

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования «Полоцкий государственный университет
Ефросинии Полоцкой»

УДК 621.91.04(035.3)

Апетёнок Алексей Леонидович

**Кинематика формообразования сложно-профильных
поверхностей деталей**

Магистерская диссертация

специальность 1-36 80 02 Инновационные технологии в машиностроении

(подпись магистранта)

Научный руководитель
Киселёв Руслан Анатольевич
к.т.н., доцент

Допущена к защите

«__» _____ 20__ г.

Зав. кафедрой технологии и оборудования
Машиностроительного производства .

Доктор технических наук, профессор

(подпись) Попок Н.Н.

Новополоцк, 2023

Содержание

ВВЕДЕНИЕ.....	1
1.Конструктивные и технологические особенности зубьев зубчатых колес	4
2. Анализ схем обработки со скрещивающимися осями	8
2.1. Формообразование пазов на цилиндрических поверхностях.....	9
2.2. Формообразование пазов на торцовых поверхностях.....	14
3. Анализ схем обработки с параллельными осями	20
4. Зубофрезерный полуавтомат повышенной точности, модель 5А308П.....	31
5. Схема формообразования, реализуемая на полуавтомате.....	35
6. Кинематическая схема станка	38
7. Настройка и наладка станка.....	40
7.1. Настройка частоты вращения шпинделя	40
7.3. Настройка величины подачи	42
7.4. Настройка на длину фрезерования	43
7.5. Поворот суппорта	44
8. Расширение технологических возможностей станка	44
9. Описание конструкции узлов станка	48
9.1. Червячная делительная пара	48
9.2. Шпиндель изделия	49
9.3. Привод подач	50
10. Электрооборудование станка	52
10.1. Описание принципиальной электросхемы	52
10.2. Полуавтоматический режим работы	53
10.3. Наладочный режим работы.....	53
11. Программа расширяющая технологические возможности зубофрезерных станков.....	55
Заключение.....	57
Литература	58

ВВЕДЕНИЕ

Современные технологии предъявляют все большие требования к используемым в них деталям, обработка которых занимает одну из важнейших ступеней на лестнице их реализации. К деталям предъявляются повышенные требования по точности их геометрии, структуре, макро- и микро неровности. Удовлетворение этих требований новейшими видами обработки не всегда возможно и целесообразно, как правило, из-за экономических соображений. Применение же традиционных методов обработки не удовлетворяет требованиям, предъявляемым к детали. Поэтому возникает необходимость в таких видах обработки, которые бы реализовались также легко, как и традиционные (как правило, обработка металлов резанием) и в тоже время удовлетворяли точностным и прочим требованиям, которые являются необходимыми в обрабатываемой детали.

Безусловно, найти такой метод, который бы позволял обрабатывать всю номенклатуру поверхностей, невозможно. Ограничимся поверхностями, которые характеризуются своей прерывистостью.

Для передачи крутящих моментов в механизмах и машинах используются, как правило, прерывистые поверхности. Профильные поверхности, несмотря на ряд их преимуществ, применяются не так широко, в виду не только трудности их формообразования, а также из-за технологических и конструктивных соображений.

К прерывистым моментопередающим поверхностям относятся различные шлицевые соединения, зубчатые колеса (прямозубые, косозубые, конические), муфты. Обработка данной группы поверхностей достаточно трудоемка и реализуется по различным схемам формообразования, имеющим не всегда удовлетворительные экономические, технологические, конструктивные показатели.

Так обработка муфт, как правило, организуется на горизонтально-фрезерном станке с периодическим поворотом детали (с помощью делительной головки или специального приспособления) для последующей обработки паза. Применение такого способа деления вызывает возникновение, а также накопление окружной погрешности на расположение пазов, что может вызвать определенные затруднения при сборке и эксплуатации машины. Более того, такой способ формообразования достаточно продолжителен, ввиду длительности, как основного, так и вспомогательного времени, а это вызывает ухудшение экономических показателей.

Но есть другие схемы формообразования, применение которых может уменьшить, а иногда и полностью исключить недостатки, возникавшие ранее. Подобных схем достаточно много, но их отсев можно произвести уже на

начальной стадии, ввиду их трудоемкости, а иногда и невозможности их организации.

Произведя подобный отбор можно выделить, для обработки моментопередающих поверхностей две схемы формообразования:

1. Схема со скрещивающимися осями инструмента и заготовки;
2. Схема с параллельными осями.

Основными задачами исследования являются:

- анализ и моделирование указанных схем обработки;
- определение рациональных методов управления формообразованием для обеспечения требуемых параметров точности и эффективных условий резания;
- разработка путей реализации данных схем обработки.

1. Конструктивные и технологические особенности зубьев зубчатых колес

Назначение зубчатых передач – передача вращения. Зубчатые колеса получили широчайшее распространение благодаря большей надежности, конструктивным особенностям, обеспечивающим меньшие габариты привода при высоком к.п.д., достигающим до 98%. Первые зубчатые колеса были деревянными и применялись в устройствах, передающих или преобразовывающих механическую энергию от природного источника, например, в оросительных устройствах, жерновах мельниц, насосах.

Вид поверхностей, описываемых мгновенной осью относительного движения зубчатых колес передачи, называемой ГОСТ 16530-83 аксоидной поверхностью, подразделяет зубчатые передачи на цилиндрические, конические, гиперболоидные (рисунок. 1.1).

Зубчатые колеса содержат достаточно большое количество конструктивных элементов и особенностей их исполнения, что значительно расширяет их многообразие.

