

Тип фрезы для расфрезерования, предварительно полученного на других операциях отверстия, зависит от диаметра отверстия, при этом можно использовать как концевые, так и насадные конструкции фрез.

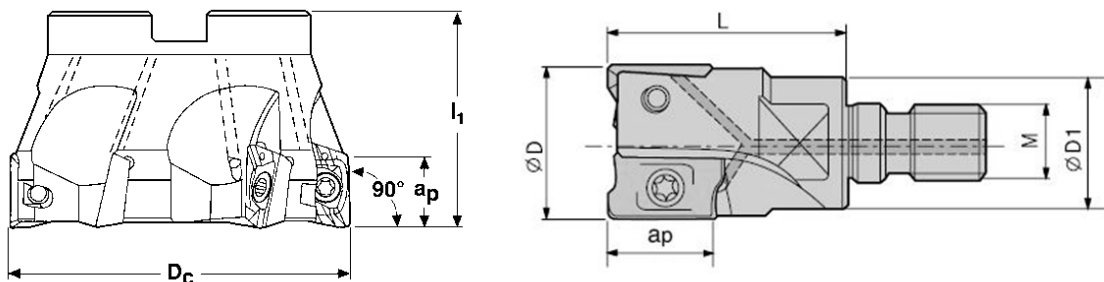


Рисунок 2.8 – Геометрические параметры фрез производства фирм «Seco» (слева) и «TaeguTec» (справа)



Рисунок 2.9 – Вид фрез производства фирм «Seco» (слева) и «TaeguTec» (справа)

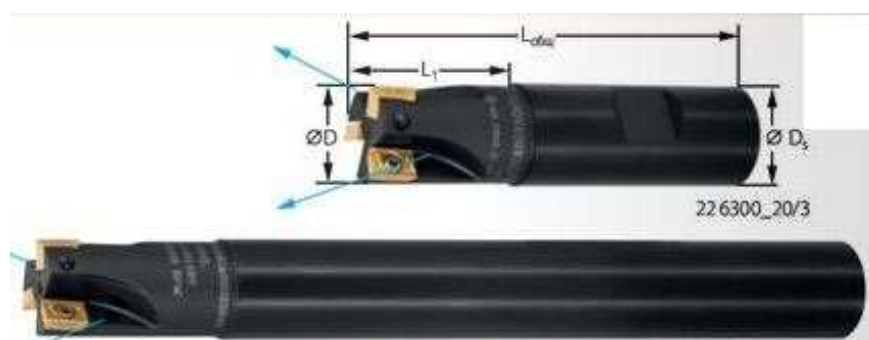


Рисунок 2.10 – Пальцевые фрезы каталога, короткие сверху и длинные внизу

В то же время известны наработки ВПИ и ВТЗ в части создания гаммы пинольных расточных головок. Исследования показывают, что их применение приведет к сокращению сроков подготовки производства и повышению качества механической обработки цилиндров, в том числе длинномерных трубных деталей высокой точности.

ВПИ предлагает новое решение: достижение нужного качества труб до уровня точности, соответствующего расчетным параметрам допусков IT7-IT8 при шероховатости (за счет внутреннего шлифования) Ra 0,63-0,16 и отклонениям от прямолинейности оси глубоких отверстий 0,03-0,05 на длине 1 м. Предлагаемая технология основана на создании гаммы разработанных в ВПИ универсальных фрезерно – шлифовально - расточных головок, работающих на принципе совмещения вихрефрезерования с режуще-деформирующим прошиванием и, при необходимости, с внутренним планетарным шлифованием.

Также известны работы, посвященные повышению производительности и точности при совмещении двух процессов: совмещение растачивания отверстия при контурном вихрефрезеровании с планетарным движением фрезы по методу винтовой интерполяции (рисунок 2.11).

Существует три основных рекомендации для стратегии кругового врезания под углом, несоблюдение которых может привести к возникновению затруднений:

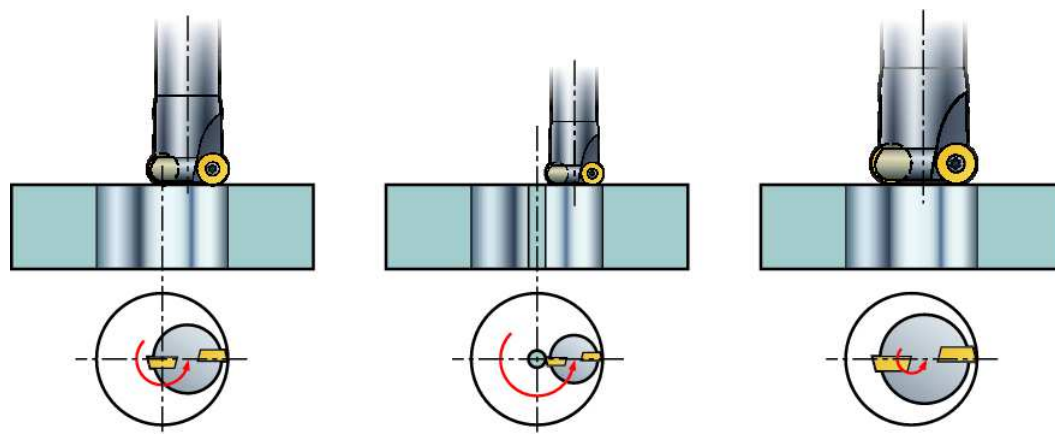


Рисунок 2.11 – Выбор диаметра фрезы под диаметр отверстия

1. При использовании фрез с отсутствием возможности засверливания очень важен выбор корректного диаметра. Диаметр должен обеспечивать резание металла пластиной в зоне центра обрабатываемого отверстия.

2. При выборе слишком малого диаметра фрезы в центре детали будет оставаться стержень как при трепанировании. Подобное приемлемо для обработки различного рода прорезей, однако существует необходимость поддержки стержня при выпадении.

3. При выборе слишком большого диаметра фрезы пластина не будет срезать металл в зоне центра отверстия, что приведёт к образованию бобышки на дне отверстия.

Для определения подачи S_z на резец головки рассмотрим сходство вихревого резания с фрезерованием.

При осуществлении процесса методом винтовой интерполяции процесс резания сопровождается непрерывной осевой передвижкой фрезы вдоль оси обрабатываемого отверстия, где припуск снимется за один рабочий ход и распределяется между зубьями гребенчатой фрезы как при нарезании резьбы. На рисунке 2.17 показано распределение припуска, когда общий припуск $Z_{общ.} = t_1 + t_2 + t_3$, что имеет свои особенности. При заданном шаге витков фрезы $p=3$ мм назначается осевая подача S_{oc} , кратная трем шагу витков фрезы p , например, при шаге витков фрезы $p=3$ мм в отверстии нарезается резьба с более мелким шагом нарезаемой резьбы $S_{н.р.} = 1$ мм, кратным 3 по отношению к шагу витков гребенчатой фрезы, т. е. $S_{н.р.} = p/3 = 1$ мм. Таким образом, оставшиеся несрезанные вершины в виде мелкой резьбы удаляются калибрующей частью гребенчатой фрезы, с целью обеспечения заданных параметров шероховатости $Ra = 2, 5-3$ мкм.

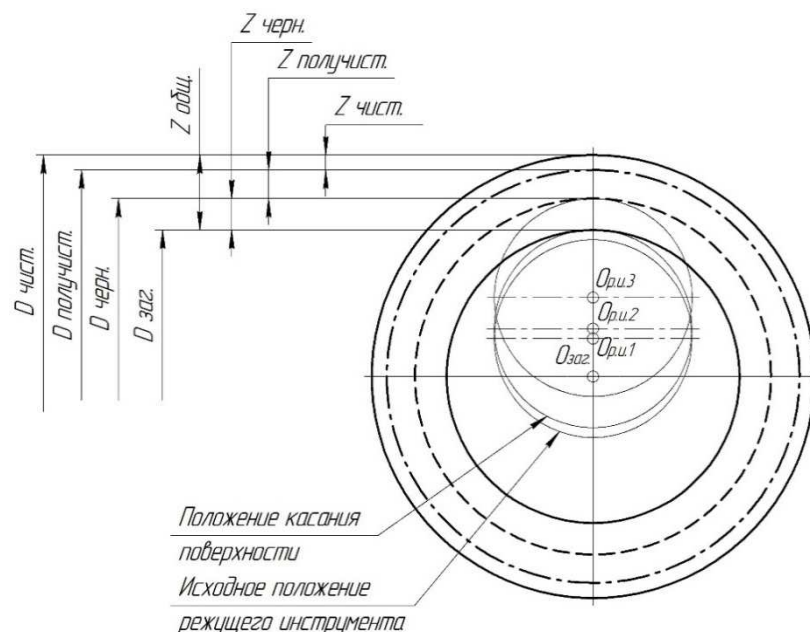


Рисунок 2.12 – Схема съема общего припуска черновым, полуристовым и калибрующим зубом гребенчатой фрезы с зачищающей режущей кромкой

Рабочий цикл, как и при резьбофрезеровании, может происходить по схеме: врезания радиального.

Как и сверление, растачивание зачастую является наиболее быстрым методом обработки отверстия, и по ряду причин расфрезерование иногда может являться альтернативой растачиванию.

Формулы и расчеты режимов резания при круговой (винтовой) интерполяции для фрезерования, согласно рекомендациям фирмы SandvikCoromant приведены в [10].

2.3 Совмещение планетарного шлифования глубоких отверстий и дорнования

Совмещенный процесс внутреннего планетарного шлифования и дорнования возможен при использовании разработанной деформирующей шлифовальной головки в виде пиноли [14].

Перед шлифованием ГО необходимо в исходной заготовке снять припуски под лезвийную механическую обработку способами совмещения режуще-деформирующего прошивания с растачиванием [1] и вихрефрезерованием по методу винтовой интерполяции [2].

Возможно также применение традиционного растачивания широкими резцами с зачистной калибрующей кромкой, установленными на длинномерных борштангах станков RIS 60.....RBS 125 и аналогичных им, работающим на сжатие или растяжение стебля [3].

Только после снятия основного припуска окончательную обработку ГО предлагается выполнять способами соосного осциллирующего шлифования [4] или абразивной обработки [5].

Из опыта чистовой и получистовой обработки на подачах (3-5 мм/об) можно сделать вывод, что перекося зачистного лезвия относительно направления подачи оси обработанной поверхности можно частично нейтрализовать доводкой.

Новым оригинальным направлением получения осциллирующего движения зоны контакта круга с заготовкой является применение принципа "бегущего контакта". Последний может быть обеспечен за счет установки инструмента под углом к оси его вращения, специальной геометрией рабочей поверхности абразивного инструмента, движением обката и др.

Наиболее просто осциллирующее движение реализуется установкой шлифовального круга под углом к оси его вращения [8]. Для обработки поверхности несколько большей ширины, чем ширина круга, только с радиальной подачей устанавливают круг на угол, зависящий от его диаметра и ширины, но не более 15° .

Установка шлифовального круга под углом к оси его вращения обуславливает появление момента центробежных сил инерции от неуравновешенных масс, что следует учитывать при балансировке круга.

На рисунке 2.13 представлен цельный абразивный круг (АК) с прерывистым в продольном направлении аксиально-смещенным режущим слоем (АРС). Прерывистые в продольном направлении АК, благодаря наличию кольцевых впадин на рабочей поверхности, расположенных в поперечных сечениях АК, позволяют прерывать процесс резания для некоторых поперечных сечений заготовки и задавать перемещение отдельных участков зоны резания по синусоидальному закону.

Прерванная в продольном сечении зона резания и её осцилляция в осевом направлении дает возможность обрабатываемой заготовке остывать в промежутках между соседними резами. Изменением размеров выступов и впадин, а также угла наклона АК можно регулировать температуру в зоне шлифования. Эти круги в отличие от традиционных прерывистых кругов позволяют вести обработку с большей точностью и лучшей шероховатостью обрабатываемой поверхности. Они генерируют значительно большие воздушные потоки, которые способствуют эффективному охлаждению заготовки, отличаются лучшим самозатачиванием и отводом стружки при некотором увеличении износа и позволяют уменьшить составляющие силы резания на 20...30 %, температуру обрабатываемой поверхности заготовки до 30...40 %, что способствует уменьшению остаточных напряжений и улучшению других показателей качества поверхностного слоя.

Продольно-прерывистые цельнопрессованные круги с АРС, с винтовой рабочей поверхностью (рисунок 2.18) позволяют осуществлять режим квазидискретного шлифования с уменьшением теплонапряженности процесса, но без характерных для обработки кругами с прерывистой поверхностью вибраций; при этом изменяется схема съёма припуска: абразивные зерна, расположенные на торцовых поверхностях винтового шнека, снимают припуск по генераторной схеме, а в центральной части винтовой режущей поверхности - по профильной.

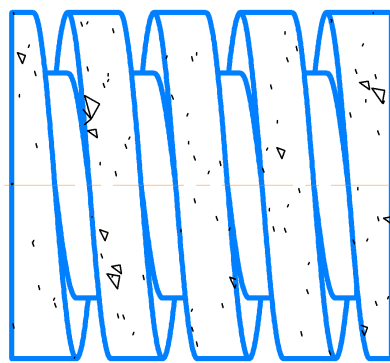


Рисунок 2.13 – Продольно-прерывистый абразивный круг с аксиально-смещенным режущим слоем

Кроме того, абразивные зерна каждого последующего сечения активного профиля инструмента смещены в пространстве относительно предшествующего, т. е. обработка ведется не по следу, что увеличивает количество активно режущих зерен, снижает радиальную составляющую силы резания, повышает коэффициент абразивного резания, стойкость инструмента и улучшает качество поверхностного слоя обработанных деталей. Регулярный микрорельеф, получаемый на шлифованных поверхностях, обеспечивает их большую маслостойкость и повышает эксплуатационные характеристики сопряженных пар трения. Исследования показали, что продольно-прерывистый цельнопрессованный круг с АРС и винтовой рабочей поверхностью работает как шнек, осуществляя прокачку СОТС через винтовые прорези круга.

Подача СОТС в зону резания уменьшает удельный расход абразива по сравнению с обычным шлифованием на 30...50 %.

Наряду с отмеченными выше положительными сторонами, продольно-прерывистым цельнопрессованным кругам с АРС рисунок 2.14 и 2.15 свойственны недостатки, главными из которых являются:

- сравнительно низкая механическая прочность инструмента, не позволяющая интенсифицировать шлифовальные операции из-за опасности разрушения инструмента под действием значительных сил в момент резания;
- нерациональное использование абразивного материала (полезно используется лишь абразив режущих выступов, при этом остающееся кольцо не используется);
- более сложная технология изготовления по сравнению с изготовлением обычных кругов, что удорожает стоимость этих кругов.

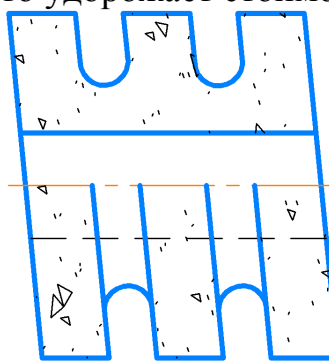


Рисунок 2.14 – Продольно - прерывистый абразивный круг с аксиально - смещенным режущим слоем

Отмеченные недостатки можно частично устранить за счет использования конструкции сборного продольно-прерывистого круга с АРС, состоящего из нескольких узких абразивных дисков рисунок 2.20, наклонных к оси вращения под углом α , определяемым по формуле:

$$\alpha = \arctg (B_n/D_n), \quad (2.11)$$

где B_n – ширина паза, которая должна быть не более высоты абразивного диска B_d , то есть

$$B_n < B_d \quad (2.12)$$

D_n – допустимо минимальный диаметр изношенного и переточенного шлифовального круга.

Известен режущий инструмент в виде сборного продольно-прерывистого круга с АРС, выполненный в виде абразивных дисков, закрепленных на общей ступице с осевым зазором посредством втулок со скошенными плоскопараллельными торцами комплекта крепежных шайб и гайки. В результате прерванная в продольном направлении зона резания и ее осцилляция в осевом направлении дает возможность обрабатываемой заготовке остывать в промежутках между соседними резами.

На рисунке 2.15 показан сборный продольно-прерывистый круг с АРС, который выполнен в виде абразивных дисков 1, закрепленных на общей ступице 2 с осевым зазором посредством втулок со скошенными плоскопараллельными торцами 3, комплекта крепежных косых шайб 4 и гайки 5. Комплект косых шайб 4, устанавливаемых по две штуки с каждого торца сборного круга и имеющих угол наклона торцов $\alpha/2$, позволяет плавно регулировать угол наклона абразивных дисков 1 путем кругового разворота одной шайбы комплекта относительно другой.

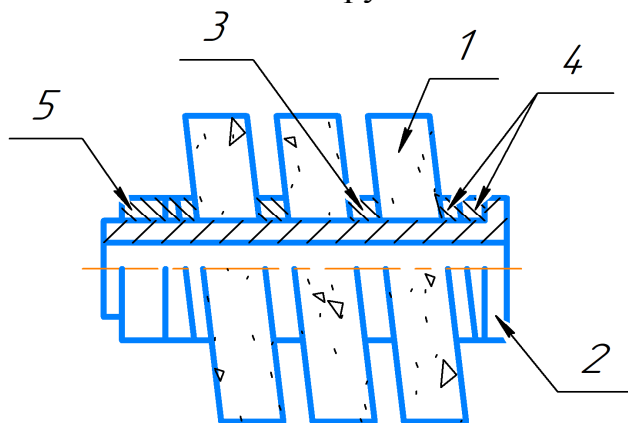


Рисунок 2.15 – Сборный продольно - прерывистый абразивный круг с аксиально - смещенным режущим слоем

Изучение физико-механического состояния поверхностного слоя после шлифования сборными продольно-прерывистый кругами с АРС показало, что толщина упрочненного слоя возрастает в среднем на 20%, а мощность, отнесенная к единице ширины обрабатываемой заготовки, меньше в 1,3 раза, что совпадает с данными работ [1,2].

Улучшение условий формирования упрочненных слоев с меньшими энергозатратами обусловлено тем, что термический режим шлифования

сборными продольно-прерывистый кругами с АРС сопровождается термоциклированием с частотой, равной удвоенной частоте вращения круга. При термоциклировании возрастают скорости нагрева и охлаждения поверхностных слоев, что создает более благоприятные условия для протекания термических процессов. Приведенные данные раскрывают дополнительные преимущества этих абразивных кругов по сравнению с обычными.

Максимально полезное использование абразива можно достичь применением сборных сегментных кругов (рисунок 2.21), которые все больше находят применение при отделочной обработке.

Доказано, что механическая прочность абразивного инструмента из сегментов значительно выше, если устранить центральную часть абразивного круга, в которой концентрируются напряжения, путем расчленения обычного АК на составные части – сегменты. В результате такого расчленения конструкция инструмента становится сборной, состоящей из центральной части, выполняемой обычно из прочного материала, например, стали, и периферийной абразивной части, которая лишена тангенциальных напряжений, благодаря тому, что она не представляет замкнутого кольца, а выполняется в виде отдельных сегментов, прикрепляемых к центральной части.

Конструкция сборного сегментного продольно-прерывистого абразивного круга с аксиально-смещенным режущим слоем представлена на рисунке 2.16. Положительной стороной сегментного продольно-прерывистого круга с АРС по сравнению с традиционным прерывистым сборным АК является квазипрерывистое осциллирующее шлифование и возможность варьирования ширины абразивных сегментов без изменения конструктивных размеров других деталей. Это достигается размещением различных по толщине проставочных колец 4. Кроме того, круг позволяет более полно использовать абразивный материал, интенсифицировать подвод СОТС и улучшить отвод тепла.

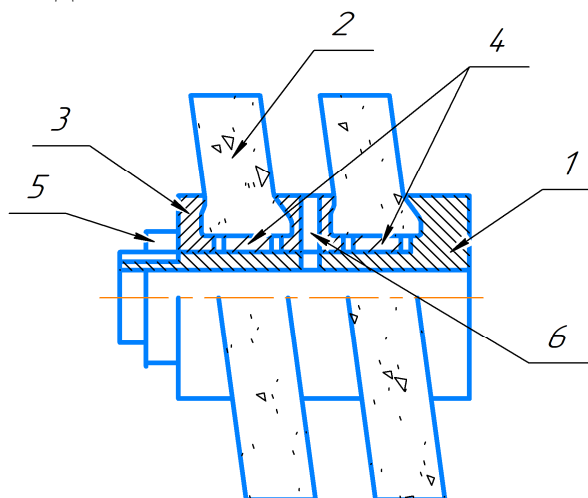


Рисунок 2.16 – сборный сегментный продольно - прерывистый абразивный круга с аксиально - смещенным режущим слоем

Предварительные лабораторные испытания показали, что скорости вращения сегментных продольно-прерывистых кругов с АРС с точки зрения прочности могут быть увеличены в 2...3 раза по сравнению с обычными кругами.

Вывод: использование продольно-прерывистых абразивных кругов аксиально-смещенным режущим слоем позволяет вести обработку с осцилляцией зоны шлифования, повысить производительность обработки, снизить шероховатости поверхности, энергозатраты на единицу объема снимаемого металла, а также снизить вероятность появления прижогов и интенсифицировать процесс шлифования.

Рассматриваемую систему (рисунок 2.17) можно представить с двумя связями (упругие опоры подшипников) и с одной связью (обрабатываемое изделие). Такая система имеет место в пинолях [14]. Угловые скорости шлифовального круга ω и детали ω_3 , в период обработки полагаем постоянными.

Составим дифференциальные уравнения движения оси системы. Неподвижную систему координат выберем так, чтобы ось x проходила через центры опор и шлифовального круга в положении равновесия, перпендикулярная ей ось y располагалась в горизонтальной плоскости, а ось z была вертикальной. Начало координат совпадает с центром инерции шпинделя в положении равновесия. Рассматривая малые колебания оси ротора около положения равновесия, перемещениями вдоль продольной оси x , силу их малости пренебрегаем.

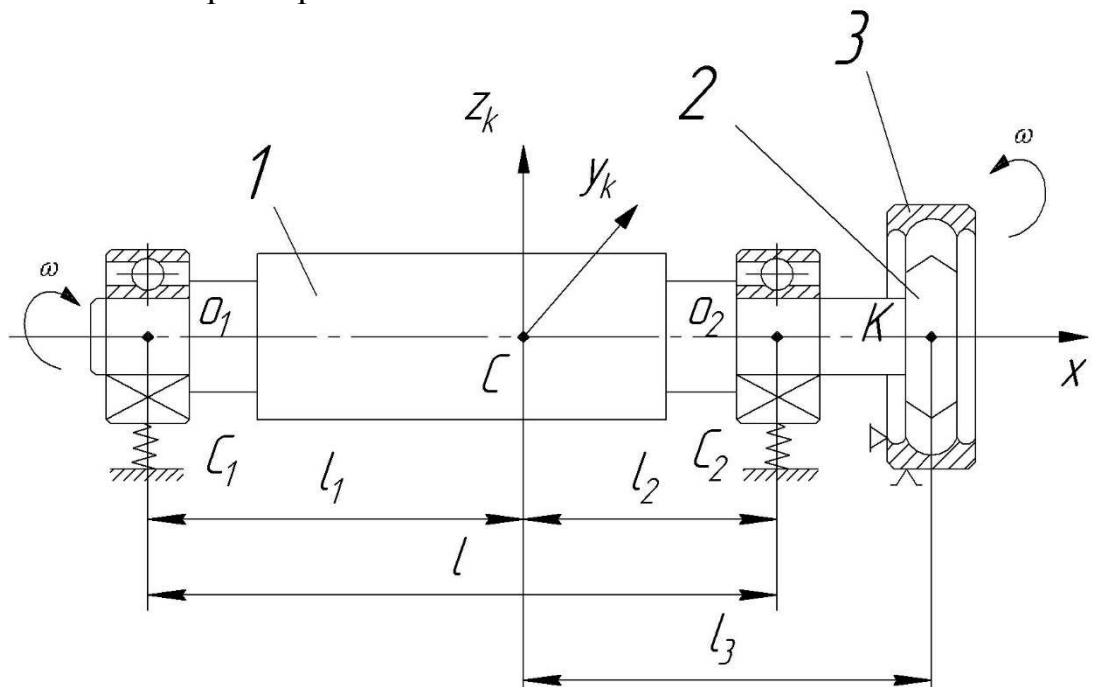


Рисунок 2.17 – Система шпиндель – шлифовальный круг: 1 – электрошпиндель; 2 – шлифовальный круг; 3 – обрабатываемая деталь

Таким образом, механическая система имеет четыре степени свободы. Колебания оси описывает система линейных неоднородных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами:

$$\begin{cases} M(l_2 \ddot{y}_1 + l_1 \ddot{y}_2) + c_1 \dot{y}_1 + c_2 \dot{y}_2 = M\varepsilon \omega^2 l \cos \omega \tau - P_y(\tau)l; \\ M(l_2 \ddot{z}_1 + l_1 \ddot{z}_2) + c_1 \dot{z}_1 + c_2 \dot{z}_2 = M\varepsilon \omega^2 l \cos \omega \tau - P_z(\tau)l; \\ A\omega(\ddot{y}_2 - \ddot{y}_1) - B(\ddot{z}_2 - \ddot{z}_1) + c_1 l_1 \dot{z}_1 - c_2 l_2 \dot{z}_2 = -(B-A)\omega^2 \delta l \sin(\omega \tau - \eta) - P_z(\tau)l_3; \\ A\omega(\ddot{y}_2 - \ddot{y}_1) - B(\ddot{z}_2 - \ddot{z}_1) + c_1 l_1 \dot{z}_1 - c_2 l_2 \dot{z}_2 = -(B-A)\omega^2 \delta l \sin(\omega \tau - \eta) - P_z(\tau)l_3, \end{cases} \quad (2.13)$$

где M , A , B – масса, полярный и экваториальный центральные моменты инерции шпинделя соответственно;

c_1 и c_2 – жесткости опор;

ε – смещение центра масс от геометрической оси;

δ – малый угол между главной центральной осью инерции (ГЦОИ) и геометрической осью;

η – малый угол, образованный плоскостями, проведенными через геометрическую ось и центр масс, а также через ГЦОИ и проекцию центра масс на геометрическую ось;

$l_{1,2,3}$ – расстояния от задней и передней опор и от центра шлифовального круга до центра инерции;

l – расстояние между опорами;

$y_{1,2}$, $z_{1,2}$ – координаты опор.

Первые два уравнения составлены с помощью теоремы о движении центра масс C системы, вторые два – с использованием теоремы об изменении кинетического момента в относительном движении по отношению к центру инерции.

