

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Технология машиностроения»

Г.П. Кривко
А.А. Сакович

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОСНАСТКА

Учебно-методическое пособие
по выбору и расчету технологической оснастки
при дипломном и курсовом проектировании

М и н с к 2 0 0 5

УДК 621.9.06 – 229 (075.8)

ББК 34.63 – 5я73

К 82

Рецензенты:

Л.М. Акулович. И.А. Каштальян

Кривко Г.П.

К 82 Технологическая оснастка: учебно-метод. пособие по выбору и расчету технологической оснастки при дипломном и курсовом проектировании / Г.П. Кривко, А.А. Сакович. – Мн.: БНТУ, 2005. – 60 с.

ISBN 985-479-159-9.

В учебно-методическом пособии приведено обоснование схем установки заготовок в приспособлениях, условное обозначение опор и зажимов при выполнении технологических эскизов на операционных картах механической обработки заготовок, дополнительно представлены основные расчеты при конструировании приспособлений: расчет технологической оснастки на точность с представлением подробных исходных данных для расчета, силовой расчет приспособлений, технико-экономическое обоснование выбранной конструкции приспособления.

Пособие предназначено для студентов специальности 1-36 01 01 «Технология машиностроения», а также может быть использовано студентами машиностроительных специальностей и специализаций.

УДК 621.9.06 – 229 (075.8)

ББК 34.63 – 5я73

ISBN 985-479-159-9

© Кривко Г.П., Сакович А.А., 2005

©БНТУ, 2005

В в е д е н и е

В дипломном и курсовом проекте могут разрабатываться станочные, сборочные или контрольные приспособления, специальный режущий или вспомогательный инструмент с учетом специфики использования его на станках с ЧПУ, средства механизации и автоматизации элементов технологических процессов, а также межоперационного и внутрицехового транспорта, например, механизмы, подающие заготовку в зону обработки, устройства для автоматизации рабочего цикла станка, транспортные устройства автоматических линий, бункерные загрузочные устройства и т.п. Объем и номенклатура определяются заданием на дипломное и курсовое проектирование. Спроектированные конструкции оформляются в виде сборочных чертежей, которые должны удовлетворять требованиям ГОСТ 2.109-73.

На сборочных чертежах следует проставлять:

габаритные размеры, определяющие высоту, длину и ширину изделия;

установочные и присоединительные размеры, определяющие положение сборочной единицы в изделии, например, расстояние между осями отверстий во фланцах для присоединения к другому изделию, расстояние между осями проушин для крепления корпуса и др. При указании этих размеров должны быть нанесены координаты расположения и размеры с предельными отклонениями элементов, служащих для соединения с сопрягаемыми изделиями;

монтажные размеры, указывающие взаимное расположение деталей в сборочной единице, в том числе и монтажные зазоры;

эксплуатационные размеры, показывающие крайние положения движущихся частей изделий, размеры под ключ и др.

Все составные части конструкции должны иметь номера позиций на полках линий-выносок. В сборочных чертежах следует давать технологические требования на сборку, окраску, испытания и контроль сборочной единицы. Рекомендуемый порядок их расположения приведен в ГОСТ 2.316-68.

Для каждой сборочной единицы на отдельных листах составляются спецификации по ГОСТ 2.108-68 (форма 1). Записи в них располагаются по разделам в следующем порядке: документация (сборочный чертеж, схемы и документы – технические условия и др.), комплексы,

сборочные единицы, детали, стандартные и прочие изделия, материалы, комплекты. Спецификации помещаются в пояснительной записке.

Главными вопросами, которые необходимо отразить в пояснительной записке к дипломному и курсовому проектам, являются расчеты приспособлений на точность, на усилие зажима и расчет рентабельности станочных приспособлений.

1. ОБОСНОВАНИЕ СХЕМЫ УСТАНОВКИ ЗАГОТОВКИ В ПРИСПОСОБЛЕНИИ

Проектирование приспособления начинается с определения теоретической схемы базирования заготовки. Согласно ГОСТ 21495-76 «Базирование и базы в машиностроении» базирование – это придание заготовке или изделию требуемого положения относительно принятой системы координат с помощью выбранных на заготовке баз в виде поверхностей, осей, точек или их сочетаний. Совокупность трех баз, образующих систему координат заготовки, составляет комплект баз (рис.1,а).

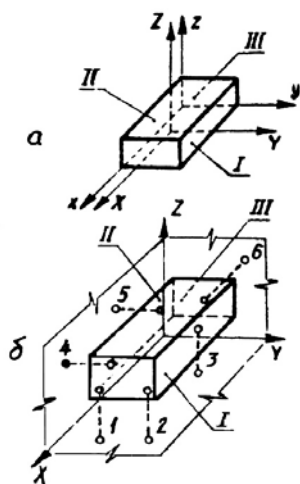


Рис. 1. Комплект баз (а) и опорные точки (б) при базировании призматической заготовки (детали): I, II, III – базы; 1...6 – опорные точки, символизирующие двусторонние связи заготовки с системой координат

Использование комплекта баз необходимо для того, чтобы обеспечить неподвижность заготовки относительно выбранной системы координат. В этом случае на заготовку налагаются шесть двусторонних связей, которые символизируются шестью опорными точками (рис. 1,б).

По назначению базы подразделяются на: а) конструкторскую – для определения положения заготовки или сборочной единицы в изделии; б) технологическую – для определения положения заготовки или изделия в процессе изготовления или ремонта; в) измерительную – для определения относительного положения заготовки или изделия и средств измерения.

По лишаемым степеням свободы различаются (рис. 2): установочная база, лишаящая заготовку или изделие трех степеней свободы, перемещения вдоль одной

координатной оси и поворота вокруг двух других осей; б) направляющая база, лишаящая заготовку или изделие двух степеней свободы – перемещения вдоль одной координатной оси и поворота вокруг другой оси; в) опорная база, лишаящая заготовку или изделие одной степени свободы – перемещения вдоль одной координатной оси или поворота вокруг оси; г) двойная направляющая база (рис. 3,а) лишаящая заготовку или изделие четырех степеней свободы – перемещения вдоль двух координатных осей и поворота вокруг этих осей; д) двойная опорная база (рис. 3,б), лишаящая заготовку или изделие двух степеней свободы – перемещения вдоль двух координатных осей.

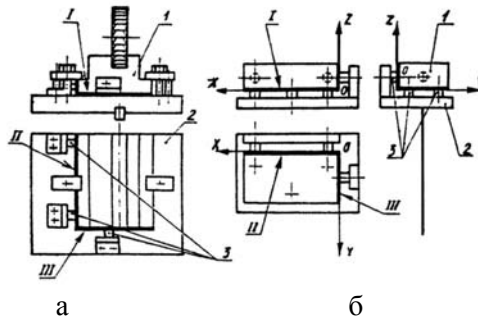


Рис. 2. Базирование заготовок по плоским базовым поверхностям в приспособлениях: I – установочная; II – направляющая; III – опорная базы заготовки; 1 – обрабатываемая заготовка; 2 – корпус приспособления; 3 – установочные элементы – опоры приспособления

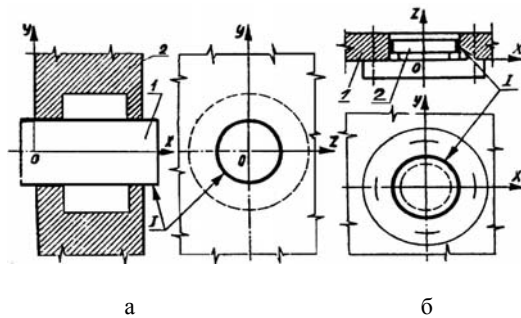


Рис. 3. Базирование заготовок (деталей) с использованием цилиндрических базовых поверхностей:

I – двойная направляющая (а) и двойная опорная (б) базы; 1 – заготовка, 2 – установочный элемент приспособления (сопрягаемая деталь изделия)

По характеру проявления база может быть (рис. 4,б): а) скрытой – в виде воображаемой плоскости, оси, точки; б) явной – в виде реальной поверхности, разметочной риски или точки пересечения рисок.

Под схемой базирования понимается схема расположения опорных точек на базах заготовки, детали, сборочной единицы, изделия. Опорные точки на схеме базирования изображаются условными знаками (рис. 4,а) и нумеруются порядковыми номерами, начиная с базы, на которой наибольшее количество опорных точек (рис. 4,б).

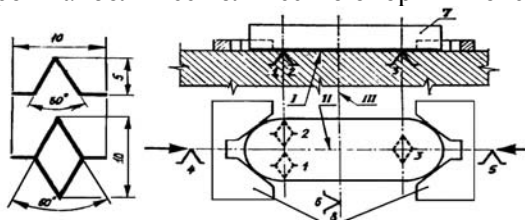


Рис. 4. Условное изображение опорных точек (а) и установка заготовки в приспособление по комплекту баз (б):

- I – установочная явная база; II – направляющая скрытая база (ось) заготовки;
- III – опорная скрытая база (ось) заготовки; 1...6 – опорные точки;
- 7 – заготовка, 8 – губки самоцентрирующихся тисков в виде призм

При наложении геометрических связей с учетом комплекта баз тело лишается возможности перемещения вдоль осей OX , OY и OZ и поворотов относительно этих осей, т.е. становится неподвижным в системе координат $OXVZ$.

Наложение двусторонних геометрических связей в приспособлениях достигается через соприкосновение базовых поверхностей заготовки с установочными элементами, к которым заготовки поджимаются для обеспечения надежного контакта. При базировании форма базовых поверхностей идеализируется, а заготовка или деталь принимается абсолютно жесткой и твердой.

На практике при выполнении различных технологических операций не всегда задаются размеры во всех трех направлениях XVZ . В этих случаях не требуется точной установки заготовки в отдельных направлениях, в которых не заданы размеры.

При этом упрощается схема установки и конструкция приспособления в целом.

Примеры разработки теоретических схем базирования приведены на рис. 5 и 6. На заготовке (рис. 5,а) фрезеруется паз шириной h . Необходимо выдержать размеры a и b . Также необходимо выполнить технические требования: параллельность оси паза относительно поверхности Б и поверхности дна паза – относительно поверхности А. Рис. 5,б иллюстрирует теоретическую схему базирования, а рис. 5,в – схему приспособления, реализующую схему базирования.

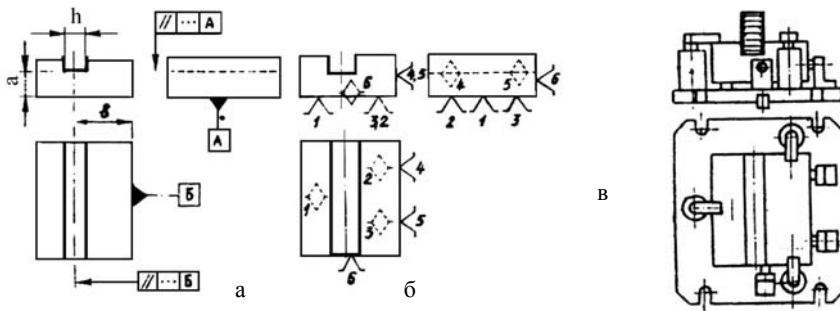


Рис. 5. Заготовка (а), теоретическая схема базирования (б) и ее реализация в приспособлении (в)

Теоретическая схема базирования при установке заготовки по плоскости и двум отверстиям (рис. 6,а) будет иметь вид, показанный на рис. 6,б.

Большая ось срезанного пальца размещается под углом 90° к оси, проведенной через центры пальцев (рис. 6,а).

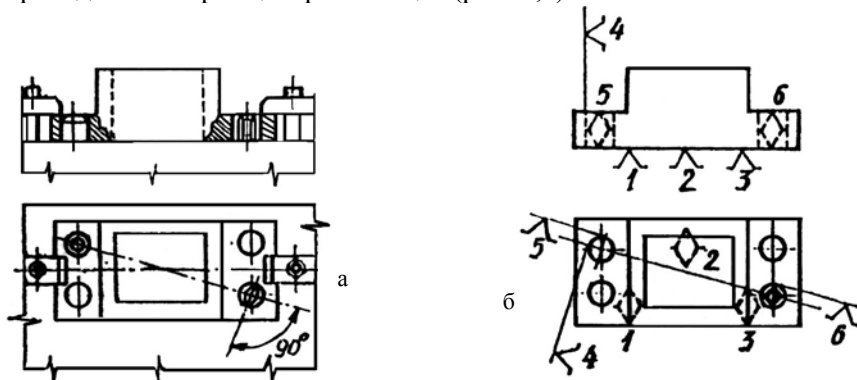


Рис. 6. Пример установки заготовки в приспособлении (а) и теоретической схемы базирования (б)

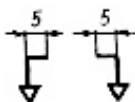
Схемы закрепления наносятся на эскиз обрабатываемой заготовки. На схемах опоры, зажимы, установочные устройства, формы рабочих поверхностей элементов приспособлений обычно указываются в виде условных обозначений по ГОСТ 3.1107.81 (табл.1...3), примеры схем установки заготовок и деталей в приспособлениях приведены в табл. 4.