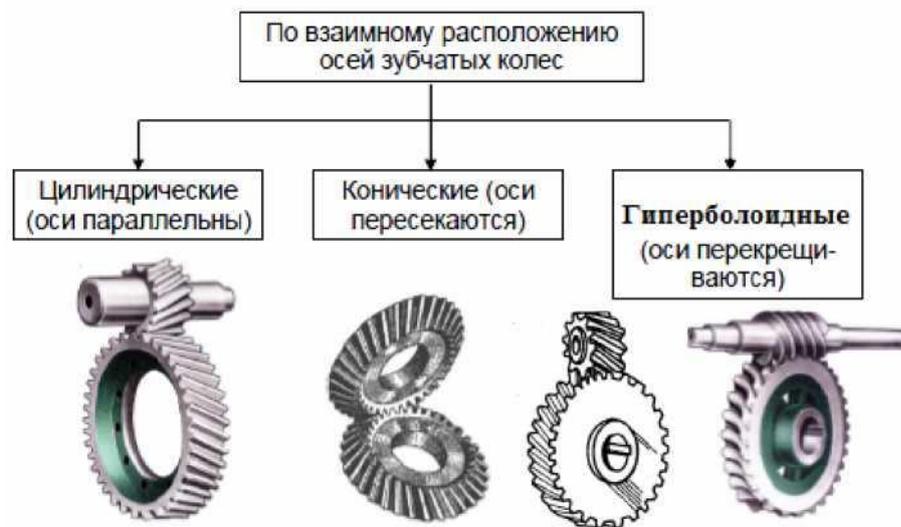


Рис. 1.1. Классификация зубчатых передач по взаимному расположению осей зубчатых колес

Зуб зубчатого колеса состоит из головки и ножки зуба, а поверхностью, отделяющую головку зуба от его ножки, является делительная поверхность d .

Важнейшими элементами зубчатых колес, осуществляющих передачу вращения, являются профили зубьев.

О зубчатых колесах было известно еще в I веке до н.э., однако теория зацепления профилей зубьев получает развитие только в конце 17 века.

Технологические преимущества эвольвентного зацепления в виде двух-трехкратного сокращения номенклатуры режущего инструмента вывело эту

форму профилей зубчатых колес вперед.

Однако, у зубчатых колес с эвольвентным профилем зубьев есть и недостатки, связанные с высокой чувствительностью таких зубчатых колес к погрешностям изготовления и монтажа, необходимостью увеличения габаритов зубчатых колес для обеспечения контактной прочности, поэтому в 1950-х гг. дополнительно была предложена зубчатая передача с выпукло-вогнутой формой профиля зубьев, известная по работе .

Теоретически точное сопряжение любых профилей зубьев скорее недостаток, чем достоинство.

Например, из-за погрешностей изготовления, сборки и деформации у теоретически точного сопряжения зубьев передач с параллельным расположением осей вращения зубчатых колес боковой зазор становится меньше допустимого, толщина слоя смазки значительно уменьшается и происходит интерференция в точке входа в зацепление. В результате зубья передач с параллельным расположением осей вращения, зачастую, при выходе из зацепления заклинивают, и передача движения становится невозможной .

При выходе зуба из зацепления теоретически точных передач с параллельными осями расположения зубчатых колес в полюсе зацепления имеет место чистое качение – износа здесь почти не происходит, а в области вершины и основания зуба имеет место максимальное скольжение, поэтому износ здесь значительно выше .

Для компенсации будущих ошибок изготовления, сборки и деформации, оказывающих влияние на работу привода, на этапе изготовления зубчатых колес вносят искажение геометрии профиля зуба отклонением от главной поверхности, которое согласно ГОСТ 16530-83 называется модификацией. ГОСТ 16530-83 различает продольную модификацию (по линии зуба), профильную (по профилю зуба) и др. виды модификации.

Профильная модификация известна достаточно давно, одним из первых исследователей, предложивших модифицировать головку зубьев цилиндрических зубчатых колес в 1938 году, был Н.Walker .

Под профильной модификацией зубьев зубчатых колес понимают изменение геометрии зацепления, улучшающее реальный процесс зацепления и повышающее прочность элементов конструкции и надежность работы зубчатых передач .

Модификация зуба зубчатых передач с параллельными осями вращения по длине зуба снижает чувствительность передачи к погрешностям сборки, а по высоте смягчает взаимодействие зубьев в момент выхода одной пары из зацепления и входа другой .

Величины деформации при начале взаимодействия очередной пары зубьев могут превышать погрешность изготовления зубчатых колес, поэтому

для зубчатых передач при модификации профиля зубьев необходимо учитывать и деформации элементов зубчатого колеса, так как их наличие «не позволяет исключить кромочный контакт даже при полном отсутствии погрешностей зубьев колес» .

Наиболее значительное влияние на величину динамической нагрузки и плавность работы прямозубой цилиндрической передачи с параллельным расположением осей вращения оказывает погрешность шага зацепления (*fpb*), а погрешности профиля зубьев (*ffr*) приводят к так называемым обратным ударам, нарушающим плавность работы передачи. Существуют как экспериментальные методы, так и теоретические методы определения величины модификации. Практический метод является более точным, однако дорогостоящим и длительным, кроме того неправильный выбор модификации может приводить к разрушению не только редуктора, но и двигателя. Снизить, либо полностью исключить дорогостоящие издержки при назначении рациональной формы модификации зубьев позволяет использование современных способов компьютерного проектирования и компьютерной имитации .

Известны различные формы модифицированных профилей зубьев. Как правило, профильная модификация сводится к замене участка боковой поверхности зуба прямой, эвольвентой или кривой второго порядка. Некоторые варианты зубьев с профильной модификацией приведены на рисунке 1.1.

В работе было показано, что зубчатая передача с локализацией пятна контакта мало чувствительна к погрешностям изготовления и сборки.

При формообразовании зубьев зубчатых передач важно осуществлять модификацию зубьев для компенсации погрешностей, имевших место при изготовлении, сборке и деформации зубчатого колеса под нагрузкой.

Незакругленная острая кромка зубьев без модификации может способствовать образованию на ножке смежного зуба лунок, что может сделать работу передачи непредсказуемой .

В работах были приведены исходные контуры инструментальной рейки с компенсирующим предыскажением режущей кромки инструмента в виде скругления режущей кромки по дуге окружности. Однако, такая форма режущих кромок требует осуществления дополнительного искривления режущей кромки фрезы.

ГОСТ 13755-81 предусматривает модификацию исходного контура инструмента прямой линией в зависимости от модуля передачи.

Профильную модификацию осуществляют различными технологическими способами: за счет смещения профилирующей точки шлифовального круга на расчетную величину внесением предыскажений режущих кромок инструмента. Технологически проще внесение

предыскажений режущих кромок инструмента, работающего методом обката, так как профиль фрезы выполнен в виде прямолинейных участков, каждый из которых формирует на зубе колеса соответствующую эвольвенту .

Однако, переходный участок эвольвент, образованных таким инструментом, работает как острая кромка зуба. Сравнение показывает, что качественные характеристики с модификацией режущих кромок по дуге окружности выше, чем зубчатых колес, изготовленных инструментом с модификацией режущих кромок прямой линией, образующих модификацию зубьев по эвольвенте .