Из системы находим законы движения центров опор и шлифовального круга, соответствующие вынужденным колебаниям. Так как система линейная, решения представляют композицию выражений, описывающих движения от действия неуравновешенностей (гармоническая составляющая) и от переменной силы резания. Вид последней компоненты на каждом этапе шлифования определяется формулой силы резания. Уравнения движения опор (для примера при черновом врезании) имеют вид

$$\begin{cases} y_1 = a_1 \cos(\omega \tau) + b_1 \sin(\omega \tau) - d_1 e^{-\frac{\tau}{T_1}} + y_{1p} = r_1 \cos(\omega \tau - \xi_1) - d_1 e^{-\frac{\tau}{T_1}} + y_{1p}; \\ z_1 = a_1 \sin(\omega \tau) + b_1 \cos(\omega \tau) - d_2 e^{-\frac{\tau}{T_1}} + z_{1p} = r_1 \sin(\omega \tau - \xi_1) - d_2 e^{-\frac{\tau}{T_1}} + z_{1p}, \end{cases} \quad (2.14)$$

где a_i , b_i , d_i – коэффициенты; y_p , z_p – статические отжатия;

$$r_i = \sqrt{a_i^2 + b_i^2}; \xi_i = \arctg \frac{a_i}{b_i} \quad (2.15)$$

Заметим, что опоры шпинделя в процессе шлифования кольца описывают окружности (рисунок 2.23). Вынужденные колебания в этом случае представляют собой прямую прецессию оси шпинделя со скоростью,

равной угловой скорости и шпинделя. При этом центры окружностей, описываемых опорами, имеют координаты

$$(y_{1p} - d_1 e^{-\frac{\tau}{T_1}}, z_{1p} - d_2 e^{-\frac{\tau}{T_1}}) \text{ и } (y_{2p} - d_3 e^{-\frac{\tau}{T_1}}, z_{2p} - d_4 e^{-\frac{\tau}{T_1}}) \quad (2.16)$$

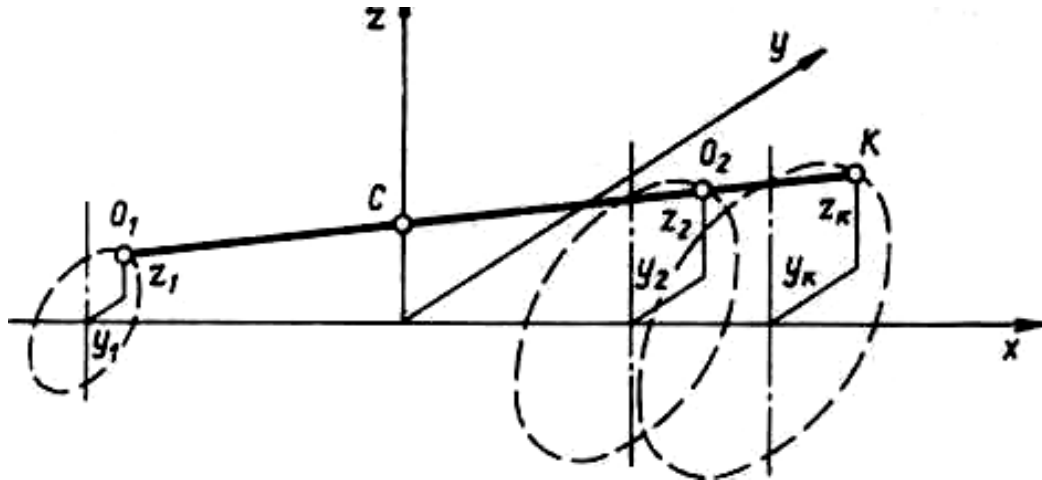


Рисунок 2.18 – Смещение оси системы в процессе шлифования

Уравнения же движения центра шлифовального круга получим, подставив выражения, вытекающие из построений на рисунке 2.19.

$$y_K = -y_1 \frac{l_3 - l_2}{l} + y_2 \frac{l_1 + l_3}{l}; \quad (2.17)$$

$$z_K = -y_1 \frac{l_3 - l_2}{l} + y_2 \frac{l_1 + l_3}{l}, \quad (2.18)$$

Из уравнений видно, что за время чернового врезания центры окружностей, описываемые опорами и шлифовальным кругом, стремятся переместиться на величину статического отжатия от силы P_{y01} в точки с координатами (y_{1p}, z_{1p}) , (y_{2p}, z_{2p}) и (y_{Kp}, z_{Kp}) .

Электрошпиндель (пневмошпиндель) должен работать в закритическом режиме (за второй критической скоростью), при котором наблюдается явление самоцентрирования. Для этого необходима отстройка рабочей угловой скорости от второй критической, т. е. $\omega_{2кр} = 0,8\omega$. С учетом этого требования определим жесткости опор электрошпинделя КБШ-43 [11]. Принимаем аналогично для пневмошпинделя. Для анализа влияния колебаний на величину глубины резания рассмотрим схему (рисунок 2.18), построенную для случая, когда перемещение врезания сообщается изделию.

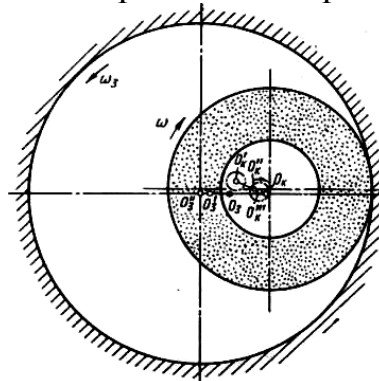


Рисунок 2.19 – Положение шлифовального круга и изделия при обработке

Точками O_K и O_3 обозначено положение шлифовального круга и изделия при наладке на размер, то есть непосредственно перед началом обработки. Точками O'_3 и O''_3 показано положение центра изделия после чернового и чистового шлифования. Тогда в соответствии с уравнениями, точки, вокруг которых вращается центр шлифовального круга (при прямой прецессии), будут O_K , O'_K и O''_K соответственно после чернового, чистового шлифования и в момент прекращения выхаживания. Можно подсчитать фактическую глубину резания на каждом этапе шлифования глубокого отверстия, зная точные размеры заготовки и круга, величину припуска на переход, а также имея полученное аналитическое выражение (таблицы 2.7–2.9). При удачном сочетании положительных свойств абразивных кругов и конструкций пинолей [12] можно создать возможности расширения технологических возможностей пинольных малогабаритных металлорежущих станков [12–15] и повышения надежности процесса внутреннего шлифования при планетарном внутреннем шлифовании ГО.

Таблица 2.7 – Характеристика шлифовального круга и режимы резания

Режимы резания													
Диаметр шлифования D_0 , мм, до	Припуск на диаметр 2П, мм, до	Квалитет после токарной обработки								Квалитет после предварительного шлифования			
		5		6..7		8..9		9		5		6..7	
		Продольная минутная подача S_M , мм/мин, и число проходов i											
		i	S_M	i	S_M	i	S_M	i	S_M	i	S_M	i	S_M
160	0,3	3	825	3	1020	2	880	2	1140	3	990	3	1180
	0,5	4	880	3	855	3	1100	2	920	4	1080	3	960
	0,7	5	880	4	900	3	890	3	1120	—	—	—	—
	1,0	6	860	5	910	4	990	3	920	—	—	—	—

Примечание. При черновом шлифовании заготовки из прутка с повышенными (до 1,0 мм) припусками, режимы резания следует устанавливать по II квалитету для 2П=0,7 мм с прибавлением 1...2 дополнительных проходов.

Основное время рассчитывается по формуле: $T_o = \frac{L_d \cdot i}{S_M \cdot K_i}$, где K_i – поправочный коэффициент в зависимости от твердости круга (см.)

Таблица 2.8 – Рекомендации режимов обработки шлифовального круга

Вид шлифования	Зернистость алмазного порошка	Глубина шлифования в зависимости от размеров зерна	Продольная подача	Поперечная подача	Окружная скорость детали
Плоское	250/200–160/125	0,01 – 0,02 мм	10 – 20 м/мин	1/5 – 1/3 ширина абразивного слоя	–
	125/10 – 80/63	0,007 – 0,01 мм	10 – 20 м/мин	1/5 – 1/3 ширина абразивного слоя	–
	80/63 – 50/40	0,005 – 0,007 мм	10 – 20 м/мин	1/5 – 1/3 ширина абразивного слоя	–
Круглое наружное	250/200 – 150/125	0,015 – 0,03	0,5 – 2,0 м/мин	–	20 – 40 м/мин
	125/100 – 80/63	0,009 – 0,010	0,5 – 2,0 м/мин	–	20 – 40 м/мин
	80/63 – 50/40	0,005 – 0,008	0,5 – 2,0 м/мин	–	20 – 40 м/мин
Круглое внутреннее	250/200 – 100/80	0,007 – 0,02	0,3 – 3,0 м/мин	–	20 – 40 м/мин
	80/63 – 50/40	0,001 – 0,007	0,3 – 3,0 м/мин	–	20 – 40 м/мин

Заточка инструмента	250/200 – 160/125	0,01 – 0,03	0,5 – 3,0 м/мин	–	
	125/10 – 80/63	0,008 – 0,02	0,5 – 3,0 м/мин	–	
	80/63 – 50/40	0,005 – 0,009	0,5 – 3,0 м/мин	–	

Таблица 2.9 – Характеристика шлифовального круга и режимы резания

Шероховатость поверхности, мкм, до	Характеристика шлифовального круга				
	Стали конструкционные (углеродистые и легированные)			Стали жаропрочные, нержавеющие и инструментальные быстрорежущие	Чугуны и бронзы
	HRC < 30	HRC 30..50	HRC > 50		
Rz 20	25A 50 C1 6-7 K	25A 50 CM2 6-7 K	25A 50 CM2 6-7 K	25A 50 CM1 6-7 K	54C,14A50 CM1 6-7 K
Ra 2,5	25A 40 C2 6 K	25A 40 C1 6 K	25A 40 CM2 6 K	25A 40 CM2 6 K	54C,14A40 CM2 6K
1,25	25A 25 C2 6-5 K	25A 25 C2 6-5 K	25A 25 C1 6-5 K	44A 25 C1 6-5 K	54C,14A 25 CM2 6-5 K
0,63	25A 16 CT1 5 K	25A 16 C2 5 K	25A 16 C2 5 K	44A 16 C1 5 K	54C, 14A 16 C1 5 K

Примечания:

1. Таблицы режимов резания составлены для кругов твердости C1-C2. При работе кругами отличной твердости величины табличных подач для более мягких кругов умножаются на $K_1=1,1$, а для более твердых кругов – на $K_1=0,85$.
2. При шлифовании поверхностей с галтелями твердость круга увеличивать на 1..2 степени
3. Диаметр шлифовального круга выбирается из условия: отношение диаметра к диаметру шлифуемого отверстия 0,8..0,9 для отверстий < 80 мм.
4. При ширине круга до 200 мм число проходов увеличить для нержавеющих сталей на 1 проход для быстрорежущих сталей на 2..4 прохода.

3 Лабораторные работы

3.1 Лабораторная работа № 1. Размерная настройка расточных резцов для борштанг

Цель работы:

1. Освоить методику настройки расточных резцов.
2. Произвести расчет настроечных значений радиусов расточных резцов по вариантам.

При растачивании глубоких отверстий на точность обработанной поверхности влияют в большей степени два основных критерия: настройка расточного инструмента на начальный размер диаметра и износ его режущей кромки. В данной работе тепловая, упругая и другие деформации станка и системы станок – приспособление – инструмент – заготовка, в целях упрощения сравнительного анализа, не учитываются.

Для настройки резца борштанги на нужный размер растачивания применяется приспособление типа «наездник» [23]. Расчет настройки резца на максимально допустимый диаметр $D_{\text{пред.макс.}}$ с учетом правил назначения приемочных границ происходит следующим образом:

Порядок проведения работы:

1. Назначается индикаторная головка для определения радиуса работы резца для получения своего допуска (рисунок Л. 1.1).
2. Настроечные значения минимального и максимального радиусов работы резца рассчитываются по формулам:

$$R_{\text{max}} = \frac{D}{2} + \frac{ES}{2} \quad (\text{Л1.1})$$

$$R_{\text{max}} = \frac{D}{2} + \frac{EI}{2}, \quad (\text{Л1.2})$$

где D – диаметр обработки отверстия; ES - верхнее предельное отклонение; EI - нижнее предельное отклонение.

Предельные отклонения назначаются в соответствии с качеством точности.

Для настройки резца на диаметр 60H8 значения предельных показаний индикаторной головки (рисунок Л1.1) будут следующие:
 $D = 60H8^{+0,046}$; $R_{\text{max}} = 30,023$; $R_{\text{min}} = 30,0$; $R = 30,0...30,023$.

Примеры назначения других аналогичных исходных данных и значений радиусов работы резца приведены в таблице Л1.1.

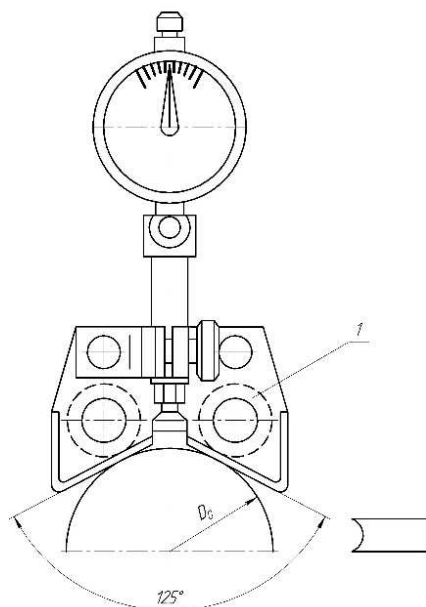


Рисунок Л 1.1 – Настройка траектории расточного резца борштанги на размер радиуса траектории вершины по призме с индикаторной головкой часового типа «наездник»

Таблица Л 1.1 – Исходные данные и настроечные значения радиусов для работы резца

Диаметр обработки	Настроечное мин. значение	Настроечное макс. значение	Диапазон значений
$D = 60H8^{+0.046}$	$R_{\min} = 30,0$	$R_{\max} = 30,023$	$R = 30,0...30,023$
$D = 100H8^{+0.054}$	$R_{\min} = 50,0$	$R_{\max} = 50,027$	$R = 50,0...50,027$
$D = 150H8^{+0.063}$	$R_{\min} = 75,0$	$R_{\max} = 75,031$	$R = 75,0...75,031$
$D = 200H8^{+0.072}$	$R_{\min} = 100,0$	$R_{\max} = 100,036$	$R = 100,0...100,036$

Аналогична настройка траектории фрезы по ее режущей пластине относительно поверхности пиноли, при которой настраивается положение вылета борштанги в зависимости от радиуса $R_{\min}$.

Траектория вершины резца настраивается по призме с индикаторной головкой часового типа «наездник», устанавливаемой не на поверхность расточной борштанги, а непосредственно на поверхность пиноли (рисунок Л 1.2).

3. На основании исходных данных выбирается индикатор часового типа (ГОСТ 577-68) с ценной деления 0,002 мм с погрешностью менее 10% от допуска на размер 60H8

Отчет о лабораторной работе №1

Задание 1. Согласно варианту (сумма двух последних цифр зачетной книжки) выбрать по таблице Л. 1.2 диаметр отверстия.

Задание 2. Рассчитать: настроечное минимальное, настроечное максимальное значения, диапазон значений по формулам 3.1, 3.2 и занести их в таблицу Л 1.2.

Таблица Л 1.2 – Расчет настроечных значений радиусов для работы резца

№ варианта	Диаметр обработки	Настроечное мин. значение	Настроечное макс. значение	Диапазон значений
1	$D = 50H8^{0.039}$	$R_{\min} =$	$R_{\max} =$	$R =$
2	$D = 100H9^{0.087}$	$R_{\min} =$	$R_{\max} =$	$R =$
3	$D = 120H8^{0.035}$	$R_{\min} =$	$R_{\max} =$	$R =$
4	$D = 150H9^{0.1}$	$R_{\min} =$	$R_{\max} =$	$R =$
5	$D = 170H8^{0.063}$	$R_{\min} =$	$R_{\max} =$	$R =$
6	$D = 190H8^{0.072}$	$R_{\min} =$	$R_{\max} =$	$R =$
7	$D = 200H9^{0.115}$	$R_{\min} =$	$R_{\max} =$	$R =$
8	$D = 210H8^{0.072}$	$R_{\min} =$	$R_{\max} =$	$R =$
9	$D = 250H8^{0.072}$	$R_{\min} =$	$R_{\max} =$	$R =$
10	$D = 300H8^{0.081}$	$R_{\min} =$	$R_{\max} =$	$R =$

Вопросы для самоподготовки

1. Какова цель проделанной работы?
2. Какой метод применяется для настройки резца борштанги на нужный размер?
3. Как рассчитываются настроечные значения радиусов для работы резца?
4. Каковы результаты исследования?

3.2 Лабораторная работа № 2. Назначение припусков при многопроходном растачивании с учетом износа расточных резцов

Цель работы: освоить назначения припусков при многопроходном растачивании.

Применение пинольных станков позволяет обеспечить требуемую точность методом пробных проходов за счет базирования пиноли в соосных люнетах гильзы со шпинделями на вынесенных опорах. Помимо погрешности базирования жесткости системы режущий инструмент-борштанга-подшипники-гильза (составная гильза, содержащая промежуточную и внутреннюю втулки) – люнеты на точность растачивания ГО в значительной степени влияют величины припусков и износ резцов расточных пинолей. Для расчета погрешностей этой системы можно применить общую расчетную схему (рисунок Л 2.1).

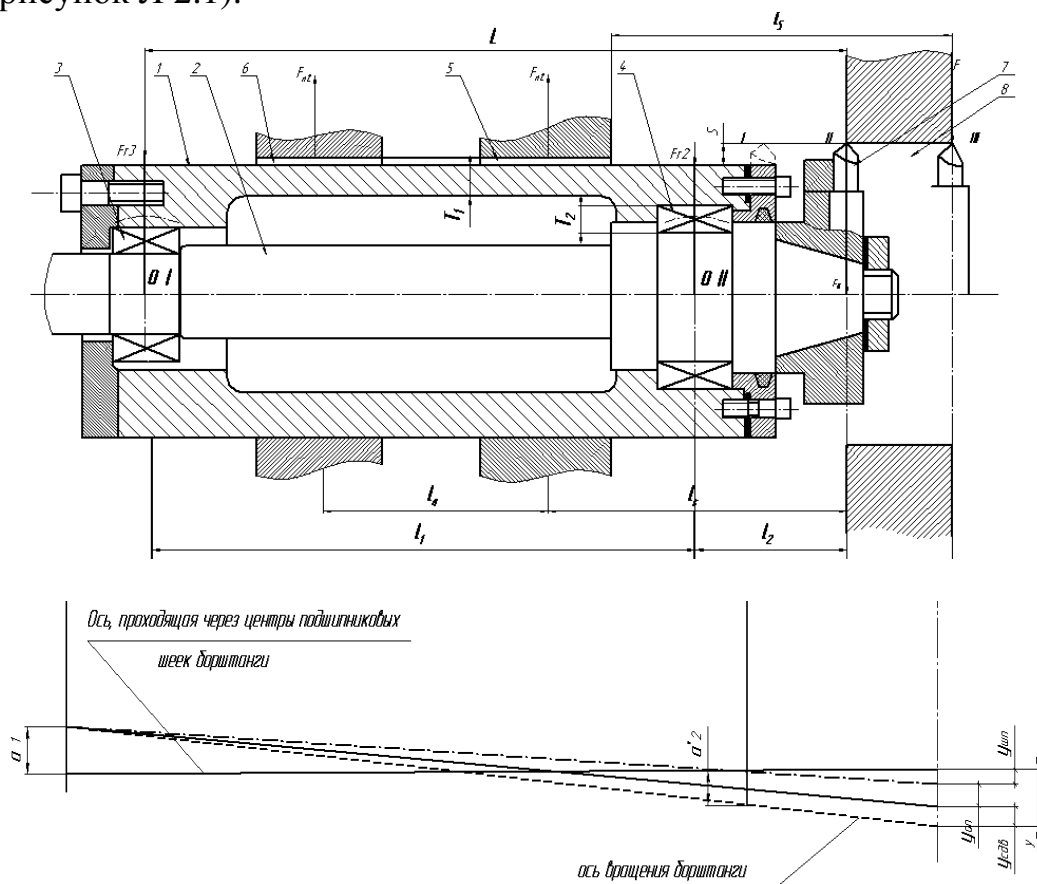


Рисунок Л 2.1 – Схема сил при растачивании соосных отверстий коренных опор картера пинолью, базирующейся в люнетах: 1- гильза, 2 – борштанга, 3 – подшипник типа 318200 задней опоры пиноли А2, 4 – подшипник 318200 передней опоры пиноли А1, 5 – передний люнет В, 6 – задний люнет А, 7- резец (фреза), 8 – растачиваемое отверстие картера, l1 - межопорное расстояние, a1 – расстояние борштанги от опоры 1 до резца, l0 – длина растачиваемого отверстия из ряда соосных, l – исходное положение резца, F – сила резания, Fr1, Fr2 – реакция на опоре 1 и 2, соответственно; a'1, a'2 – биения в опорах

При износе вершины резца на справочных режимах резания для растачивания принять съём припусков Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 согласно таблице Л 2.1.

Для проверки возможности получения размера 60H8 выполняется порядок определения диаметра расточенного отверстия на выходе ГО.

Порядок проведения работы:

1. Расчет величины износа $\Delta И_1$;
2. Определения диаметра расточенного отверстия на входе ГО;
3. Назначение (измерение) диаметра ГО на выходе;
4. Определение погрешности формы $\Delta \phi_1$;
5. Заполнение таблицы Л. 2.1;
6. Построение диаграмм погрешностей формы и коэффициента относительной полгрешности поверхности ГО

Аналогично выполняются расчеты износа и погрешности формы в продольном направлении при съеме припусков Z_2 – припуск на 2-й рабочий ход; Z_3 – припуск на 3-й рабочий ход; Z_4 – припуск на тонкое растачивание. Результаты расчетов приведены в таблице Л 2.1 3.2.

Таблица Л 2.1 – Исходные данные и значения износа резцов и изменения радиусов вращения их вершин при съеме припусков Z_1, Z_2, Z_3, Z_4

Диаметр обработки d , мм	Припуск на обработку Z , мм	Настроечное мин. значение $R_{\min}$	Настроечное макс. значение $R_{\max}$	Диапазон значений R погрешностей формы $\Delta \phi_1$
38±2		18,0	20,0	18,0...20,0
48 H14 ^{+0,62}	$Z_1=10$	24,0	24,31	24,0...24,31
56 H12 ^{+0,3}	$Z_2=8$	28,0	28,15	28,0...28,15
59,76 H8 ^{+0,074}	$Z_3=3,76$	29,88	29,917	29,88...29,917
60 H8^{+0,046}	$Z_4=0,24$	30,0	30,023	30,0...30,023
74±2		36,0	38,0	36,0...38,0
86 H14 ^{+0,87}	$Z_1 = 12$	43,0	43,435	43,0...43,435
96 H12 ^{+0,35}	$Z_2 = 10$	48,0	48,175	48,0...48,175
99,74 H9 ^{+0,087}	$Z_3 = 3,74$	49,87	49,9135	49,87...49,9135
100H8^{+0,054}	$Z_4 = 0,26$	50,0	50,027	50,0...50,027
124±2		61,0	63,0	61,0...63,0
136 H14 ⁺¹	$Z_1 = 12$	68,0	68,5	68,0...68,5
146 H12 ^{+0,4}	$Z_2 = 10$	73,0	73,2	73,0...73,2
149,74 H9 ^{+0,1}	$Z_3 = 3,74$	74,87	74,92	74,87...74,92
150H8^{+0,063}	$Z_4 = 0,26$	75,0	75,0315	75,0...75,0315
170±2		84,0	86,0	84,0...86,0
186 H14 ⁺¹	$Z_1 = 16$	93,0	93,5	93,0...93,5
196 H12 ^{+0,46}	$Z_2 = 10$	98,0	98,23	98,0...98,23
199,74 H9 ^{+0,115}	$Z_3 = 3,74$	99,87	99,9275	99,87...99,9275
200H8^{+0,072}	$Z_4 = 0,26$	100,0	100,036	100,0...100,036

Для получения диаметра на выходе отверстия $D_{\text{пред.мин}}$ конечного размера требуется знать величину износа резца, не которую уменьшится диаметр растачиваемого отверстия при съеме припуска Z_4 . В рассматриваемом варианте последний рабочий ход из-за незначительной подачи приводит к значительному износу, поэтому расчет выполняется по данным режимов резания для последнего рабочего хода – тонкого растачивания. Для проверки возможности получения размера 60H8 выполняется расчет величины износа в соответствии с рисунком Л. 2.3.

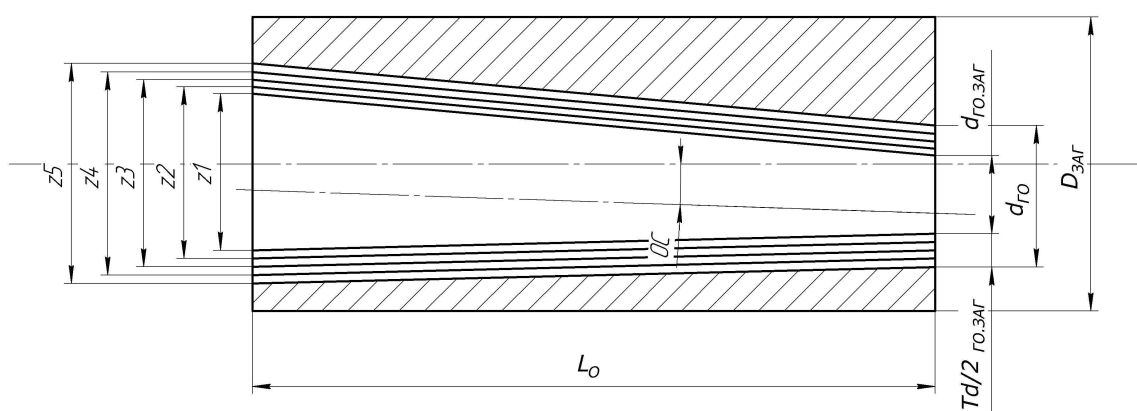


Рисунок Л. 2.2 – Схема распределения припусков на рабочие ходы: $d_{ГО.О}$ -диаметр ГО; $d_{3АГ}$ -диаметр заготовки ГО; Td – половина поля допуска на тонкое растачивание; L_O -длина заготовки; Z_1 -припуск на 1-й рабочий ход; Z_2 – припуск на 2-й рабочий ход; Z_3 -припуск на 3-ий рабочий ход; Z_4 –припуск на тонкое растачивание; Z_5 – припуск на хонингование

Необходимым условием для точного растачивания являются пределы поля допуска на диаметр $d_{ГО}$, ограничивающие требование к величине износа.

Он не должен превышать половины поля допуска $TD=0,046\text{м}$ с учетом приемочных границ (вариант назначения показан на рисунок Л 1.3).

Соблюдения этого условия необходимо придерживаться схем приемочных границ для настройки расточных резцов на размеры ГО после снятия припусков на соответствующих рабочих ходах (рис. Л2.3) и распределения припусков.

На рис. Л 2.4 представлен пример такого распределения при растачивании ГО до 7-го квалитета точности за 4-е рабочих хода расточного резца.