Т а б л и ц а 1

Условные обозначения опор и зажимов

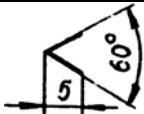
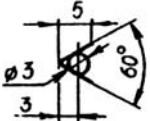

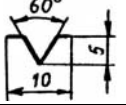

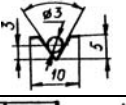

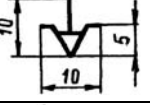

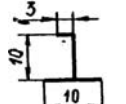

Опора или зажим	Обозначение на видах		
	спереди, сзади	сверху	снизу
Опоры			
Неподвижная			
Подвижная			
Плавающая			
Регулируемая			
Зажимы			
Одиночный			
Двойной			

Примечание: Для двойных зажимов длина плеча l устанавливается разработчиком в зависимости от расстояния между точками приложения сил. Допускается упрощенное изображение двойного зажима:



Т а б л и ц а 2

Условные обозначения установочных устройств

Установочное устройство	Обозначение на видах	
	спереди, сзади, сверху, снизу	слева, справа
1	2	3
Центр неподвижный		Без обозначения
Центр вращающийся		То же
Центр плавающий		То же
Оправка цилиндрическая		
Оправка шариковая (роликовая)		
Оправка цанговая(ц) и гидропластовая (г)		
Патрон поводковый		

Примечания:

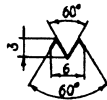
1. Обозначение обратных центров следует выполнять в зеркальном изображении.
2. Для базовых установочных поверхностей допускается применять обозначение вида слева оправки цилиндрической.

Таблица 3

Условные обозначения формы рабочих поверхностей
элементов приспособлений

Форма рабочих поверхностей	Обозначение на всех видах
Плоская	
Сферическая	
Цилиндрическая (шариковая)	
Призматическая	
Коническая	
Ромбическая	
Трехгранная	

Примечания. 1. Рельеф рабочих поверхностей (рельефная, резьбовая, шлицевая и т.д.) опор, зажимов и установочных устройств обозначается следующим образом:



Это обозначение наносится на обозначение соответствующего элемента приспособления. Например, оправка цилиндрическая шлицевая обозначается таким совмещенным знаком:



2. Обозначения устройств зажимов (пневматическое – *P*, гидравлическое – *H*, электрическое – *E*, магнитное – *M*, электромагнитное – *EM*, прочее – без обозначения) наносятся слева от изображения зажимов.

Т а б л и ц а 4

Схемы установки заготовок и деталей в приспособлениях

Способ установки	Схема
В тисках с призматическими губками и пневматическим зажимом	
В кондукторе с центрированием на цилиндрический палец, с упором на три неподвижные опоры и с электрическим устройством двойного зажима, имеющим сферические рабочие поверхности	
В трехлапчатом патроне с механическим устройством зажима, с упором в торец, с поджимом вращающимся центром и с креплением в подвижном люнете	
На конической оправке с гидропластовым устройством зажима, с упором в торец на рифленую поверхность и с поджимом вращающимся центром	

2. РАСЧЕТ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ НА ТОЧНОСТЬ

2.1. Исходные данные для расчета

Приспособление для обработки заготовки является замыкающим

звеном в системе СПИД, где обеспечиваются выходные качественные параметры детали, а если более конкретно, где выполняется допуск (δ) на каждой конкретной операции. И еще будет лучше, если данный допуск будет правильно рассчитан специалистом с учетом условий работы данной детали в машине.

На обеспечение допуска помимо погрешностей установки детали в приспособлении ($\varepsilon_{\text{уст}}$) влияет множество других факторов, например: погрешность выполняемого размера, вызываемая упругими отжатыми элементами технологической системы под влиянием неустойчивости сил резания (Δu); погрешность настройки станка (Δn); погрешность, вызываемая размерным износом режущего инструмента (Δi); погрешность, вызванная тепловыми деформациями технологической системы (Δt), суммарная погрешность формы обрабатываемой поверхности, зависящая от геометрических погрешностей станка ($\Sigma \Delta \phi$).

На практике в технических расчетах приспособлений на точность ограничиваются упрощенными схемами расчета [1, 2, 3, 4, 5, 6].

Необходимую точность установки ($\varepsilon_{\text{уст}}$) детали в приспособлении, а также точность изготовления самого приспособления ($\varepsilon_{\text{пр}}$) можно определить решением размерной цепи технологической системы станок–приспособление–инструмент–заготовка. В данной системе для каждого конкретного случая механической обработки заготовки очень важно определить ту часть допуска, которая будет отведена на установку заготовки в приспособлении. Эту долю допуска можно назвать допустимой погрешностью установки заготовки в приспособлении ($\varepsilon_{\text{доп}}$). Она определяется из многих составляющих допуска на данный конкретный размер детали, изготавливаемой на данной операции. Такой подход к расчету приспособления на точность более нагляден и показывает влияние многих факторов на обеспечение допуска на каждой операции механической обработки. В зависимости от величины допуска при расчетах могут вноситься определенные допущения и ограничения.

Затем на этапе проектирования и изготовления приспособления определяется действительная погрешность установки заготовки в приспособлении ($\varepsilon_{\text{дейст}}$). В основном на действительную погрешность установки влияют три погрешности: погрешность базирования (ε_6), погрешность закрепления (ε_3) и погрешность приспособле-

ния (положения) ($\varepsilon_{\text{пр}}$). Для нормального функционирования приспособления должно выдерживаться условие $\varepsilon_{\text{дейст}} \leq \varepsilon_{\text{доп}}$.

Таким образом, необходимыми данными для проектирования приспособления являются следующие величины: δ_f – технологический допуск на выполняемый размер детали, Δy – погрешность выполняемого размера, вызываемая упругими отжатыми элементов технологической системы под влиянием нестабильности сил резания; Δn – погрешность настройки станка; Δi – погрешность, вызываемая размерным износом режущего инструмента; Δt – погрешность, вызываемая тепловыми деформациями технологической системы; $\Sigma \Delta_{\text{ф}}$ – суммарная погрешность формы обрабатываемой поверхности, зависящая от геометрических погрешностей станка; $\varepsilon_{\text{б}}$ – погрешность базирования, зависящая от несовпадения измерительной и технологической баз, при совмещении баз погрешность базирования равна нулю; $\varepsilon_{\text{з}}$ – погрешность закрепления, которая зависит от величины смещения измерительной базы в направлении получаемого размера под действием силы закрепления заготовки; $\varepsilon_{\text{пр}}$ – погрешность положения (приспособления), которая зависит от неточности изготовления и сборки приспособления, неточности установки приспособления на станке.

Как видно, при расчете приспособления на точность необходимо учитывать много факторов, поэтому исходя из конкретных условий обеспечения допуска получаемого размера детали при расчете вводятся определенные ограничения [1, 2, 4, 5, 8, 9, 17]. Например, приспособление проектируется до запуска изделий в производство, когда нет возможности учитывать несколько факторов (обрабатываемость примененных в изделии материалов, класс точности используемого оборудования и др.).

Поэтому определение допустимой погрешности установки заготовки или детали в приспособлении ($\varepsilon_{\text{доп}}$) осуществляется аналитически по рекомендуемым литературным источникам [2, 5].

Цель расчета на точность заключается в определении точности изготовления и сборки приспособления по выбранному параметру и определении допусков размеров деталей, входящих в приспособление. Приближенно расчет может состоять из следующих этапов:

- 1) выбор параметров приспособления, которые оказывают влияние на точность обработки заготовки;
- 2) определение последовательности расчета и выбор расчетных

факторов;

3) определение необходимой точности изготовления приспособления по выбранным параметрам;

4) определение допусков деталей, входящих в приспособление, являющихся звеньями размерной цепи;

5) составление технических условий общего вида приспособления.

Выбор расчетных параметров производится в зависимости от принятых схем базирования и закрепления заготовки в приспособлении, а также величины элементарных погрешностей обработки, возникающих на данной конкретной операции. Величина элементарных погрешностей зависит от класса точности применяемого оборудования. Вся сложность решаемой задачи заключается в том, что одни и те же приспособления по конструкции, например, трехкулачковые патроны, применяются на станках различного класса точности, поэтому при определении суммарной погрешности Δ или поля рассеивания выполняемого размера на предварительно настроенном станке необходимо в каждом отдельном случае использовать данные, касающиеся каждой конкретной ситуации.

В общем виде суммарная погрешность обработки может быть выражена [8] суммой нескольких первичных погрешностей. Для упрощения расчета можно принять величину Δ равной технологическому допуску δ_T :

$$\delta_T = \Delta = \Delta_y + \Delta_n + \Delta_i + \Delta_t + \Delta_{\epsilon_y} + \sum \Delta\phi. \quad (1)$$

Характеристика данных погрешностей была приведена выше. Задача состоит в том, чтобы как можно точнее определить их и использовать как исходные данные для точностного расчета приспособлений.

2.1.1. Определение погрешности Δ_y , возникающей в результате упругих отжатий технологической системы

Погрешность Δ_y представляет собой разность предельных значений упругих отжатий элементов технологической системы, которая вызывается нестабильностью процесса резания, влияющей на величину силы резания. Такими факторами являются непостоянство припуска на обработку, погрешности формы заготовки, неоднород-

ность, твердость обрабатываемого материала и т. д.

Данная погрешность может быть рассчитана по формуле

$$\Delta_y = t_{\text{ост max}} - t_{\text{ост min}} = C_{\text{max}} t_{\text{max}}^{X_p} - C_{\text{min}} t_{\text{min}}^{X_p} \left(\frac{1}{j_{\text{заг}}} + \frac{1}{j_{\text{инс}}} \right),$$

где $t_{\text{ост max}}$, $t_{\text{ост min}}$ – наибольшая и наименьшая величина суммарного упругого отжата частей технологической системы, определенная как разность между заданной и фактической (вследствие упругого отжата) глубиной резания:

$$C_{\text{max}} = C_{y \text{ max}} S^{y_p} HB_{\text{max}}^n; \quad C_{\text{min}} = C_{y \text{ min}} S^{y_p} HB_{\text{min}}^n,$$

где $C_{y \text{ max}}$, $C_{y \text{ min}}$ – коэффициенты, зависящие от механических свойств обрабатываемого материала и геометрии режущего инструмента. При постоянной геометрии инструмента также имеет место изменение данного коэффициента в зависимости от затупления инструмента: меньшее значение при заточенном инструменте, большее – при затупленном инструменте; S – подача; HB_{max} и HB_{min} – предельные значения твердости обрабатываемой партии заготовок; t_{max} , t_{min} – предельные значения глубины резания вследствие колебания припуска на обработку; x_p , y_p , n – показатели степени; $j_{\text{заг}}$ – жесткость системы заготовка – приспособление – часть станка, на котором закреплено приспособление; $j_{\text{инс}}$ – жесткость системы инструмент – вспомогательное приспособление – часть станка, на котором закреплено вспомогательное приспособление.

Приведенная методика учитывает расчет Δ_y в общем виде только при наличии нормативных данных на нее для конкретных методов и условий механической обработки. По ней можно с достаточной достоверностью выполнить проектный точностной расчет. Данные условия также касаются определения других погрешностей, приведенных в формуле (1). Поэтому в дипломном проекте можно принять методику расчета [8], которая предусматривает применение вместо Δ_y значения мгновенной погрешности обработки $\Delta_{\text{сл}}$ и нормативных данных, приведенных в табл. 5, 6, 7, 8, 9. $\Delta_{\text{сл}}$ – по-

грешности от неравномерности припуска, неоднородности заготовки, жесткости СПИД, погрешности формы заготовки.