Иногда модификация выполняется и слесарным способом путем закругления кромок зубьев .

Продольную модификацию зубьев осуществляют различными технологическими методами: модификацией формообразующих движений станка с использованием модификатора эксцентрикового механизма обкатного движения станка , наклона оси изделия по отношению к оси шевера, изменением размера делительной поверхности инструмента и другими методами.

2. Анализ схем обработки со скрещивающимися осями

По этой схеме формообразования можно производить обработку различных поверхностей. Выделим поверхности, которые будут рассматриваться как объекты, на которых располагаются пазы:

- цилиндрические поверхности;
- торцовые поверхности.



Рис. 2.1 Детали обрабатываемые по схеме резцом летучка

2.1. Формообразование пазов на цилиндрических поверхностях

Принцип, положенный в основу обработки пазов по данной схеме формообразования, заключается в направлении скорости резания вдоль обрабатываемого паза (рис.2.2).

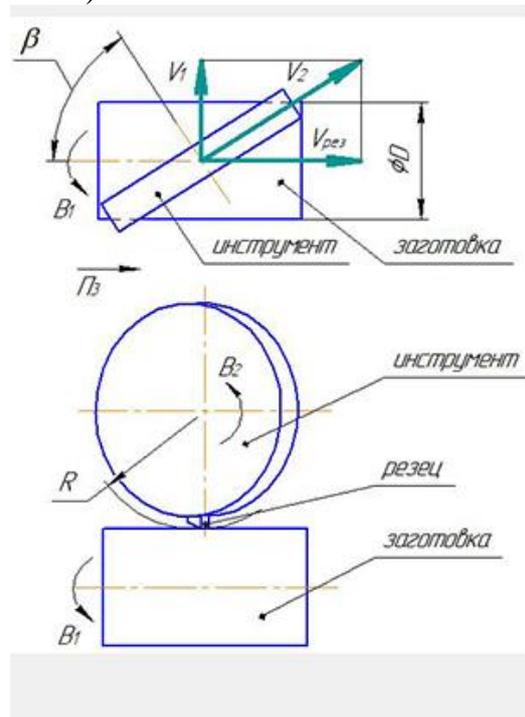


Рис. 2.2. Схема формообразования

Скорость резания складывается из скорости заготовки и скорости инструмента :

$$\dot{V}_p = \dot{V}_3 + \dot{V}, \quad (2.1)$$

где V_p , V_3 , V_i - скорости соответственно резания, заготовки и инструмента.

Данные скорости можно представить в виде:

$$V = R\omega, \quad (2.2)$$

$$V = R_3\omega, \quad (2.3)$$

$$V_p = \sqrt{(R\omega)^2 - (R_3\omega_3)^2}, \quad (2.4)$$

где R и R_3 - радиусы инструмента и заготовки,

ω и ω_3 - скорости инструмента и заготовки соответственно.

Необходимо также согласовать вращение B_1 заготовки и инструмента B_2 для образования всех пазов

$$\omega = \frac{Z}{Z} \omega.$$

(2.5)

Тогда

$$V_p = \omega \sqrt{R^2 - \left(R_3 \frac{Z}{Z}\right)^2},$$

(2.6)

где Z_i и Z_p - число резцов и пазов соответственно.

Поэтому

$$\omega = \frac{V_p}{\sqrt{R^2 - \left(R_3 \frac{Z}{Z}\right)^2}},$$

(2.7)

Из формулы (2.7) следует требование к параметрам инструмента

$$R^2 > \left(R_3 \frac{Z}{Z}\right)^2, \text{ или } R > R_3 \frac{Z}{Z},$$

(2.8)

Учитывая, что частота вращения инструмента

$$n = \frac{\omega}{2\pi},$$

(2.9)

получим

$$n = \frac{Vp}{2\pi \sqrt{R^2 - \left(R_3 \frac{Z}{Z}\right)^2}},$$

(2.10)

Определяем необходимый угол установки μ резцовой головки.
Из рис.2.2.

$$\cos \mu = \frac{Vp}{V}.$$

(2.11)

Подставляя в формулу (2.11) выражения (2.2) и (2.6), получаем:

$$\cos \mu = \frac{\sqrt{R^2 - \left(R_3 \frac{Z}{Z}\right)^2}}{R}.$$

Отсюда

$$\mu = \arccos \frac{\sqrt{R^2 - \left(R_3 \frac{Z}{Z}\right)^2}}{R}.$$

(2.12)

Рассмотрим обработку по этой схеме прямобочных пазов. При данной схеме формообразования необходимо определить углы в плане на резце для исключения подрезания обрабатываемого профиля паза.

Зададимся расположением резца 1 на резцовой головке 2.

Возможно три основных положения резца:

- а) перпендикулярно пазу;
- б) параллельно оси резцовой головки;
- в) в произвольном положении.

Выбираем схему с расположением резца перпендикулярно пазу. При таком расположении резца его производящий контур ближе всего к профилю обрабатываемого паза, что значительно облегчает проектирование инструмента.

Наиболее вероятно подрезание обрабатываемого паза резцом 1 при его входе и выходе из паза .

Для исключения подрезания необходимо, чтобы при выходе или заходе боковая грань резца и боковая грань паза лежали на одной линии. Искажения, связанные с положением резца, исключаются благодаря расположению резца перпендикулярно пазу.

Основываясь на выше изложенном, строим схему положения боковой кромки резца.

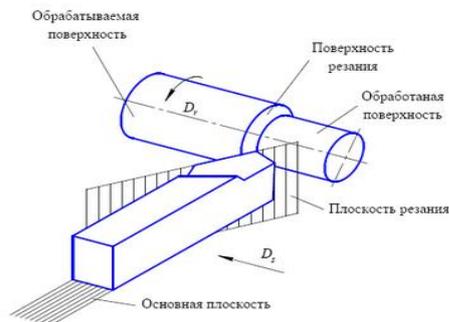


Рис.2.3 Резец перпендикулярно пазу

$$(2.13) \quad \varphi = \arccos \frac{AB}{O_1B},$$

где O_1B - радиус обрабатываемой заготовки.

$$AB = \sqrt{R_3^2 - O_1A^2};$$

$$AB = \sin \mu CB;$$

$$CB = \sqrt{R^2 - O_2C^2};$$

$$O_2D = R + R_3 - h;$$

где h - глубина паза.