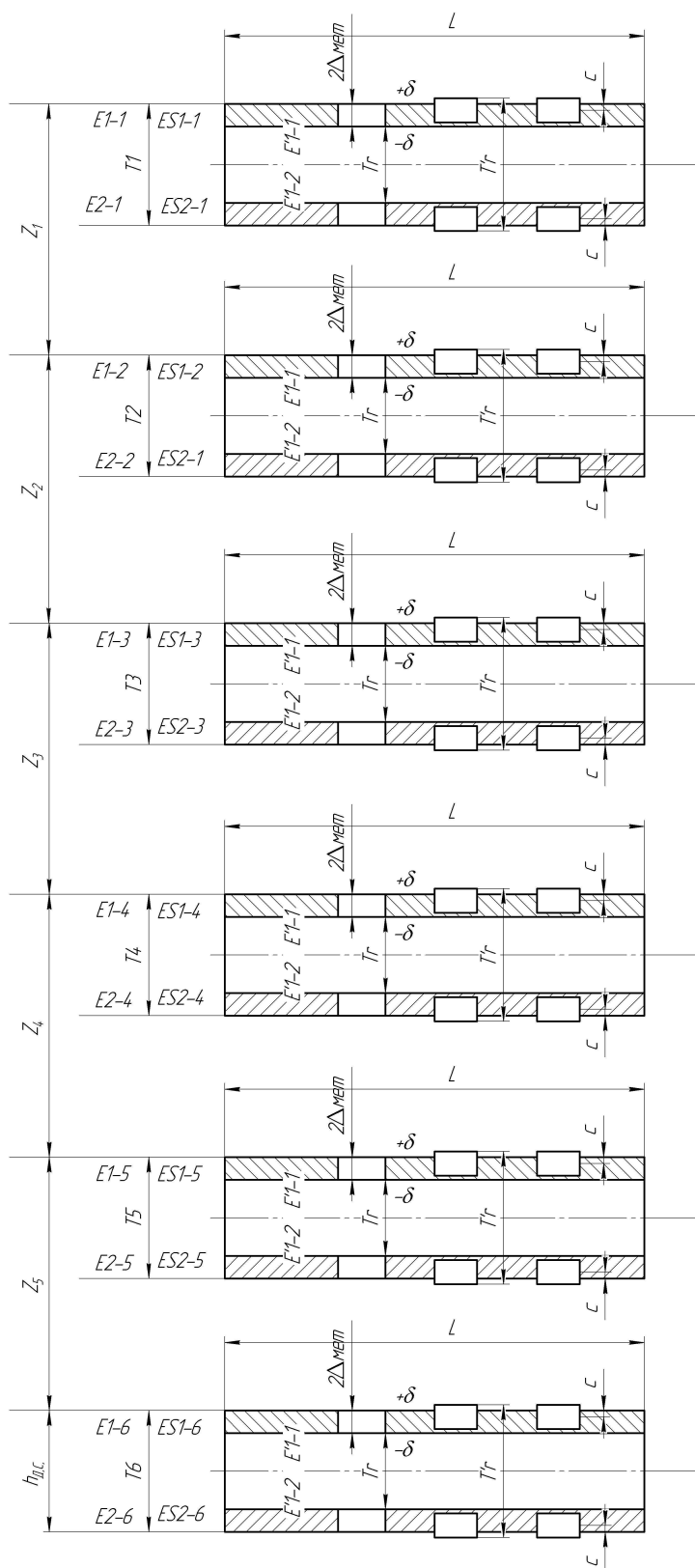


Рисунок Л 2.3 – Схемы приемочных границ для настройки расточных резцов на размеры ГО после снятия припусков на соответствующих рабочих ходах

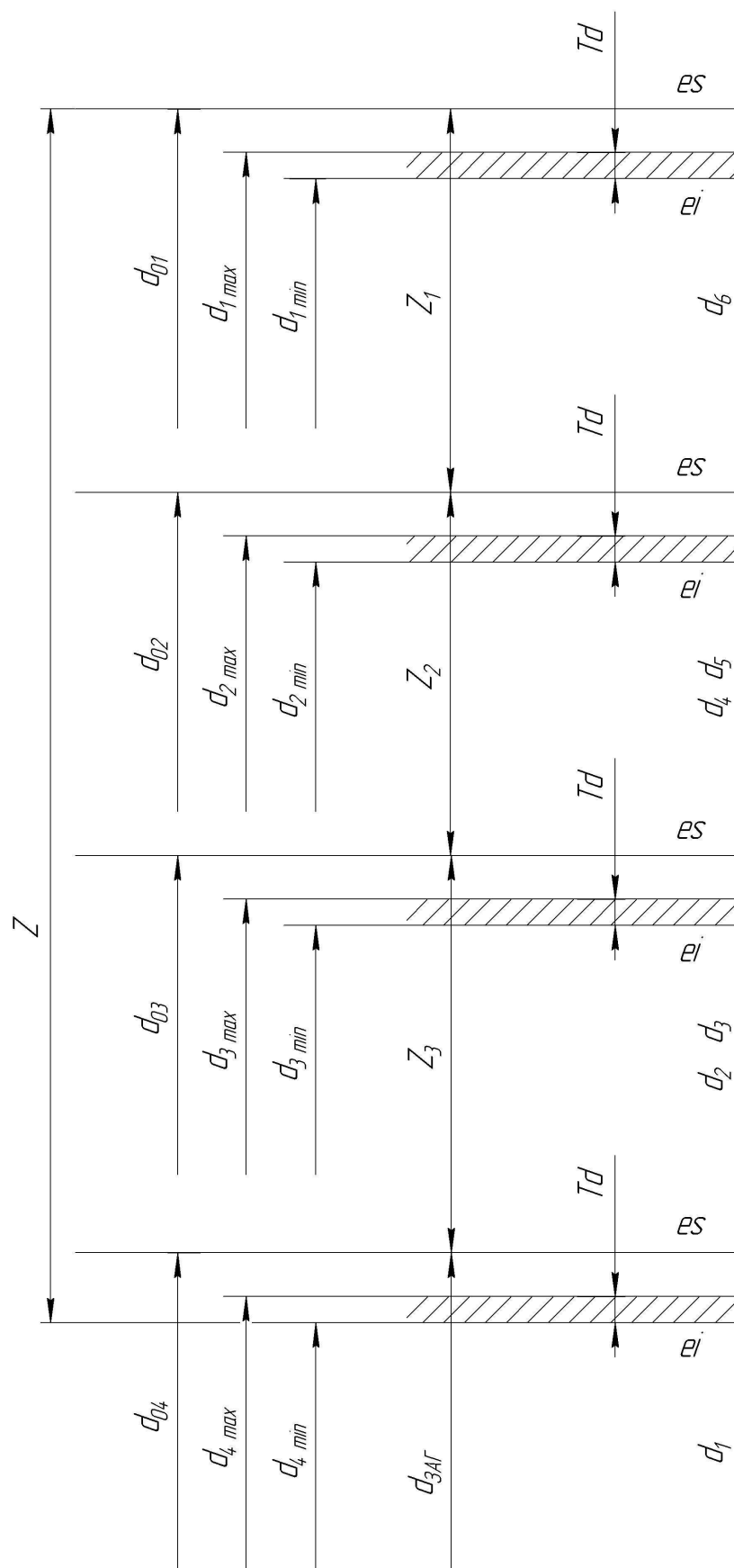


Рисунок Л. 2.4 – Схема съема припусков при растачивании ГО до 7-го качества точности за 4-е рабочих хода

Для съема припуска Z_4 необходимо сменить черновой резец на чистовой для тонкого растачивания (рисунок Л 2.4).

Предлагаемая методика предусматривает применение наиболее приемлемого из рекомендуемых вариантов назначения припусков и геометрии резцов для осуществления многопроходного растачивания последнего рабочего хода при съеме больших припусков.

Выводы:

Новые термины и определения, имеющиеся в лабораторной работе.

1. Пиноль (от нем. Pinole) – деталь металлорежущего станка, выполняемая в виде гильзы, перемещаемой в осевом направлении.
2. Седлообразность – частный вид отклонения профиля продольного сечения, при котором образующие цилиндрической детали непрямолинейны, а ее диаметры уменьшаются от краев детали к ее середине.
3. Бочкообразность – частный вид отклонения профиля продольного сечения, при котором образующие цилиндрической детали непрямолинейны, а ее диаметры увеличиваются от краев детали к ее середине.
4. Конусообразность – частный вид отклонения профиля продольного сечения, при котором образующие цилиндрической детали непрямолинейны, а ее диаметры уменьшаются от входного торца глубокого отверстия к выходному.

Вопросы для самоподготовки

- 1) Какова цель проделанной работы?
- 2) Какой метод исследования применен в работе?
- 3) Какие основные термины и определения применены в работе?
- 4) Каковы результаты исследования?

3.3 Лабораторная работа №3. Растачивание глубоких отверстий длинномерными борштангами с деревянными направляющими

Цель работы: изучить особенности растачивания глубоких отверстий с применением деревянных направляющих.

В заготовках в виде круглого горячекатаного проката без осевого отверстия предварительно сверлятся глубокие отверстия на всю длину заготовки, например, специальными сверлами, и после этого они поступают на растачивание.

При черном растачивании снижаются величины наследственных дефектов: дефекты горячей прошивки,ковки, литья, конусность, седлообразность, бочкообразность, отклонения от прямолинейности оси глубокого отверстия, отклонения формы в продольном и поперечном направлении, отклонения от круглости, овальность, огранка. Большинство эти погрешностей исходных заготовок технологически наследуются.

К таким погрешностям относят коэффициенты уточнения формы расточенных поверхностей, например на 3-х на рабочих ходах $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$, погрешности формы заготовки $\Delta_{заг}$, изменение диаметров $\Delta D_1, \Delta D_2, \Delta D_3$ при черновой, получистовой и чистовой обработке (рабочих ходах).

На черной и последующих операциях числовые характеристики уменьшаются. Поэтому технологическая оснастка для расточных станков: расточные головки, их направляющие для базирования и режущий инструмент, используемые при растачивании ГО, должна обеспечивать повышение точности на каждом рабочем ходе. С каждым рабочим ходом режущего инструмента в глубоком отверстии величина подачи инструмента должны уменьшаться, скорость резания и точность обработанной поверхности повышаться, несмотря на неизбежное изменение силы резания, возникающее из-за нестабильности снимаемых припусков и твердости заготовки. Глубокое растачивание обычно направлено на достижение параметров 8-го квалитета точности в длинномерных стальных трубных заготовках.

Традиционно растачивание глубоких отверстий, например, с соотношением $L_3/D_{ГО.заг} > 10$, выполняют на расточных станках, снабженных длинномерной борштангой и расточной головкой 3, которые имеют определенную систему направляющих 1 (рисунок Л. 3.1), обеспечивающих центрирование головки в обрабатываемой поверхности.

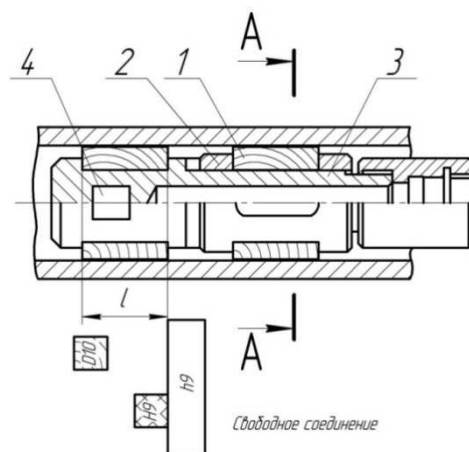


Рисунок Л 3.1 – Схема центрирования расточной головки направляющими при свободном соединении с пазами по их длине: 1- направляющая, 2- втулка; 3- корпус борштанги расточного станка; 4 - расточной резец

Среди конструкций выделяют расточные головки с жесткими направляющими с натягом; с упругими регулируемыми направляющими с натягом; с ограниченно подвижными направляющими, с самоустанавливающимися направляющими, которые устанавливаются в продольных пазах корпуса расточной головки (рисунки Л 3.1–Л. 3.4).

Наибольшее распространение на предприятиях отечественного машиностроения при растачивании длинномерных заготовок получили направляющие шпонки из древесины (береза, бук, дуб) вследствие простоты их изготовления, удобства в работе, виброгасящих свойств. При растачивании такими головками обеспечивается глубина резания в пределах 0,2 – 1,0 мм.

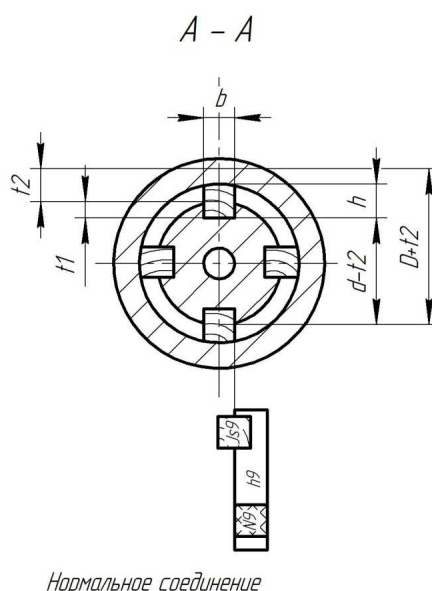


Рисунок Л. 3.2 – Схема центрирования борштанги направляющими при нормальном соединении с пазами по их ширине, представленная в сечении А-А по чертежу рисунка 2.8

Применение инструмента, копирующего форму отверстия трубы, позволяет равномерно срезать металл, приближая его объем к объему

дефектного слоя. Шпонки из древесины не требуют размерного регулирования или обработки в сборе с головкой и значительно упрощают подготовку растачиваемого отверстия. Эта подготовка заключается в снятии фаски на заходной стороне части отверстия. Расточная головка с установленными направляющими шпонками из древесины имеет диаметр на 4-6 мм больше диаметра отверстия, в которое её вводят. Фаской на торце трубы шпонки обжимаются с натягом и входят в отверстие, причём чрезмерный припуск шпонки по высоте срезается. В процессе растачивания смоченные СОТС деревянные шпонки разбухают. Это отчасти компенсирует износ резца, а вследствие этого происходит уменьшение диаметра растачиваемого отверстия, т. к. создаёт дополнительный натяг между поверхностью трубной заготовки и расточной головкой.

Оснащение головок шпонками из древесины исключает повреждение расточенной поверхности, а их комплектность позволяет растачивать отверстия малого диаметра.

В основу назначения точности соединений деревянных направляющих с пазами борштанги расточного станка положены стандартные положения раздела «Допуски и посадки шпоночных соединений» ГОСТ 23360 – 78, ГОСТ 24071 – 80 [3,4].

Обычно шпоночное соединение назначают для поверхности детали с охватываемой поверхностью вала или оси. Так, в поперечном сечении охватываемой поверхности основное отклонение D10 даёт посадки с зазором (H9/h9, D10/h9), для нормальных соединений соответственно N9 и Js9. (рисунок 3.10).

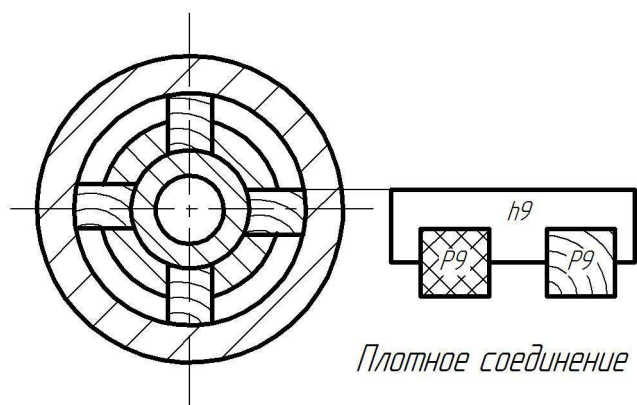


Рисунок Л. 3.3 – Схема центрирования борштанги направляющими при плотном соединении с пазами по их ширине, представленная в сечении А-А по рисунку Л. 3.1

Предельные отклонения размеров призматических шпонок по ширине и высоте установлены для трех исполнений шпонок (рисунок Л. 3.4): с закруглениями по обоим концам (тип А); прямоугольными (тип В); с закруглением на одном конце (тип С).

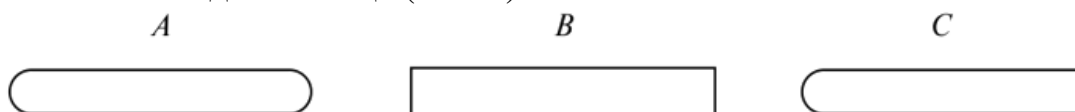


Рисунок Л. 3.4 – Виды исполнений шпонок

Существенным недостатком шпонок из древесины является низкая стойкость и быстрый износ, особенно при трении с натягом по грубой поверхности горячекатаной или литой трубы.

Чтобы уменьшить износ направляющих шпонок, их устанавливают в сквозные продольные пазы втулки 2, вращающейся на корпусе 3 расточной головки (рисунок Л 3.4 а, рисунок Л 3.4 б). В этом случае направляющие совершают движение подачи, а вращение происходит по корпусу, контактная поверхность которого соответственного подготовлена.

Износ направляющих шпонок существенным образом влияет на погрешность формы, а также величину увода оси детали, что влечет за собой большую вероятность появления брака.

Решением данной проблемы может служить применение режуще-деформирующей пиноли для вихрефрезерования ГО труб методом винтовой интерполяции [1-3], а также рекомендации по назначению допусков и посадок для направляющих длинномерных борштанг с расточными головками для металлорежущего оборудования, позволяющие использовать разработанную систему допусков для специальных расточных станков, применяемых при обработке глубоких отверстий различных диаметров длинномерных трубных заготовок типа цилиндров повышенной точности.

В качестве примера рассмотрим обработку трех длинномерных заготовок из стали 40Х диаметров 60Н, 100Н, 150Н, 200Н, главный угол в плане (ϕ) назначим равным 45° , как наиболее широко применяемый при обработке конструкционных сталей, количество проходов $i=1$.

Результаты расчета режимов обработки и норм времени на каждом этапе механической обработки приведены в таблице ПА1.

Существуют многочисленные способы механической обработки глубоких отверстий в гидро- и пневматических цилиндрах.

Достигаемые при их использовании параметры точности изложены в рекомендациях [12]. В них предлагается методика, охватывающая различные по геометрическим параметрам точности растачивания отверстий (рисунок Л 3.5 и таблицы Л 3.1 –Л 3.4). Технологический маршрут обработки отверстий выбирается в зависимости от заданных чертежом обрабатываемой детали размеров и вида исходной заготовки: круглый прокат, трубная заготовка. Межоперационные припуски приведены в справочнике [12] и представлены в приложении Б, таблице ПБ2.

Рассмотрим вариант, в котором заготовка имеет отверстие (штампованная или горячекатаная трубная заготовка). Поэтому назначен следующий маршрут обработки (таблица Л 3.1) .

Таблица Л. 3. 1 – Маршрут обработки и перечень технологического оснащения

№	Вид операции	Инстр./оборуд.	Размер отв.	Припуск на обр-ку	Шерох.
1	Расточная	Р6м5/32386 спец. Расточной $\varnothing 400 \times 8000$	$\varnothing 345^{+0,5}$	5	Rz 40
2	Расточная	Р6м5/32386 спец. Расточной $\varnothing 400 \times 8000$	$\varnothing 359,3^{+0,1}$	7,15	Ra 3,2
3	Расточная	Р6м5/32386 спец. Расточной $\varnothing 400 \times 8000$	$\varnothing 359,8^{+0,1}$	0,25	Ra 2,5
4	Хонингование $p=1,5$ МПа	Бруски бп15*14*150 14a12нс2б гост 2456-82	$\varnothing 359,96^{+0,1}$	0,08	Ra 1,25
5	Хонингование $p=1,0$ МПа	Бруски бп15*14*150 24a12нсм1ба гост 2456-82	$\varnothing 360,04^{+0,1}$	0,04	Ra 0,63
6	Хонингование $p=0,5$ МПа	Бруски бп15*14*150 24a8нсм1ба гост 2456-82	После покрытия $\varnothing 360^{+0,188}_{+0,088}$	0,022	Ra 0,32

Рассматриваются два направления уменьшения количества рабочих ходов и, соответственно, сокращения основного (машинного) времени T_o , которое может быть сокращено в двух случаях:

1. уменьшение припуска на обработку ГО.
2. применение комбинированного инструмента. В качестве такого комбинированного инструмента, когда отверстие в исходной заготовке получено штамповкой или при прошивке горячекатаной трубной заготовки, применить режуще-деформирующие пиноли. Если отверстие в заготовке отсутствует, то перед растачиванием его необходимо сверлить.

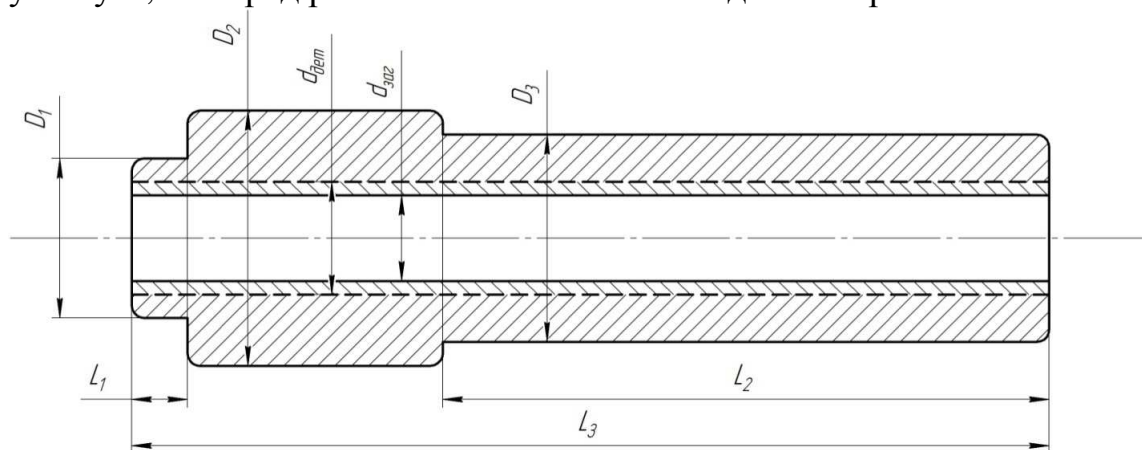


Рисунок Л 3.5 – Вид группового чертежа штампованой или горячекатаной трубной заготовки цилиндра: $d_{заг}$ – диаметр глубокого отверстия заготовки; $d_{дем}$ – диаметр глубокого отверстия детали; D_1 – диаметр наиболее короткой части; D_2 – наибольший диаметр заготовки; D_3 – диаметр наиболее длинной части; L_1 – длина наиболее короткой по размеру части; L_2 – длина средней по размеру части; L_3 – общая длина заготовки цилиндра

При растачивании отверстий напроход на токарных станках с полуавтоматическим циклом обработки окружная скорость заготовки выбирается в зависимости от диаметра обрабатываемого отверстия и материала заготовки (таблица ПА2) [13]. В таблице Л 3.2 в качестве примера приведены назначения глубины резания для операций растачивания и хонингования.

Таблица Л 3.2 – Пример расчета глубины резания на каждой операции обработки отверстий

№	Вид операции	Глубина резания, мм
1	Расточная ($i=1$)	$t = \frac{335 - 345}{2} \cdot i = 5$
2	Расточная($i=2$)	$t = \frac{345 - 359,3}{2} \cdot i = 3,575$
3	Расточная ($i=1$)	$t = \frac{359,8 - 359,3}{2} \cdot i = 0,25$
4	Хонингование ($i=2$)	$t = \frac{359,96 - 359,8}{2} \cdot i = 0,08$
	Хонингование ($i=1$)	$t = \frac{360,04 - 359,96}{2} \cdot i = 0,04$
5	Хонингование ($i=1$)	$t = \frac{360,088 - 360,04}{2} \cdot i = 0,022$
Примечание: i - количество проходов;		

Рекомендации по назначению подач и скоростей резания приведены в таблицах Л 3.3, Л 3.4. Пример расчета значений скоростей резания [21, стр.261] и составляющей силы резания P_z [21, стр.271] для каждого этапа обработки растачиванием приведен в приложении ПА3.

Таблица Л 3.3 – Рекомендованные значения подач

№	Вид операции	Подача, мм/об
1	Расточная	0,6-1,0 (0,6)
2	Расточная	0,6-1,0 (0,6)
3	Расточная	0,05 – 0,14
4	Хонингование	12 – 16

Таблица Л 3.4 – Рекомендованные значения скоростей резания

№	Вид операции	Скорость резания, м/мин
1	Черновое растачивание	76 – 92
2	Получистовое растачивание	88 – 121
3	Чистовое растачивание	111 – 135
4	Тонкое растачивание	211 – 269
5	Хонингование	Окружная: 45 – 60 Поступательного перемещения: 10 – 12

Стоит отметить, что для чернового растачивания применяются головки с беззазорным базированием или с минимальным зазором между направляющими головки и обработанным ею отверстием [29]. Такие головки способны обеспечить отклонение от прямолинейности расточенного отверстия и минимизировать увод оси ГО. Для растачивания ГО в пределах интервала диаметров 50-250 мм с небольшими припусками на обработку применяют однорезцовые головки (рисунок Л. 3.6). В корпусе головки 2 с твердосплавными шпонками 1 установлены и упругие шпонки 3. Готовка базируется и крепится на стебле резьбой и центрируется в двух ленточках Г. СОТС подается через отверстия Б. В корпусе головки 2 крепится регулируемый по диаметру твердосплавный резец 6.

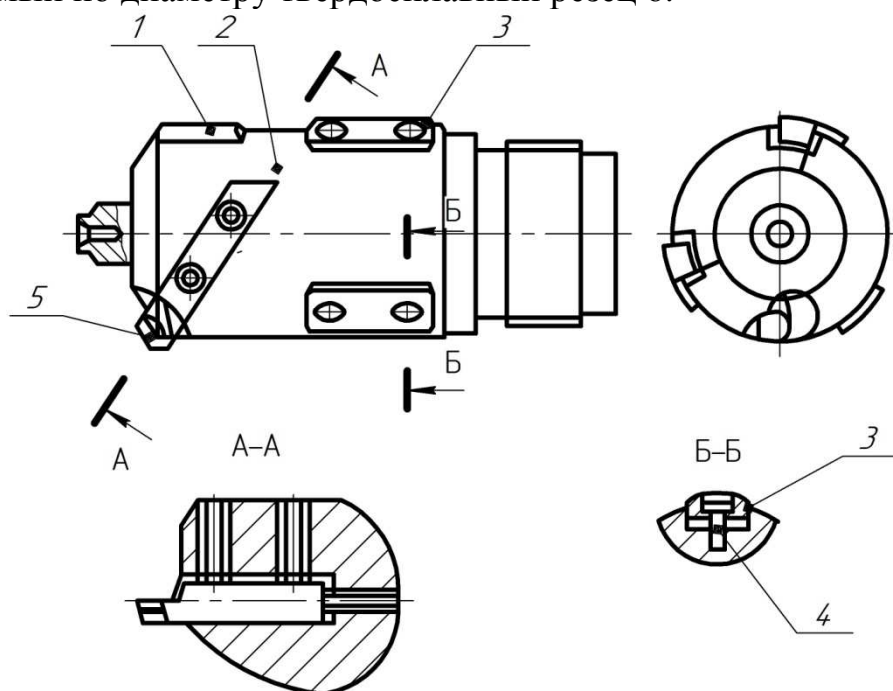


Рисунок Л 3.6 – Головка с жесткими и упругими направляющими

Для растачивания ГО в пределах интервала диаметров 60-180 мм (рисунок Л 3.6) широко применяются двухлезвийные расточные головки одностороннего резания с делением ширины среза с внутренним подводом СОТС и двухрядными направляющими, установленными с натягом. В резцедержателе головки крепятся винтами 2 два твердосплавных резца 5, регулируемые винтами 6. Направляющие элементы с натягом выполнены в виде трех жестких шпонок 4 и одной упругой 3, расположенные в два ряда.

На рисунке Л 3.7 произведена трехлезвийная головка с направляющими элементами с натягом, применяемая в индивидуальном в мелкосерийном производстве. Головка используется для растачивания отверстий диаметром 100-300 мм и более за два и более проходов, направляющие 2 изготавливают из твердых пород дерева. Для направляющих 2 головки применяют березу, граб, бук, дуб. Резцы из быстрорежущей стали устанавливают в пазы В корпуса I головки. Резцы крепятся винтами 3. СОЖ подается через отверстия Г.

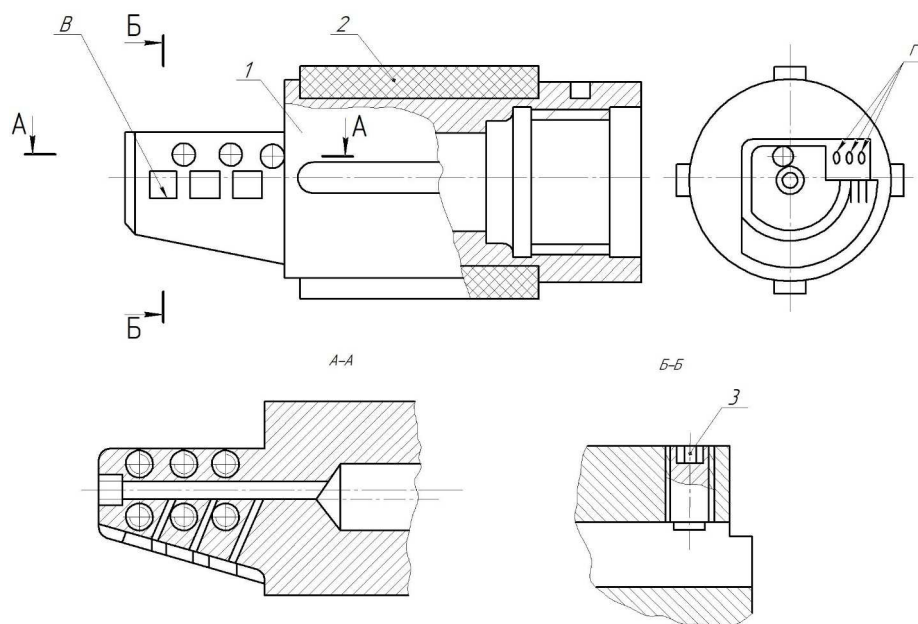


Рисунок Л. 3.7– Трехлезвийная головка с деревянными направляющими

В таблице Л 3.5 приведены геометрия режущей части расточных резцов и режимы резания при растачивании головками с определенностью базирования.

Таблица Л 3.5 – геометрия режущей части расточных резцов и режимы резания при растачивании головками с определенностью базирования

Разновидность головки	Диаметр, мм	Обрабатываемый материал	Геометрия заточки		
		Сталь, δ_b , МПа	φ	γ	α
А – инструмент с внутренним подводом СОТС					
Однолезвийная с двухрядными направляющими элементами	50 – 250	900 – 1100	60 – 72	8 – 9	0
Двухдевийная одностороннего резания с делением ширины среза, с направляющими, с натягом	60 – 180	900 – 1100	70 – 80	–	–
Трехлезвийная с деревянными направляющими	100 – 150	900 – 1100	60	–	–
Б – инструмент с наружным подводом СОТС					
Однолезвийная с двухрядными направляющими элементами	44 – 350	800 – 1200	70	–	–
Разновидность головки	Режимы резания			Параметры СОТС	
	t, мм	v, м/мин	s _o , мм/об	Q, л /мин	P, МПа
А – инструмент с внутренним подводом СОТС					

Однолезвийная с двухрядными направляющими элементами	4 – 10	40 – 70	0,3 – 0,5	300 – 600	1,5
Двухдевийная одностороннего резания с делением ширины среза, с направляющими, с натягом	3 – 8*	50 – 80	0,3 – 0,6	–	–
Трехлезвийная с деревянными направляющими	3 – 5*	30 – 50	0,6 – 0,7	–	–
Б – инструмент с наружным подводом СОТС					
Однолезвийная с двухрядными направляющими элементами	5 – 15	49 – 90	0,15 – 0,4	50 – 600	1,0
* На первый резец					

Отчет о лабораторной работе №3

Задание 1. В качестве самостоятельной работы необходимо произвести расчет основного времени для «традиционного» способа обработки и для прогрессивного, заключающегося в применении комбинированных методов обработки. Исходные данные для выполнения работы приведены в таблицах 3.9 – 3.12. Вид заготовки и способ получения заготовки определяется по таблице 3.9 путем сложения простых чисел, составляющих последние две цифры в зачетке.