Т а б л и ц а 5

Значение мгновенной погрешности $\Delta_{сл}$ на токарных и токарно-револьверных станках, мкм

Размеры, мм	Сила P_y , Н	Обработка на токарных станках			Обработка на токарно-револьверных станках и автоматах		
		Жесткость системы, Н/мм					
		4000-6000	6000-10000	10000-15000	6000-10000	10000-15000	15000-25000
10-18	50-100	37	23	16	42	26	13
	100-150	38	24	17	44	27	14
18-30	50-100	40	26	17	48	29	14
	100-150	41	27	18	50	30	15
30-50	50-100	43	29	18	54	32	15
	100-150	44	30	19	56	33	16
50-80	50-100	46	32	19	60	35	16
	100-	47	33	20	62	36	17
89-100	50-100	49	35	20	66	38	17

Т а б л и ц а 6

Значение мгновенной погрешности обработки $\Delta_{сл}$ на кругло- и плоскошлифовальных станках, мкм

Размеры, мм	Сила P_y , Н	Обработка на круглошлифовальных станках			Обработка на плоскошлифовальных станках		
		Жесткость системы, Н/мм					
		7000-12000	12000-20000	20000-30000	15000-25000	25000-35000	35000-55000
1	2	3	4	5	6	7	8
10-18	-	12	9	6	-	-	-

18-30	-	14	11	8	-	-	-
-------	---	----	----	---	---	---	---

Окончание табл. 6

1	2	3	4	5	6	7	8
30-50	-	16	13	10	-	-	-
50-80	-	18	15	12	-	-	-
80-120	-	20	17	14	-	-	-
1-3	50-100	-	-	-	24	15	12
-	100-150	-	-	-	23	14	11
3-30	50-100	-	-	-	19	12	10
-	100-150	-	-	-	20	13	11

Т а б л и ц а 7

Значение мгновенной погрешности обработки $\Delta_{сл}$ на
фрезерных и бесцентрово-шлифовальных станках, мкм

Размеры, мм	Обработка на фрезерных станках				Обработка на бесцентрово-шлифовальных станках			
	Сила P_y , Н	Жесткость системы, Н/мм			Сила P_y , Н	Жесткость системы, кгс/мм		
		4000-7000	7000-10000	10000-15000		2000-3000	3000-4000	4000-5000
6-10	50-150	64	46	24	20-60	27	18	9
	Свыше 150	66	48	26	60-120	28	19	9,5
10-18	50-150	70	52	30	20-60	30	21	10,5
	Свыше 150	72	54	32	60-120	31	22	11
18-30	50-150	76	58	36	20-60	33	24	12
	Свыше 150	78	60	38	60-120	34	25	12,5
30-50	50-150	82	64	42	20-60	36	27	13,5
	Свыше 150	84	66	44	60-120	37	28	14
50-80	50-150	88	70	48	20-60	39	30	15
	Свыше 150	90	72	50	60-120	40	31	15,5
80-120	50-150	94	76	54	20-60	42	33	16,5
	Свыше 150	96	56	60-120	43	34	17	

Т а б л и ц а 8

Значения мгновенной погрешности обработки $\Delta_{сл}$ на агрегатно-расточных станках, мкм. Жесткость технологической системы 3000-4000 Н/мм, P_y до 10 Н

Размеры расточки d , мм	Свыше 10 до 18	Свыше 18 до 30	Свыше 30 до 50	Свыше 50 до 80
$\Delta_{сл}$, мкм	15	16	17	18

Т а б л и ц а 9

Значения мгновенной погрешности обработки $\Delta_{сл}$ сверлением, зенкерованием, развертыванием и протягиванием, мкм

Виды обработки	Диаметр отверстий, мм				
	1-3	3-6	6-10	10-18	18-30
Сверление без кондуктора	100	120	160	210	270
Сверление по кондуктору	90	105	115	130	145
Зенкерование	-	-	90	110	130
Однократное развертывание	-	25	30	35	35
Двукратное развертывание	-	13	14	15	16
Протягивание однократное	-	25	30	35	40
Протягивание двукратное	-	13	14	15	16

2.1.2. Определение погрешности настройки станка (Δ_n)

В машиностроении применяются два вида настройки станков – динамический по пробным деталям и статический по эталону. Методика расчета погрешности настройки зависит от принятого метода.

Погрешность динамической настройки определяется по формуле

$$\Delta_{н.д.} = \sqrt{\Delta_{см}^2 + \Delta_{рег}^2 + \Delta_{изм}^2},$$

где $\Delta_{см}$ – смещение центра группирования размеров пробных деталей относительно середины поля рассеивания размеров, мкм;

$\Delta_{рег}$ – погрешность регулирования положения режущего инструмента на станке, мкм;

$\Delta_{изм}$ – погрешность измерения пробных деталей, мкм.

Методика более подробного определения погрешности динамической и статической настройки станка и их табличное значение приводятся в работе [8].

Для расчетов в дипломном проекте можно использовать среднее допустимое значение погрешности настройки, мкм, для лезвийных инструментов, приведенное в табл. 10.

Т а б л и ц а 10

Интервалы выдерживаемых размеров, мм	Характер обработки			
	Черновая	Чистовая	Тонкая	Однократная
До 30	40-100	10	5	20
30-80	60-150	20	6	25
80-180	80-200	30	7	30
180-360	100-250	40	8	40
360-50	120-300	50	10	50

2.1.3. Определение погрешности обработки, вызываемой износом режущего инструмента

За характеристику размерного износа часто принимается относительный износ u_0 . Погрешность, обусловленную износом режущего инструмента, рассчитывают по формулам:

при односторонней обработке $\Delta u = \frac{u_0 l}{1000}$; при двусторонней

обработке: $\Delta u = \frac{2 u_0 l}{1000}$,

где u_0 – относительный износ инструмента, мкм/км; l – путь резания в м.

Т а б л и ц а 11

Значение u_0 при чистом точении, мкм/км

Материал режущего инструмента	Обрабатываемый материал			
	Углеродистая сталь	Легированная сталь	Серый чугун	Чугун 375-400 НВ
Т60К6	2-4	2-4-	-	-
ТЗОК4	3-4	4-6	-	-
Т15К6	5-7	9-10	-	-
Т5К10	8	12-13	-	-
ВК-9	-	65	-	-
ВК-8	-	17-25	13-14	-
ВК-6	-	-	14	-
ВК-4	-	25-30	-	-
ВК-3	-	9-10	6	16
ЦМ-332	0,5-1	1-6	-	9

Примечание. Данные получены при следующих условиях: сталь углеродистая $\sigma_b = 50-60$ кгс/мм² при $v = 100-400$ м/мин; сталь легированная $\sigma_b = 92-110$ кгс/мм² при $v = 100-200$ м/мин; серый чугун 187-207 НВ при $v = 50-150$ м/мин. Данные по закаленному чугуну 375-400 НВ относятся к тонкому растачиванию.

Т а б л и ц а 12

Значение u_0 шлифовального круга, мкм/км

Материал		u_0
Детали	Связка керамическая	
Сталь 45	14А, 24А	0,03
Чугун закаленный	-//-	0,04
Сплавы цветных металлов	-//-	0,01

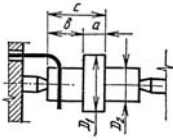
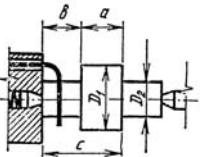
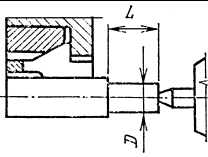
Относительный износ разверток составляет 0,005-0,008 мм/км.

2.1.4. Определение погрешности Δ_T , вызываемой тепловыми деформациями технологической системы

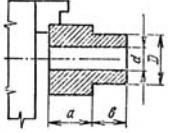
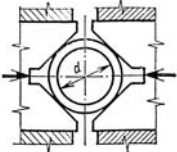
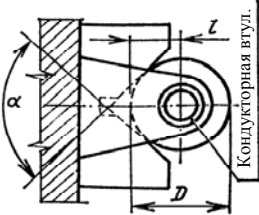
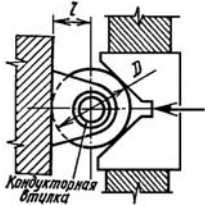
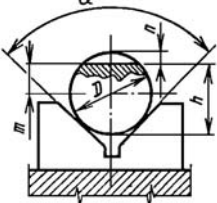
Погрешность Δ_T имеет сложную зависимость от времени работы станка и величины пути резания. В начале работы станка нарастают тепловые деформации, затем наступает тепловое равновесие системы и величина погрешности стабилизируется. Ввиду сложности протекания тепловых процессов расчет погрешностей от тепловых факторов представляет определенную трудность. Поэтому при дипломном проектировании необходимо допустить, что получение точностных параметров обрабатываемой детали происходит при установившемся тепловом равновесии станка.

Т а б л и ц а 13

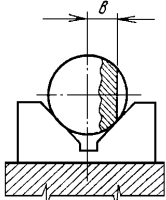
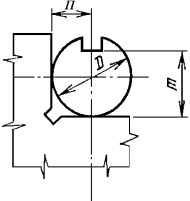
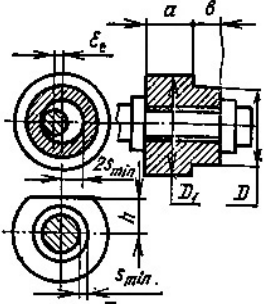
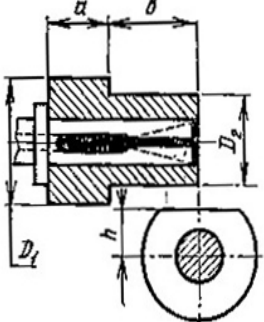
Погрешность базирования при обработке в приспособлениях

Базирование	Схема установки	Погрешность базирования для размеров
По центровым отверстиям на жесткий передний центр		$\varepsilon_{\delta D_1} = \varepsilon_{\delta D_2} = \varepsilon_{\delta a} = 0; \varepsilon_{\delta b} = \varepsilon_{\delta c} = \Delta u_y$
На плавающий передний центр		$\varepsilon_{\delta D_1} = \varepsilon_{\delta D_2} = \varepsilon_{\delta a} = \varepsilon_{\delta b} = \varepsilon_{\delta c} = 0$
По внешней поверхности в зажимной цапге по упору		$\varepsilon_{\delta D} = \varepsilon_{\delta L} = 0$

Продолжение табл. 13

Базирование	Схема установки	Погрешность базирования для размеров
В самоцентрирующем патроне с упором торцом		$\varepsilon_{\delta D} = \varepsilon_{\delta d} = \varepsilon_{\delta a} = \varepsilon_{\delta b} = 0$ (при параллельном подрезании торцов)
В самоцентрирующих призмах		$\varepsilon_{\delta d} = \varepsilon_e = 0$
В призме при обработке отверстий по кондуктору		$\varepsilon_{\delta l} = \frac{\delta_D}{2} \left(\frac{1}{\sin(\alpha/2)} - 1 \right); \varepsilon_e = \frac{\delta_D}{2} \frac{1}{\sin(\alpha/2)}$
На плоской поверхности при обработке отверстия по кондуктору		$\varepsilon_{\delta l} = \delta_D / 2$
В призме при обработке плоскости или паза		$\varepsilon_{\delta m} = \frac{\delta_D}{2} \frac{1}{\sin(\alpha/2)};$ $\varepsilon_{\delta h} = \frac{\delta_D}{2} \left(\frac{1}{\sin(\alpha/2)} - 1 \right);$ $\varepsilon_{\delta n} = \frac{\delta_D}{2} \left(\frac{1}{\sin(\alpha/2)} + 1 \right);$

Продолжение табл. 13

Базирование	Схема установки	Погрешность базирования для размеров
В призме при обработке плоскости или паза		$\varepsilon_{\delta b} = 0;$ $\varepsilon_{\delta m} = \varepsilon_{\delta n} = \frac{\delta_D}{2}$
То же		$\varepsilon_e = \frac{\delta_D}{2}; \varepsilon_m = 0;$
По отверстию на жесткой оправке со свободной посадкой		<p>При установке оправки на плавающий передний центр, в гильзу или патрон по упору</p> $\varepsilon_{\ell D} = \varepsilon_{\ell D_1} = s_{\min} + \frac{\delta_B}{2} + \frac{\delta_A}{2};$ $\varepsilon_{\delta h} = 2s_{\min} + \delta_B + \delta_A$
На разжимной оправке, на жесткой оправке с натягом		<p>При установке оправки на жесткий передний центр</p> $\varepsilon_{\delta a} = 0; \varepsilon_{\delta b} = \delta_a;$ $\varepsilon_{\delta h} = \varepsilon_{\ell D_1} = \varepsilon_{\ell D_2} = 0$

Окончание табл. 13

Базирование	Схема установки	Погрешность базирования для размеров
По двум отверстиям на пальцах при обработке верхней поверхности		$\varepsilon_{\delta h_1} = 2s_{\min} + \delta_A + \delta_B;$ $\varepsilon_{\delta h_2} = (2s_{\min} + \delta_A + \delta_B) \left(\frac{l + l_1}{l} \right)$
По плоскости при обработке уступа		$\varepsilon_{\delta c} = \varepsilon_{\delta n} = \varepsilon_{\delta m} = 0;$ $\varepsilon_{\delta k} = \delta_c;$ $\varepsilon_{\delta b} = \delta_n$

2.1.5. Определение погрешности установки заготовки в приспособлении

Погрешность установки на выполняемой операции или переходе определяется по формуле

$$\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_{\delta}^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{\text{пр}}^2}$$

Погрешность базирования возникает в тех случаях, когда при базировании заготовки не совпадают технологическая и измерительная базы. При совмещении баз $\varepsilon_{\delta} = 0$. Величина ε_{δ} определяется по принятой схеме базирования, точности размеров технологической базы, точности размеров и взаимного расположения базовых поверхностей заготовки. Для многих схем установки деталей погрешность ε_{δ} может быть определена по табл. 13.