Отсюда

$$\begin{aligned}
O_2C &= R + R_3 - h - AO_1, \\
\begin{cases} AB = \sqrt{R_3^2 - O_1A^2} \\ AB = \sin \mu \sqrt{R^2 - (R + R_3 - h - O_1A)^2} \end{cases}, \\
AB^4 \left(\frac{1}{\sin^2 \mu} - 1 \right)^2 - AB^2 \left(\left(2 \frac{1}{\sin^2 \mu} - 1 \right) * m - 4 * k \right) + m^2 - 4 * k * R_3^2 &= 0, \\
m &= R^2 - k^2 - R_3^2, \\
k &= R + R_3 - h.
\end{aligned}
\tag{2.14}$$

Решая уравнение 2.14, находим величину АВ и, подставляя ее в выражение 2.13, находим необходимый угол заточки инструмента.

Определим диапазон, в котором изменяется угол в плане для стандартных прямобоочных шлицев в зависимости от числа обрабатывающих резцов при постоянном радиусе резцовой головки.

Для этого определим изменение угла установки резцовой головки (рис. 2.4).

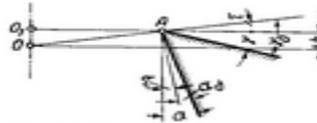


Рис.2.4. Изменение углов при установке инструмента

На основе полученного графика и формул, приведенных ранее, строим график зависимости угла заточки резца от параметров схемы обработки .

Здесь представлена также кривая, показывающая изменение угла заточки при переменном радиусе заготовки и постоянных глубине паза, числе пазов и числе резцов. Данные позволяют выбирать параметры инструмента в зависимости от параметров схемы обработки.

2.2. Формообразование пазов на торцовых поверхностях

При обработке пазов резцовой головкой 2 на торцовых поверхностях по схеме со скрещивающимися осями из-за непостоянности окружной скорости на торце заготовки 1 вследствие движения Π_3 происходит изменение результирующей скорости V_p по величине и направлению.

$$\begin{aligned}V_p &= \sqrt{V^2 - V_3^2}, \\V_3 &= R_3 \omega_3, \\ \omega &= \omega_3 \frac{Z}{R}, \\V &= V_3 \frac{R}{R_3} \frac{Z}{Z} = \omega_3 R \frac{Z}{R_3}, \\V_p &= V \sqrt{1 - \left(\frac{R_3 Z}{R Z}\right)^2} = R \omega \sqrt{1 - \left(\frac{R_3 Z}{R Z}\right)^2}.\end{aligned}$$

(2.15)

Осуществить процесс обработки при соблюдении условия прямолинейности паза можно, если:

1. R уменьшать вместе с R_3 .

Недостатками такого пути является сложность конструкции резцовой головки, а следовательно, пониженная жесткость, а также невозможность осуществить $R=0$.

2. Оставить положение резцовой головки неизменным, направленным к центру заготовки.

Из рисунка видно что, при обработке длинных пазов контакт резца и заготовки будет происходить на дуге АВ.

Угол, определяющий длину дуги,

$$\alpha = 2 \arccos \frac{R-h}{R},$$

где R - радиус резцовой головки,

h - глубина обрабатываемого паза.

Отсюда длина дуги

$$AB = \frac{\pi}{90} R \arccos \frac{R-h}{R},$$

а время контакта резца с заготовкой

$$t = \frac{\pi \arccos\left(1 - \frac{h}{R}\right)}{90\omega}.$$

Поэтому возникает погрешность обработки паза

$$\Delta l = tV_3 = \frac{\pi}{90\omega} R_3 \omega_3 \arccos\left(1 - \frac{h}{R}\right) = \frac{\pi}{90} R_3 \frac{Z}{Z} \arccos\left(1 - \frac{h}{R}\right).$$

(2.16)

3. Изменять ориентацию резцовой головки 2 в процессе обработки пазов, чтобы обеспечивать направление результирующей скорости V_p к центру обрабатываемой заготовки 1, за счет изменения угла β .

Из представленной схемы следует :

$$\begin{aligned} X &= l \sin \beta, \\ \cos \beta &= \frac{V_3}{V} = \frac{R_3 Z}{RZ}, \\ X &= l \sin\left(\arccos \frac{R_3 Z}{RZ}\right). \end{aligned}$$

(2.17)

Если выполнить условие

$$\frac{1}{R} \frac{Z}{Z} = const,$$

то для обработки детали можно пользоваться копиром, определяющим положение резцовой головки, причем одним. Однако использование копира нерационально ввиду трудоемкости настройки.

Зная закон изменения угла β , можно разработать механизм, который будет автоматически изменять положение резцовой головки, при этом отпадает необходимость в изготовлении копира или изменяющейся по диаметру резцовой головки.

Тангенциальный механизм удовлетворяет необходимому закону движения :

$$\begin{aligned} \cos \beta &= \frac{X}{R'}, \\ \cos \beta &= \frac{R_3 Z}{RZ}. \end{aligned}$$

(2.18)

$$\begin{aligned} X &= R_3, \\ \frac{1}{R'} &= \frac{Z}{RZ}, \\ R' &= \frac{RZ}{Z}. \end{aligned}$$

(2.19)

В данном механизме настроечным параметром является R' , что достаточно легко осуществить практически.

Обработку коротких пазов, например кулачковых муфт, целесообразно производить без радиального перемещения Π_3 резцовой головки, благодаря чему существенно упрощается кинематика формообразования. Допускаемое отклонение впадины паза от прямолинейности обеспечивается в этом случае за счет выбора диаметра резцовой головки.

При рассмотрении данной схемы осветим три основных вопроса:

- 1) Оптимальный диаметр инструмента,
- 2) Установка инструмента относительно заготовки,
- 3) Погрешность обработки.

Оптимальным диаметром инструмента при такой схеме формообразования является наибольшим. Поэтому задача оптимизации сводится к определению наибольшего допустимого диаметра. Одним из главных ограничителей здесь выступает заготовка. Необходимо, чтобы инструмент не входил в контакт с противоположной стороной заготовки.