Задание 2. По формулам (3.3 – 3.11) рассчитать параметры режимов резания и занести в таблицу 3.15. Маршрут обработки назначается исходя из следующих рекомендаций:

- 1 операция – черновое растачивание до достижения параметров 14-го качества;
- 2 операция – получистовое растачивание до достижения параметров 12-го качества (при больших диаметрах отверстия, из-за больших размеров и соответственно, значительной стоимости зенкеров, вместо зенкерования целесообразно назначать повторное растачивание (для вариантов 1-17 принять повторное растачивание);
- 3 операция – чистовое растачивание для достижения параметров 8-го качества;
- 4 операция – хонингование для достижения параметров 7-го качества согласно рекомендациям справочника [22];
- 5 операция – окончательное хонингование для достижения показателей шероховатости необходимых для обеспечения требуемого качества покрытия;
- 6 операция – хонингование в окончательные размеры (после покрытия).

Таблица Л 3.6 – Размеры обрабатываемых цилиндров для вариантов 1-4

$d_{дет}, мм$	$d_{заг}, мм$	$D_1, мм$	$D_2, мм$	$D_3, мм$	$L_1, мм$	$L_2, мм$	$L_3, мм$
100Н8 ^{+0,054}	74±1	120	160	140	50	300	500
118Н8 ^{+0,054}	88±1	140	180	160	100	700	1000
150Н8 ^{+0,064}	110±1	170	210	190	200	1200	2000
200Н8 ^{+0,072}	160±2	230	270	250	350	2100	3000

Таблица Л 3.7 – Размеры обрабатываемых цилиндров для вариантов 5-8

$d_{дет}, мм$	$d_{заг}, мм$	$D_1, мм$	$D_2, мм$	$D_3, мм$	$L_1, мм$	$L_2, мм$	$L_3, мм$
100Н7 ^{+0,035}	74±1	120	160	140	50	300	500
118Н7 ^{+0,035}	88±1	140	180	160	100	700	1000
150Н7 ^{+0,040}	110±1	170	210	190	200	1200	2000
200Н7 ^{+0,046}	160±2	230	270	250	350	2100	3000

Таблица Л 3.8 – Размеры обрабатываемых цилиндров для вариантов 9-12

$d_{дет}, мм$	$d_{заг}, мм$	$D_1, мм$	$D_2, мм$	$D_3, мм$	$L_1, мм$	$L_2, мм$	$L_3, мм$
100Н8 ^{+0,054}	74±1	120	160	140	500	2000	3500
118Н8 ^{+0,054}	88±1	140	180	160	300	2500	4000
150Н8 ^{+0,064}	110±1	170	210	190	700	3000	5000
200Н8 ^{+0,072}	160±2	230	270	250	1000	3500	6000

Таблица Л 3.9 – Размеры обрабатываемых цилиндров для вариантов 13-17

$d_{дет}, мм$	$d_{заг}, мм$	$D_1, мм$	$D_2, мм$	$D_3, мм$	$L_1, мм$	$L_2, мм$	$L_3, мм$
100Н7 ^{+0,035}	74±1	120	160	140	50	300	500
118Н7 ^{+0,035}	88±1	140	180	160	100	700	1000
150Н7 ^{+0,040}	110±1	170	210	190	200	1200	2000
200Н7 ^{+0,046}	160±2	230	270	250	1000	3500	6000

Таблица Л 3.10 – Варианты заготовок

№ варианта	Вид заготовки	Материал заготовки
1	поковка ГОСТ25054-81	12Х18Н10Т ГОСТ 5632-2014
2	труба ГОСТ 8732-88	40 Х ГОСТ 8731-74
3	прокат ГОСТ 2590-2006	38ХН3МФА ГОСТ 4543 - 71
4	поковка ГОСТ25054-81	20Х13 ГОСТ 5632-72
5	труба ГОСТ 8732-88	Ст 45 ГОСТ 1050-88
6	прокат ГОСТ 2590-2006	09Г2СГОСТ 19281 - 2014
7	поковка ГОСТ 8479-70	40ХФАГОСТ 4543 – 71
8	труба ГОСТ 8732-88	08ХМФЧАГОСТ 19281 - 2014
9	прокат ГОСТ 2590-2006	30ХГСГОСТ 4543 – 71
10	труба ГОСТ 8732-88	30ХМА ГОСТ 4543 – 71

При обработке деталей на металлорежущих станках методом растачивания различают следующие элементы режима резания [8]:

t – глубина резания, мм; s – подача, мм/об (или s мм/мин); v – скорость резания, м/мин.

Приведем соответствующие формулы расчета.

Глубина резания

$$t = \frac{d_2 - d_1}{i \cdot 2}, \quad (\text{Л3.1})$$

где t – глубина резания, мм; d_2 – наибольший диаметр обработки, мм; d_1 – наименьший диаметр обработки, мм; i – число проходов инструмента.

Подача

Зависимость между величинами подач может определяться по формуле:

$$s_0 = s_z \cdot z \quad (\text{Л 3.2})$$

$$s_m = s_0 \cdot n, \quad (\text{Л 3.3})$$

где s_m – подача, мм/мин; s_0 – подача, мм/об; z – число зубьев инструмента; n – число оборотов инструмента в минуту.

Площадь сечения стружки

$$f = s_0 \cdot t = a \cdot b, \quad (\text{Л3.4})$$

где f – площадь сечения стружки, мм²; a – толщина стружки, мм; b – ширина стружки, мм.

Скорость резания

$$v = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000}, \quad (\text{Л3.5})$$

где v – скорость резания, м/мин; D – наибольший диаметр обработки, мм; n – частота вращения (число оборотов) инструмента в минуту.

Основное (машинное) время, т.е. время, затраченное на резание, может быть определено по формуле:

$$T_o = \frac{L}{S \cdot n} \cdot i \quad (\text{Л3.7})$$

$$L = l + l_1 + l_2, \quad (\text{Л3.8})$$

где T_o – основное (машинное) время, мм; L – длина обработки (с учетом врезания и перебега);

$$L = l + l_1 + l_2 \quad (\text{Л3.10})$$

l – длина обрабатываемой поверхности, мм; i – количество проходов.

$$l_1 = t \cdot \operatorname{ctg}(\varphi), \quad (\text{Л3.11})$$

где l_1 – величина врезания инструмента, мм; t – глубина резания, мм; φ – главный угол в плане;

$$l_2 = l - 3 \text{ мм}, \quad (\text{Л3.12})$$

где l_2 – выход (перебег резца), мм.

Таблица Л 3.11 – Таблица расчетных значений режимов обработки

Вид операции	d , мм	Квалитет	l , мм	l_1 , мм	l_2 , мм	L , мм	t , мм	s , мм/об	v , м/мин	n , об/мин	T_o , мин
Заготовка: $d_0 =$; марка ; $D_3 =$											
										Итого	

Вопросы для самоподготовки

- 1) Какова цель проделанной работы?
- 2) В чем особенность чернового растачивания глубоких отверстий?
- 3) Для каких целей используются деревянные направляющие при растачивании?
- 4) Какие основные термины и определения применены в работе?
- 5) Каковы результаты исследования?

3.4 Лабораторная работа № 4. Наладка токарно-винторезного станка

Цель работы:

1. Изучение устройства и управления
2. Наладка станка на нарезание 2-3-х заходной резьбы, обработка детали и проверка профиля резьбы
3. Наладка станка на обработку конуса двумя способами и обработка конических деталей.

Оборудование и инструмент:

1. Современный универсальный токарно-винторезный станок.
2. Набор сменных зубчатых колес к гитаре резьбы этого токарного станка.
3. Трехкулачковый самоцентрирующий патрон.
4. Комплект необходимых гаечных ключей.
5. Проходные и резьбовые резцы.
6. Заготовки, подлежащие обработке.
7. Штангенциркуль, универсальный угломер, индикатор в стойке, лекальная скалка для сведения центров.
8. Кинематическая схема станка.

Порядок проведения работы:

1. Внимательно изучить описание станка.
2. Изучить чертеж изделия и исходные данные задания.
3. По таблице 1 определить число черновых и чистовых проходов, по таблице 2 скорость резания.
4. По скорости $V_{табл.}$ и диаметру обрабатываемой резьбы рассчитать требуемое для работы число оборотов шпинделя $n_{расч.}$
5. По паспорту станка определить $n_{факт.}$
6. Зная $n_{факт.}$ и диаметр нарезаемой резьбы определить фактическую скорость резания $V_{ф.}$
7. По данному заданию произвести нарезание резьбы.

Обработка конуса при сдвинутом корпусе задней бабки:

1. Ознакомиться с чертежом детали и рассчитать величину требуемого поперечного смещения корпуса задней бабки.
2. Произвести наладку станка и обработать коническую поверхность.
3. Установить заднюю бабку в первоначальное положение и проверить соосность центров.

Обработка при повернутой резцовой каретки:

1. Ознакомиться с чертежом детали, подлежащей обработке.
2. Определить величину угла, на который следует повернуть резцовую каретку и длину образующей конуса.

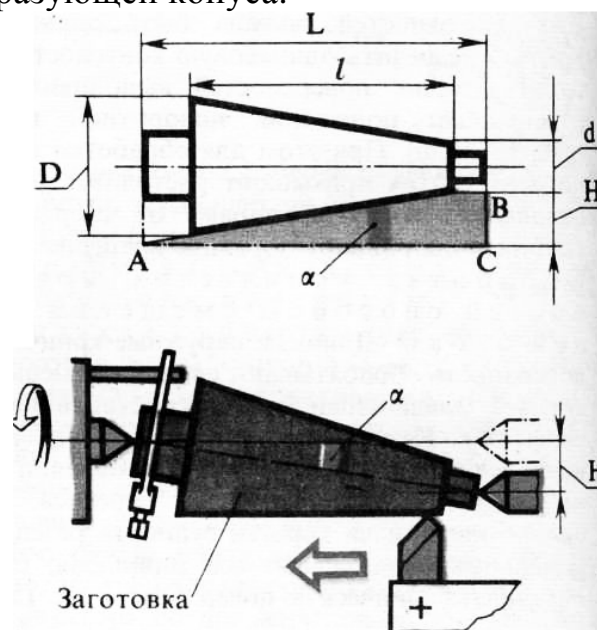


Рисунок Л 4.1 – Способы обработки конической поверхности путем поворота каретки на угол конуса (верхний рисунок) и смещение задней бабки (нижний рисунок)

Нарезание многозаходной резьбы. На токарно-винторезном станке можно нарезать резьбы различного профиля: остроугольную; прямоугольную; трапецеидальную; упорную; круглую; двух- и трехзаходную.

У многозаходной резьбы расстояние, измеренное вдоль оси, между одноименными точками одного и того же витка, называется ходом резьбы. У однозаходной резьбы шаг P_p и L одинаковы, у многозаходной – различны.

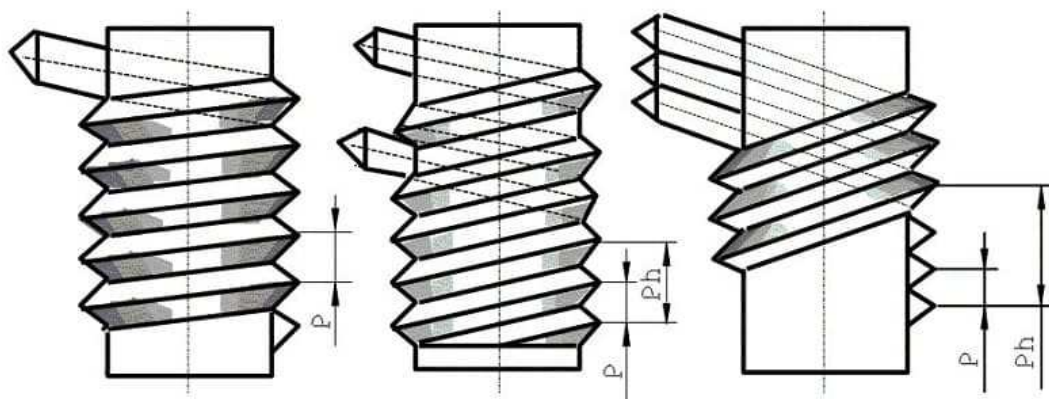


Рисунок Л 4.2 – Многозаходные резьбы: слева направо-однозаходная, двухзаходная и трехзаходная резьба

Ход резьбы всегда равен шагу, умноженному на число заходов, т.е. $L = P_p \cdot h$. Нарезание многозаходной резьбы любого профиля начинается с нарезания однозаходной резьбы с шагом равным длине хода L . Нарезав первый заход на полный профиль, отводят резец от заготовки и, сообщая ходовому винту обратный ход, возвращают суппорт в начальное положение. Затем при неподвижном ходовом винте поворачивают деталь для двухзаходной резьбы на $1/2$ оборота, при многозаходной на $1/3$ оборота или в общем случае для многозаходной резьбы на $1/k$ оборота. После этого нарезают второй заход резьбы и т.д. Деление многозаходной резьбы на заходы значительно облегчается при применении специальных делительных устройств и поводковых делительных планшайб станка.

Наиболее простым и быстрым способом деления при нарезании многозаходных резьб является деление по шагу. После нарезания первого захода резец перемещают в продольном направлении на величину L/K при помощи винта верхних салазок суппорта. Отсчет продольного перемещения резца ведут при этом по лимбу винта верхних салазок.

Точение конусов на токарных станках производят:

- поперечным смещением центра задней бабки,
- одновременным включением двух движений подач,
- поворотом средней части суппорта,
- с помощью конусной или копирной линейки,
- с помощью широкого резца.

Способ точения конусов смещением задней бабки применяют при точении пологих конусов на деталях, закрепленных в центрах. Необходимая величина смещения задней бабки $h = L \cdot \sin \alpha$.

Произвести анализ кинематики и настройку токарно-винторезного станка мод.16K20 на обработку конической поверхности.

1. Привести краткую техническую характеристику станка и определить его назначение.

2. Выполнить возможные схемы обработки конических поверхностей на станке. Проанализировать их особенности.

3. Произвести кинематическую настройку станка на обработку детали (см. рисунок Л 4.2, Л 4.3) способом смещения задней бабки.

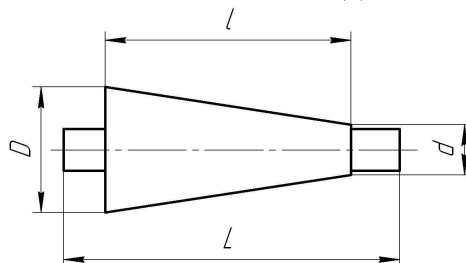


Рисунок Л 4.3 – Схема расчета угла поворота салазок на угол конуса

4.1. Определить угол уклона конуса, угол конуса, конусность, необходимую величину смещения корпуса задней бабки.

4.2. Записать уравнения кинематического баланса цепей при настройке станка на заданные режимы резания.

4.3. На кинематической схеме показать пути передачи движения на шпиндель и суппорт при данной настройке.

Таблица Л. 4. 1 - Варианты задания

Номер варианта	L,мм	l,мм	D,мм	d,мм	Скорость резания V,м/мин	Подача S, мм/об
1	300	250	50	48	60	0,3
2	260	200	205	190	90	0,1
3	275	250	300	280	75	0,5
4	300	250	50	40	50	0,6

$$h = L * \operatorname{tg} \alpha = \frac{L(d_1 - d_2)}{2l} \quad (\text{Л } 4.1)$$

Точение конусов поворотом верхней части суппорта применяют при обработке наружных и внутренних конусов небольшой длины. В этом случае каретку суппорта поворачивают на угол, равный половине угла при вершине конуса и сообщают ей ручное либо механическое перемещение.

$$c = \frac{l}{\cos \alpha} \quad (\text{Л } 4.2)$$

где, α - угол наклона конуса

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{D - d}{2l} \quad (\text{Л } 4.3)$$

где, D и d – диаметры большого и меньшего оснований конуса

Нарезание многозаходной резьбы.

1) Произвести настройку станка на нарезание 2-х заходной резьбы:

а) определить число черновых и чистовых проходов (таблица Л 4.6)

б) определить скорость резания (таблица Л 4.7)

в) рассчитать число оборотов шпинделя при нарезании резьбы и скорректировать по паспорту станка для черновых и чистовых проходов:

$$n_{\text{черн}} = \frac{1000V_{\text{табл}}}{\pi D} = \quad (\text{Л, 4. 4}) \quad n_{\text{факт.черн.}} = \quad (\text{Л4.5})$$

$$n_{\text{чист}} = \frac{1000V_{\text{табл}}}{\pi D} = \quad (\text{Л4.6}) \quad n_{\text{факт.чист.}} = \quad (\text{Л4.7})$$

г) рассчитать фактическую скорость резания:

$$V_{\text{ф.черн.}} = \frac{\pi D n_{\text{ф}}}{1000} = \quad (\text{Л4.8})$$

$$V_{\text{ф.чист.}} = \frac{\pi D n_{\text{ф}}}{1000} = \quad (\text{Л 4.9})$$

$$n_{\text{расч.черн}} = \frac{1000V_{\text{факт.черн.}}}{\pi D} = \quad (\text{Л 4.10})$$

$$n_{\text{расч.чист.}} = \frac{1000V_{\text{факт.чист.}}}{\pi D} = \quad (\text{Л 4.11})$$

2) Составить таблицу Л 4.2:

Таблица Л 4.2 - Режимы резания

Шаг резьбы, мм	Материал	Число проходов i		Скорость резания, м/мин		Скорость резания $V_{\text{табл.}}$, м/мин		Число оборотов $n_{\text{расч.}}$, мин ⁻¹		Число оборотов по паспорту, мин ⁻¹	
		черн.	чист.	черн.	чист.	чер	чист.	черн.	чист.	черн.	чист.

Точение конусов способом смещения центра задней бабки

1) Определить величину смещения центра задней бабки и проверить возможность обработки.

2) Составить таблицу Л 4.3

Таблица Л 4.3 – Полученные данные

$d_{j.}$, мм	d_{2j} , мм	C , мм	L , мм	h , мм

$$h = \frac{L(d_1 - d_2)}{2l} = \quad (\text{Л 4.12})$$

Задание 3. Точение конусов способом поворота верхней резцовой каретки

1) Определить угол поворота резцовой каретки

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{d_1 - d_2}{2l} = \quad (\text{Л 4.13})$$

2) Определить длину образующей конуса (путь резцовой каретки) и проверить возможность обработки.

$$c = \frac{l}{\cos \alpha}, \quad (\text{Л 4.14})$$

3) Заполнить таблицу Л 4.4

Таблица Л 4.4 – Полученные данные

$d1, \text{мм}$	$d2, \text{мм}$	$l, \text{мм}$	$c, \text{мм}$	α°

Анализ результатов выполненной работы

Таблица Л 4.5 – Число проходов при нарезании резьбы резбовыми резцами

Метрическая резьба				Дюймовая резьба				Трапецеидальная резьба						
Шаг	Сталь, чугун, бронза и латунь			Число ниток на 1 дюйм	Сталь, чугун, бронза и латунь			Шаг резьбы в мм	Углеродистая		Чугун, бронза,		Легированная	
	Число				Число проходов				Число проходов					
	Черновых с боковыми врезаниями	Чистовых с боковыми врезаниями			Черновых с боковыми врезаниями	Чистовых с радиальными врезаниями			Черновых	Чистовых	Черновых	Чистовых	Черновых	Чистовых
0,75, 1,0	-	3	3	20	-	3	2	2,5,4	14	6	11	5	22	10
1.25, 1,5	-	4	3	18,16	-	3	3	5,6,8	14	6	12	5	20	10
1,75	-	5	3	14,12	4		3	10	14	6	12	5	20	10
2,0	-	6	3	10,9	5	-	3	12	14	6	12	5	20	10
2,5,	6	6	3	8,7	5	-	4	16	14	8	12	5	20	10
3,5,	7	-	4	6	6	-	4	20	17	10	13	7	30	15
4,5	7	-	4	5,4	7	-	4	24	21	11	15	8	35	18
5,0,5,5	8	-	4	3,5	8	-	4	32	27	13	20	10	40	20
6.0	Q	-	4	3	9	-	4	40	32	16	25	12	45	20

Таблица Л 4.6 – Скорость резания при нарезании наружной резьбы на проход резбовыми резцами

Метрическая резьба									
Шаг резьбы в мм.		2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6
Скорость резания, м/мин	при черн. Проходах	36	31	30	27	25	24	22	2
	при чист. Проходах	64	56	50	48	44	42	41	3
	при зачист. Проход.	-	-	-	-	-	-	-	-

Дюймовая резьба												
Число ниток на один дюйм		1	1	9	8	7	6	5	4,5	4	3,5	3
Скорость резания, м/мин	при черн. Проходах	4	3	36.	31	28	27	25	23	21	20	19
	при чист. Проходах	6	5	57	55	49	47	42	39	37	34	31
	при зачист.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Таблица Л. 4. 7 – Справочные данные

Трапецеидальная резьба									
Шаг резьбы в мм.		5	6	8	1	12	16	2	24
Скорость резания, м/мин	при черн.	37	3	25	21	18	15	1	13
	при чист. Проходах	64	6	64	64	64	52	5	52
	при зачист.	-	-	-	-	-	-	-	-

Трапецеидальная резьба отличается от метрической шагом Р и углом профиля (рисунок Л 4.4) [30].

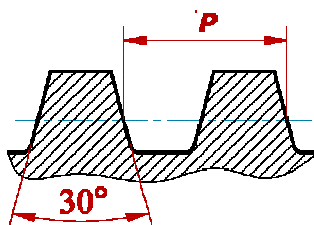


Рисунок Л 4.4 – Вид трапецеидальной резьбы : Р - шаг резьбы; 30° - угол профиля резьбы

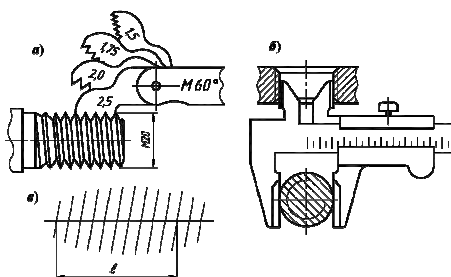


Рисунок Л 4.5 – Контроль параметров резьбы : а- шаблон профиля резьбы; б- диаметра; в- шага резьбы

Вопросы для самоподготовки

1. Методы деления многозаходных резьб?
2. Принцип наладки станка для нарезания многозаходных резьб?
3. Что называют ходом резьбы?
4. Методы точения конусов
5. Принцип настройки станка на точение конусов разными методами
6. Преимущества и недостатки различных способов настройки точения конусов.

3.5 Лабораторная работа №5. Расчет погрешностей формы расточенного отверстия в ряду КПР ГПО

Цель работы: определить уровень относительной геометрической точности растачивания.

Растачивание производится на специальном станке с выносными опорами шпинделя. Схемы базирования заготовки расположения припусков при растачивании показаны на рисунке Л 5.1 [24–27].

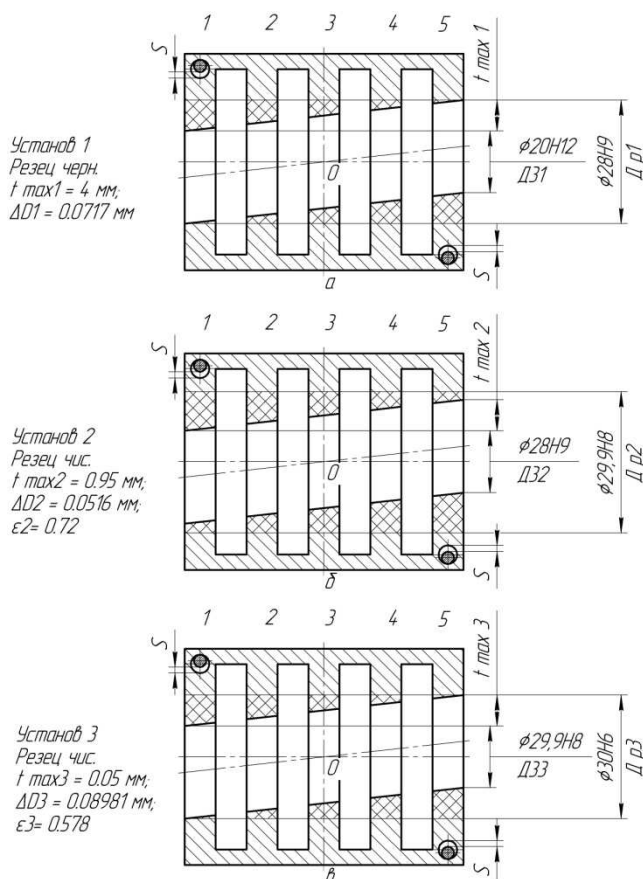


Рисунок Л 5.1 – Схемы расположения припусков в заготовке по отношению к оси борштанги пиноли при смене резцов: а – чернового; б – получистового; в – чистового

Задание 1. Определить уровень относительной геометрической точности растачивания.

Исходные данные: $D=450 \text{ Н6}$; $C_p=300$, $S=0,3 \text{ мм/об}$, $t=2 \text{ мм}$, $y_p=0,75$, $x_p=1,0$, $n=0$ [1], $HB=160$, $j_{ст}=3953 \text{ Н/мм}$. Примем $(1/j_{инст})=0$ и $(1/j_{дет})=0$.

Колебания припуска на рабочих ходах, связанные с погрешностью формы отверстия в заготовке, при работе на настроенных станках изменяют глубину резания t и вызывают изменение диаметра обрабатываемого отверстия D на величину приращения ΔD в соответствии с зависимостью:

$$\Delta D = 2C_y S^{yp} t^{xp} HB^m \left(\frac{1}{j_{ст}} + \frac{1}{j_{инстр}} + \frac{1}{j_{дет}} \right), \quad (\text{Л5.1})$$

где $j_{ст}$ – жесткость станка; j – жесткость системы СПИД; $j_{инстр}$ – жесткость

инструмента; $j_{ДЕТ}$ – жесткость детали; XP , UP , m – показатели степени; C_y – коэффициент; HB – твердость материала заготовки по Бринеллю.

$$\Delta D = 2 \cdot 300 \cdot 0.3^{0.75} \cdot 2^1 \cdot 160^0 \left(\frac{1}{3953} + 0 + 0 \right) = 0.12 \text{ мм.} \quad (\text{Л } 5.2)$$

При получистовом растачивании:

$$\Delta D = 2 \cdot 300 \cdot 0.15^{0.75} \cdot 0.95^1 \cdot 160^0 \left(\frac{1}{3953} + 0 + 0 \right) = 0.034 \text{ мм.} \quad (\text{Л, } 5.3)$$

При постоянной жесткости технологической системы по длине обработки, неизменном режиме обработки и постоянной твердости заготовки HB приращение диаметра D от колебания припуска по сравнению с номинальным его значением сохраняется одинаковым по всей длине обрабатываемой поверхности и не вызывает появления погрешности ее формы.

Зависимость глубины резания от погрешности формы поверхности заготовки $\Delta_{заг}$. Приращение глубины резания Δt определяет величину нормальной составляющей усилия резания ΔP_y и величину дополнительного отжата Δ_y жесткости инструмента j . Погрешность формы заготовки $\Delta_{заг}$ копируется в виде одноименной погрешности меньшей величины, уменьшаясь после каждого прохода обратно пропорционально величине уточнения ε .