Погрешность закрепления ε_3 вызывается тем, что под действием

сил зажима заготовка может изменить своё первоначальное положение в приспособлении, вызванное вследствие смещением измерительной базы. Погрешность закрепления можно определить по формуле

$$\varepsilon_3 = (y_{\max} - y_{\min}) \cos \alpha ,$$

где y_{\max}, y_{\min} – максимальная и минимальная величины смещения измерительной базы, мкм; α – угол между направлением смещения измерительной базы и выдерживаемого размера.

Наибольшее влияние на величину погрешности закрепления оказывают контактные деформации в местах стыка с установочными деталями приспособлений. Величина вмятин в этом случае может быть определена эмпирически:

$$y = CQ^n ,$$

где C – коэффициент, определяющий условия контакта, материал, структуру, твердость и шероховатость базовых поверхностей заготовки; Q – сила, действующая на опору; n – показатель степени, принимается в пределах 0,3-0,5. Значения C и n определяются опытным путем. Погрешность закрепления заготовок при различных схемах установки определяется по табл. 14, 15, 16, 17 [8].

Т а б л и ц а 14

Погрешность закрепления заготовок при установке в радиальном направлении для обработки на станках

Характеристика базовой поверхности	Погрешность закрепления, мкм									
	Поперечные размеры заготовки, мм									
	6-10	10-18	18-30	30-50	50-80	80-120	120-180	180-260	260-360	360-500
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Установка в зажимной гильзе (цанге)										
Холоднотянутая калиброванная	40	40	60	70	80	-	-	-	-	-
Предварительно обработанная	40	50	60	70	80	-	-	-	-	-
Чисто обработанная	20	25	30	35	40	-	-	-	-	-

Окончание табл. 14

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Установка в трехкулачковом самоцентрирующемся патроне										
Литье в песчаную форму машинной формовки по металлической модели	220	270	320	370	420	500	600	700	800	900
Литье в постоянную форму	150	175	200	250	300	350	400	450	550	650
Литье по выплавляемой модели	50	60	70	80	100	120	140	160	-	-
Литье под давлением	25	30	35	40	50	60	70	80	-	-
Горячая штамповка	220	270	320	370	420	500	600	700	800	-
Горячекатаная	220	270	320	370	420	500	500	-	-	-
Предварительно обработанная	50	60	70	80	100	120	140	160	180	200
Чисто обработанная	25	30	35	40	50	60	70	80	90	100
Установка в пневматическом патроне										
Литье в песчаную форму машинной формовки по металлической модели	180	220	260	320	380	440	500	580	600	760
Литье в постоянную форму	120	140	170	200	240	280	320	380	400	500
Литье по выплавляемой модели	40	50	60	70	80	90	100	120	-	-
Литье под давлением	20	25	30	35	40	45	50	60	-	-
Горячая штамповка	180	220	260	320	380	440	500	580	660	-
Горячекатаная	180	220	260	320	380	440	500	-	-	-
Предварительно обработанная	40	50	60	70	80	90	100	120	140	160
Чисто обработанная	20	25	30	35	40	45	50	60	70	80

Т а б л и ц а 15

Погрешность закрепления заготовок при установке
в осевом направлении для обработки на станках

Характеристика базовой поверхности	Погрешность закрепления, мкм									
	Поперечные размеры заготовки, мм									
	6-10	10-18	18-30	30-50	50-80	80-120	120-180	180-260	260-360	360-500
Установка в зажимной гильзе (цанге) по упору										
Холоднотянутая калиброванная	40	40	60	70	80	-	-	-	-	-
Предварительно обработанная	40	50	60	70	80	-	-	-	-	-
Чисто обработанная	20	25	30	35	40	-	-	-	-	-
Установка в трехкулачковом самоцентрирующемся патроне										
Литье в песчаную форму машинной формовки по металлической модели	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160
Литье в постоянную форму	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
Литье по выплавляемой модели	50	60	70	80	90	100	110	120	-	-
Литье под давлением	30	40	50	60	70	80	90	100	-	-
Горячая штамповка	70	80	90	100	110	120	130	140	150	-
Горячекатаная	70	80	90	100	110	120	130	-	-	-
Предварительно обработанная	50	60	70	80	90	110	110	120	130	140
Чисто обработанная	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Установка в пневматическом патроне										
Литье в песчаную форму машинной формовки по металлической модели	55	60	70	80	90	100	110	120	130	140
Литье в постоянную форму	55	- 60	65	75	80	90	100	110	120	130
Литье по выплавляемой модели	45	50	55	65	75	80	85	90	-	-
Литье под давлением	25	35	45	50	55	65	70	80	-	-
Горячая штамповка	55	60	70	80	90	100	110	120	130	-
Горячекатаная	55	60	70	80	90	100	110	-	-	-
Предварительно обработанная	40	50	60	70	80	80	90	100	110	120
Чисто обработанная	25	30	35	40	50	60	70	80	90	100

Т а б л и ц а 16

**Погрешность закрепления заготовок при установке на опорные
штифты приспособлений**

Характеристика базовой поверхности	Погрешность закрепления, мкм									
	Поперечные размеры заготовки, мм									
	6-10	10-18	18-30	30-50	50-80	80-120	120-180	180-260	260-360	360-500
Установка в зажимное приспособление с винтовыми или эксцентриковыми зажимами										
Литье в песчаную форму машинной формовки по металлической модели	-	100	125	150	175	200	225	250	300	350
Литье в постоянную форму	-	100	110	120	130	140	150	160	180	200
Литье по выплавляемой модели	80	90	100	110	120	130	140	150	-	-
Литье под давлением	70	80	90	100	110	120	130	140	-	-
Горячая штамповка	-	100	125	150	175	200	225	250	300	-
Горячекатаная	90	100	125	150	175	200	225	-	-	-
Предварительно обработанная	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160
Шлифованная	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
Установка в зажимное приспособление с пневматическим зажимом										
Литье в песчаную форму машинной формовки по металлической модели	-	90	100	120	140	160	180	200	240	280
Литье в постоянную форму	-	80	90	100	110	120	130	140	160	180
Литье по выплавляемой модели	65	70	75	80	90	100	110	120	-	-
Литье под давлением	40	45	50	60	70	80	90	100	-	-
Горячая штамповка	-	90	100	120	140	160	180	200	240	-
Горячекатаная	70	80	100	120	140	150	180	-	-	-
Предварительно обработанная	65	70	75	80	90	100	110	120	130	140
Чисто обработанная	50	60	70	80	90	90	100	110	120	130
Шлифованная	40	50	60	70	80	90	90	100	110	120

Т а б л и ц а 17

Погрешность закрепления заготовок при установке на опорные пластинки приспособлений

Характеристика базовой поверхности	Погрешность закрепления, мкм									
	Поперечные размеры заготовки, мм									
	6-10	10-18	18-30	30-50	50-80	80-120	120-180	180-260	260-360	360-500
Установка в зажимное приспособление с винтовыми или эксцентриковыми зажимами										
Литье в песчаную форму машинной формовки по металлической модели	-	100	110	120	135	150	175	200	240	280
Литье в постоянную форму	55	60	70	80	90	100	110	120	130	140
Литье по выплавляемой модели	40	50	60	70	80	90	100	110	-	-
Литье под давлением	30	40	50	60	70	80	90	100	-	-
Горячая штамповка	-	100	110	120	135	150	175	200	240	-
Горячекатаная	90	100	110	120	135	150	175	-	-	-
Предварительно обработанная	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
Чисто обработанная	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Шлифованная	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Установка в зажимное приспособление с пневматическим зажимом										
Литье в песчаную форму машинной формовки по металлической модели	-	80	90	100	110	120	140	160	190	220
Литье в постоянную форму	50	55	60	65	70	80	90	100	110	120
Литье по выплавляемой модели	35	40	50	55	60	70	80	90	-	-
Литье под давлением	25	30	35	40	50	60	70	80	-	-
Горячая штамповка	-	80	90	100	110	120	140	160	190	-
Горячекатаная	70	80	90	100	110	120	140	-	-	-
Предварительно обработанная	35	40	50	55	60	70	80	90	100	110
Чисто обработанная	25	30	35	40	50	60	70	80	90	100
Шлифованная	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90

Погрешность приспособления (положения) $\varepsilon_{пр}$ является следст-

вием неточности изготовления станочного приспособления, износа установочных элементов, погрешности установки самого приспособления на станке. Многие другие слагаемые $\varepsilon_{\text{пр}}$ иногда определить затруднительно, например, погрешность индексации зажимных устройств на многопозиционных станках принимают равной 0,05 мм.

2.2. Методика расчета приспособлений на точность

В предыдущем параграфе мы постарались привести методику определения элементарных погрешностей как аналитическим, так и табличным методом. Конечно, для каждого вида механической обработки и установки заготовок в приспособлениях можно провести определенные исследования и дополнить приведенные данные.

После выбора необходимых параметров необходимо приступить к непосредственному расчету приспособления на точность, т.е. определить необходимую точность изготовления приспособления, которая обеспечила бы допуск выполняемого размера на данной операции. Здесь использованы отработанные приемы [2, 5, 6, 9] для инженерного расчета приспособления на точность.

Для выражения допуска, обеспечиваемого при обработке поверхности, следует пользоваться формулой [5, 6, 17]

$$\delta = \sqrt{\Delta_y^2 + \Delta_n^2 + 3\Delta_n^2 + 3\Delta_t^2 + \varepsilon_{\text{удоп}}^2} + \sum \Delta_{\phi}.$$

Из этой формулы необходимо определить $\varepsilon_{\text{удоп}}$, т. е. допустимую погрешность установки заготовки в приспособлении:

$$\varepsilon_{\text{удоп}} = \sqrt{(\delta - \sum \Delta_{\phi})^2 - \Delta_y^2 - \Delta_n^2 - 3\Delta_n^2 - 3\Delta_t^2}.$$

После проектирования приспособления определяется действительная погрешность установки заготовки в приспособлении как суммарное поле рассеивания случайных величин:

$$\varepsilon_{\text{удейст}} = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{\text{пр}}^2}.$$

Для первоначального расчета достаточно, чтобы

$$\varepsilon_{\text{удоп}} \geq \varepsilon_{\text{удейст}}.$$

При обоснованных исходных данных по элементарным погрешностям можно сделать вывод, что на данном приспособлении будет обеспечен допуск выполняемого размера.

Но у нас есть $\varepsilon_{\text{пр}}$, значения которой по вышеуказанной формуле мы взяли интуитивно, исходя из накопленного опыта точности изготовления приспособлений в инструментальных цехах заводов и обеспечения условий

$$\varepsilon_{\text{удоп}} \geq \varepsilon_{\text{удейст}}.$$

Постараемся разобраться в составляющих $\varepsilon_{\text{пр}}$ исходя из определения погрешности приспособления (положения):

$$\varepsilon_{\text{пр}} = \Delta_{\text{пр}} + \Delta_{\text{ус}} + \Delta_{\text{из}},$$

где $\Delta_{\text{пр}}$ – погрешность изготовления приспособления по выбранному параметру, зависящая от погрешностей изготовления и сборки установочных и других элементов приспособления; $\Delta_{\text{ус}}$ – погрешность установки приспособления на станке;

$\Delta_{\text{из}}$ – погрешность положения заготовки, возникающая в результате изнашивания элементов приспособления.

Составляющие $\varepsilon_{\text{пр}}$ представляют собой поля рассеяния случайных величин. Значение $\varepsilon_{\text{пр}}$ изменяется в зависимости от условий и типа производства, а также от особенностей конструкции приспособления [6, 9] при использовании приспособления в мелкосерийном и серийном производствах:

$$\varepsilon_{\text{пр}} = \Delta_{\text{пр}} + \sqrt{\Delta_{\text{ус}}^2 + 3\Delta_{\text{из}}^2}.$$

Здесь $\Delta_{\text{пр}}$ рассматривается как постоянная величина, которая может компенсироваться настройкой станка.

В массовом и крупносерийном производствах при одноместном приспособлении $\varepsilon_{\text{пр}} = \Delta_{\text{из}}$, при этом $\Delta_{\text{пр}}$ и $\Delta_{\text{ус}}$ компенсируются настройкой технологической системы.