На рисунке представлены следующие параметры:

$2m$ - ширина обрабатываемого паза,
 $OA=R_{cp}$ - средний радиус заготовки,

$$R_{cp} = \frac{R_3 + r_3}{2},$$

(2.20)

где R_3 и r_3 - наибольший и наименьший радиусы заготовки соответственно, λ - угол, определяющий установку инструмента,

$$\lambda = 90 - \arccos \frac{R_{CP}}{RN},$$

(2.21)

N - передаточное отношение,
 R - радиус инструмента,
 h - глубина обрабатываемого паза.
Из нижнего рисунка вытекает, что:

$$\begin{aligned} R^2 &= (R - h)^2 + H^2 \\ R^2 &= R^2 - 2Rh + h^2 + H^2 \quad . \\ 2R &= D = \frac{h^2 + H^2}{h} = h + \frac{H^2}{h} \end{aligned}$$

Из многоугольника $OABC$, представленного на верхнем рисунке, вытекает, что:

$$\begin{aligned} H &= CK + KB \\ CK &= \sqrt{r_3^2 - OK^2} \\ OK &= m + R_{CP} \sin \lambda \\ CK &= \sqrt{r_3^2 - (m + R_{CP} \sin \lambda)^2} \\ KB &= R_{CP} \cos \lambda \\ H &= \sqrt{r_3^2 - (m + R_{CP} \sin \lambda)^2} + R_{CP} \cos \lambda \end{aligned}$$

В результате, возможно составить систему уравнений, решая которую можно найти оптимально допустимый радиус инструмента при заданных параметрах обрабатываемой детали:

$$\left\{ \begin{aligned} H &= \sqrt{r_3^2 - (m + R_{CP} \sin \lambda)^2} + R_{CP} \cos \lambda \\ 2R &= \frac{h^2 + H^2}{h} \\ \lambda &= 90 - \arccos \frac{R_3}{RN} \end{aligned} \right. \quad .$$

(2.22)

Определив из представленной системы оптимальный радиус инструмента и сравнив его с возможностями установки его на станке, определим окончательный радиус инструмента.

На следующем этапе определим параметры установки инструмента относительно заготовки :

$$\begin{aligned} X &= R_{CP} \cos \lambda \\ Y &= R_{CP} \sin \lambda \end{aligned} \quad (2.23)$$

Определив параметры инструмента и его установку можно определить точностные параметры, получаемые в процессе формообразования по рассматриваемой схеме.

При данной схеме формообразования возможны только три погрешности, определяемые недостатками предлагаемой схемы. Количество этих погрешностей определяется количеством поверхностей, формируемых резцом.

Считаем, что все параметры настройки станка абсолютны, то есть, нет кинематической погрешности, нет погрешности установки инструмента относительно заготовки и т.д.

Погрешность обработки поверхности 2 определяется вращательным движением резцовой головки. Отклонение от плоскостности поверхности 2 будет определяться из формулы .

$$\Delta_2 = R - \sqrt{R^2 - \left(\frac{R_3 - r_3}{2}\right)^2} \quad (2.24)$$

Погрешности обработки поверхностей 1 и 3 по абсолютной величине одинаковы. Основным их отличием является выпуклость одной и вогнутость другой.

Траектория движения точки на режущей кромке резца в проекции на плоскость паза заготовки описывается системой уравнений:

$$\begin{cases} X = L \sin \alpha - m \cos(\alpha + \lambda) - R \sin(N\alpha) \sin(\alpha + \lambda) \\ Y = L \cos \alpha + m \cos(\alpha + \lambda) - R \sin(N\alpha) \cos(\alpha + \lambda) \end{cases} \quad (2.25)$$

где $L=R_{CP}$ - размер установки резцовой головки относительно заготовки.

Зная уравнение данной траектории, определение погрешности обработки поверхностей 1 и 3 не составит затруднений.

Предлагаемая система уравнений описывает траекторию точки на режущей кромке резца, установленном перпендикулярно резцовой головке, или режущая кромка параллельно оси вращения инструмента.

Если режущая кромка резца расположена перпендикулярно обрабатываемому пазу, то система уравнений, описывающая траекторию точки на рассматриваемом резце, примет вид:

$$\begin{cases} X = L \sin \alpha - m \cos \alpha - R \sin(N\alpha) \sin(\alpha + \lambda) \\ Y = L \cos \alpha + m \cos \alpha - R \sin(N\alpha) \cos(\alpha + \lambda) \end{cases} \cdot$$

(2.26)

3. Анализ схем обработки с параллельными осями

Схема обработки пазов на торце при параллельных осях заготовки 1 и резцовой головки 2 показана на рис.3.1

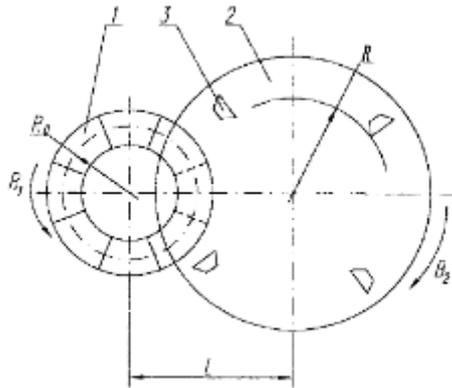


Рис.3.1. Способ обработки пазов на торцах детали

Найдем траекторию, по которой движется точка кромки резца 3.

Возможны два вида траектории:

- а) при встречном вращении заготовки и инструмента;
- б) при попутном их вращении.

Траектория при встречном вращении описывается уравнениями

$$\begin{cases} X = L \cos \alpha - R \cos(\beta - \alpha) \\ Y = L \sin \alpha + R \sin(\beta - \alpha) \end{cases},$$

(3.1)

где L - расстояние между осями заготовки и инструмента,

R- радиус резцовой головки,

β и α - углы поворота инструмента и заготовки соответственно

Траектория при попутном вращении

$$\begin{cases} X = L \cos \alpha - R \cos(\alpha + \beta) \\ Y = R \sin(\alpha + \beta) - L \sin \alpha \end{cases},$$

(3.2)

Углы поворота в обоих случаях связаны с отношением

$$\beta = N\alpha,$$

где N - передаточное число.

Остановимся более подробно на встречном вращении при $N=2$ и $L=R$. В этом случае уравнение траектории примет вид

$$\begin{cases} X = 0 \\ Y = 2R \sin \alpha \end{cases},$$

(3.3)

Если принять, что это траектория центральной точки резца, а ширина резца равна $2K$, то траектория дальней точки

$$\frac{X^2}{K^2} + \frac{Y^2}{(2R+K)^2} = 1,$$

(3.4)

траектория ближней точки

$$\frac{X^2}{K^2} + \frac{Y^2}{(2R-K)^2} = 1,$$

(3.5)

В результате не прямолинейности траектории крайних точек резца возникает искажение профиля обрабатываемого паза.