После i -го прохода погрешность обрабатываемой детали $\Delta_{дет}$ может быть определена по формуле

$$\Delta_{дет i-го} = \frac{\Delta_{заг}}{\varepsilon^i} = \frac{\Delta_{заг} (C_y S^{yp} HB^n)^i}{j^i} = \Delta_{заг} \cdot K^i \quad (\text{Л } 5.4)$$

В связи с тем, что в большинстве случаев $\varepsilon > 1$, $K < 1$, то увеличение числа проходов уменьшает погрешность. Существенное отличие обоих способов растачивания состоит в том, что при одинаковом числе проходов, например, $n = 4$, на пинольном станке можно выполнить без переустановки заготовки все проходы, поскольку обеспечивается работа методом пробных проходов, не требующая переустановку заготовки перед получистовым и чистовым проходами. Это позволяет стабилизировать припуск за счет первых проходов и исключить смещения припуска от погрешности установки заготовки перед последним проходом. На этом основании можно сделать вывод, что

$$\Delta t^{м.б.} > \Delta t^{б..н.}, \quad (\text{Л } 5.5)$$

где $\Delta t^{м.б.}$, $\Delta t^{б..н.}$ – приращение глубины резания при обработке, соответственно, многолезцовой борштанги и борштанги пиноли.

Для обеспечения достаточно малых погрешностей диаметров постелей под вкладыши в коренных опорах картеров существует традиционный способ растачивания коренных опор многолезцовыми борштангами. Для достижения точности коренных опор, соответствующей 6-му качеству, требуется растачивать их не менее 3-х раз. При этом в серийном и массовом

производства обработка осуществляется часто на автоматических линиях. В процессе трехкратного растачивания заготовка перемещается между расточными станками от чернового станка к получистовым и чистовому. Перед растачиванием и после него заготовка устанавливается на базовые пальцы, что приводит к смещению припуска (рисунок Л 5.1). Существует и другой способ растачивания, когда заготовка при черновом, получистовом и чистовом рабочих ходах односторонней борштанги остается закрепленной один раз, а переставляется при получистовом растачивании и меняется с чернового на чистовой резец перед чистовым. В любом случае избежать смещения осей коренных опор не удастся. На рисунке 3.20 используются следующие обозначения и символы изменяющихся параметров обработки при переустановке заготовки со станка на станок: припусков $t_{\max}$ и погрешности ΔD . При переустановке заготовки картера с чернового станка (установ 1) на получистовой (установ 2) станок. $t_{\max 1}$, $t_{\max 2}$ и $t_{\max 3}$, соответственно, припуски на растачивание на 1-м черновом, 2-м получистовом и 3-м – чистовом станках; ε_1 , ε_2 , ε_3 – коэффициенты уточнения формы расточенных поверхностей. На рисунке 1 показаны схемы распределения припуска при растачивании коренных опор в тяжелых картерах специальными станками, оснащенными шпинделями на выносных опорах. Аналогичны и используемые обозначения, и символы изменяющихся при переустановке резцов параметров обработки.

Так как погрешность формы заготовки $\Delta_{\text{заг}}$ зависит от предшествующей обработки, то значения представлены в таблице 3.18:

Таблица Л 5.1 – Зависимость погрешности формы заготовки $\Delta_{\text{заг}}$

Квалитет	Погрешность формы заготовки $\Delta_{\text{заг}}$
16	2.5
12	0.4
8	0.063
6	0.025

После первого прохода погрешность обрабатываемой детали $\Delta_{\text{дет1}}$:

$$\Delta_{\text{дет1}} = \frac{\Delta_{\text{заг}} (C_y S_{\text{сп}} H B^n)^i}{j^i} = \frac{2.5(300 \cdot 0.3^{0.75} \cdot 160^0)^1}{3953} = 0.076 \text{ мм.} \quad (\text{Л5.6})$$

$$\text{После второго прохода: } \Delta_{\text{дет2}} = \frac{0.4(300 \cdot 0.15^{0.75} \cdot 160^0)^2}{3953^2} = 1.3 \cdot 10^{-4} \text{ мм.} \quad (\text{Л7.6})$$

$$\text{После третьего: } \Delta_{\text{дет3}} = \frac{0.063(300 \cdot 0.1^{0.75} \cdot 160^0)^3}{3953^3} = 3.91 \cdot 10^{-8} \text{ мм.} \quad (\text{Л586})$$

$$\text{После четвертого: } \Delta_{\text{дет4}} = \frac{0.025(300 \cdot 0.06^{0.75} \cdot 160^0)^4}{3953^4} = 1.79 \cdot 10^{-10} \text{ мм.} \quad (\text{Л5.9})$$

Принимая $(1/j_{\text{инст}})=0$ и $(1/j_{\text{дет}})=0$, получим $\Delta D=0,009$ мм. Полученная

погрешность формы расточенного отверстия меньше допуска на размер.

Так как погрешность обрабатываемой детали $\Delta_{dem}=1.79 \cdot 10^{-10} < 0,185=0.25TD$ (для размера 450H6), то соответствует уровню относительной геометрической точности С ГОСТ 24643-81.

Выводы:

1. Расчетным путем установлена закономерность в изменении величины погрешности размера и формы растачиваемых отверстий в заготовке при работе на настроенных станках многорезцовых и однорезцовых станках.
2. В обоих случаях при изменении глубины резания t происходит закономерное изменение диаметра обрабатываемого отверстия D на величину приращения ΔD в соответствии с зависимостью от номированных (справочных) величин припуска на черновом, получистовых и чистовом рабочих ходах.
3. Расчетами установлена зависимость погрешности формы заготовки $\Delta_{заг}$ от допуска на размер растачиваемого отверстия на предшествующей операции (рабочем ходе) обработки.
4. Для заданного варианта полученная погрешность формы расточенного с применением спроектированной пиноли отверстия $\varnothing 450H6$ меньше допуска на окончательный размер $1.79 \cdot 10^{-10} < 0,185=0.25TD$ и соответствует уровню относительной геометрической точности С по ГОСТ 24643-81.
5. Установлено, что в случае применения схемы растачивания ГПО однорезцовой пинолью и смене резцов черногого резца на получистовой и чистовой обеспечивается меньшее изменение диаметров и большая точность обработки, а требуемые коэффициенты уточнения формы достигаются уже после 3-го рабочего хода 5.
6. В случае применения схемы растачивания многорезцовой борштангой и переустановки заготовки с черного настроенного станка на получистовые и далее на 4-ый чистовой станок обеспечивает большие величины изменения диаметров и меньшая точность обработки и требуемые коэффициенты уточнения формы только после 4-го рабочего хода.
7. Рекомендуются применение схемы растачивания многорезцовой борштангой при массовом производстве, как обеспечивающей более производительную технологию, а применения схемы растачивания ГПО однорезцовой пинолью при мелкосерийном производстве, как менее производительную, и требующую меньше количество типов станков.

Новые термины и определения

1. Базирование – придание заготовке или изделию требуемого положения относительно выбранной системы координат. Теоретически базирование детали (изделия и т.п.) связано с лишением ее шести степеней свободы.
2. Соосность – свойство по значению прил. соосный; расположение осей деталей машины (узлов, агрегатов и т. п.) на одной линии.

3. Коэффициенты уточнения должны рассчитываться в случае надобности применительно к конкретным условиям обработки.
4. Настроенные на размер обрабатываемой поверхности металлорежущие расточные и обточные станки.
5. Смена при растачивании однорезцовой борштангой черного резца на получистовые и чистовой.
6. Схемы растачивания многорезцовой борштангой и переустановки заготовки с черного настроенного станка на получистовые и далее на чистовой станок заготовок картера.
7. Рабочий ход, переход, операция, переустановка заготовки со станка на станок, смена резцов черного резца на получистовой и чистовой.

Вопросы для самоподготовки

1. Что такое относительная геометрическая точность?
2. Назовите способы растачивания коренных опор?
3. Какие методы используют для достижения требуемой точности коренных опор?
4. Какова закономерность в изменении величины погрешности размера и формы растачиваемых отверстий в заготовке?

3.6 Лабораторная работа № 6. Контроль технологической точности направляющих станины и оси вращения шпинделя станка

Цель работы: научиться выполнять контроль технологической точности пространственного расположения направляющих станины и отклонения от параллельности им оси вращения шпинделя станка (разовысотности) для расточного станка, выполненного на базе токарного.

Оборудование:

- 2.1. Станок для растачивания трубных заготовок типа РТ-401 или аналогичный ему современный токарно-винторезный станок.
- 2.2. Набор измерительного инструмента: магнитной стойки, индикаторной головки часового типа с ценой деления 2 мкм; уровень.
- 3.3. Контрольная оправка с цилиндрической измерительной поверхностью.
- 3.4. Техническая характеристика выбранного станка – токарно-револьверного центра с ЧПУ модели ST-20 соответствует его паспорту.

Задание:

1. Приобрести навыки выполнения операций по определению технологической точности направляющих станины станка токарного станка и отклонения от параллельности им оси вращения шпинделя станка на основе полученных измерений, и, выполнив сравнительный анализ погрешностей и норм точности для базовых поверхностей металлорежущего станка для

обработки труб мод. ST-20, сделать заключение о пригодности станка к эксплуатации.

2. Изучить техническую характеристику станка и определить его назначение.

3. Изучить схемы изменения погрешностей базовых поверхностей и узлов станка, а также приборов для измерения погрешностей.

4. Проанализировать правильность назначения приборов по их погрешностям, установленным в зависимости от величин измеряемых отклонений, взятых с технической характеристики станка.

5. Произвести измерения по схемам, приведенным в лабораторной работе, определив отклонения от параллельности им оси вращения шпинделя станка направляющим станины.

6. Сделать вывод о пригодности станка для дальнейшей его эксплуатации или о необходимости его ремонта.

Содержание работы:

Для обеспечения технических требований к прямолинейности оси глубокого отверстия в длинномерной трубной заготовке, растачиваемого на токарно-расточном (токарно-винторезном) станке необходимо убедиться в его технологической точности. При закреплении борштанги в резцедержателе и пиноли задней бабки такая точность зависит от соответствия их действительных отклонений от норм точности допусков на пространственное расположение базовых осей отверстий шпинделя и пиноли от направляющих и других узлов.

Содержание задания:

1. Изучить принцип действия измерительных приборов и устройств для проведения технологической точности отклонения от параллельности им оси вращения шпинделя станка токарно-винторезного станка, индикаторной магнитной стойки, уровня.

2. Измерить отклонения технологической точности измерением действительных отклонений и сравнительным анализом их с паспортными данными норм точности:

- передней торцовой биения опорного буртика, шпинделя передней бабки; радиального биения конического отверстия шпинделя передней бабки;

- параллельности оси вращения шпинделя передней бабки продольному перемещению суппорта;

- параллельности продольного перемещения верхних салазок суппорта оси вращения шпинделя передней бабки в вертикальной плоскости;

- задней бабки токарного станка мод 16К16КП (16К20);

- параллельности перемещения пиноли направлению продольного перемещения суппорта;

- параллельности оси конического отверстия пиноли задней бабки перемещению суппорта;

3. Выполнить расчет допустимых значений и определить пригодность станка для эксплуатации путем определения сравнения действительных отклонений с нормами паспорта станка.

Порядок выполнения работы:

1. Внимательно изучить описание станка.
2. Изучить схемы измерения биения шпинделя по рисунку Л 6. 1 и исходные данные задания по паспорту станка.
3. Установить в конусное отверстие (не показано) шпинделя 1 контрольную оправку 2, вставить между наконечником 3 индикаторной головки и центровым отверстием оправки 2 (не обозначено позицией) шарик 4 и провернуть шпиндель 2-3 раза.
4. Занести в таблицы действительные (измеренные с допустимой прибором погрешностью) данные о погрешностях измеряемых поверхностей.
5. Определить разницу действительных измерений и паспортных данных станка.
6. Выполнить анализ данных таблицы и обосновать вывод о пригодности (или непригодности) станка для растачивания отверстий с отклонение от прямолинейности оси отверстия в пределах $\pm\delta = (0-0,051)\text{мм}$ на 1 метр длины.

Таблица Л 6.1 – Показания уровня

Положение направляющих станины – показания уровня в положениях
А/
Б/
В/
Г/

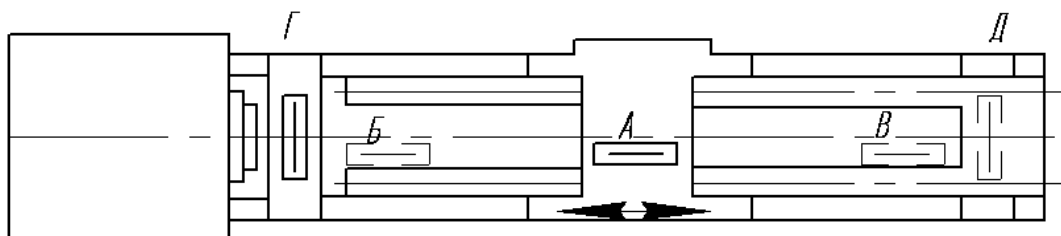


Рисунок Л 6.1 – Схема проверки точности направляющих станины станка

Примечание: в положениях А, Б и В допускается только выпуклость. В положениях Г и Д знак плюс означает отклонение пузырька уровня на рабочего, знак минус – отклонение пузырька уровня от рабочего.

Методы проверки

1. Прямолинейность продольного перемещения суппорта 1 в горизонтальной плоскости (в сторону оси центров).

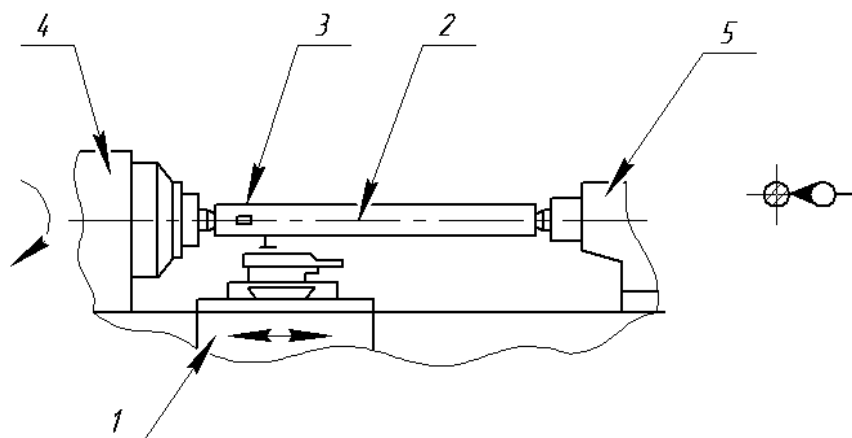


Рисунок Л 6.2 – Схема проверки точности направляющих станины станка

Результаты изменения действительных отклонений, возникших в результате эксплуатации станка определяются по таблицы 3.20.

Таблица Л 6.2 – Данные для сравнительного анализа измеренных действительных (измеренных с допустимыми выбранным прибором погрешностями) отклонений от плоскостности с нормами отклонений, допустимыми паспортом станка

Допуск, мкм		Действительное отклонение, мкм
Кл. точности Н	Кл. точности П	
16	10	
На длине 700 мм		

В центрах передней 4 и задней 5 бабок устанавливают оправку 2 с цилиндрической измерительной поверхностью.

На суппорте 1 (в резцедержателе) укрепляют индикатор 3 так, чтобы его измерительный наконечник касался боковой образующей оправки и был направлен к ее оси перпендикулярно образующей.

Показания индикатора на концах оправки должны быть одинаковыми. Суппорт перемещают в продольном направлении на всю длину хода. Отклонение определяют как наибольшую алгебраическую разность показаний индикатора.

2. Прямолинейность перемещений продольного суппорта в вертикальной плоскости.

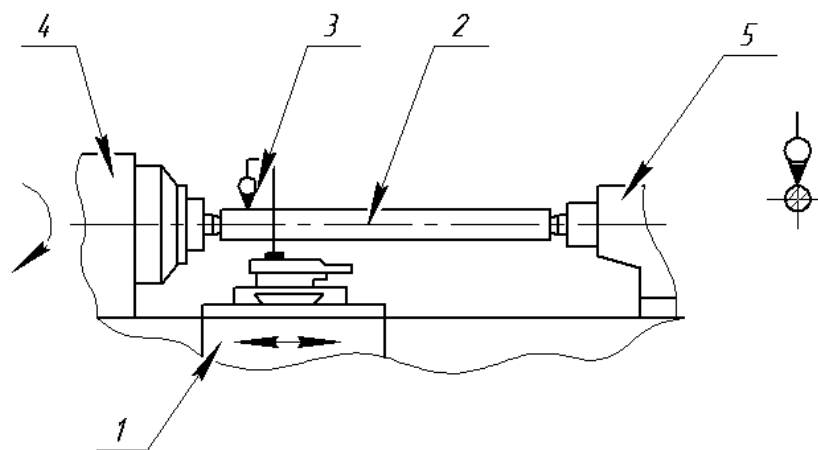


Рисунок Л 6.3 – Схема определения отклонений от прямолинейности перемещения продольного суппорта в вертикальной плоскости

Таблица Л 6.3 – Данные для сравнительного анализа допустимости отклонений от прямолинейности перемещения продольного суппорта в вертикальной плоскости от нормированных паспорта станка

Допуск, мкм		Фактическое отклонение, мкм
Кл. точности Н	Кл. точности П	
25	16	
На длине 700 мм (вогнутость не допускается)		

Метод проверки

1. В центрах передней 4 и задней 5 бабок устанавливают оправку 2 с цилиндрической измерительной поверхностью. Резцедержатель должен быть расположен как можно ближе к оси центров станка.
2. На суппорте 1 (в резцедержателе) укрепляют индикатор 3 так, чтобы его измерительный наконечник касался верхней (нижней) образующей оправки и был направлен к ее оси перпендикулярно образующей. Суппорт перемещают в продольном направлении на всю длину хода.
3. Отклонение определяют как наибольшую алгебраическую разность показаний индикатора (если показания индикатора на концах оправки не одинаковы, то из результатов отклонений следует вычесть погрешность, вызванной установкой оправки).
4. Параллельность перемещения задней бабки перемещению суппорта, проверяемая:
 - а) в вертикальной плоскости;
 - б) в горизонтальной плоскости.

Таблица Л 6.4 – Данные для сравнительного анализа допустимости отклонений от параллельности перемещения задней бабки перемещению суппорта

Номера проверок	Допуск, мкм		Фактическое отклонение, мкм
	Кл. точности Н	Кл. точности П	
2а	40	25	
2б	25	16	

5. Суппорт 1 и заднюю бабку 4 устанавливают в крайнее исходное положение на направляющих станины (правое или левое).

Пиноль 3 вдвигают в заднюю бабку на 0.8 хода и зажимают.

На суппорте укрепляют индикатор 2 так, чтобы его измерительный наконечник касался пиноли задней бабки и был направлен к ее оси перпендикулярно образующей.

6. Суппорт и заднюю бабку перемещают одновременно (при этом расстояние между суппортом и задней бабкой должно быть постоянно) на всю дину хода задней бабки с остановками для измерения не более чем через 0.3 длины хода. Заднюю бабку закрепляют. Отклонение определяют как наибольшую алгебраическую разность показаний индикатора при первоначальном и последующих положениях задней бабки и суппорта.

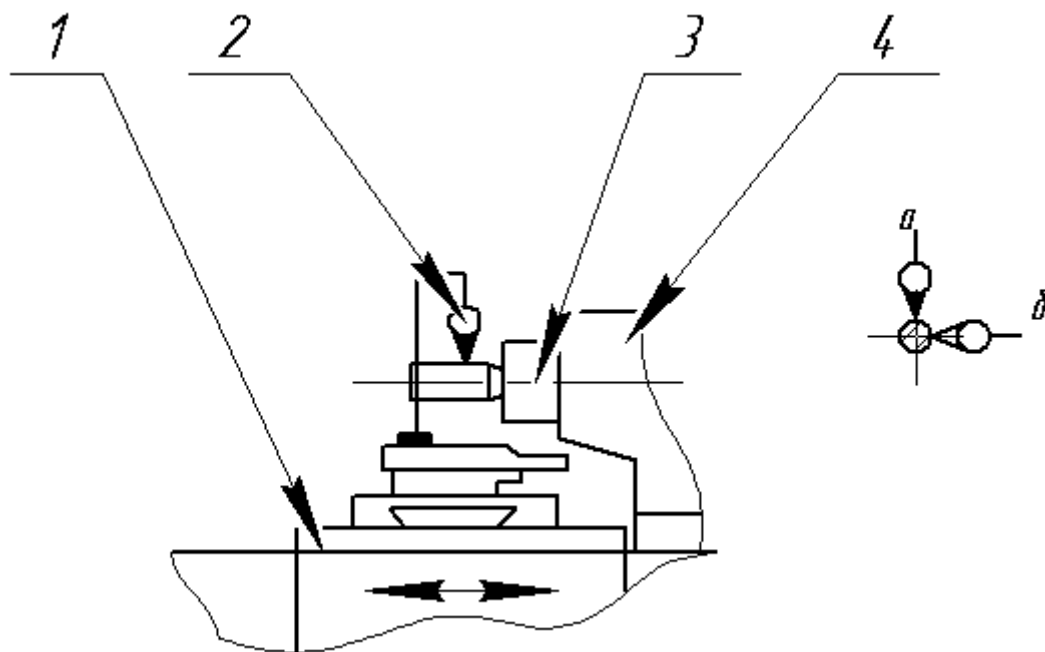


Рисунок Л 6.4 – схема определения погрешности параллельности перемещения задней бабки перемещению суппорта

7. Радиальное биение центрирующей поверхности шпинделя передней бабки под патрон.

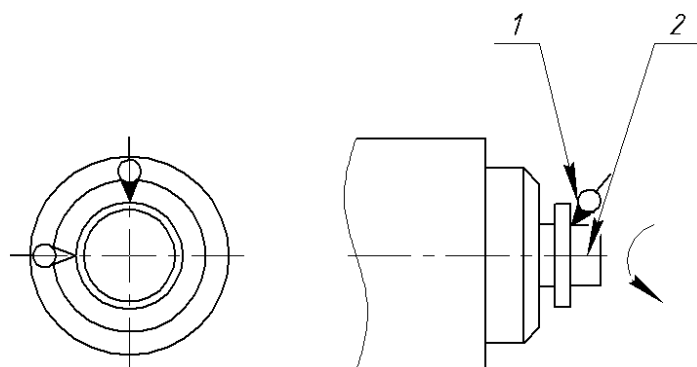


Рисунок Л 6.5 – Схема определения радиального биения центрирующей поверхности шпинделя передней бабки под патрон

Таблица Л 6.5 – Данные для сравнительного анализа допустимости отклонений радиального биения центрирующей поверхности шпинделя передней бабки под патрон

Допуск, мкм		Фактическое отклонение, мкм
Кл. точн. Н	Кл. точн. П	
10	7	

8. На неподвижной части станка укрепляют индикатор 1 так, чтобы его измерительный наконечник касался проверяемой поверхности 2 и был направлен к ее оси перпендикулярно образующей.

Шпиндель приводят во вращение (в рабочем направлении).

Шпиндель при измерении должен сделать не менее двух оборотов. Отклонение определяет как наибольшую алгебраическую разность показаний индикатора.



Рисунок Л 6.6 – Токарно-револьверный центр с ЧПУ модели ST-20

Вопросы для самоподготовки

1. Методы определения погрешностей поверхностей и их взаимного пространственного расположения деления.
2. Принцип наладки приборов на измерение погрешностей узлов станка.
3. Что называют индикаторной магнитной стойкой.
4. Что называют индикаторной головкой часового типа?
5. Как собирают магнитную стойку с индикаторной головкой?
6. Как устанавливают индикаторную магнитную стойку на станок?
7. Показать, как измеряют биение с помощью индикаторной магнитной головки?
8. Преимущества и недостатки различных способов настройки, измерения погрешностей станка и определения технологической точности.
9. Обосновать выводы и заключение по работе.

3.7 Лабораторная работа №7. Определение величин изменения диаметра расточенного отверстия и коэффициент уточнения формы

Цель работы: изучить метод определения величины изменения диаметра расточенного отверстия, коэффициент уточнения формы.

При обработке доведенными резцами минимальная толщина снимаемой стружки $t_{\min} = 0,005$ мм. Для метода пробных проходов это достижимая минимальная величина, а для многорезцовой борштанги данная величина существенно больше, поскольку в нее должны входить величины, превышающие погрешность переустановки заготовки на станок, осуществляющий полуступенчатый переход и погрешность, вносимую в

отклонение от соосности отверстий в ряду ГПО. Для снижения влияния такой неравномерности силы P_y на погрешность обработки рекомендуется чистовые проходы проводить со снятием минимального сечения стружки. Рассчитанные по рекомендации значения погрешностей от установки заготовки $E\delta_x$ и несоосности отверстий ГПО, приобретенной на предыдущем установке $\Delta_{н.с.}$, всегда в сумме больше значения $t_{\min}$:

$$t_{\min} < E\delta_x + \Delta_{н.с.} \quad . \quad (Л 7.1)$$

Согласно схеме расположения припусков, при смене чернового резца на чистовой резец (рисунок Л 5.1, Л 7.1) можно определить величину изменения диаметра, коэффициент уточнении формы.

Определим глубины резания для соответствующих проходов: черновой $t=2\text{мм}$ ($\emptyset 65\text{H}12$), получистовой $t=1.5\text{мм}$ ($\emptyset 68\text{H}9$), чистовой $t=0.9\text{мм}$ ($\emptyset 69,8\text{H}8$), тонкое растачивание $t=0.1\text{мм}$ ($\emptyset 70\text{H}7$).

Определим подачу для черновой обработки стали 40Х $S=0.9\text{мм/об}$, получистовой - $S=0.8\text{мм/об}$, чистовой $S=0.24\text{мм/об}$, для тонкого растачивания $S=0.06\text{мм/об}$ [21].

Используемые коэффициенты: $C_p=300$, $y_p=0,75$, $x_p=1,0$ $n=0$, $\text{HB}=160$, $j_{\text{ст}}=3953$ даН/мм. Примем $(1/j_{\text{инст}}) = 0$ и $(1/j_{\text{дет}}) = 0$.

Изменение диаметра при черновой обработке:

$$\Delta D = 2 \cdot 300 \cdot 0.9^{0.75} \cdot 2^1 \cdot 160^0 \left(\frac{1}{3953} + 0 + 0 \right) = 0.28 \text{ мм.} \quad (Л 7.2)$$

В случае получистового растачивания:

$$\Delta D = 2 \cdot 300 \cdot 0.8^{0.75} \cdot 1.5^1 \cdot 160^0 \left(\frac{1}{3953} + 0 + 0 \right) = 0.19 \text{ мм.} \quad (Л 7.3)$$

В случае чистового растачивания:

$$\Delta D = 2 \cdot 300 \cdot 0.24^{0.75} \cdot 0.9^1 \cdot 160^0 \left(\frac{1}{3953} + 0 + 0 \right) = 0.046 \text{ мм.} \quad (Л 7.4)$$

В случае тонкого растачивания:

$$\Delta D = 2 \cdot 300 \cdot 0.06^{0.75} \cdot 0.1^1 \cdot 160^0 \left(\frac{1}{3953} + 0 + 0 \right) = 0.0018 \text{ мм.} \quad (Л 7.5)$$

Погрешности формы заготовки $\Delta_{\text{заг}}$, зависящие от предшествующей обработки, представлены в таблице Л 7.1.