В случае применения многоместных приспособлений

$$\varepsilon_{\text{пр}} = \sqrt{\Delta_{\text{пр}}^2 + 3\Delta_{\text{из}}^2}.$$

При использовании приспособления-спутника на автоматической линии

$$\varepsilon_{\text{пр}} = \sqrt{\Delta_{\text{пр}}^2 + 3\Delta_{\text{из}}^2 + 3\Delta_{\text{ус}}^2}$$

Таким образом, при использовании нескольких приспособлений (самый неблагоприятный случай) общая погрешность обработки, приравненная к допуску на выполняемый размер, определяется зависимостью

$$\Delta = \delta = \sqrt{\Delta_y^2 + \Delta_n^2 + 3\Delta_i^2 + 3\Delta_t^2 + \varepsilon_\delta^2 + \varepsilon_3^2 + \Delta_{\text{пр}}^2 + \Delta_{\text{ус}}^2 + 3\Delta_{\text{из}}^2 + \Delta_{\text{п}}^2} + \sum \Delta_\phi.$$

Отсюда погрешность изготовления приспособления

$$\Delta_{\text{пр}} = \sqrt{(\delta - \sum \Delta_\phi)^2 - \Delta_y^2 - \Delta_n^2 - 3\Delta_i^2 - 3\Delta_t^2 - \varepsilon_\delta^2 - \varepsilon_3^2 - \Delta_{\text{ус}}^2 - 3\Delta_{\text{из}}^2 - \Delta_{\text{п}}^2},$$

где $\Delta_{\text{пр}}$ – погрешность изготовления и сборки приспособления;

δ – допуск выполняемого размера на данной операции;

$\sum \Delta_\phi$ – погрешность формы от геометрических погрешностей станка;

Δ_y – погрешность от непостоянства сил резания;

Δ_n – погрешность настройки станка;

Δ_i – погрешность, вызванная износом режущего инструмента;

Δ_t – погрешность, вызванная температурными деформациями СПИД;

ε_δ – погрешность базирования;

ε_3 – погрешность закрепления;

Δ_{yc} – погрешность установки приспособления на станке;

$\Delta_{из}$ – погрешность, вызванная износом установочных элементов приспособления;

$\Delta_{п}$ – погрешность от перекоса инструмента.

Нахождение значений ряда величин, входящих в приведенную формулу затруднительно, поэтому погрешности изготовления приспособления можно рассчитать по упрощенным формулам [1, 5, 9]

$$\Delta_{пр} \leq \delta - K_T \sqrt{(K_{T1}\varepsilon_\delta)^2 + \varepsilon_3^2 + \Delta_{yc}^2 + \Delta_{из}^2 + \Delta_{п}^2 + (K_{T2}\omega)^2},$$

где δ – допуск выполняемого при обработке размера детали;

K_T – коэффициент, учитывающий отклонение рассеяния значений составляющих величин от закона нормального распределения;

$K_T = 1 \dots 1,2$ (в зависимости от количества значимых слагаемых: чем их больше, тем ближе к единице следует принимать значение коэффициента);

K_{T1} – коэффициент, учитывающий уменьшение предельного значения погрешности базирования при работе на настроенных станках: $K_{T1} = 0,8-0,85$

K_{T2} – коэффициент, учитывающий долю погрешности обработки в суммарной погрешности, вызываемой факторами, не зависящими от приспособления ($\Delta_y, \Delta_n, \Delta_{и}, \Delta_t, \Delta_{ф}$), $K_{T2} = 0,6 \dots 0,8$ (большее значение коэффициента принимается при меньшем количестве значимых величин, зависящих от приспособления);

ω – экономическая точность обработки, принимается по таблицам, например, приведенным [5, приложение (табл. П5...П20)].

Произведением $K_{T2}\omega$ характеризуется суммарная погрешность

обработки, вызванная факторами, не связанными с приспособлением ($\Delta_y, \Delta_n, \Delta_{и}, \Delta_t, \Delta_{ф}$). Погрешности, зависящие от приспособления ($\varepsilon_{\delta}, \varepsilon_3, \Delta_{yc}, \Delta_{из}, \Delta_{п}$), рассчитываются в каждом конкретном случае по принятым схемам базирования, закрепления и обработки.

Рассчитанное значение параметра приспособления указывается в качестве допуска на размер приспособления на чертеже общего вида приспособления или записывается в ТУ на изготовление и эксплуатацию проектируемого приспособления. Пример расчета приспособления на точность – [5, § 3, 5, с. 111].

3. СИЛОВОЙ РАСЧЕТ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

3.1. Исходные данные для расчета

При выполнении курсовых и дипломных проектов, а затем в реальном производстве необходимо произвести анализ приспособлений, применяемых для закрепления заготовок на операциях технологического процесса механической обработки.

Проектирование станочных приспособлений состоит из двух этапов: 1. Разработка технологического процесса обработки детали. На этом этапе технолог выполняет технологические эскизы механической обработки детали и намечает базовые поверхности и места зажима в приспособлении. Положение детали на эскизе должно быть таким, как и в станочном приспособлении. Деталь изображается в том виде, какой она имеет после обработки на данной операции. 2. После получения заказа от технолога конструктор должен подобрать исходные данные для конструирования приспособления, расчета приспособления на усилие зажима и подбора силовых источников. Прежде чем приступить к расчету сил зажима, необходимо иметь:

- чертеж заготовки и готовой детали. Изучая эти чертежи, конструктор узнает о форме, размерах, припусках и допусках на заготовку, о шероховатости поверхностей детали, об обрабатываемом материале;
- операционные эскизы на предшествующую к выполнению операцию. Они характеризуют схему базирования и закрепления детали, направление сил зажима и сил трения, направление и место приложения сил, возникающих при обработке;
- карты технологического процесса обработки детали, в которых

указаны последовательность и содержание операций, применяемые инструменты и оборудование, режимы резания;

- ГОСТы, паспортные данные станков, нормативы режимов резания. Таким образом, исходными данными для расчета сил зажима являются: схема базирования заготовки; величина, направление и место приложения сил, возникающих при обработке; схема закрепления заготовки, т. е. направление и точка приложения зажимной силы.

Наличие исходных данных для расчета сил зажима является важнейшим моментом проектирования зажимных механизмов и силовых приводов приспособлений. Типовые схемы базирования приводятся достаточно подробно в различных литературных источниках [3, 5, 6, 9, 17], поэтому нет необходимости дублировать их в настоящем пособии.

3.2. Методика расчета необходимых сил зажима

При обработке заготовки в приспособлении на нее действуют силы резания, объёмные силы (вес заготовки, центробежные и инерционные силы, а также силы трения). Все силы – величины векторные, имеющие свое направление и значение. Поэтому силовой расчет приспособлений желательно производить путем решения задач пространственного характера, однако на практике с целью упрощения можно рассматривать условия равновесия в одной или нескольких плоскостях.

Расчет сил зажима обычно сводится к решению задач статического равновесия заготовки под действием приложенных к ней сил и моментов.

Силы резания по величине, направлению и месту приложения являются переменными. При неустановившемся режиме (врезание, выход инструмента) величина сил резания изменяется. При установившемся режиме величина сил резания также подвержена колебаниям из-за непостоянства припуска, затупления инструмента и т. д.

Силы резания рассчитывают по формулам теории резания или выбирают по нормативам. При расчетах сил зажима силы резания увеличивают, вводя коэффициент запаса K , гарантируя надежность закрепления заготовки.

В зависимости от конкретных условий выполнения технологической операции значение K следует выбирать дифференцированно.

Коэффициент K можно определить, как произведение семи первичных коэффициентов [2, 5, 17]:

$$K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6,$$

где K_0 – гарантированный коэффициент запаса, для всех случаев равен 1,5;

K_1 учитывает состояние поверхности заготовки и затупление инструмента, для различных материалов и условий обработки приведен в табл. 18 [5, 6].

Т а б л и ц а 18

Значение первичного коэффициента K_1

Вид обработки	Компонент силового воздействия	K_1	Примечание
1	2	3	4
Сверление	Крутящий момент, осевая сила	1,2	Для сталей и чугунов
Предварительное зенкерование по корке	Крутящий момент, осевая сила	1,3 1,2	Для чугунов при износе инструмента по задней поверхности 1,5 мм
Отделочное зенкерование	Крутящий момент и осевая сила	1,2	Для чугунов при износе инструмента по задней поверхности 0,7-0,8 мм
Предварительное обтачивание и растачивание	P_z	1,0	Для сталей и чугунов
	P_y	1,4	Для сталей
	P_x	1,2	Для чугунов
	P_x	1,6	Для сталей
Отделочное обтачивание и растачивание	P_z	1,0	Для сталей
		1,05	Для чугунов
	P_y	1,4	Для чугунов
		1,05	Для сталей
	P_x	1,0	Для сталей
		1,3	Для чугунов

Окончание табл. 18

1	2	3	4
Цилиндрическое предварительное и	Окружная сила	1,6...1,8 1,2...1,4	Для чугунов Для сталей

отделочное фрезерование			
Торцовое предварительное и отделочное фрезерование	Тангенциальная сила	1,6...1,8 1,2...1,4	Для вязких сталей Для твердых сталей и чугунов
Шлифование	Окружная сила	1,1...1,2	Для всех материалов
Протягивание	Сила протягивания	1,5	При износе инстр. по задней поверхности до 0,5 мм

K_2 учитывает неравномерность сил резания из-за непостоянства снимаемого при обработке припуска ($K_2 = 0$ для отделочной обработки; $K_2 = 1,2$ для черновой обработки). K_3 учитывает изменение сил обработки при прерывистом режиме ($K_3 = 1,2$ при прерывистом точении и торцевом фрезеровании); K_4 отражает непостоянство развиваемых приводами сил зажима ($K_4 = 1,3$ для ручных приводов; $K_4 = 1,0$ для механизированных; $K_4 = 1,2$ для пневмокамер, магнитных патронов и других устройств, развиваемые силы которых зависят от допусков размеров заготовки); K_5 учитывает непостоянство развиваемых сил зажимных устройств с ручным приводом ($K_5 = 1,0$ при удобном расположении рукояток и малом угле их отклонения – до 90° ; $K_5 = 1,2$ при неудобном расположении рукояток и угле их отклонения более 90° при зажиме заготовок); K_6 учитывается только при установке заготовки по плоскости и наличии моментов обработки, стремящихся повернуть заготовку на опорах ($K_6 = 0$ для точечных опор, $K_6 = 1,5$ для опорных пластин). Дополнительно в отдельных случаях может быть учтена жесткость j системы зажимных элементов.

Из исследований [5, 9] установлено, что при контакте поверхностей заготовок с установочными и зажимными элементами приспособлений коэффициент статического трения f при расчете силы трения может быть выбран из табл. 19.

Т а б л и ц а 19

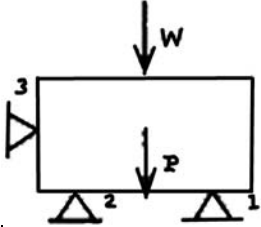
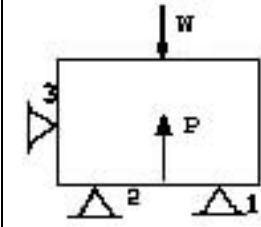
Коэффициент трения f между контактирующими поверхностями заготовки и элементов приспособления

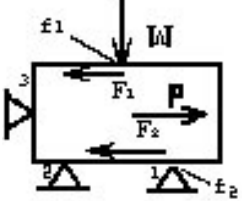
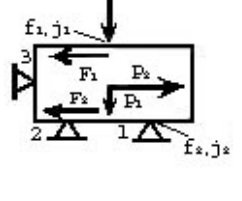
Состояние контактирующих поверхностей	f
Базовые поверхности обработаны, установочные элементы типа опорных пластин	0,15
Базовые поверхности заготовки не обработаны, установочные элементы - опорные пластины	0,2
Базовые поверхности не обработаны, установочные элементы в виде точечных опор со сферической головкой	0,25
Базовые поверхности заготовки не обработаны; рабочие поверхности установочно-зажимных элементов (кулачков, цанг и т. д.):	
гладкие	0,2
с кольцевыми канавками	0,35
с перпендикулярными канавками	0,45
с острыми рифлениями	0,8

Расчет потребных сил W , предупреждающих поступательное перемещение заготовки при действии сил обработки для типовых случаев обработки можно свести к формулам, представленным в табл. 20.

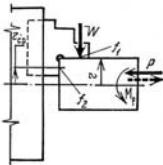
В табл. 21 приведены варианты расчета потребных сил в случаях, когда используемые зажимные устройства противодействуют повороту заготовок под действием моментов сил обработки.