Определим отклонение ΔX профиля (рис.3.2).

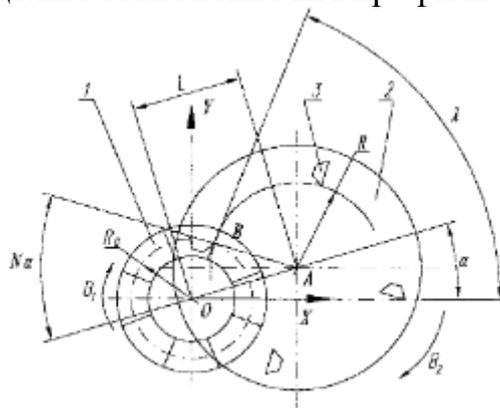


Рис.3.2.Отклонение ΔX профиля

$$\Delta X = K - X,$$

$$K - X = K - K \sqrt{1 - \left(\frac{Y}{2R - K}\right)^2},$$

$$2R = D = K + \sqrt{\frac{Y^2}{\frac{2\Delta X}{K} - \left(\frac{\Delta X}{K}\right)^2}},$$

$$Y = OA = \sqrt{OB^2 - AB^2} = \sqrt{R_3^2 - (K - \Delta X)^2},$$

тогда,

$$R = 0.5 \left(K + \sqrt{\frac{R_3^2 - (K - \Delta X)^2}{\frac{2\Delta X}{K} - \left(\frac{\Delta X}{K}\right)^2}} \right). \quad (3.6)$$

Используя полученное уравнение, можно, исходя из требуемой точности и параметров паза, определить наименьший допустимый диаметр D резцовой головки (рис. 3.3).

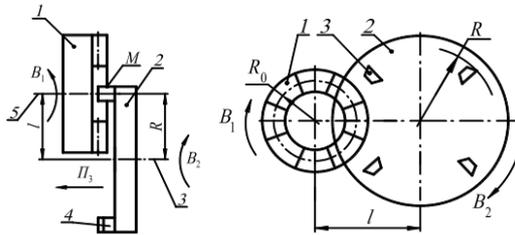


Рис. 3.3 Схема обработки пазов резцовой головкой

Эффективной областью применения данной схемы формообразования является обработка пазов в корончатых гайках и аналогичных деталях. Благодаря совмещению процессов деления и формообразования, а также направлению движения подачи вдоль оси вращения заготовки, технологическая производительность обработки по сравнению с традиционной повышается в 3-4 раза.

Недостатком рассмотренной выше схемы при передаточном отношении $1/2$, является то, что по ней можно обрабатывать только пазы с параллельными гранями, а это существенно уменьшает универсальность данной схемы. Однако при изменении передаточного отношения с $1/2$ на $1/3$

или 1/5 и т.д. возможно исключить этот недостаток, однако возникает ряд новых проблем которые, мы попытаемся решить ниже.

Заготовка 2 и инструмент 1 совершают согласованное вращение, в результате которого формируются пазы на торце. Распространение пазов в глубь заготовки производится подачей инструмента вдоль оси заготовки, то есть в принципе основные принципы предыдущей схемы перекочевали в рассматриваемую.

Детали, имеющие пазы на торце, являются, как правило, тонкостенными типа муфт. Основным требованием к деталям этого типа является сходимость граней пазов к центру. Также желательным является условие выпуклости паза, так как с таким профилем моментопередающие детали и муфты лучше переносят нагрузки, возникающие в процессе эксплуатации детали.

Траектория движения точки, лежащей на кромке резца, при обработке по рассматриваемой схеме (в относительном движении) описывается системой уравнений:

$$\begin{cases} X = L \cos \alpha - R \cos((N - 1)\alpha) \\ Y = L \sin \alpha + R \sin((N - 1)\alpha) \end{cases},$$

(3.7)

где L-установка или расстояние между осями заготовки и инструмента,

R- радиус резцовой головки или радиус, определяющий положение рассматриваемой точки,

α - угол поворота заготовки или перемещение резцовой головки в относительном движении,

N- передаточное отношение,

X, Y- координаты рассматриваемой точки.

Требования, предъявляемые к деталям будут выполняться, если они удовлетворяются в центральной точке грани (рис.3.4).

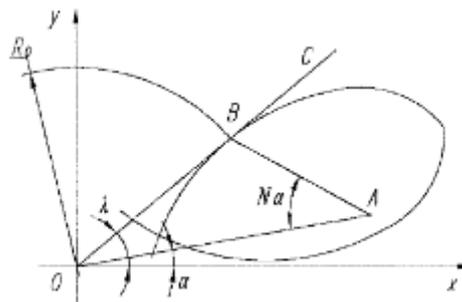


Рис. 3.4. Траектория центральной точки грани режущей кромки

Условие сходимости граней к центру будет выполняться, если центральная точка, образованная траекторией точки режущей кромки, будет лежать на касательной, проведенной к траектории движения в рассматриваемой точке.

Уравнение касательной к любой траектории описывается уравнением:

$$\frac{X - x}{x'} = \frac{Y - y}{y'},$$

(3.8)

где X, Y - текущие координаты точки на касательной,
 x, y - координаты точки касания,
 x', y' - производные параметрического уравнения.

В нашем случае:

$$\begin{aligned} x' &= -L \sin \alpha + R(N - 1) \sin((N - 1)\alpha) \\ y' &= L \cos \alpha + R(N - 1) \cos((N - 1)\alpha) \end{aligned}$$

Если касательная будет проходить через центр заготовки, то при $X=0$ будет выполняться условие $Y=0$, так как центр заготовки есть начало координат. Тогда уравнение касательной должно принять вид:

$$\frac{X}{x'} = \frac{Y}{y'}$$

(3.9)

Необходимо также определить местоположение центральных точек на траектории точки режущей кромки. Все центральные точки лежат на окружности, описываемой уравнением:

$$x^2 + y^2 = R_3^2,$$

(3.10)

где R_3 - радиус заготовки или радиус, определяющий положение центральных точек.