Таблица Л 7.1

Квалитет	Погрешность формы заготовки $\Delta_{\text{заг}}$
12	0.4
9	0.1
8	0.063
6	0.025

После первого прохода погрешность обрабатываемой детали Δ_{dem} :

$$\Delta_{\text{dem}1} = \frac{\Delta_{\text{заг}} (C_y S^{yp} HB^n)^i}{j^i} = \frac{0.4(300 \cdot 0.9^{0.75} \cdot 160^0)^1}{3953} = 2,8 \cdot 10^{-2} \text{ мм.} \quad (\text{Л 7.6})$$

После второго прохода (рабочего хода или операции):

$$\Delta_{\text{dem}2} = \frac{0.1(300 \cdot 0.8^{0.75} \cdot 160^0)^2}{3953^2} = 4,1 \cdot 10^{-4} \text{ мм.} \quad (\text{Л 7.7})$$

$$\text{После третьего: } \Delta_{\text{dem}3} = \frac{0.063(300 \cdot 0.24^{0.75} \cdot 241^0)^3}{3953^3} = 1,1 \cdot 10^{-6} \text{ мм.} \quad (\text{Л 7.8})$$

$$\text{После четвертого: } \Delta_{\text{dem}4} = \frac{0.025(300 \cdot 0.06^{0.75} \cdot 241^0)^4}{3953^4} = 1.79 \cdot 10^{-10} \text{ мм.} \quad (\text{Л 7.9})$$

Коэффициент уточнения формы ε :

$$\varepsilon_i = i \sqrt{\frac{\Delta_{\text{заг}}}{\Delta_{\text{деми}}}}; \quad (\text{Л 7.10})$$

$$\varepsilon_1 = \sqrt{\frac{0.4}{2,8 \cdot 10^{-2}}} = 14,2; \quad (\text{Л 7.11})$$

$$\varepsilon_2 = \sqrt[2]{\frac{0.1}{4,1 \cdot 10^{-4}}} = 15,6; \quad (\text{Л 7.12})$$

$$\varepsilon_3 = \sqrt[3]{\frac{0.063}{1,1 \cdot 10^{-6}}} = 38,5; \quad (\text{Л 7.13})$$

$$\varepsilon_4 = \sqrt[4]{\frac{0.025}{1,79 \cdot 10^{-10}}} = 108,71. \quad (\text{Л 7.14})$$

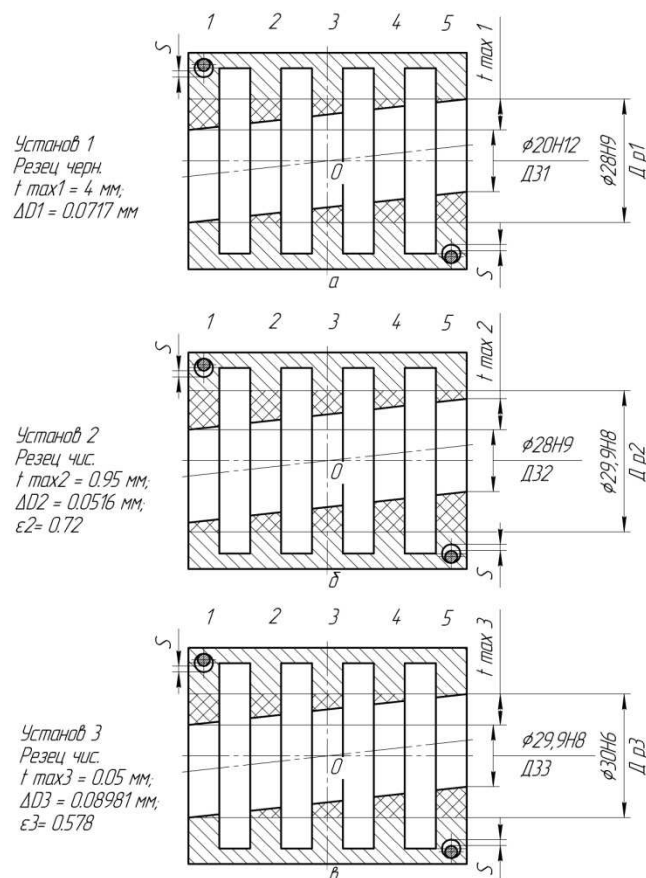


Рисунок 7.1 – Схемы расточки картеров однорезцовой борштангой

Выводы:

1. Расчетным путем установлена закономерность в изменении величины погрешности размера и формы растачиваемых отверстий в заготовке при работе на настроенных станках многорезцовых и однорезцовых станках.
2. В обоих случаях при изменении глубины резания t происходит закономерное изменение диаметра обрабатываемого отверстия D на величину приращения ΔD в соответствии с зависимостью от нормированных (справочных) величин припуска на черновом, получистовых и чистовом рабочих ходах.
3. Расчетами установлена зависимость погрешности формы заготовки $\Delta_{заг}$ от допуска на размер растачиваемого отверстия на предшествующей операции (рабочем ходе) обработки.
4. Для заданного варианта полученная погрешность формы расточенного с применением спроектированной пиноли отверстия $\varnothing 70H6$ меньше допуска на окончательный размер и соответствует уровню относительной геометрической точности С по ГОСТ 24643-81;
5. Установлено, что в случае применения схемы растачивания ГПО однорезцовой пинолью и смене резцов черного резца на получистовой и чистовой обеспечивается меньшее изменения диаметров и большая точность

обработки, а требуемые коэффициенты уточнения формы достигаются уже после 3-го рабочего хода 5.

6. В случае применения схемы растачивания многорезцовой борштангой и переустановки заготовки с 1-го черного настроенного станка на два полустачные и далее на 4-ый чистовой станок обеспечиваются большие величины изменения диаметров, меньшую точность обработки и требуемые коэффициенты уточнения формы только после 4-го рабочего хода.

7. Рекомендуется применение схемы растачивания многорезцовой борштангой при массовом производстве, как обеспечивающей более производительную технологию, а применения схемы растачивания ГПО одностачной пинолью при мелкосерийном производстве, как менее производительную, и требующее меньше количество станков [24, 27].

Используя результаты из лабораторной работы №5 построить графики зависимости изменения погрешности диаметра от числа рабочих ходов.

Вопросы для самоподготовки

1. Какова закономерность в изменении величины погрешности размера и формы растачиваемых отверстий в заготовке?
2. Какова зависимость погрешности формы заготовки $\Delta_{\text{заг}}$ от допуска на размер растачиваемого отверстия на предшествующей операции?
3. В каких случаях рекомендуется применять схемы растачивания многорезцовой борштангой?

3.8 Лабораторная работа №8. Определение размеров и погрешностей гильзы индикаторным нутромером

Цель работы: ознакомиться с методикой выбора измерительных инструментов для измерения отверстий, его устройством и порядком определения размеров и погрешностей формы в продольном и поперечных сечениях цилиндрического отверстия.

Выбор измерительного инструмента:

Надежность получения результатов измерения поверхностей после их механической обработки зависит от правильности выбора измерительных инструментов.

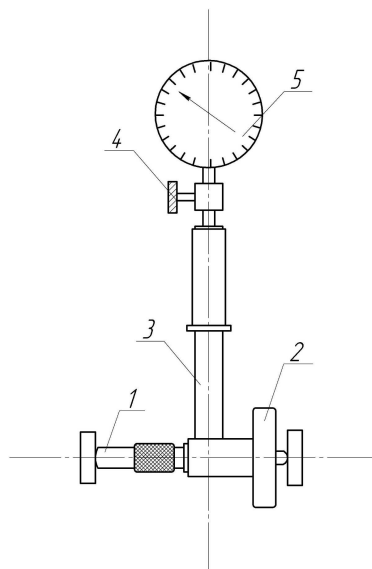


Рисунок Л 8.1 – Вид нутромера и индикаторной головкой часового типа

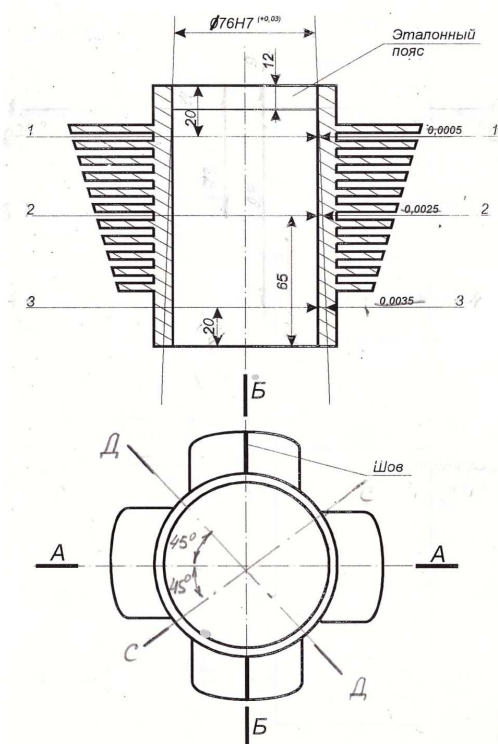


Рисунок Л 8.2 – Вид измеряемого отверстия цилиндра

Таблица Л 8.1 – Допустимая погрешность измерения $\pm \delta$ (ГОСТ 8.052. -81)

Квалитет точности	Интервалы размеров, мм													
	Св. 1 до 3		Св. 3 до 6		Св. 6 до 10		Св. 10 до 18		Св. 18 до 30		Св. 18 до 30		Св. 18 до 30	
	Допуск Т, мкм	$\pm \delta$, мкм	Допуск Т, мкм	$\pm \delta$, мкм	Допуск Т, мкм	$\pm \delta$, мкм	Допуск Т, мкм	$\pm \delta$, мкм	Допуск Т, мкм	$\pm \delta$, мкм	Допуск Т, мкм	$\pm \delta$, мкм	Допуск Т, мкм	$\pm \delta$, мкм
IT7	10	8	12	3	15	4	18	5	21	6	25	7	30	9
IT8	14	3	18	4	22	5	27	7	33	8	39	10	42	12
IT9	25	6	30	8	36	9	43	10	52	12	62	16	74	18
IT10	40	8	48	10	58	12	70	14	84	18	100	20	120	30
IT11	60	12	75	16	90	18	110	30	130	30	160	40	190	40
IT12	100	20	120	30	150	30	180	40	210	50	250	50	300	60
IT13	140	30	180	40	220	50	270	60	330	70	390	80	460	100
IT14	250	50	300	60	360	80	430	90	520	120	620	140	740	160

При выборе измерительных средств необходимо установить значение допустимой погрешности измерения поверхности по заданному качеству точности. Такой выбор определяется ГОСТ 25347-82 (Ст СМЭВ 144-74), определяющими допуск TD на диаметр Н7 (рисунок Л 8.2, таблиц Л. 8.1). Согласно рекомендации [1] и ГОСТ 8.052.-81 допустимая погрешность измерения для измеряемого диаметра 75Н7 (+0,-30) мм, $\pm \delta = (0,23 \dots 0,33)$. При $\pm \delta = (\pm 0,09)$ мкм (таблица Л. 8.2) принимается для использования индикаторная головка часового типа, имеющая цену деления 0,01... 0,02 мм. Основная характеристика настроенного на измерение диаметра 75Н7 нутромера с индикаторной головкой часового типа (рисунок Л. 8.2) следующая:

Пределы измерения 100-160 мм.

Глубина измерения (высота цилиндра) 300 мм.

Измерительное усилие 500-900 г.

Погрешность измерения 0,01 мм.

Таблица Л 8.2 – Предельные погрешности измерения некоторых универсальных измерительных инструментов $\pm \delta$ мкм

Средство измерения	Интервал размеров, мм	Предельная погрешность $\pm \delta$, мкм
Штангенциркуль ШЦ-1, ШЦ-2 (отсчет 0,05 мм)	1-500	100
То же (отсчет 0,01 мм)	1-50 50-500	150 200
Микрометр гладкий (отсчет 0,1 мм)	0-25 25-75 75-150 150-200	5 10 15 20
Скоба рычажная (отсчет 0,002 мм) с концевой мерой 3-го класса	0-25 25-75 50-100 100-125	4 5 10 20
Штангн глубиномер (отсчет 0,05)	10-50 50-300	100 150
Головки измерительные пружинные (микрокаторы) ЗИГП (отсчет 0,005) с приспособлением С-11 и концевыми мерами 3-го класса	1-80 8-180	3 5
Нутрометр с ценой деления 0,01, концевыми мерами 4-го класса или микрометром	3-18 18-50 50-280 280-500	15 20 25 30
Нутрометр индикаторный с измерительной головкой, отсчетом 0,002 мм, концевой опорой 1-20-го класса	3-18 18-50 50-120	4,5 5,5 6,5
Угломер транспортирный	0-180°	4'
Нутрометр микрометрический (отсчет ,0001)	4,5-5,5	1

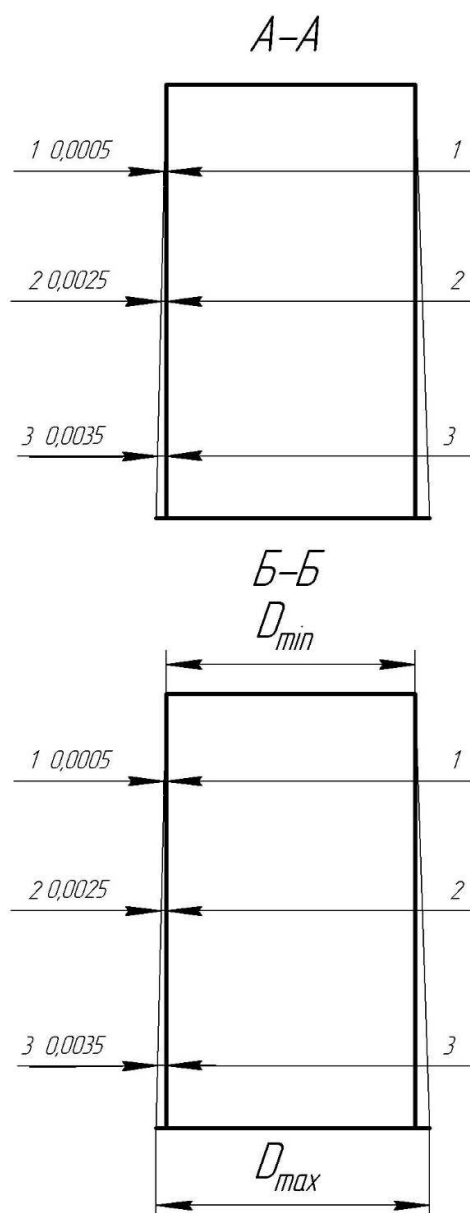


Рисунок Л 8.3 – Погрешность формы отверстия в продольном направлении
 Погрешность формы в поперечном направлении отверстия (овальность, конусообразность, бочкообразность, седлообразность и др.) определяются как разность максимального диаметра и минимального диаметров (рисунок Л 8.3. сечение Б-Б).

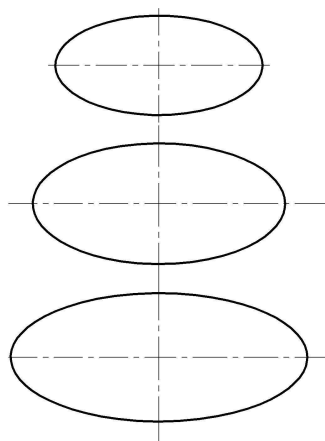


Рисунок Л 8.4 – Погрешность формы отверстия в поперечном направлении по сечениям А-А и Б-Б рисунка Л 8.3.

Таблица Л 8.3 – Таблица настроечных размеров скобы или диаметра эталонного пояса калибра для настройки индикаторного нутромера на нужные пределы измерения

Длина эталонной скобы, мм	75
Диаметр эталонного пояса, мм	76H7
Наибольший предельный размер гильзы, мм	76,030
Наименьший предельный размер гильзы, мм	76
Допустимая погрешность измерений, мкм	9
Погрешность измерения прибором, мкм	1

Таблица Л 8.4 – Результаты полученных показаний индикаторного нутромера и определения видов погрешностей

Сечение	Плоскость	Показани я прибора «Δ», мм	Действительны й размер «Δ+76», мм	Погрешность формы в поперечном сечении (овальность), мм	Погрешность формы в продольном сечении, мм
1	2	3	4	5	6
1	А				конусообразность
	Б				
2	А				бочкообразность
	Б				
3	А				седлообразность
	Б				

При этом отклонение стрелки индикатора от нуля (с учётом знака) соответствует отклонению действительного диаметра гильзы от диаметра 75 мм.

Методика выполнения работы

- 1) В соответствии с ГОСТ 25346-82 определить значение предельных отклонений на измеряемый диаметр 76Н7. Получить предельные размеры и занести их значения в таблицу.
- 2) Установить значение допустимой погрешности измерения поверхности по заданному качеству точности. Такой выбор определяется ГОСТ 25347-82 (СТ СМЭВ 144-74), определяющими допуск ТD на диаметр Н7 (рисунок 7.2, таблица 7.1). Согласно ГОСТ 8.052.-81 допустимая погрешность измерения для измеряемого диаметра 75Н7 (+0,-30) мм, $\pm \delta = (0,23 \dots 0,33)$. При $\pm \delta = \pm 0,09$ мкм (таблица 3.21), принимается для использования индикаторная головка часового типа, имеющая цену деления 0,01.... 0,
- 3) Выбрать индикаторную головку часового типа с ценой деления 2 мкм.
- 4) Произвести сборку нутромера с индикаторной головкой.
- 5) Настроить микрометр МК 75-100 на размер 75+0,01.
- 6) Измерить отверстие в трех поперечных сечениях в продольном сечении А-А.
- 7) Измерить отверстие в трех поперечных сечениях в продольном сечении Б-Б.
- 8) Определить разность $\Delta = D_{\max} - D_{\min}$ и пригодность цилиндра к дальнейшей эксплуатации по размеру 70Н7.

Вопросы для самоподготовки

1. Принцип наладки приборов на измерение погрешностей отверстия в продольном и поперечном направлениях.
2. Что называют индикаторным нутромером?
3. Что называют индикаторной головкой часового типа?
4. Как собирают индикаторный нутромер с индикаторной головкой?
5. Как устанавливают и настраивают на нужный размер диаметра индикаторный нутромер?
6. Показать, как измеряют погрешность диаметра с помощью индикаторного нутромера с индикаторной головкой?
7. Преимущества и недостатки способа измерения погрешностей с помощью индикаторного нутромера с индикаторной головкой.
8. Обосновать выводы и заключение по работе.

Заключение

Анализ современных специальных методов обработки ГО трубных заготовок позволил выявить следующие прогрессивные направления: растачивание стандартными резцами, растачивание широкими резцами, фрезерование методом винтовой интерполяции.

Обработка стандартным инструментом хотя и является наиболее распространенной, но обладает целым рядом недостатков: дифференциация операций, потребность в использовании широкой номенклатуры инструмента, а также вытекающая отсюда потребность в широкой гамме обрабатывающих станков, приводящая к значительному увеличению трудоемкости в виду большого количества переходов. Кроме того, стандартный инструмент не позволяет производить обработку с высокой производительностью.

Достижение более высокой производительности можно добиться применением специального режущего инструмента – резцов с широкой режущей кромкой. Их применение позволяет производить обработку с высокими подачами (до 7 мм/об) при сохранении глубин резания, аналогичных глубинам резания традиционного растачивая. Однако данный способ также обладает рядом недостатков: отсутствие стружкозавивательного уступа и накладного стружколома, обеспечение невысокой чистоты обработанной поверхности в пределах Ra 2,5 мкм (8, 9 квалитет), что устраняется применением режуще-деформирующей пиноли..

Наиболее перспективным по критерию стружкообразования, согласно проведенному анализу, является метод вихревого фрезерования, например, фирмы SandvikCoromant. Однако данный метод обладает рядом ограничений. Его применение позволяет достигать относительно невысокую точность – порядка 8 и 9 квалитетов, и шероховатости – в пределах Ra 2,5 - 6,3. Кроме того, ввиду интенсивного износа режущего инструмента, а также существенного падения жесткости при обработке с большими вылетами существует ограничение по применению данного метода по глубине обрабатываемых отверстий.

Стабильное достижение более высоких показателей точности и качества возможно с помощью комбинированных методов обработки. Эффективность методики применения новых способов и устройств заключается в улучшении стружкоотделения на основе совмещения процесса механической обработки вихрефрезерования методом винтовой интерполяции и поверхностно-пластического деформирования. Применение комбинированных методов обработки является решением технико-экономической проблемы трубных заготовок.

Библиографический список

1. Емельянов, Н.В. Новые решения в механической обработке глубоких отверстий в длинномерных трубных заготовках [Электронный ресурс] / Н.В. Емельянов, Д.М. Субботин, В.А. Санинский // 15-я научно-практическая конференция профессорско-преподавательского состава ВПИ (филиал) ВолгГТУ (г. Волжский, 25-29 янв. 2016 г.) : сб. тез. докл. В 2 ч. Ч. 1 / под ред. С.И. Благинина; ВПИ (филиал) ВолгГТУ. - Волгоград, 2016. - С. 119-124
2. Санинский В.А., Рябова К.Л., Платонова Ю.Н., Осадченко Е.Н. Влияние жесткости и геометрических параметров шпиндельного узла пиноли на точность растачивания соосных отверстий // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 2.
3. Погорильчук А.Я. Определение оптимальных параметров технологического процесса радиальнойковки // Наука и образование, 2009, №9
4. Научно-производственная компания «Интеграл» [Электронный ресурс]. URL:<http://integral-russia.ru/2017/04/23/radialnaya-kovka-metalla-izgotovlenie-valov-i-trub-peremennogo-secheniya-video/>
5. Выбор заготовок для механической обработки ступенчатых валов [Электронный ресурс] / В.А. Санинский, А.С. Клепиков, Е.Н. Смирнова, А.С. Шиян // 24-я межвузовская научно-практическая конференция молодых учёных и студентов г. Волжского (г. Волжский, 21-30 мая 2018 г.) : сб. материалов конф. / под ред. С. И. Благинина ; ВПИ (филиал) ВолгГТУ. - Волжский, 2018.
6. Константинов, И. Л. Технологияковки и горячей объёмной штамповки: учеб. пособие / И. Л. Константинов. - М. : ИНФРА-М ; Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2014.-551 с.
7. Проектирование типового чертежа заготовок пустотелых тел вращения для их механической обработки
8. Смирнов, В. К. Токарь-расточник: учебник для проф. – тех. уч-щ. – 3-е изд., доп. и перераб. – М.: Высш. школа, 1978. – 224 с., ил.
9. Основы токарного дела [Текст] / А. Н. Оглоблин; Под ред. проф. Г. А. Глазова. - 3-е изд., перераб. - Л. : Машиностроение. Ленинградское отделение, 1974. - 326 с. : ил. - Список лит.: с. 323 (10 назв.). - Б. ц.
10. Официальный сайт компании Sandvik Coromant [Электронный ресурс]. URL:<https://www.sandvik.coromant.com/ru-ru/knowledge/machining-formulas-definitions/pages/milling.aspx>
11. Вишницкий А. Л., Ясногородский И. З., Григорчук И. П., Электрохимическая и электромеханическая обработка металлов, Л., 1971; Электрофизические и электрохимические методы размерной обработки материалов, М., 1971; Черепанов Ю. П., Самецкий Б. И., Электрохимическая обработка в машиностроении, М., 1972; Новое в электрофизической и электрохимической обработке материалов, Л., 1972.

12. Методы обработки круглых отверстий: Справочник/Б. Н. Бирюков, В. М. Болдин, В. Е. Трейгер, С. Г. Фексон; Под общей ред. Б. Н. Бирюкова.- М.: Машиностроение, 1989.-200с. ил.-Б-ка станочника).
13. Санинский, В. А. Повышение эксплуатационных характеристик многоопорных подшипниковых узлов размерной механической обработкой и идентифицированной компьютерной сборкой / В. А. Санинский // диссер. докт техн. наук. – Ростов-на-Дону, 2007. – С. 400.
14. Санинский, В. А. Разработка и применение фрезерно-расточных станков с механизмом планетарного движения режущего инструмента: монография / В.А. Санинский // ВПИ (филиал) ВолГТУ. – Волгоград: ИУНЛВолГТУ, 2016. – С.111.
15. Boring Machines for the Production of Bearing Apertures in the Crankcase of InternalCombustion Engines / В.А. Санинский, К.Л. Рябова, Ю.Н. Платонова, Е.Н. Осадченко // Russian Engineering Research. - 2015. - Vol. 35, No. 3. - 200-205.
16. Грибенченко, А.В. Влияние параметров электромеханической обработки на поверхностное упрочнение углеродистой стали / А.В. Грибенченко, Л.В. Костылева, В.А. Грибенченко // Национальная научно - практическая конференция «Актуальные направления научных исследований в АПК: от теории к практике» 2017 г.
17. Automated selection of components in bearing assembly for diesel engines / А.В. Петрухин, В.А. Санинский, Н.П. Москвичева, М.В. Кочкин // Russian Engineering Research. - 2015. - Vol. 35, No. 7. - 500-504.
18. Сторчак, Н.А. Optimal combinations of contact surfaces in coaxial frictional pairs / Н.А. Сторчак, В.А. Санинский, Ю.Н. Платонова // Russian Engineering Research. - 2011. - Vol. 31, № 5. - 449-450. - Англ.
19. Systematization of the Contact-Surface Combinations in Frictional Pairs / В.А. Санинский, Н.А. Сторчак, А.В. Синьков, Ю.Н. Платонова // Russian Engineering Research. - 2011. - Vol. 31, No. 10. - 968-971. - Англ.
20. Бакаев, А. А. Расширения технологических возможностей процесса прошивания за счет регуляризации рабочих поверхностей инструмента / А. А. Бакаев, В.М. Скоромнов // Технология машиностроения, 2013.-№ 12 С. 13
21. Косилова А. Г., Мещеряков Р. К. Справочник технолога - машиностроителя. В 2-х томах. Т2 - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: “Машиностроение”, 1985 - 496 с.: ил.
22. Чудаков Е.А.: Машиностроение: Энциклопедический справочник. В 15-ти томах. Т7 – Технология производства машин. М.: ГНТИ машиностроительной литературы, 1948 с.: ил.
23. Справочник технолога по автоматическим линиям/ А. Г. Косилова, А. Г. Лыков, О. М. Деев и др. под ред. А. Г. Косиловой. -М.: Машиностроение, 1982. 320 с. ил.
24. Санинский В. А. Повышение качества механической обработки соосных поверхностей деталей многоопорных подшипниковых узлов: Монография. Волгоград. РПК «Политехник». 2003. 186 с.

25. Смольников, Н.Я. Специальные станки для растачивания глубоких прерывистых отверстий шпинделями на выносных опорах: монография /Н.Я.Смольников, В.А. Санинский.- Волгоград. гос. тех. ун-т.-Волгоград, 2004.-176 с.
26. Санинский, В.А. Методология прогнозирования границ ликвидационного квадрата в заготовках деталей машин: монография / Санинский В.А.- Волгоград. гос. тех. ун-т.-Волгоград, 2005.-122 с.4. Санинский, В.А. Методология повышения запаса точности коренных подшипников дизелей размерной механической обработкой и компьютерной сборкой / В.А. Санинский; ВолГТУ. - Волгоград, 2008. - 237 с. - Деп. в ВИНТИ 30.09.08, № 793.
27. Санинский, В. А. Методология повышения запаса точности коренных подшипников дизелей размерной механической обработкой и компьютерной сборкой: учебное пособие /В. А.Санинский // ВПИ (филиал) ГОУ ВПО Волгоград. гос.тех. ун-т. - Волгоград, 2011.-227 с.
28. Гузеев В.И., Батуев В.А. Режим резания для токарных и сверлильно-фрезерно-расточных станков с числовым программным управлением: Справочник/ Под ред. В.И. Гузеева. М.: Машиностроение, 2005. 368 с.
29. Технология изготовления глубоких отверстий. Методическое указание по контрольно-обучающему модулю КОМ/Состав. В.А. Харламов, Н. П. Черемушников, В.К. Шаповал, С. И. Агапов, ВолГТУ, - Волгоград, 1976. - 44 с.
30. Изображение и обозначение резьбы на чертежах.
multiurok.ru.

Приложение А

Обоснование расширения возможностей режущо-деформирующего прошивания глубоких отверстий

В приложении А приведена методика механической обработки глубоких отверстий пинолью с режущо-деформирующей прошивкой. В основе предложенной методики представлены результаты исследований, направленные на разработку методики проектирования технологии и инструментария для механической обработки глубоких прерывистых отверстий коренных опор дизельных двигателей. Предлагается применение обработки глубоких отверстий режущо-деформирующим чистовым прошиванием. Представлено обоснование возможности совмещения дорнующего прошивания с получистовым растачиванием глубокого прерывистого (ГО) отверстия вихрефрезерованием по методу винтовой интерполяции, а также особенности обработки режущо-деформирующего прошивания, совмещенного с вихрефрезерованием отверстия в длинномерной трубной заготовке пинолью с дорнующими элементами при их дроселировании смазочно-охлаждающей жидкости (СОТС). Данные методы предназначены для повышения стойкости деформирующих элементов при механической обработке высокоточных труб по ТУ14-3-941/94 применительно для механической обработки глубоких отверстий силовых гидроцилиндров тракторов и сельскохозяйственных машин после восстановления. Обоснована задача создания металлорежущего станка с расширением технологических возможностей известных пинольных специальных станков для обеспечения более широкого диапазона отверстий в длинномерных трубных заготовках, в т.ч. особо высокой точности. Решить эту задачу можно за счет введения в конструкцию привода промежуточной втулки [15] и выполнения механической обработки путем достижения планетарного вихрефрезерования, внутреннего шлифования при режущо-деформирующем прошивании пинолью, базирующейся по обработанной поверхности, а также совмещения черновой и чистовой обработки необработанной поверхности.

Введение. Проблема обработки глубоких отверстий (ГО) связана с возможным отклонением от первоначальных размеров после обработки. Такая проблема возникает при ремонте гидроцилиндров, и она знакома многим механикам нашей страны. И каждый подходит по-разному к решению данной задачи, опираясь на свой личный опыт, советы коллег и современные технологии по ремонту гидравлики.

Задиры, сколы и глубокие царапины возникают по всевозможным причинам и могут проявиться в самое неожиданное время. В связи с этим каждый механик, обслуживающий специальную технику, обязан владеть исчерпывающей информацией по вопросу восстановления и ремонта гидроцилиндров.