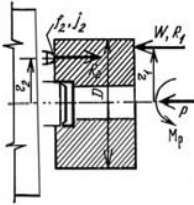
Уравнения равновесия и формулы для расчета зажимных сил, предупреждающих смещение заготовок (без учета их веса)

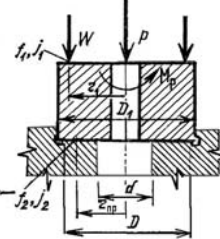
1	2	3	4	5	6
	Предупреждение смещения заготовки при действии силы P	Обтачивание в центрах, протягивание, цекование бобышек, дорнование и др.	1, 2	$W = 0$ (при постоянном значении P); $W > 0$ (при нестабильном значении P . Например, при фрезеровании с целью исключения зазоров в системе, повышения ее жесткости и устранения вибрации) $kF_{сж} - W = 0$ (при наличии случайных, второстепенных сдвигающих сил F , направленных против зажима)	$W = kF_{сж}$
	Обеспечение надежного контакта заготовки с установочными элементами 1, 2	То же	2 1	$kP - W = 0$ $kP \frac{j_2}{j_1 + j_2} - W = 0$	$W = kP$ $W = kP \frac{j_2}{j_1 + j_2}$

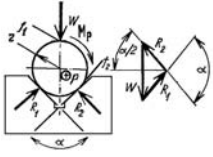
1	2	3	4	5	6
	<p>Предупреждение смещения заготовки при действии сил обработки, стремящихся сдвинуть заготовку на опорах 1, 2 от установочного элемента 3</p>	<p>Маятниковое фрезерование, фрезерование замкнутых контуров и другие процессы обработки с переменной по направлению подачей</p>	1, 2	$kP - Wf_1 - Wf_2 = 0$	$W = \frac{kP}{f_2 + f_1}$
	<p>Предупреждение сдвига заготовки на опорах 1, 2 в сторону от установочного элемента 3</p>	<p>Фрезерование наружных боковых поверхностей и др.</p>	2 1	$kP_2 - Wf_1 - (W + P_1)f_2 = 0$ $kP_2 - (W - P_1 \frac{j_1}{j_1 + j_2} f_1) - (W + P_1 \frac{j_1}{j_1 + j_2})f_2 = 0$	$W = \frac{kP_2 - P_1 f_2}{f_2 + f_1}$ $W = (kP_2 + f_1 P_1 \times \frac{j_1}{j_1 + j_2} - f_2 P_1 \times \frac{j_2}{j_1 + j_2}) / (f_1 + f_2)$

Уравнения равновесия и формулы для расчета зажимных сил, предупреждающих поворот заготовки при действии момента сил обработки

Схема действия сил и моментов	Характеристика установки и действующих силовых факторов	Исходные условия	Группа зажимного устройства	Уравнение равновесия (без учета веса заготовки)	Расчетная формула
1	2	3	4	5	6
	<p>Цилиндрическая заготовка радиусом r установлена в трехкулачковом патроне и находится под действием момента сил обработки M_p и осевой силы P. Создаваемые силами W и P моменты трения $M_{тр1}$ (в контакте кулачков с наружной цилиндрической поверхностью заготовки) и $M_{тр2}$ (в контакте уступов кулачков радиусом r_{cp} с торцовой поверхностью заготовки) противодействуют повороту заготовки от M_p</p>	<p>Сила P направлена в сторону патрона, расчет ведется из условия действия M_p</p> <p>Сила P направлена в сторону от патрона и стремится выгнуть заготовку из кулачков, расчет ведется из условия действия силы P</p>	<p>1, 2</p> <p>1,2</p>	<p>При $P < 3Wf_1$</p> $kM_p = M_{тр1} = 3Wf_1 r$ <p>При $P > 3Wf_1$</p> $kM_p = M_{тр1} + M_{тр2} = 3Wf_1 r - (P - 3Wf_1) f_2 r_{cp}$ $kP = 3Wf_1$	$W' = \frac{kM_p}{3f_1 r}$ $W' = (kM_p - Pf_2 r_{cp}) / (3f_1 r - 3f_1 f_2 r_{cp})$ $W'' = \frac{kP}{3f_1}$ <p>За требуемую зажимную силу принимается большее значение из W' и W''</p>

1	2	3	4	5	6
	<p>Заготовка диаметром D центрируется по выточке и поджимается к трем точечным опорам двумя или несколькими прихватами. При этом реакции всех трех опор имеют одинаковое значение. На заготовку действуют момент сил обработки M_p и осевая сила P. Моменты трения $M_{тр1}$ и $M_{тр2}$ противодействуют повороту заготовки. R_1, R_2 – реакции соответственно зажимных и установочных элементов</p>	<p>Зажимное устройство достаточной жесткости в тангенциальном направлении и воспринимает M_p</p> <p>Зажимное устройство незначительной тангенциальной жесткости и не воспринимает M_p</p>	<p>2 1 2 1</p>	$M_p = M_{тр1} + M_{тр2} = Wf_1r_1 + Wf_2r_2 + Pf_2r_2$ $kM_p = R_1f_1r_1 + R_2f_2r_2 = \left(W - P \frac{j_1}{j_1 + j_2} \right) f_1r_1 + \left(W + P \frac{j_1}{j_1 + j_2} \right) f_2r_2$ $kM_p = M_{тр2} = (W + P)f_2r_2$ $kM_p = M_{тр2} = R_2f_2r_2 = \left(W + P \frac{j_2}{j_1 + j_2} \right) f_2r_2$	$W = (kM_p - Pf_2 \times r_2) / (f_1r_1 + f_2r_2)$ $W = (kM_p + f_1r_1P \times \frac{j_1}{j_1 + j_2} - f_2r_2P \times \frac{j_2}{j_1 + j_2}) / (f_1r_1 + f_2r_2)$ $W = \frac{kM_p - Pf_2r_2}{f_2r_2}$ $W = (kM_p + f_2r_2P \times \frac{j_2}{j_1 + j_2}) / f_2r_2$

1	2	3	4	5	6
 <p> $r_{\text{пр}} = \frac{1}{3} \left(\frac{D^3 - d^3}{D^2 - d^2} \right),$ где $r_{\text{пр}}$ – приведенный радиус кольцевой поверхности </p>	<p>Заготовка центрируется по поверхности диаметром D_1; опирается на кольцевую поверхность диаметрами D и d; равномерно поджимается к кольцевой поверхности силой W. На заготовку действуют момент M_p и осевая сила P. Повороту заготовки препятствуют создаваемые силами W и P моменты трения $M_{\text{тр}1}$ (в плоскости контакта зажимного элемента) и $M_{\text{тр}2}$ (в плоскости контакта установочного элемента)</p>	<p>Зажимное устройство обладает достаточной жесткостью в тангенциальном направлении и воспринимает момент M_p</p> <p>Зажимное устройство не обладает достаточной тангенциальной жесткостью и не воспринимает M_p</p>		$kM_p = M_{\text{тр}1} + M_{\text{тр}2} =$ $= Wf_1r_1 + (W + P)f_2r_{\text{пр}}$ $kM_p = M_{\text{тр}1} + M_{\text{тр}2} =$ $= \left(W - P \frac{j_1}{j_1 + j_2} \right) f_1r_1 +$ $+ \left(W + P \frac{j_2}{j_1 + j_2} \right) f_2r_{\text{пр}}$ $kM_p = M_{\text{тр}2} =$ $= (W + P)f_2r_{\text{пр}}$ $kM_p = M_{\text{тр}2} =$ $= \left(W + P \frac{j_2}{j_1 + j_2} \right) f_2r_{\text{пр}}$	$W =$ $= \frac{kM_p - Pf_2r_{\text{пр}}}{f_1r_1 + f_2r_{\text{пр}}}$ $W = (kM_p + f_1r_1P \times$ $\times \frac{j_1}{j_1 + j_2} - f_2r_{\text{пр}}P \times$ $\times \frac{j_2}{j_1 + j_2}) / (f_1r_1 +$ $+ f_2r_{\text{пр}})$ $W = \frac{kM_p - Pf_2r_{\text{пр}}}{f_2r_{\text{пр}}}$ $W = (kM_p - f_2r_{\text{пр}}P \times$ $\times \frac{j_2}{j_1 + j_2}) / (f_2r_{\text{пр}})$

1	2	3	4	5	6
 $R = R_1 = R_2 = \frac{W}{2 \sin(\alpha/2)}$	<p>Цилиндрическая заготовка закреплена в призме с углом α и находится под действием момента обработки M_p и осевой силы P. Создаваемые силы и моменты трения противодействуют сдвигу вдоль оси и повороту заготовки</p>	<p>Зажимное устройство воспринимает как P, так и M_p. Расчет из условия действия P</p> <p>Расчет из условия действия момента M_p</p>	<p>1,2</p>	$kP = Wf_1 + 2 \times \frac{W'}{2 \sin(\alpha/2)} = Wf_1 + Wf_{\text{пр}}$ $kM_p = M_{\text{тр}1} + M_{\text{тр}2} = Wf_1 r + Wf_{\text{пр}} r$	$W' = \frac{kP}{f_1 + f_{\text{пр}}},$ <p>где $f_{\text{пр}}$ – приведенный коэффициент трения,</p> $f_{\text{пр}} = f_2 \frac{1}{\sin(\alpha/2)}$ $W'' = \frac{kM_p}{r(f_1 + f_{\text{пр}})}.$ <p>За потребную силу зажима принимается большее значение из W' и W''</p>

3.3. Выбор и расчет зажимных устройств и силовых приводов

Зажимные устройства, применяемые в приспособлениях, подразделяются на две основные группы. К первой группе относятся устройства, упругие отжимы которых прямо пропорциональны приложенным к ним силам. Эти устройства имеют в своей конструкции механизмы самотормозящего типа (винтовые, клиновые безроликовые и эксцентриковые элементарные зажимы). При этом привод их может быть ручным и механизированным. Ко второй группе устройств относятся пневматические, гидравлические, пневмогидравлические механизмы прямого действия (без самотормозящихся механизмов). Группы зажимных устройств указаны в графе 4 табл. 20 и табл. 21.

В результате расчета зажимных устройств определяются размеры их элементов (плечи рычагов, диаметры резьб, размеры эксцентриков) и передаточное отношение силы зажима на заготовку со стороны силы привода. Силовой привод рассчитывается для вновь проектируемого приспособления исходя из сил резания с учетом передаточного отношения зажимного механизма или проверяется на соответствие требуемой силе зажима заготовки в уже имеющемся приводе приспособления (проверочный расчет).

Зажимные устройства приспособлений разделяются на простые (элементарные) и сложные (комбинированные), состоящие из нескольких простых.

Простые механизмы – это винтовые, клиновые, рычажные, эксцентриковые и др. В зависимости от источника привода зажимные устройства подразделяются на ручные, механизированные и автоматизированные. Расчет зажимных механизмов производят исходя из зажимной силы W , определенной по формулам, приведенным в табл.20. Например, винтовые зажимные устройства применяются с ручным закреплением, в механизированных приспособлениях, в приспособлениях-спутниках. При расчете определяется номинальный (наружный) диаметр резьбы винта d по формуле

$$d = C \sqrt{\frac{W}{[\delta]}}$$

где C – коэффициент, для основной метрической резьбы $C = 1,4$; W – необходимая сила зажима, H ; $[\delta]$ – допустимое напряжение растяжения (сжатия), для винтов из стали 45 с учетом износа резьбы можно принять $[\delta] = 80 \dots 100$ МПа.

Полученное значение d округляется до ближайшего большего стандартного значения (обычно от М8 до М52).

Далее определяется момент M , который нужно развить на винте (гайке) для обеспечения заданной зажимной силы W :

$$M = R_{\text{ср}} \cdot W \cdot \text{tg}(\alpha + \varphi) + M_{\text{тр}},$$

где $R_{\text{ср}}$ – средний радиус резьбы; α – угол подъема резьбы; φ – угол трения в резьбе; $M_{\text{тр}}$ – момент трения на опорном торце винта (гайки).

Затем определяется длина рукоятки (ключа) l по заданной силе воздействия из условия равновесия винта (гайки). $P_{\text{пр}} \cdot l = M$, отсюда $l = M/P_{\text{пр}}$ (здесь сила привода $P_{\text{пр}} \leq 150H$). Расчет других механизмов (клиновых, рычажных, кантовых) широко освещен в литературных источниках [2, 5, 6, 9, 16, 17]. В приспособлениях широко используются приводы: пневматические, гидравлические, пневмогидравлические, магнитные, электромеханические, центробежно-инерционные, от сил резания, от движущихся элементов станков [2, 5, 6, 9, 16, 17]. Применение механизированных силовых приводов облегчает труд рабочих, повышает быстродействие приспособлений и производительность станков.

Остановимся на характеристике пневматических приводов. Пневматические приводы бывают поршневыми диафрагменными, сильфонными и вакуумными. Поршневые и диафрагменные приводы бывают односторонние и двусторонние. В табл. 22, 23 приведены примеры наиболее часто применяемых пневмоприводов.