Причем необходимо отметить, что если мы хотим, чтобы выпуклость обрабатываемого паза была равносторонней, то:

$$R_3 = \frac{R_{BH} + R_{BHY}}{2},$$

где $R_{вну}$ и $R_{вн}$ - внутренний и внешний радиусы обрабатываемой заготовки соответственно.

Составляя систему уравнений, из вышеописанных выражений, из нее можно будет найти параметры резцовой головки и установки ее относительно заготовки.

Система уравнений имеет следующий вид:

$$(3.11) \quad \begin{cases} x = L \sin \alpha - R \sin((N-1)\alpha) \\ y = L \cos \alpha + R \cos((N-1)\alpha) \\ \frac{x}{L \cos \alpha - R(N-1) \cos((N-1)\alpha)} = \frac{y}{-L \sin \alpha - R(N-1) \sin((N-1)\alpha)}, \\ x^2 + y^2 = R_3^2 \\ \begin{cases} x^2 = (L \sin \alpha - R \sin((N-1)\alpha))^2 \\ y^2 = (L \cos \alpha + R \cos((N-1)\alpha))^2 \\ \frac{x}{x'} = \frac{y}{y'} \\ x^2 + y^2 = R_3^2 \end{cases} \end{cases}.$$

Складывая почленно, два первых уравнения получим:

$$x^2 + y^2 = L^2 \sin^2 \alpha - 2LR \sin((N-1)\alpha) \sin \alpha + R^2 \sin^2((N-1)\alpha) + L^2 \cos^2 \alpha + 2L \times \\ \times R \cos((N-1)\alpha) \cos \alpha + R^2 \cos^2((N-1)\alpha)$$

ТАК КАК, $\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$ ТО,

$$x^2 + y^2 = L^2 + 2LR(\cos((N-1)\alpha) \cos \alpha - \sin((N-1)\alpha) \sin \alpha) + R^2,$$

ТАК КАК, $\cos(\alpha + \beta) = \cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta$ ТО,

$$x^2 + y^2 = L^2 + 2LR \cos(N\alpha) + R^2. \quad (3.12)$$

Система уравнений примет вид :

$$\begin{cases} R_3^2 = L^2 + 2LR \cos(N\alpha) + R^2 \\ \frac{L \sin \alpha - R \sin((N-1)\alpha)}{L \cos \alpha - R(N-1) \cos((N-1)\alpha)} = \frac{L \cos \alpha + R \cos((N-1)\alpha)}{-L \sin \alpha - R(N-1) \sin((N-1)\alpha)}. \end{cases} \quad (3.13)$$

Преобразуем второе уравнение системы уравнений:

$$\frac{(L \sin \alpha - R \sin((N-1)\alpha))(-L \sin \alpha - R(N-1) \sin((N-1)\alpha))}{(L \cos \alpha - R(N-1) \cos((N-1)\alpha))(-L \sin \alpha - R(N-1) \sin((N-1)\alpha))} - \frac{(L \cos \alpha + R \cos((N-1)\alpha))(L \cos \alpha - R(N-1) \cos((N-1)\alpha))}{(L \cos \alpha - R(N-1) \cos((N-1)\alpha))(-L \sin \alpha - R(N-1) \sin((N-1)\alpha))} = 0,$$

отсюда следует:

$$\begin{aligned} -L^2 + (N-1)R^2 - \sin \alpha \sin((N-1)\alpha)(-RL + RL(N-1)) + \cos \alpha \cos((N-1)\alpha) \times \\ \times (-RL + RL(N-1)) = 0 \\ -L^2 + (N-1)R^2 + (-RL + RL(N-1) \cos(N\alpha)) = 0 \end{aligned}$$

Из полученного выражения находим:

$$\cos(N\alpha) = \frac{L^2 - (N-1)R^2}{(-RL + RL(N-1))}. \quad (3.14)$$

Подставляя полученное выражение в первое уравнение системы уравнений, получим:

$$\begin{aligned} R_3^2 &= L^2 + R^2 + 2LR \frac{L^2 - (N-1)R^2}{LR((N-1)-1)} \\ R_3^2 &= L^2 + \frac{2}{N-2} L^2 - \frac{2}{N-2} (N-1)R^2 + R^2 \end{aligned}$$

Отсюда:

$$L = \pm \sqrt{\frac{R_3^2 + \frac{2}{N-2}(N-1)R^2 - R^2}{\left(1 + \frac{2}{N-2}\right)}} = \pm \sqrt{R^2 + R_3^2 \frac{N-2}{N}}.$$

(3.15)

Определим необходимый радиус резцовой головки, при котором центральные точки будут лежать на касательных, идущих через центр заготовки, а расстояние между ними одинаково.

Составим систему уравнений, определяющую местоположение центральных точек:

$$\begin{cases} x = L \sin \alpha - R \sin((N-1)\alpha) \\ y = L \cos \alpha + R \cos((N-1)\alpha) \\ x^2 + y^2 = R_3^2 \end{cases}.$$

(3.16)

Из полученной системы уравнений можно вывести:

$$R_3^2 = L^2 + R^2 - 2LR \cos(N\alpha).$$

(3.17)

Для выполнения условия сходимости обрабатываемых граней к центру используем выражение (3.15). Тогда после небольших преобразований получим:

$$\alpha = \pm \frac{\left(\arccos \left(\frac{R_3^2 \left(1 - \frac{N-2}{N} \right) - 2R^2}{-2R \sqrt{R^2 + \frac{N-2}{N} R_3^2}} \right) \right)}{N}.$$

(3.18)

Учитывая особенности составления уравнения траектории точки на режущей кромке, замечаем, что петли траектории, расположены симметрично оси абсцисс.