Основная проблема при восстановлении возникает после нанесения металла на поврежденные участки цилиндров и их шлифовке.

При наплавке металла на поврежденный участок происходит сгорание и отслоение гальванического хрома на участке перехода к базовому (заводскому) покрытию, и в результате получить цельную поверхность без снятия гальванического хрома по всей поверхности проблематично. Невозможно получить ровный переход без полного снятия хрома. После нанесения металла и последующей шлифовки в токарном станке будут нарушены изначальные размеры диаметра изделия, и это плохо отразится на последующей работе гидроцилиндра. И чем больше деформация изделия, тем больше отклонения от первоначальных размеров.

Известны результаты исследований точности режуще-деформирующих пинолей (РДП) для режуще-деформирующего прошивания коренных опор тяжелых дизелей, показывающие, что РДП обеспечивают качество после дорнования соосных отверстий коренных опор на уровне параметров 6-го качества точности [13]. Установлено, что специальные металлорежущие станки, оснащенные пинолями, имеют более широкие технологические возможности, заключающиеся в способности обеспечивать не только растачивание, но и контурное фрезерование, совмещенные с прошиванием ГО [2]. Однако исследования некоторых авторов показывают, что геометрические параметры деформирующих элементов не обеспечивают достаточную износостойкость в условиях долговременного дорнования, что особенно актуально при механической обработке ГО силовых гидроцилиндров, например, с применением металлорежущего станка [14, 15, 16], обеспечивающего РДП.

В то же время в исследованиях [7] представлен комплекс приемов и подходов к решению проблемы износостойкости деформирующих элементов прошивки, позволяющие создать условия для увеличения точности обработки ГО на основе безазорного базирования пиноли по обработанной ею поверхности ГО при условии введения в конструкцию режуще-деформирующей прошивки элементов дросселирования смазочно-охлаждающей жидкости (СОТС). При правильном и успешном назначении таких элементов, по мнению авторов исследований [5,17], можно с высокой степенью достоверности предположить, что на этой основе возможно и повышение точности обработки ГО при механической обработке ГО высокоточных труб по ТУ14-3-941/94 (рисунок ПА1) применительно для обработки силовых гидроцилиндров тракторов и сельскохозяйственных машин после восстановления.

Материалы и методы. Результаты исследований [13] указывают на возможность расширения технологических возможностей Р-Д прошивания с вихрефрезерованием или внутренним планетарным шлифованием поверхностей ГО пинолью (рисунок ПА2) с достижением параметров 8-го качества точности в длинномерных стальных трубных заготовках [6].

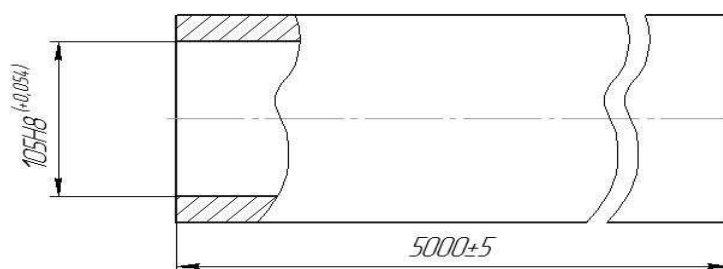


Рисунок ПА1 – Вид заготовки под обработку ГО

Таблица ПА1 – Расчеты режимов резания и основного времени при растачивании стандартными резцами[13]

Вид операции	d , мм	Квалитет	l , мм	l_1 , мм	l_2 , мм	L , мм	t , мм	s , мм/об	v , м/мин	n , об/мин	T_o , мин
Заготовка: $d_0=38\pm 2$; марка 40X; $D_3=70\pm 0,5$											
Черновое растачивание	48	H14 ^{+0,62}	6000	3	2	6005	5	0,4	92	610	25
Получистовое растачивание	56	H12 ^{+0,3}	6000	2	2	6004	4	0,3	105	597	34
Чистовое растачивание	59,76	H9 ^{+0,074}	6000	1	2	6003	1,9	0,2	135	719	42
Тонкое растачивание	60	H8 ^{+0,046}	6000	0,07	2	6002	0,12	0,16	228	1210	31
										Итого	131
Заготовка: $d_0=74\pm 2$; марка 40X; $D_3=110\pm 0,5$											
Черновое растачивание	86	H14 ^{+0,87}	6000	4	2	6006	6	0,5	83	307	39
Получистовое растачивание	96	H12 ^{+0,35}	6000	3	2	6005	5	0,4	92	305	49
Чистовое растачивание	99,74	H9 ^{+0,087}	6000	1	2	6003	1,9	0,3	117	374	54
Тонкое растачивание	100	H8 ^{+0,054}	6000	0,09	2	6002	0,15	0,2	211	672	45
										Итого	187
Заготовка: $d_0=124\pm 2$; марка 40X; $D_3=165\pm 0,5$											
Черновое растачивание	136	H14 ⁺¹	6000	4	2	6006	6	0,6	78	183	55
Получистовое растачивание	146	H12 ^{+0,4}	6000	3	2	6005	5	0,5	85	185	65
Чистовое растачивание	149,74	H9 ^{+0,1}	6000	1	2	6003	1,9	0,3	117	249	80
Тонкое растачивание	150	H8 ^{+0,063}	6000	0,08	2	6002	0,13	0,2	211	448	67
										Итого	267
Заготовка: $d_0=170\pm 2$; марка 40X; $D_3=210\pm 0,5$											
Черновое растачивание	186	H14 ⁺¹	6000	5	2	6007	8	0,6	74	127	79
Получистовое растачивание	196	H12 ^{+0,46}	6000	3	2	6005	5	0,5	85	138	87
Чистовое растачивание	199,74	H9 ^{+0,115}	6000	1	2	6003	1,9	0,3	117	187	107
Тонкое растачивание	200	H8 ^{+0,072}	6000	0,08	2	6002	0,13	0,2	211	336	89
										Итого	363

Известно, что использование регулярного микрорельефа (РМР), образованного на поверхности рабочего элемента инструмента для обеспечения более качественной поверхности отверстия в процессе деформирующего выглаживающего прошивания имеет высокую эффективность в определенном диапазоне натяга пластического деформирования [17]. При этом исследования проводились на инструменте типа многозубого дорна, которым снабжены режуще-деформирующие прошивки пиноли (РДПП) [2-4, 14-15] (рисунок ПА3; ПА4), что позволяет использовать выводы по результатам исследований отклонений от соосности обработанных прошивкой (рисунок 3, 4) отверстий в коренных опорах [13] при расчетах точности пиноли [14], в т. ч. совмещенных процессов Р-Д и вихрефрезерования методом винтовой интерполяции (ВМВИ) [15].

Обработку растачиванием обеспечивает конструкция станка [15], параметры которого не превышают 6-го качества точности, что не может обеспечить планетарное движение режущего инструмента и обработку шлифованием, которое обеспечивает параметры точности, соответствующие 4-му, 5-му, качеству точности, и параметры шероховатости в диапазоне Ra 0,63...0,08. Точность вращения борштанг пиноли [14] может быть рассчитана по рекомендациям [13].

Таблица ПА2 – Режимы резания. Продольное и поперечное точение и растачивание

Обрабаты ваемый материал	Вид образо тки	Мощн ость станка <i>N</i> , кВт	Диаметр обрабаты ваемой поверхнос ти <i>D</i> , мм до	Чистовая обработка					
				<i>R_Z</i> 40.. <i>R_Z</i> 20 14..12 квалитет		<i>R_Z</i> 40.. <i>R_Z</i> 20 11 квалитет		<i>R_Z</i> 40.. <i>R_Z</i> 20 9..8 квалитет	
				Глубина резания <i>t</i> , мм, до					
				5		1			
				<i>S</i> , мм/об	<i>V</i> , м/мин	<i>S</i> , мм/об	<i>V</i> , м/мин	<i>S</i> , мм/об	<i>V</i> , м/мин
Сталь конструкц ионная углеродис тая	Растач ивание резцом	4,5..14	30	0,25	106	0,35	150	0,25	140
			50		105		157		157
			100		106..111		148..157		185..198
			150		98..106		157		190..195
			250		110		151..165		175..185
			400		99..104				160
			500	—	—	—	—		
Чугун серый	Растач ивание резцом		30	0,4	85	0,45	94	0,35	108
			50		88		99		
			75		84		106		
			100		79		99		
			125		63		98		
			200		75..79		101..106		
			400				88..98		
			450		82		89..98	—	—
			500	0,45	79	79	—	—	

Таблица ПА3 – Расчетные значения скорости и составляющей резания P_z для детали 100Н8^{+0,054}

Диапазон подач s, мм/об	Глубина резания t, мм	Скорость резания v, м/мин	Сила резания Pz, Н	Коэффициенты для Pz					Коэффициенты и постоянные для v					
				Cp	x	y	N	Kp	Cv	x	y	m	Kv	T, мин
Черновое растачивание				300	1,0	0,75	0,15	1	350	0,15	0,35	0,2	0,52	45
0,4	6	90	4613											
0,5	6	83	5518											
0,6	6	78	6388											
0,7	6	74	7229											
Получистовое растачивание														
0,2	5	117	2634											
0,3	5	102	3647											
0,4	5	92	4594											
0,5	5	85	5496											
Чистовое растачивание														
0,2	2	135	2581											
0,25	2	124	3087											
0,3	2	117	3573											
0,35	2	111	4043											
Тонкое растачивание														
0,1	0,1	269	1383											
0,16	0,1	228	2017											
0,18	0,1	219	2217											
0,2	0,1	211	2412											

Задачей проекта металлорежущего станка [16] является расширение технологических возможностей известных пинольных специальных станков [14] с целью обеспечения широкого диапазона отверстий в длинномерных трубных заготовках, в том числе особо высокой точности. Такой подход позволяет создать условия для увеличения точности обработки ГО в условиях отсутствия переднего направления.

На рисунке ПА2 представлен способ механической обработки ГО 1 в трубной заготовке 2, при котором обработку осуществляют борштангой 3 с режущим инструментом 4 (например, фрезой или шлифовальным кругом) [14], расположенной на эксцентричных подшипниках скольжения 5 в пиноли 6 с режуще-дорнующими зубьями 7, которую базируют перед подачей рабочей среды в исходном положении во входном люнете 8 позволяет создать возможность механической обработки ГО в заготовке 2 и применить данный метод для обработки силовых гидроцилиндров тракторов и сельскохозяйственных машин после восстановления. Перед обработкой заготовку 1 зажимают между внутренними торцами одинаковых по конструкции входного и выходного люнетов 9 соосно с ними и подают давление P краном 10 по каналу 11, выполненному вдоль поверхности отверстия входного люнета 9, создавая давление на пиноли 6, между быстросъемной резьбовой крышкой 12 (на байонерном соединении) и

пинолью 6 так, что пиноль 6 играет роль поршня, перемещающегося в ГО заготовки 1. Давление P через дроссель 13 подается на турбины 14 вращения борштанги 3 и на турбину 15, круговой подачи (планетарного движения) борштанги 3. В результате, осуществляют прямой рабочий ход борштанги 3 с осевой (между крышкой 12) поступательной подачей S_n и вращательное движение борштанги V_6 , совмещенной с планетарным вращением (круговой подачей) $V_{кр}$ промежуточной втулки 16. При этом совмещают процессы вихрефрезерования ГО 1 режуще-деформирующего прошивания и дорнования последними зубьями прошивки 17. При этом продольную подачу S_{np} борштанги осуществляют от начала обработки заготовки 1 до перехода ее в выходной люнет 9, после чего выполняют обратный рабочий ход борштанги до возвращения ее в изначальное положение.

Для возврата пиноли 6 в исходное положение кран 10 перекрывают, а кран 18 открывают и подают давление P в выходной люнет 9, заготовку раскрепляют, контролируют размер ГО и операцию растачивания повторяют. При осуществлении прямого рабочего хода промежуточная втулка 16 поворачивается на бесшариковых подшипниках 19 и 20 вокруг оси пиноли с круговой подачей $v_{кр}$ обеспечивая винтовую интерполяцию режущего инструмента 4.

При осуществлении обработки методом деформирующего прошивания деформированием ГО на параметры точности и шероховатости значительное влияние оказывают геометрические параметры дорнующих элементов, их количество n на прошивке, число ее рабочих ходов N [15] в обрабатываемом отверстии и натяг i .

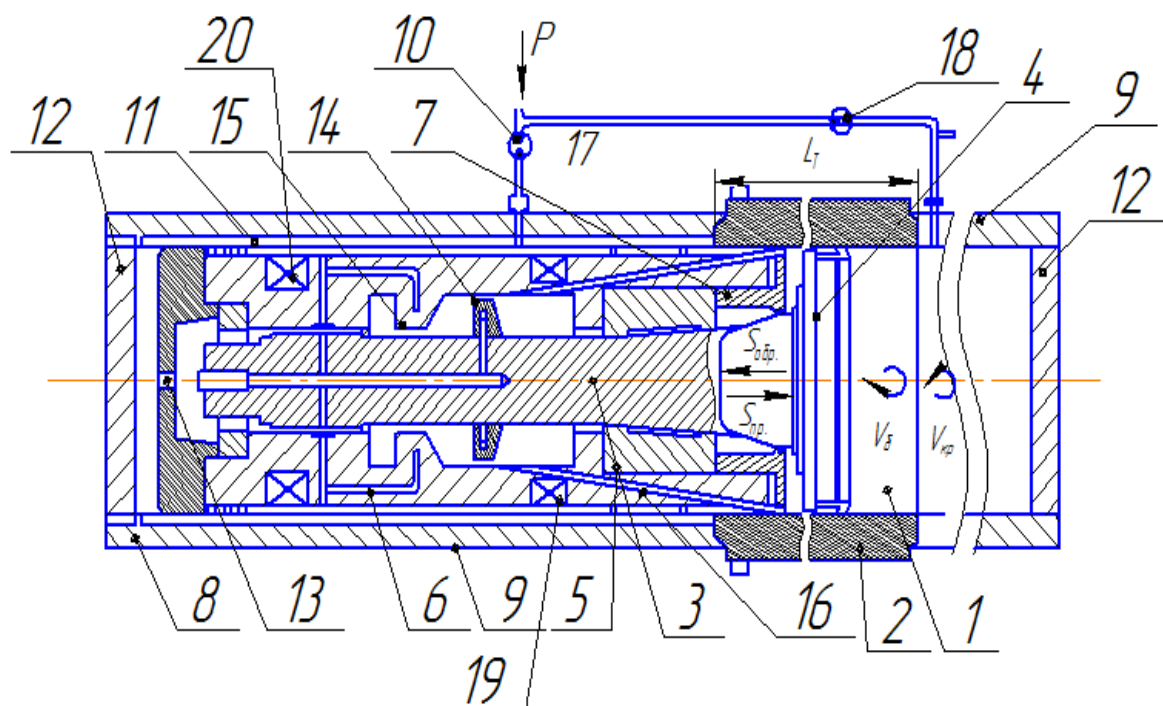


Рисунок ПА2 – Малогабаритный станок с режуще-деформирующей пинолью для вихрефрезерования или внутреннего шлифования ГО труб методом винтовой интерполяции

Для исследования точностных возможностей протяжек (рисунок ПА 3) приведено протягивание восьми соосных отверстий опор коренных подшипников диаметром 105,1 Н6^{0,021} мм в картерах дизельного двигателя В-2 из сплава марки АЛ9 ГОСТ 2685-75 в сборе с семью съемными крышками подшипников из сплава марки Д1 ГОСТ 4784-74, проведенное в производственных условиях на протяжном станке модели 7Б56 с использованием приемов способа [3] и координатных протяжек (рисунок ПА4) со скоростью резания 5 м/мин.

После протягивания протяжками и проведения замеров диаметров опор и их отклонений от соосности в вертикальном сечении *А – А* и горизонтальном *В – В* данные были занесены в таблицы [13] и построены диаграммы, представленные на рисунке ПА5. Замеры проводились индикаторным нутромером 100-160 ГОСТ 9244-75 в двух сечениях каждой опоры на расстоянии 10 – 15 мм от торцев.

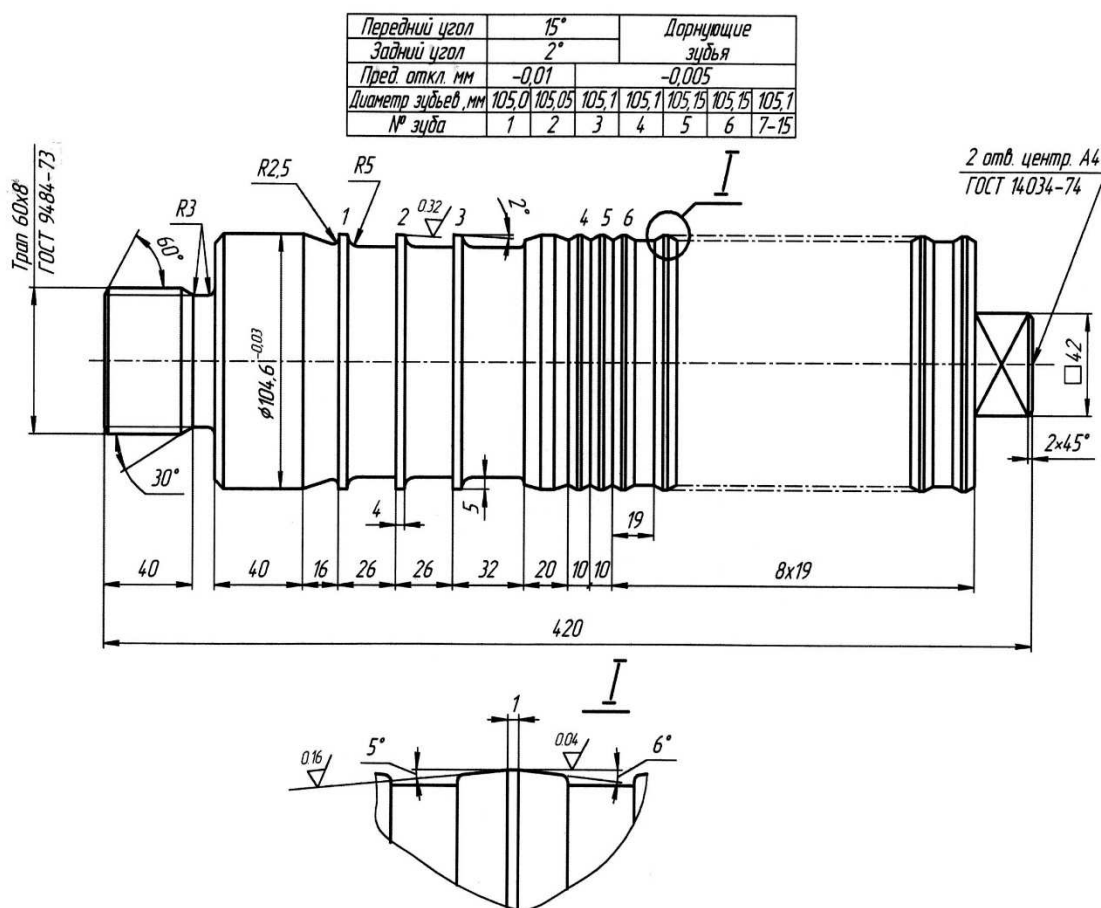


Рисунок ПА3 – Чертеж пиноли снабженной двумя передними режущими, одним калибрующим и несколькими дорнующими зубьями на заднем направлении

Определение отклонений от соосности промежуточных отверстий относительно крайних выполнено с помощью индикаторной стойки и микрометрической индикаторной головки 1ИГ ГОСТ 18833-73 от контрольной плиты.



Рисунок ПА4 – Вид координатных протяжек с удлиненными задними направлениями: *а* – частично дорнующим и гладким задним направлением; *б* – протяжка с полностью дорнующим задним направлением.

Для протяжки с гладким задним направлением (рисунок ПА4 *а*) зазор его с поверхностью направляющих опор составил 0,02...0,4 мм, а контакт у протяжки с дорнующим направлением осуществляется по посадке с натягом (натяг составил 0,01...0,03 мм).

При этом получены варианты контакта задних направлений протяжек с обрабатываемым глубоким прерывистым отверстием (ГПО) (рисунок ПА5):

- а) гладким направлением с зазором $S = 0,04 \dots 0,02$ мм (кривая 2);
- б) гладким направлением с зазором $S = 0,02 \dots 0$ мм (кривая 3);
- в) гладким направлением по переходной посадке (кривая 4);
- г) направлением, полученным в виде дорнующих зубьев по переходной посадке (кривая 1);
- д) направлением, полученным в виде дорнующих зубьев, контактирующих с натягом (кривая 5).

Результаты и обсуждение. Результаты, полученные после обработки, показывают, что протягивание с зазором повышает отклонение от соосности отверстий тем больше, если зазор больше между поверхностями заднего направления и обрабатываемого отверстия, чем ближе друг к другу базовое (предыдущее) отверстие и чем дальше от базового расположено обрабатываемое (последующее) отверстие.

Для обоих видов координатных протяжек с деформирующим задним направлением, можно вычислить отклонение от соосности e . Например, для точек, лежащих в плоскости VI, получим:

$$e_{VI} = \frac{\delta_{VI-VII}}{l_{VI-VIII}} \quad (\text{ПА1})$$

где δ – измеренная погрешность диаметра входного отверстия в точках, находящихся в плоскостях сечения VI-VII; l_{VI-VII} расстояние между плоскостями сечений VI-VII на рисунке ПА5.

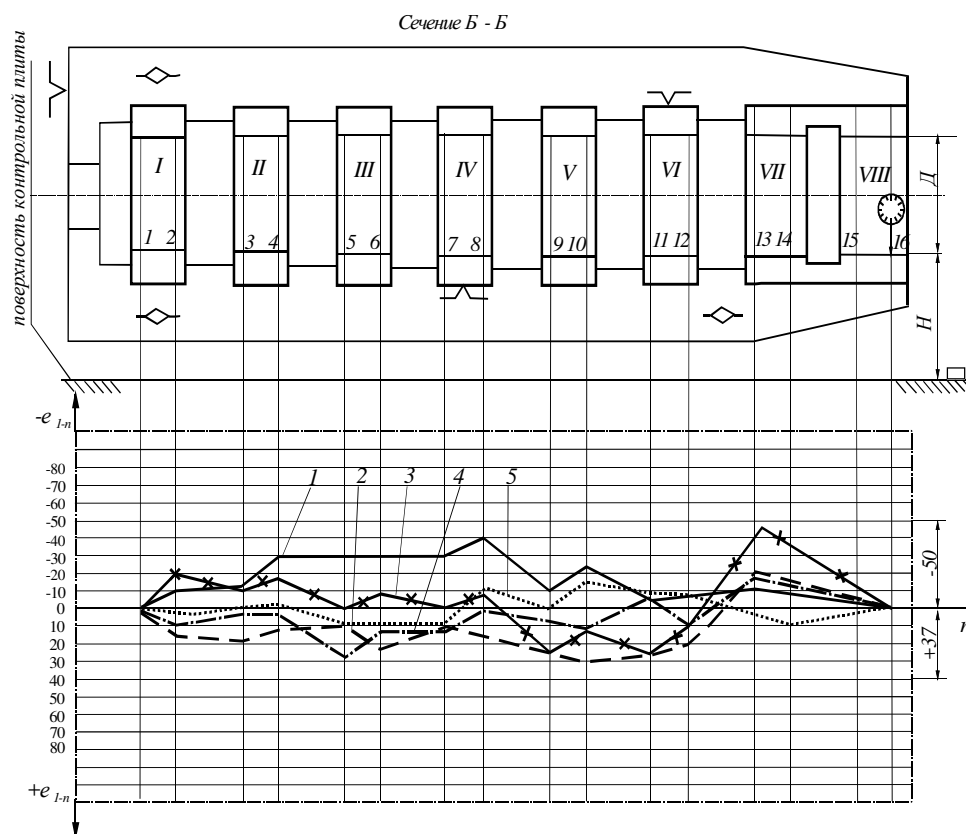


Рисунок ПА5 – Схема измерения координат и диаметров ГПО картера дизеля V-2 и графики отклонений от соосности, полученные по результатам их измерений в продольном сечении Б – Б

Приведенные данные позволяют считать, что в пределах зазора S между задним направлением протяжки и обработанной дорнующими зубьями поверхностью, протягивание является свободным, так как величина отклонения от соосности изменяется в пределах, ограниченных степенью свободы заднего направления в базовых отверстиях, определяющие смещение и перекос протяжки. С уменьшением зазора, отклонения от соосности снижаются, и при организации натяга сохраняется в пределах 0,015 мм. Такое смещение удовлетворяет как к требованиям к осям коренных опор дизельных двигателей тракторов, так и требований ТУ14-3-941/94 к оси ГО. Контакт по переходной посадке направления в виде дорнующих зубьев показал более стабильное качество поверхности по сравнению с гладким. В результате такой совмещенной обработки достигаются параметры качества обработанной поверхности, соответствующие 7-му, а при должной культуре производства, и 6-у квалитета точности. Такая точность позволяет в дальнейшем, при использовании в режущо-деформирующих пинолях расточных резцов [15] по схеме, показанной на рисунке ПА2, достигнутые значения отклонений от соосности промежуточных опор (рисунок ПА5) компенсировать соответствующими приемами сборки их с подшипниками скольжения [19]. Авторами работы [20] были получены результаты исследования влияния дросселирования на перечисленные параметры.

Для решения такой задачи на поверхности рабочих элементов прошивочных инструментов были нанесены канавки регулярного

микрорельефа в виде многозаходной криволинейной поверхности глубиной $i=0,08$ мм, изменяющиеся по синусоидальному или косинусоидальному закону и выполненными алмазным выглаживанием (рисунок ПА6). Глубина Γ_k однозаходных винтовых канавок равна, 5 мм [20].

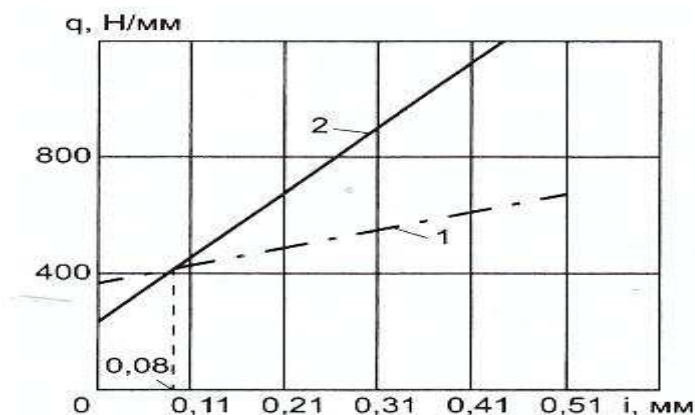


Рисунок ПА6 – Зависимость удельного усилия деформирующего прошивания от натяга пластического деформирования: 1- обработка с традиционным использованием деформирующих элементов; 2 - обработка с использованием деформирующих элементов с РМР в профиле

При прошивке образцов из стали 12 ХН3А прошивкой из стали Р6М5, аналогичной показанной на рисунках ПА3, ПА4 и снабженной деформирующими элементами диаметром 22 мм, можно ожидать положительного эффекта от применения в ней углов заборной части дорнующих элементов в пределах 8 ± 5 градусов с нанесенным на них РМР (рисунок ПА7).

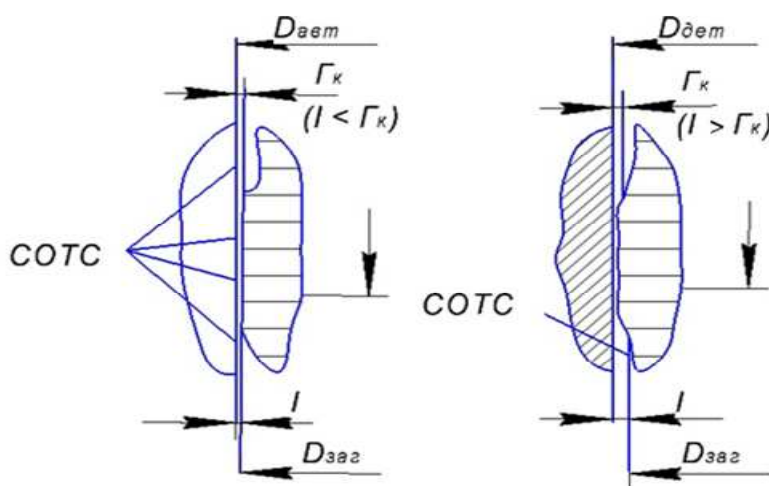


Рисунок ПА7 – Схема протекания процесса дорнования при натяге, соответствующем ППД при меньшем (а) и большем (б), чем высота канавки РМР профиля

Установленные исследования повышение качества от полученной поверхностной пластической деформации (ППД) и снижение усилий на обработку методом деформирующего прошивания, а также влияние дросселирования смазочно-охлаждающей технологической среды (СОТС) на

качество обработки поверхности можно считать рекомендованными и для обработки глубоких отверстий цилиндров [20].