Т а б л и ц а 22

Параметры пневмоприводов

Параметры	Диаметр D цилиндров, мм								
	50	60	75	100	125	150	200	250	300
Толщина стенки цилиндра чугунного	6	8	8	10	12	12	14	16	16
стального	4	4	5	6	6,5	7	7,5	9	10
диаметр шпилек d , мм	M8	M8	M10	M10	M12	M16	M20	M20	M24
Количество шпилек	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Диаметр штока d , мм	16	16	20	25	30	30	40	50	55
Диаметр резьбы на штоке d	M10	M10	M12	M16	M20	M20	M24	M30	M36

Т а б л и ц а 23

Параметры диафрагменных пневмокамер

Толщина диафрагмы t , мм	3...4		4...5	5...6	6...8	8...10
Расчетный диаметр диафрагмы D , мм	125	160	200	250	320	400
Диаметр опорной шайбы D_1 , мм	Для резиновых диафрагм $D_1 \approx 0,7D$					
	88	115	140	175	225	280
	Для резиновых диафрагм $D_1 = D - 2t - (2...4)$					
	115	150	185	235	300	375

Силы на штоке поршневых пневмоприводов подразделяются на толкающие и тянущие и определяются по формулам:

для привода одностороннего действия

$$P_m = \frac{\pi}{4} D^2 p \eta - P_n;$$

для привода двустороннего действия:

толкающая сила $P_m = \frac{\pi}{4} D^2 p \eta$;

тянущая сила $P_n = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) p \eta$,

где D – диаметр поршня пневмопривода, мм (для заводских пневмосетей $p = 0,4 \dots 0,6$ МПа); P_n – сила сопротивления возвратной пружины при крайнем рабочем положении поршня, Н; d – диаметр штока пневмоцилиндра, мм;

η КПД (обычно $\eta = 0,85 \dots 0,95$).

Приближенный расчет силы на штоке пневмокамер двустороннего действия приведен в табл. 24.

Т а б л и ц а 24

Расчет силы на штоке пневмокамер двустороннего действия

Параметр	Тип диафрагмы			
	резинотканевая		резиновая	
	Положение диафрагмы			
	Исходное	При ходе $0,3 D$ для тарельчатых и $0,07 D$ для плоских диафрагм	Исходное	При ходе $0,22 D$
$D_1 = 0,7 D$		$D_1 = D - 2t - (2 \dots 4)$		

Сила на штоке	$P_{ш} = \frac{\pi}{16}(D - D_1)^2 \cdot p$	$P_{ш} = \frac{0,75 \pi}{16}(D - D_1)^2 \cdot p$	$P_{ш} = \frac{\pi}{16}(D_1)^2 \cdot p$	$P_{ш} = \frac{0,95\pi}{16}D_1^2 \cdot p$
---------------	---	--	---	---

D_1 – внутренний диаметр мембраны, зажатый двумя пластинками штока мембраны; D – внутренний диаметр мембраны, зажатый корпусом мембраны. Для диафрагменных приводов рациональные длины L рабочих ходов штока можно принимать в следующих пределах: для тарельчатых резинотканевых диафрагм $L = (0,25; \dots 0,35)D$; для простых резинотканевых диафрагм $L = (0,18 \dots 0,22)D$; для плоских резиновых диафрагм $L = (0,35 \dots 0,45)D$.

Вакуумные приводы, гидравлические и пневмогидравлические имеют аналогичную методику расчета силы на штоке. Расчет магнитных, электромеханических и других приводов приводится во многих литературных источниках [2, 5, 6].

3.4. Пример силового расчета приспособления

При обработке заготовок типа валов, осей, фланцев и т.д. в машиностроении часто используют самоцентрирующиеся механизмы в виде клиновых и рычажных патронов с механизированными приводами.

Основные размеры рычажных и клиновых патронов выбирают по ГОСТ 24351-80.

Задание: рассчитать силу зажима W_k на каждом кулачке трехкулачкового патрона, определить силу тяги Q на штоке пневматического привода приспособления, рассчитать диаметр пневмоцилиндра, обеспечивающего силу тяги Q при черновой токарной обработке заготовки из стали 45 по схеме, показанной на рис. 7. Заготовка зажимается в трехкулачковом патроне по наружному диаметру 70 мм, наружный диаметр обрабатываемой поверхности 60 мм, глубина резания $t = 3$ мм, продольная подача 0,3 мм/об, частота вращения шпинделя 250 мин⁻¹.

a

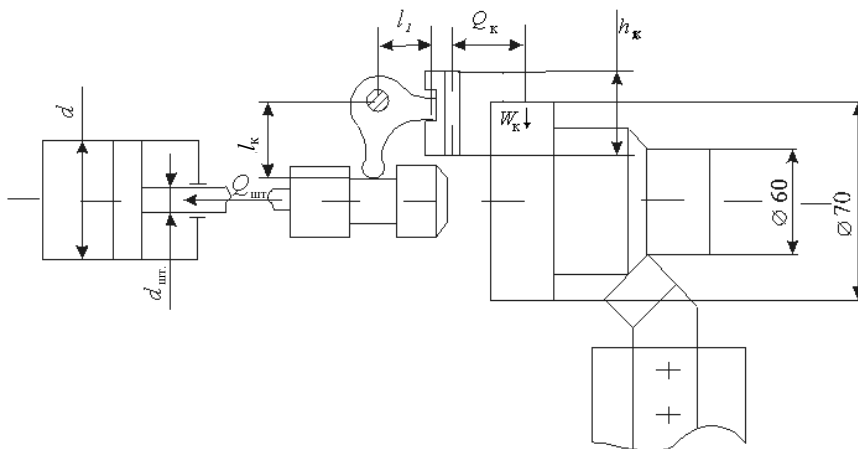


Рис. 7

Методика расчета:

1. Определяем силу резания P_z по формуле

$$P_z = 10 \cdot C_p t^x S^y V^n \cdot K_p,$$

где C_p – коэффициент силы резания;

x, y, n – показатели степени для силы резания P_z ;

K_p – поправочный коэффициент.

Численное значение коэффициента C_p и показатели x, y, n определяем по табл. 22 [17, с.273], при этом принимаем во внимание, что обрабатывается конструкционная сталь с $\sigma_b = 750$ МПа, материал режущей части резца – твердый сплав. Согласно табличным данным $C_p = 300$; $x = 1$; $y = 0,75$; $n = 0,15$. Поправочный коэффициент K_p определяем по формуле

$$K_p = K_{тр} K_{фр} K_{ур} K_{\lambdaр} K_{гр}.$$

Численные значения этих коэффициентов приведены в табл. 9, 10, 23 [17, с. 264-265, 275].

$$K_{тр} = 0,85; \quad K_{фр} = 1,08; \quad K_{ур} = 1,25; \quad K_{\lambdaр} = 1; \quad K_{гр} = 1.$$

$$K_p = 0,85 \cdot 1,08 \cdot 1,25 \cdot 1 \cdot 1 = 1,1375 \approx 1,14,$$

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 3 \cdot 0,3^{0,75} \cdot 47,1^{0,15} \cdot 1,14 = 7412 \text{ Н.}$$

2. Определяем силу закрепления на каждом кулачке трехкулачкового патрона:

$$W_k = \frac{P_z \sin \frac{\alpha}{2} D_{\text{оп}}}{\eta_k f_{\text{к.п}} D_{\text{п.к}}} K_3,$$

где $\alpha = 120^\circ$; $D_{\text{п.к.}} = 60$ мм (диаметр обрабатываемой поверхности);

$f_{\text{кп}}$ – коэффициент трения на рабочих поверхностях кулачков (с гладкой поверхностью $f_{\text{кп}} = 0,25$; с кольцевыми канавками $f_{\text{кп}} = 0,35$; с крестообразными $f_{\text{кп}} = 0,45$; с зубьями параллельно оси патрона $f_{\text{кп}} = 0,8$); $D_{\text{кп}} = 70$ мм (диаметр закрепления поверхности заготовки); K_3 – коэффициент запаса, выбираем самый минимальный 1,5.

$$W_k = \frac{7412 \cdot \sin 60 \cdot 60 \cdot 1,5}{3 \cdot 0,8 \cdot 70} = 2292 \text{ Н.}$$

3. Определяем силу на штоке пневмоцилиндра с учетом соотношения плеч рычагов трехкулачкового патрона:

$$Q_{\text{шт}} = W_k n_k k_{\text{тр}} \left(1 + \frac{3a_k}{h_k} f_k \right) \frac{l_1}{l_k},$$

где W_k – сила зажима на одном кулачке, Н; $n_k = 3$ (число кулачков); $k_{\text{тр}}$ – коэффициент, учитывающий дополнительные потери на силы трения в патроне ($k_{\text{тр}} = 1,05$); a_k – вылет кулачка от его опоры до центра приложения силы зажима (конструктивно $a_k = 40$ мм); n_k – длина направляющей части кулачка ($n_k = 40$ мм); f_k – коэффициент трения в направляющих кулачка ($f_k = 0,1$); l_1 и l_k – плечи рычага привода кулачков (конструктивно принимаем $l_1 = 20$ мм и $l_k = 100$ мм).

$$Q_{\text{шт}} = 2292 \cdot 3 \cdot 1,05 \left(1 + \frac{3 \cdot 40}{40} \cdot 0,1 \right) \frac{20}{100} = 1877 \text{ Н.}$$

4. Определяем диаметр поршня цилиндра:

$$D_{\text{ц}} = 1,44 \sqrt{\frac{Q_{\text{шт}}}{P}},$$

где $Q_{\text{шт}}$ – усилие на штоке, Н;

P - удельное давление в пневмосети 0,4-0,6 МПа.

Из табл. 22 выбираем пневмоцилиндр 100 мм.

5. Время срабатывания цилиндра определяем по формуле

$$T_{\text{с}} = \frac{D_{\text{ц}}^2 l_{\text{к}}}{d_{\text{в}}^2 v_{\text{в}}},$$

где $l_{\text{к}}$ – длина хода поршня (конструктивно принимаем 50 мм); $d_{\text{в}}$ – диаметр воздухопровода выбирают в зависимости от диаметра пневмоцилиндра ($d_{\text{в}} = 6$ мм); $v_{\text{в}}$ – скорость воздуха (15000 мм/с).

$$T_{\text{с}} = \frac{100^2 \cdot 50}{6^2 \cdot 15000} = 0,9 \text{ с.}$$

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕНТАБЕЛЬНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ УСТАНОВОЧНО-ЗАЖИМНЫХ СТАНОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

4.1. Выбор технологической оснастки

Согласно ГОСТ 14.305-73 "Правила выбора технологической оснастки" станочные приспособления подразделяются на шесть систем: универсальные безналадочные приспособления (УБП), универсальные наладочные приспособления (УНП), универсально-сборные приспособления (УСП), сборно-разборные приспособления (СП), специализированные наладочные приспособления (СНП), неразборные специальные приспособления (НСП).

Универсально-безналадочные приспособления (УБП). Конструкция УБП представляет собой законченный механизм долговре-

менного действия с постоянными установочными элементами и предназначена для его использования без доработок. Эффективно применяется в условиях единичного и мелкосерийного производства при оснащении малотрудоемких по подготовительному времени операций. К УБП относятся токарные патроны, машинные тиски, поворотные столы и др.

Универсальные наладочные приспособления (УНП) состоят из двух частей. Одна часть – постоянная, базовая; вторая – меняющаяся, представляющая собой сменные наладки. В базовую часть входят: корпус с элементами для базирования и закрепления сменных наладок, зажимной механизм с ручным или механизированным приводами. Сменные наладки представляют собой сборочные единицы, предназначенные для установки заготовок. Базовая часть обычно стандартная. Она изготавливается на заводах технологической оснастки и поставляется по заявкам заводов-потребителей. Сменные наладки проектируются и изготавливаются в инструментальных цехах предприятий. УНП применяют в условиях многоменклатурного мелкосерийного, серийного и крупносерийного производства. К УНП относятся универсальные наладочные тиски, универсальные наладочные угольники для токарных работ и др.

Универсально- сборные приспособления (УСП), которые собирают из окончательно обработанных стандартных универсальных деталей и узлов высокой точности, как обратимые специальные приспособления краткосрочного применения. Эффективно применяются в условиях единичного и мелкосерийного производства, а также в период запуска в серийном и крупносерийном производстве.

Сборно-разборные приспособления (СРП) представляют собой компоновку, состоящую из готовой базовой части (плиты, угольника, планшайбы и др.), сборочных единиц (зажимных, установочных и др.) и наладочного элемента, с помощью которого заготовка связана с установочными элементами приспособления. Эффективно используются при оснащении трудоемких операций серийного и крупносерийного производства изделий, находящихся в стадии непрерывного совершенствования или с ограниченным периодом изготовления (до 1,5 года).

Специализированные наладочные приспособления (СНП) состоят из специализированной, чаще всего механизированной базовой сборочной единицы и специальных сменных наладок для ус-

тановки заготовок, близких по схемам базирования, закреплению обрабатываемых заготовок и по характеру их обработки. Эффективно применяют в условиях от мелкосерийного до крупносерийного производства.

Неразборные специальные приспособления (НСП) используются для выполнения определенной операции при обработке конкретных заготовок. Они являются одноцелевыми. При смене объекта производства такие приспособления приходится списывать независимо от степени их физического износа. Эффективны при оснащении трудоемких операций устойчивого серийного, крупносерийного и массового производства.

Рентабельность применения системы приспособления определяют в два этапа:

- выбирают систему станочного приспособления в зависимости от $T_{и}$ в месяцах и коэффициента загрузки приспособления K_3 согласно рис.8;

- определяют затраты на оснащение технологической операции данной системой приспособления.

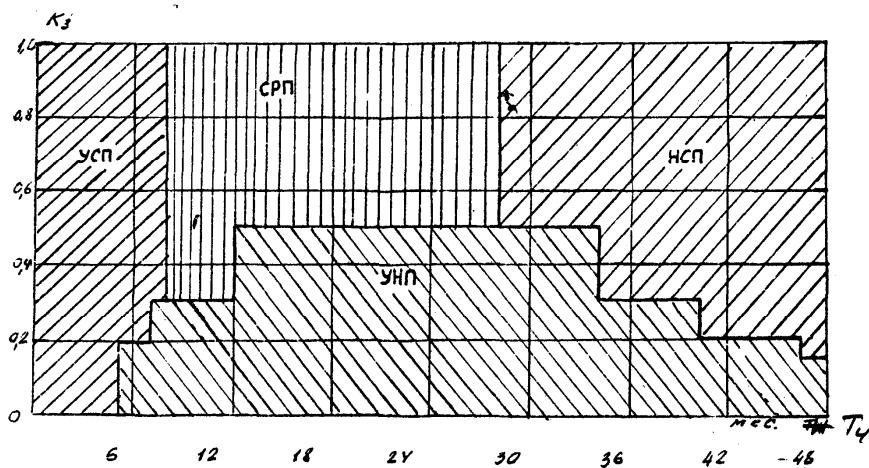


Рис.8. Границы рентабельности применения систем приспособлений

Коэффициент загрузки приспособления на технологической операции определяют по формуле

$$K_3 = \frac{T_{шт} \cdot N_M}{F_D \cdot 60},$$

где $T_{шт}$ – штучное или штучно-калькуляционное время выполнения технологической операции, мин;

N_M – планируемая месячная программа на единицу приспособления (количество повторов операций);

F_D – располагаемый месячный фонд времени работы приспособления (станка).

Затраты на оснащение технологической операции различными системами приспособлений укрупненно можно определить с помощью соответствующих коэффициентов по табл. 26.

В этом случае за основу принимаются затраты на оснащение операций неразборным специальным приспособлением (НСП), которые приравниваются к его себестоимости. Коэффициент затрат для НСП принимается равным единице.

Себестоимость изготовления приспособления (НСП) можно укрупненно определять в зависимости от сложности конструкции по формуле

$$A = Z_{п} \cdot C_{п},$$

где $Z_{п}$ – количество деталей в приспособлении, шт.; $C_{п}$ – удельная себестоимость (себестоимость приспособления, приходящаяся на одну деталь), принимается в зависимости от группы сложности приспособления с учетом табл. 25.

Т а б л и ц а 25

Удельная себестоимость $C_{п}$ приспособления
(в ценах на 1.01.1991 г.)

Группа сложности приспособления	Количество деталей в приспособлении	$C_{п}$, руб.
1	до 5	1.1
2	5...15	2

3	15...25	3
4	25...40	4
5	40...60	5
6	60... 95 и более	7

Затраты на оснащение операции определяются по формуле

$$C_i = A \cdot K_{\text{затр.}}$$

где C_i – затраты на оснащение технологической операции i -й системы приспособления в сравнении с себестоимостью НСП;

$K_{\text{затр.}}$ – коэффициент затрат на оснащение технологических операций для различных систем приспособлений, отличающихся от, НСП по табл. 26;

A – себестоимость НСП в соответствии с количеством наименований оригинальных деталей в рассматриваемом приспособлении.

Т а б л и ц а 26

Коэффициент затрат $K_{\text{затр}}$ на оснащение операций для периодов T_u производства изделий.

$K_{\text{затр}}$	До одного месяца					До 6 месяцев				
	УСП	УБП	УНП	СНП	СРП	УСП	УБП	УНП	СНП	СРП
1,0	0,07	0,03	0,26	0,23	0,23	-	0,20	0,51	0,36	0,38
0,5	0,06	0,01	0,23	0,22	0,23	0,33	0,10	0,40	0,35	0,38
0,2	0,05	0,01	0,22	0,21	0,23	0,32	0,03	0,32	0,29	0,38
0,1	0,05	0,01	0,21	0,21	0,23	0,31	0,02	0,29	0,27	0,38
0,04	0,05	0,01	0,20	0,21	0,23	0,30	0,01	0,27	0,26	0,38
	До 12 месяцев					До 18 месяцев				
1,0	-	0,40	0,81	0,51	0,56	-	0,54	-	-	0,74
0,5	0,71	0,20	0,62	0,47	0,56	1,08	0,30	0,83	0,60	0,74
0,2	0,64	0,10	0,44	0,38	0,56	0,96	0,11	0,56	0,47	0,74
0,1	0,62	0,04	0,38	0,35	0,56	0,93	0,06	0,47	0,43	0,74
0,04	0,60	0,02	0,34	0,32	0,56	0,90	0,02	0,42	0,38	0,74
	До 24 месяцев					До 30 месяцев				
1,0	-	0,79	-	-	0,92	-	0,99	-	-	-
0,5	-	0,40	1,04	0,74	0,92	-	0,50	1,25	0,87	-

0,2	-	0,15	0,68	0,56	0,92	-	0,18	0,80	0,65	-
0,1	-	0,08	0,56	0,50	0,92	-	0,10	0,65	0,58	-
0,04	1,2	0,03	0,49	0,44	0,92	-	0,04	0,67	0,50	1,10
До 36 месяцев						До 42 месяцев				
1,0	-	1,20	-	-	-	-	1,50	-	-	-
0,5	-	0,60	1,46	1,01	-	-	0,70	-	1,10	-
0,2	-	0,22	0,92	0,74	-	-	0,25	1,04	0,83	-
0,1	-	0,12	0,74	0,65	-	-	0,14	0,83	0,73	-
0,04	-	0,05	0,62	0,56	-	-	0,06	0,70	0,63	-
До 48 месяцев										
1,0	-	1,70	-	-	-					
0,5	-	1,80	-	1,2	-					
0,2	-	0,28	1,16	0,92	-					
0,1	-	0,16	0,92	0,80	-					
0,04	-	0,07	0,78	0,69	-					

4.2. Техничко-экономическое обоснование выбранной конструкции приспособления

Для экономического сравнения двух вариантов приспособления сопоставляются два значения технологической себестоимости обработки заготовки C_{T1} и C_{T2} с использованием соответственно первого варианта приспособления (существующего) и второго (проектируемого):

$$C_{T1} = L_{31} \left(1 + \frac{Z}{100} \right) + \frac{A_1}{N} \left(\frac{1 + q_{\text{п}}}{i_c} + q_3 \right),$$

$$C_{T2} = L_{32} \left(1 + \frac{Z}{100} \right) + \frac{A_2}{N} \left(\frac{1 + q_{\text{п}}}{i_c} + q_3 \right),$$

где L_{31} и L_{32} – основная зарплата рабочего, приходящаяся на одну заготовку, при использовании первого и второго вариантов приспособления;

Z – процент цеховых накладных расходов (обычно $Z = 180 \dots 300\%$);

A_1 и A_2 – себестоимость изготовления приспособлений первого и второго вариантов;

$q_{\text{п}}$ – коэффициент проектирования данного приспособления, который выражается отношением расходов на проектирование и отладку приспособления и себестоимости его изготовления (принимается $q_{\text{п}} = 0,5$);

q_3 – коэффициент эксплуатации данного приспособления, который выражается отношением расходов на эксплуатацию (ремонт и уход) за год к себестоимости изготовления приспособления (принимается $q_3 = 0,2 \dots 0,3$);

N – объем выпуска деталей в год, шт.;

i_c – срок службы приспособления (если выпускаемая продукция стабильна и сроки прекращения ее выпуска неизвестны, то для простых приспособлений средней сложности рекомендуется принимать $i_c = 2 \dots 3$ года, для сложных $i_c = 4 \dots 5$ лет).

Основная зарплата на выполнение операций в одном приспособлении определяется по формуле

$$L_3 = t_{шт} \cdot S_p,$$

где $t_{шт}$ – штучное время на обработку заготовки, ч;

S_p – часовая ставка рабочего, указанная в ТП квалификации (ряда), руб.

Экономический эффект \mathcal{E} (руб.) от применения второго, более прогрессивного варианта можно определить по формулам:

– в расчете на одну деталь $\mathcal{E} = C_{T1} - C_{T2}$;

– в расчете на объем выпуска деталей в год $\mathcal{E}_Г = \mathcal{E} \cdot N$.

Литература

1. Ансеров, М.А. Приспособления для металлорежущих станков. – Л.: Машиностроение, 1975. – 656 с.
2. Антонюк, В.Е. Конструктору станочных приспособлений. – Мн.: Беларусь, 1992. – 400 с.
3. Белоусов, А.П. Проектирование станочных приспособлений. – М.: Машиностроение, 1980. – 240 с.
4. Горбачевич, А.Ф., Шкред, В.А. Курсовое проектирование по технологии машиностроения. – Мн., 1983. – 256 с.
5. Горохов, В.А. Проектирование и расчет приспособлений: учебное пособие. – Мн.: Вышэйшая школа, 1986. – 238 с.
6. Горохов, В.А. Проектирование технологической оснастки: учебник для студентов машиностроительных специальностей высших учебных заведений. – Мн.: Бєрвита, 1997. – 344 с.

7. Горошкин, А.К. Приспособления для металлорежущих станков: справочник. – М.: Машиностроение, 1979. – 322 с.
8. Дипломное проектирование по технологии машиностроения / Под общей ред. В.В.Бабука. – Мн., 1979. – 464 с.
9. Корсаков, В.С. Основы конструирования приспособлений. – М.: Машиностроение, 1983. – 277 с.
10. Кузнецов, Ю.И. Современные отечественные станочные приспособления. – М.: Машиностроение, 1978. – 62 с.
11. Кузнецов, Ю.И. Технологическая оснастка к станкам с программным управлением. – М.: Машиностроение, 1976. – 224 с.
12. Кузнецов, Ю.И., Масков, А.Р., Байков, П.Н. Оснастка станков с ЧПУ: справочник. – М.: Машиностроение, 1983. – 359 с.
13. Кузнецова, И.В. Приспособление для обработки цилиндрических зубчатых колес: учебное пособие. – М.: Машиностроение, 1984. – 128 с.
14. Кузнецов, В.С., Пономарев, В.А. Универсально-сборные приспособления в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1979. – 156 с.
15. Ракович, А.Г. Автоматизация проектирования приспособлений для металлорежущих станков. – М.: Машиностроение, 1980. – 136 с.
16. Станочные приспособления: справочник. В 2т. / Под ред. Б.Н. Вардашкина, В.В. Данилевского, А.А. Шатилова. – М.: Машиностроение, 1984. – Т.1. – 592 с.; Т.2. – 656 с.
17. Справочник технолога-машиностроителя. В 2т. Т.2 / Под ред. А.Г. Косиловой и Л.К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1985. – 496 с.
18. Терликова, Т.Ф., Мельников, А.С., Баталов, В.И. Основы конструирования приспособлений. – М.: Машиностроение, 1980. – 119 с.
19. Уткин, А.Ф. Приспособление для механической обработки. – Л.: Машиностроение, 1983. – 175 с.

Содержание

Введение.	3
1. Обоснование схемы установки заготовки в приспособлении.	4
2. Расчет приспособления на точность.	11
2.1. Исходные данные для расчета.	11
2.2. Методика расчета приспособлений на точность.	30
3. Силовой расчет приспособлений.	34
3.1. Исходные данные для расчета.	34
3.2. Методика расчета необходимых сил зажима.	35
3.3. Выбор и расчет зажимных устройств и силовых приводов.	45
3.4. Пример силового расчета приспособления.	49
4. Определение рентабельности применения установочно- зажимных станочных приспособлений.	52
4.1. Выбор технологической оснастки.	52
4.2. Технико-экономическое обоснование выбранной конструкции приспособления.	57
Литература.	58

Учебное издание

КРИВКО Геннадий Петрович
САКОВИЧ Александр Аверьянович

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОСНАСТКА

Учебно-методическое пособие
по выбору и расчету технологической оснастки
при дипломном и курсовом проектировании

Редактор Т.Н. Микулик
Компьютерная верстка А.А. Бусько

Подписано в печать 2.03.2005.

Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.

Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 3,5. Уч.-изд. л. 2,7. Тираж 300. Заказ 516.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Белорусский национальный технический университет.

ЛИ № 02330/0056957 от 01.04.2004.

220013, Минск, проспект Ф.Скорины, 65.