Заключение. По результатам исследований установлено следующее:

1. Для достижения качества обработки поверхности на уровне 6-го качества точности можно использовать РМР профиль на рабочих поверхностях элементов прошивки при условии, что натяг пластического деформирования не будет превышать высоту канавок РМР профиля, а число рабочих ходов по обрабатываемой поверхности дорнующих элементов, чтобы избежать шелушения обрабатываемой ими поверхности, не должно превышать 10-15.

2. Достигнуть повышения качества обработки поверхности и снижения усилий на обработку методом деформирующего прошивания можно применением дросселирования смазочно-охлаждающей жидкости между рабочими поверхностями дорнующих элементов и обрабатываемой ими поверхности отверстия.

Приложение Б

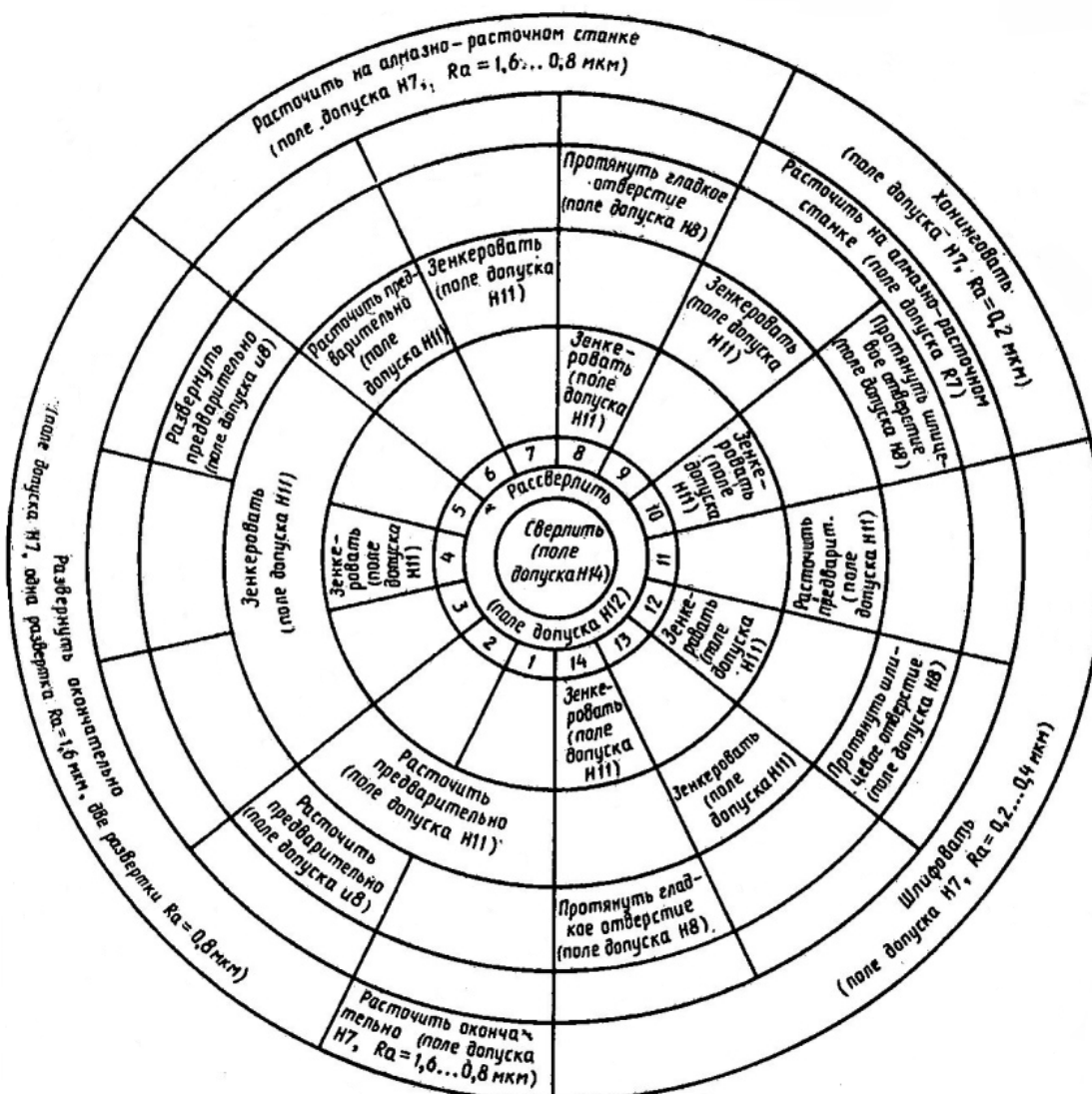


Рисунок ПБ1– Обобщенная схема технологических операций для достижения 7-го качества точности в горячештампованной заготовке

Формулы для определения исполнительных межоперационных размеров, получаемых на рабочих ходах, представлены в таблице ПБ1 согласно рекомендациям [12]. В горячештампованных заготовках для достижения параметров точности, соответствующих 7-му качеству, достаточно осуществить механическую обработку отверстия заготовки в соответствии со следующей обобщенной схемой последовательности операций, обеспечивающих точность от 14-го до 7-го качеств.

Таблица ПБ1 – Рекомендованная справочником технологическая схема 15

D	Операция					
	Расточная		Сверлильная	Протяжная	Шлифовальная	
	Растачивание, резец	Растачивание, резец	Зенкерование, зенкер	Протягивание, протяжка круглая	Шлифование, шлифовальный круг	
	Поле допуска диаметра отверстия после обработки					
	H14	H12	H11		H8	H7
	d _o		d _o	d _з	d _o	
Св. 40 до 50	D – 5	D – 3	(D – 1,35) ^{+0,16}	(D – 1,25) _{-0,039}	(D – 0,34) ^{+0,039}	D ^{+0,025}
Св. 50 до 65			(D – 1,4) ^{+0,19}	(D – 1,25) _{-0,046}	(D – 0,40) ^{+0,046}	D ^{+0,030}
Св. 65 до 80						
Св. 80 до 90			(D – 1,6) ^{+0,22}	(D – 1,45) _{-0,054}	(D – 0,46) ^{+0,054}	D ^{+0,035}

Таблица ПБ2 – Справочная технологическая схема 3 обеспечения припусков и допусков под хонингованием за 5 рабочих ходов [12]

D	Операция					
	Сверлильная			Протяжная	Алмазно-расточная	
	Сверление, сверло	Рассверливание, сверло	Зенкерование, зенкер	Протягивание, протяжка круглая	Растачивание, резец, оснащенный СТМ	
	Поле допуска диаметра отверстия после обработки					
	H14	H12	H11		H8	H7
	d _{св}		d _о	d _з	d _о	
До10	–	–	–	–	–	–
Св. 10 до 18	D – 2		(D – 1) ^{+0,11}	(D – 0,93) _{–0,027}	(D – 0,24) ^{+0,027}	D ^{+0,018}
Св. 18 до 30	D – 3	–	(D – 1) ^{+0,13}	(D – 0,915) _{–0,033}	(D – 0,28) ^{+0,033}	D ^{+0,021}
Св. 30 до 40	20	D – 4	(D – 1,35) ^{+0,15}	(D – 1,25) _{–0,039}	(D – 0,34) ^{+0,039}	D ^{+0,025}
Св. 40 до 50	25					
Св. 50 до 60	30	D –	(D – 1,4) ^{+0,19}	(D – 1,25) _{–0,046}	(D – 0,40) ^{+0,046}	D ^{+0,030}
Св. 65 до 80						
Св. 80 до 100				(D – 1,6) ^{+0,22}	(D – 1,45) _{–0,054}	(D – 0,46) ^{+0,054}

Таблица ПБ3 – Справочная технологическая схема 3 обеспечения припусков и допусков под внутренне шлифование за 5 рабочих ходов [12]

D	Операция					
	Сверлильная			Протяжная	Алмазно-расточная	
	Сверление, сверло	Рассверливание, сверло	Зенкерование, зенкер		Протягивание, протяжка круглая	Растачивание, резец, оснащенный СТМ
	Поле допуска диаметра отверстия после обработки					
	H14	H12	H11		H8	H7
	d _{св}		d _o	d _з	d _o	
Св. 10 до 18	D – 2	–	(D – 1,00) ^{+0,11}	(D – 0,93) _{-0,027}	(D – 0,24) ^{+0,033}	D ^{+0,018}
Св. 18 до 24	D – 3	–	(D – 1,00) ^{+0,13}	(D – 0,915) _{-0,033}	(D – 0,28) ^{+0,033}	D ^{+0,021}
Св. 24 до 30						
Св. 30 до 40	20	D – 4	(D – 1,35) ^{+0,16}	(D – 1,25) _{-0,039}	(D – 0,34) ^{+0,039}	D ^{+0,025}
Св. 40 до 50	25					
Св. 50 до 65	30	D – 5	(D – 1,40) ^{+0,19}	(D – 1,25) _{-0,046}	(D – 0,40) ^{+0,046}	D ^{+0,030}
Св. 65 до 80			(D – 1,60) ^{+0,22}	(D – 1,45) _{-0,054}	(D – 0,46) ^{+0,054}	–
Св. 80 до 90						

Таблица ПБ4 – Технологическая схема 24

D	Операции							
	токарная (расточная)		алмазно-расточная				хонинговальная	
	Растачива- ние, резец	Растачива- ние, резец	Растачивание, резец				Хонингование, хонинговальная головка	
	Поле допуска диаметра отверстия после обработки							
	H14	H12	H11		R7		H7	
	d _o		d _o		d _o		d _o	
			Номин.	Пред. откл.	Номин.	Пред. откл.	Номин.	Пред. откл.
45	40	43	44,65	+0,16	44,950	+0,025	45	+0,025
46	41	44	45,65	+0,16	45,950	+0,025	46	+0,025
47	42	45	46,65	+0,16	46,950	+0,025	47	+0,025
48	43	46	47,65	+0,16	47,950	+0,025	48	+0,025
49	44	47	48,65	+0,16	48,950	+0,025	49	+0,025
50	45	48	49,65	+0,16	49,950	+0,025	50	+0,025
51	46	49	50,60	+0,19	50,940	+0,030	51	+0,030
52	47	50	51,60	+0,19	51,940	+0,030	52	+0,030
53	48	51	52,60	+0,19	52,940	+0,030	53	+0,030
54	49	52	53,60	+0,19	53,940	+0,030	54	+0,030
55	50	53	54,60	+0,19	54,940	+0,030	55	+0,030
56	51	54	55,60	+0,19	55,940	+0,030	56	+0,030
57	52	55	56,60	+0,19	56,940	+0,030	57	+0,030
58	53	56	57,60	+0,19	57,940	+0,030	58	+0,030
59	54	57	58,60	+0,19	58,940	+0,030	59	+0,030
60	55	58	59,60	+0,19	59,940	+0,030	60	+0,030
61	56	59	60,60	+0,19	60,940	+0,030	61	+0,030
62	57	60	61,60	+0,19	61,940	+0,030	62	+0,030
63	58	61	62,60	+0,19	62,940	+0,030	63	+0,030
64	59	62	63,60	+0,19	63,940	+0,030	64	+0,030
65	60	63	64,60	+0,19	64,940	+0,030	65	+0,030
66	61	64	65,60	+0,19	65,940	+0,030	66	+0,030
67	62	65	66,60	+0,19	66,940	+0,030	67	+0,030
68	63	66	67,60	+0,19	67,940	+0,030	68	+0,030
69	64	67	68,60	+0,19	68,940	+0,030	69	+0,030
70	65	68	69,60	+0,19	69,940	+0,030	70	+0,030
71	66	69	70,60	+0,19	70,938	+0,030	71	+0,030
72	67	70	71,60	+0,19	71,938	+0,030	72	+0,030
73	68	71	72,60	+0,19	72,938	+0,030	73	+0,030
74	69	72	73,60	+0,19	73,938	+0,030	74	+0,030
75	70	73	74,60	+0,19	74,938	+0,030	75	+0,030
76	71	73	75,60	+0,19	75,938	+0,030	76	+0,030
77	72	74	76,60	+0,19	76,938	+0,030	77	+0,030
78	73	75	77,60	+0,19	77,938	+0,030	78	+0,030
79	74	76	78,60	+0,19	78,938	+0,030	79	+0,030
80	75	77	79,60	+0,19	79,938	+0,030	80	+0,030
81	76	78	80,40	+0,22	80,927	+0,035	81	+0,035
82	77	79	81,40	+0,22	81,927	+0,035	82	+0,035
83	78	80	82,40	+0,22	82,927	+0,035	83	+0,035
84	79	81	83,40	+0,22	83,927	+0,035	84	+0,035
85	80	82	84,40	+0,22	84,927	+0,035	85	+0,035
86	81	83	85,40	+0,22	85,927	+0,035	86	+0,035
87	82	84	86,40	+0,22	86,927	+0,035	87	+0,035
88	83	85	87,40	+0,22	87,927	+0,035	88	+0,035
89	84	86	88,40	+0,22	88,927	+0,035	89	+0,035
90	85	87	89,40	+0,22	89,927	+0,035	90	+0,035
91	86	88	90,40	+0,22	90,927	+0,035	91	+0,035
92	87	89	91,40	+0,22	91,927	+0,035	92	+0,035
93	88	90	92,40	+0,22	92,927	+0,035	93	+0,035
94	89	91	93,40	+0,22	93,927	+0,035	94	+0,035
95	90	92	94,40	+0,22	94,927	+0,035	95	+0,035

96	91	93	95,40	+0,22	95,927	+0,035	96	+0,035
97	92	94	96,40	+0,22	96,927	+0,035	97	+0,035
98	93	95	97,40	+0,22	97,927	+0,035	98	+0,035
99	94	96	98,40	+0,22	98,927	+0,035	99	+0,035
100	95	97	99,40	+0,22	99,927	+0,035	100	+0,035
101	96	98	100,40	+0,22	100,924	+0,035	101	+0,035
102	97	99	101,40	+0,22	101,924	+0,035	102	+0,035
103	98	100	102,40	+0,22	102,924	+0,035	103	+0,035
104	99	101	103,40	+0,22	103,924	+0,035	104	+0,035
105	100	102	104,40	+0,22	104,924	+0,035	105	+0,035
106	101	103	105,40	+0,22	105,924	+0,035	106	+0,035
107	102	104	106,40	+0,22	106,924	+0,035	107	+0,035
108	103	105	107,40	+0,22	107,924	+0,035	108	+0,035
109	104	106	108,40	+0,22	108,924	+0,035	109	+0,035
110	105	107	109,40	+0,22	109,924	+0,035	110	+0,035
111	106	108	110,40	+0,22	110,924	+0,035	111	+0,035
112	107	109	111,40	+0,22	111,924	+0,035	112	+0,035
113	108	110	112,40	+0,22	112,924	+0,035	113	+0,035
114	109	111	113,40	+0,22	113,924	+0,035	114	+0,035
115	110	112	114,40	+0,22	114,924	+0,035	115	+0,035
116	111	113	115,40	+0,22	115,924	+0,035	116	+0,035
117	112	114	116,40	+0,22	116,924	+0,035	117	+0,035
118	113	115	117,40	+0,22	117,924	+0,035	118	+0,035
119	114	116	118,40	+0,22	118,924	+0,035	119	+0,035
120	115	117	119,40	+0,22	119,924	+0,035	120	+0,035
121	116	118	120,20	+0,25	120,912	+0,040	121	+0,040
122	117	119	121,20	+0,25	121,912	+0,040	122	+0,040
123	118	120	122,20	+0,25	122,912	+0,040	123	+0,040
124	119	121	123,20	+0,25	123,912	+0,040	124	+0,040
125	120	122	124,20	+0,25	124,912	+0,040	125	+0,040
126	121	123	125,20	+0,25	125,912	+0,040	126	+0,040
127	122	124	126,20	+0,25	126,912	+0,040	127	+0,040
128	123	125	127,20	+0,25	127,912	+0,040	128	+0,040
129	124	126	128,20	+0,25	128,912	+0,040	129	+0,040
130	125	127	129,20	+0,25	129,912	+0,040	130	+0,040
131	126	128	130,20	+0,25	130,912	+0,040	131	+0,040
132	127	129	131,20	+0,25	131,912	+0,040	132	+0,040
133	128	130	132,20	+0,25	132,912	+0,040	133	+0,040
134	129	131	133,20	+0,25	133,912	+0,040	134	+0,040
135	130	132	134,20	+0,25	134,912	+0,040	135	+0,040
136	131	133	135,20	+0,25	135,912	+0,040	136	+0,040
137	132	134	136,20	+0,25	136,912	+0,040	137	+0,040
138	133	135	137,20	+0,25	137,912	+0,040	138	+0,040
139	134	136	138,20	+0,25	138,912	+0,040	139	+0,040
140	135	137	139,20	+0,25	139,912	+0,040	140	+0,040
141	136	138	140,20	+0,25	140,910	+0,040	141	+0,040
142	137	139	141,20	+0,25	141,910	+0,040	142	+0,040
143	138	140	142,20	+0,25	142,910	+0,040	143	+0,040
144	139	141	143,20	+0,25	143,910	+0,040	144	+0,040
145	140	142	144,20	+0,25	144,910	+0,040	145	+0,040
146	141	143	145,20	+0,25	145,910	+0,040	146	+0,040
147	142	144	146,20	+0,25	146,910	+0,040	147	+0,040
148	143	145	147,20	+0,25	147,910	+0,040	148	+0,040
149	144	146	148,20	+0,25	148,910	+0,040	149	+0,040
150	145	147	149,20	+0,25	149,910	+0,040	150	+0,040
151	146	148	150,20	+0,25	150,910	+0,040	151	+0,040
152	147	149	151,20	+0,25	151,910	+0,040	152	+0,040
153	148	150	152,20	+0,25	152,910	+0,040	153	+0,040
154	149	151	153,20	+0,25	153,910	+0,040	154	+0,040
155	150	152	154,20	+0,25	154,910	+0,040	155	+0,040

156	151	153	155,20	+0,25	155,910	+0,040	156	+0,040
157	152	154	156,20	+0,25	156,910	+0,040	157	+0,040
158	153	155	157,20	+0,25	157,910	+0,040	158	+0,040
159	154	156	158,20	+0,25	158,910	+0,040	159	+0,040
160	155	157	159,20	+0,25	159,910	+0,040	160	+0,040
161	156	158	160,20	+0,25	160,907	+0,040	161	+0,040
162	157	159	161,20	+0,25	161,907	+0,040	162	+0,040
163	158	160	162,20	+0,25	162,907	+0,040	163	+0,040
164	159	161	163,20	+0,25	163,907	+0,040	164	+0,040
165	160	162	164,20	+0,25	164,907	+0,040	165	+0,040
166	161	163	165,20	+0,25	165,907	+0,040	166	+0,040
167	162	164	166,20	+0,25	166,907	+0,040	167	+0,040
168	163	165	167,20	+0,25	167,907	+0,040	168	+0,040
169	164	166	168,20	+0,25	168,907	+0,040	169	+0,040
170	165	167	169,20	+0,25	169,907	+0,040	170	+0,040
171	166	168	170,20	+0,25	170,907	+0,040	171	+0,040
172	167	169	171,20	+0,25	171,907	+0,040	172	+0,040
173	168	170	172,20	+0,25	172,907	+0,040	173	+0,040
174	169	171	173,20	+0,25	173,907	+0,040	174	+0,040
175	170	172	174,20	+0,25	174,907	+0,040	175	+0,040
176	171	173	175,20	+0,25	175,907	+0,040	176	+0,040
177	172	174	176,20	+0,25	176,907	+0,040	177	+0,040
178	173	175	177,20	+0,25	177,907	+0,040	178	+0,040
179	174	176	178,20	+0,25	178,907	+0,040	179	+0,040
180	175	177	179,20	+0,25	179,907	+0,040	180	+0,040
181	176	178	180,20	+0,29	180,894	+0,046	181	+0,046
182	177	179	180,80	+0,29	181,894	+0,046	182	+0,046
183	178	180	181,80	+0,29	182,894	+0,046	183	+0,046
184	179	181	182,80	+0,29	183,894	+0,046	184	+0,046
185	180	182	183,80	+0,29	184,894	+0,046	185	+0,046
186	181	183	184,80	+0,29	185,894	+0,046	186	+0,046
187	182	184	185,80	+0,29	186,894	+0,046	187	+0,046
188	183	185	186,80	+0,29	187,894	+0,046	188	+0,046
189	184	186	187,80	+0,29	188,894	+0,046	189	+0,046
190	185	187	188,80	+0,29	189,894	+0,046	190	+0,046
191	186	188	189,80	+0,29	190,894	+0,046	191	+0,046
192	187	189	190,80	+0,29	191,894	+0,046	192	+0,046
193	188	190	191,80	+0,29	192,894	+0,046	193	+0,046
194	189	191	192,80	+0,29	193,894	+0,046	194	+0,046
195	190	192	193,80	+0,29	194,894	+0,046	195	+0,046
196	191	193	194,80	+0,29	195,894	+0,046	196	+0,046
197	192	194	195,80	+0,29	196,894	+0,046	197	+0,046
198	193	195	196,80	+0,29	197,894	+0,046	198	+0,046
199	194	196	197,80	+0,29	198,894	+0,046	199	+0,046
200	195	197	198,80	+0,29	199,894	+0,046	200	+0,046
201	196	198	199,80	+0,29	200,891	+0,046	201	+0,046
202	197	199	200,80	+0,29	201,891	+0,046	202	+0,046
203	198	200	201,80	+0,29	202,891	+0,046	203	+0,046
204	199	201	202,80	+0,29	203,891	+0,046	204	+0,046
205	200	202	203,80	+0,29	204,891	+0,046	205	+0,046
206	201	203	204,80	+0,29	205,891	+0,046	206	+0,046
207	202	204	205,80	+0,29	206,891	+0,046	207	+0,046
208	203	205	206,80	+0,29	207,891	+0,046	208	+0,046
209	204	206	207,80	+0,29	208,891	+0,046	209	+0,046
210	205	207	208,80	+0,29	209,891	+0,046	210	+0,046
211	206	208	209,80	+0,29	210,891	+0,046	211	+0,046
212	207	209	210,80	+0,29	211,891	+0,046	212	+0,046
213	208	210	211,80	+0,29	212,891	+0,046	213	+0,046
214	209	211	212,80	+0,29	213,891	+0,046	214	+0,046
215	210	212	213,80	+0,29	214,891	+0,046	215	+0,046

Приложение В

Таблица ВА1 – Формулы для расчетов режимов резания при винтовой интерполяции фирмы SandvikCoromant [10].

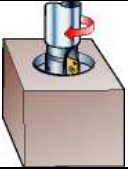
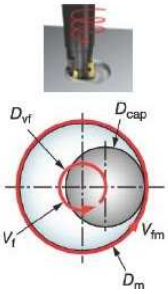
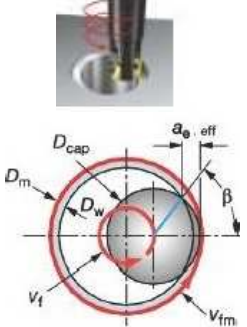
Схема винтовой интерполяции	Параметры режимов резания	Расчетная формула*
	Периферийная подача, мм/мин	$v_{fm} = n \cdot f_z \cdot Z_c$
	Подача центра инструмента, мм/мин	$v_f = \frac{v_{fm} \cdot (D_m - D_{cap})}{D_m}$
	Скорость резания, м/мин	$v_c = \frac{\pi \cdot D_{cap} \cdot n}{1000}$
	Радиальная глубина резания, мм	$a_{eff} = \frac{D_m^2 - D_w^2}{4 \cdot (D_m - D_{cap})}$
	В цельной заготовке	$D_w = 0$ $a_{eff} = \frac{D_m}{2}$ $f_z = h_{ex}$
	При расширении отверстия	$f_z = \frac{h_{ex}}{\sqrt{1 - \cos^2 \beta}} = \frac{h_{ex}}{\sin \beta}$ $\beta = \arccos \left(1 - \frac{2 \cdot a_{eff}}{D_{cap}} \right)$
* f_z - подача на зуб, мм; n - частота вращения шпинделя, об/мин; Z_c - эффективное число зубьев, шт; v_f - минутная подача, мм/мин; D_m - обрабатываемый диаметр (диаметр детали), мм; D_{cap} - диаметр резания при глубине резания a_p, мм; v_c - скорость резания, м/мин; D_w - диаметр заготовки, мм; h_{ex} - максимальная толщина стружки, мм; β - угол захода зуба фрезы, град.; L - длина обработки, мм;		

Таблица ВА2 – Расчеты режимов резания при винтовой интерполяции
фирмы SandvikCoromant

Вид операции	D_m , мм	Квалитет	D_w , мм	L , мм	a_p , мм	D_{cap} , мм	a_e , мм	fz , мм ($hex = fz \cdot \sin \beta$)	z , шт	v_{fm} , мм/мин	v_f , мм/мин	v_c , м/мин	n , об/мин	T_o , мин $T_o = L / v_f$
Заготовка: $d0=38\pm 2$; марка 40X; $D3=70\pm 0,5$														
Черновое фрезерование	48	H14 ^{+0,62}	38	6000	15	32	5	0,2	3	537	179	90	896	33
Получистовое фрезерование	56	H12 ^{+0,3}	48	6000	15	36	4	0,2	3	531	190	100	885	32
Чистовое фрезерование	59,76	H9 ^{+0,074}	56	6000	15	36	2	0,15	3	518	206	130	1150	29
Тонкое фрезерование	60	H8 ^{+0,046}	59,76	6000	15	36	0,1	0,1	3	425	170	160	1415	35
													Итого	130
Заготовка: $d0=74\pm 2$; марка 40X; $D3=110\pm 0,5$														
Черновое фрезерование	86	H14 ^{+0,87}	74	6000	15	36	6	0,2	3	531	309	100	885	19
Получистовое фрезерование	96	H12 ^{+0,35}	86	6000	15	44	5	0,2	3	478	259	110	796	23
Чистовое фрезерование	99,74	H9 ^{+0,35}	96	6000	15	44	2	0,15	3	423	237	130	941	25
Тонкое фрезерование	100	H8 ^{+0,054}	99,74	6000	15	50	0,1	0,15	3	459	229	160	1019	26
													Итого	94
Заготовка: $d0=130\pm 2$; марка 40X; $D3=165\pm 0,5$														
Черновое фрезерование	136	H14 ⁺¹	130	6000	15	66	6	0,2	4	425	219	100	531	27
Получистовое фрезерование	146	H12 ^{+0,4}	136	6000	15	66	5	0,2	4	425	233	110	531	26
Чистовое фрезерование	149,74	H9 ^{+0,1}	146	6000	15	66	2	0,15	4	376	210	130	627	29
Тонкое фрезерование	150	H8 ^{+0,063}	149,76	6000	15	80	0,1	0,15	4	382	178	160	637	34
													Итого	115
Заготовка: $d0=170\pm 2$; марка 40X; $D3=210\pm 0,5$														
Черновое фрезерование	186	H14 ⁺¹	170	6000	15	80	8	0,2	6	621	354	100	518	17
Получистовое фрезерование	196	H12 ^{+0,46}	186	6000	15	80	5	0,2	6	573	339	110	478	18
Чистовое фрезерование	199,74	H9 ^{+0,115}	196	6000	15	80	2	0,15	6	502	301	130	557	20
Тонкое фрезерование	200	H8 ^{+0,072}	199,74	6000	15	80	0,1	0,15	6	573	344	160	637	17
													Итого	72

Электронное учебное издание

Владимир Андреевич **Санинский**
Елена Николаевна **Нестеренко**

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕЦИАЛЬНЫХ
МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ**

(лабораторный практикум по проектированию способа обработки глубоких
отверстий)

Учебное пособие

Электронное издание сетевого распространения

Редактор Матвеева Н.И.

Темплан 2020 г. Поз. № 44.

Подписано к использованию 22.10.2020. Формат 60x84 1/16.

Гарнитура Times. Усл. печ. л. 7,13.

Волгоградский государственный технический университет.
400005, г. Волгоград, пр. Ленина, 28, корп. 1.

ВПИ (филиал) ВолгГТУ.
404121, г. Волжский, ул. Энгельса, 42а.