Для соблюдения условия равенности расстояний между центральными точками необходимо, чтобы угол между осью абсцисс и отрезком ОВ был равным (см. рис. 3.4).

$$\angle \lambda = \frac{360}{2N} + \frac{360}{4N} .$$

(3.19)

Рассмотрим треугольник АОВ, в котором ОА есть установка или расстояние между осями заготовки и инструмента, АВ радиус резцовой головки, ОВ радиус заготовки. Из него по теореме косинусов можно записать:

$$L^2 = R_3^2 + R^2 + 2R_3R \cos \left(N\alpha + \left(\frac{360}{2N} + \frac{360}{4N} - \alpha \right) \right) .$$

(3.20)

Учитывая условие сходимости граней к центру, описываемых выражением (3.15), составляем систему уравнений, решая которую, можно найти радиус резцовой головки, удовлетворяющий предъявляемым условиям:

$$\left\{ \begin{array}{l} R = \frac{R_3^2 - \frac{N-2}{N}R_3^2}{-2R_3 \cos \left(N\alpha + \left(\frac{360}{2N} + \frac{360}{4N} - \alpha \right) \right)} \\ \alpha = \pm \frac{\left(\arccos \left(\frac{R_3^2 \left(1 - \frac{N-2}{N} \right) - 2R^2}{-2R \sqrt{R^2 + \frac{N-2}{N}R_3^2}} \right) \right)}{N} \end{array} \right. .$$

(3.21)

Определим необходимую и достаточную ширину резца. Для исключения возникновения заусенца необходимо, чтобы расхождение траектории крайних точек режущей кромки происходило на крайнем (внешнем) радиусе заготовки.

$$(3.22) \quad \left\{ \begin{array}{l} x = L \cos \alpha - (R + h) \cos((N - 1)\alpha) \\ \alpha = \pm \frac{\left(\arccos \left(\frac{R_{BH}^2 - L^2 - (R + h)^2}{-2L(R + h)} \right) \right)}{N} , \\ x = R_{BH} \sin \left(90 - \frac{720}{2N} \right) \end{array} \right.$$

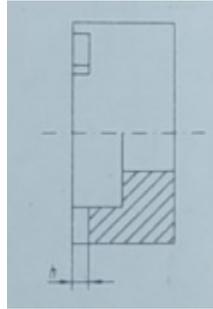


Рис. 3.5 Необходимая и достаточная ширина резца

где h - необходимая и достаточная ширина резца.

Решая систему уравнений (3.22), найдем требуемый размер резца, причем необходимо отметить, что h есть абсолютно необходимая ширина резца. Действительный его размер должен быть больше абсолютного с учетом возможности переточки.

Важной задачей при рассмотрении любой схемы формообразования является определение необходимых и достаточных углов в геометрии инструмента.

В процессе резания по рассматриваемой схеме резец движется по дуге, а режущая кромка не лежит на нормали к траектории. Причем угол между нормалью и режущей кромкой в процессе обработки изменяется. Экстремальные значения угла приходятся на наибольший радиус заготовки. Изменение угла вне заготовки не представляют интереса. Координаты экстремальной точки определяются углом α :

$$(3.23) \quad \alpha = \frac{\arccos \left(\frac{R_{BH}^2 - L^2 - R^2}{-2LR} \right)}{N} .$$

Подставляя значения угла α в уравнение траектории, точки на режущей кромке в относительном движении, определим координаты интересующей нас точки.

Используя выражение (3.9), выводим уравнение касательной к рассматриваемой точке с последующим определением координат пересечения касательной с осью ординат (рис. 3.6).

X, Y - координаты рассматриваемой точки,

Y' - координата пересечения касательной к траектории в рассматриваемой точке с осью ординат.

Рассмотрим треугольник OAC из него следует что:

$$\angle ACO = 180 - N\alpha - (90 - \alpha).$$

Определим угол BKC в треугольнике BKC :

$$\angle BKC = \operatorname{arctg} \frac{X}{Y - Y'}.$$

Тогда значения экстремальных углов φ' и φ'' будут равны:

$$\varphi' = 180 - (\angle ACO + \angle BKC)$$

$$\varphi'' = 180 - \varphi'$$

(3.24)

Здесь угол φ' является экстремальным углом с одной стороны петли, а φ'' с другой стороны, это обусловлено симметричностью траектории движения режущей кромки в относительном движении.

4. Зубофрезерный полуавтомат повышенной точности, модель 5А308П

Общие сведения

Зубофрезерный станок 5А308П повышенной точности предназначен для фрезерования цилиндрических зубчатых колес из чугуна, стали, легированных сталей, легких сплавов и пластмасс с максимальным наружным диаметром 80 мм, числом зубьев от 8 до 520 и максимальным модулем 1 мм в условиях мелкосерийного, серийного и крупносерийного производства (рис. 4.1).

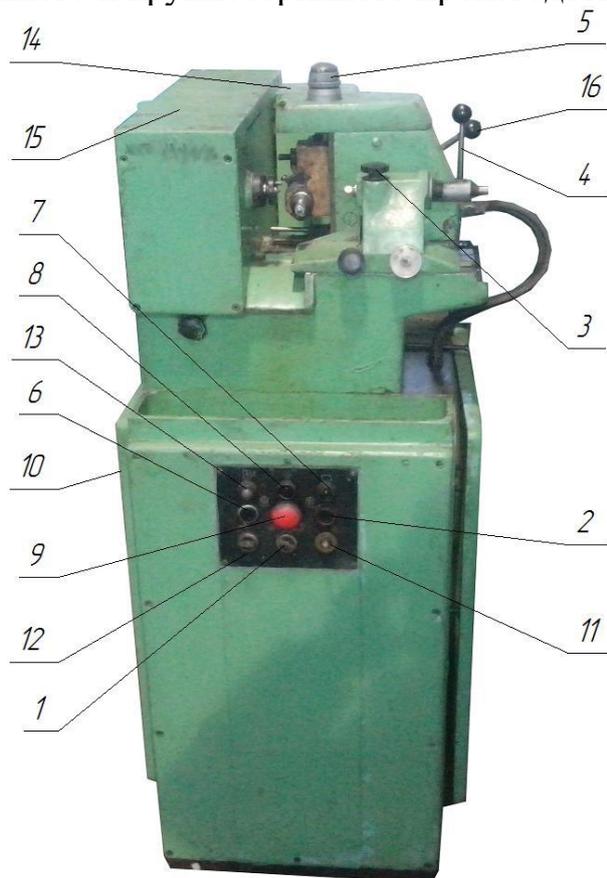


Рис. 4.1 Общий вид зубофрезерного станка 5А308П с обозначением органов управления:

1 - переключатель режима работы; 2 - кнопка быстрого отвода каретки; 3 – рукоятка зажима пиноли задней бабки; 4 – рукоятка зажима детали; 5 – лимб установки межосевого расстояния; 6 – кнопка быстрого подвода каретки; 7 – сигнальная лампа «цикл включен»; 8 – кнопка «пуск» включения фрезы; 9 – кнопка «стоп» станка; 10 – главный выключатель; 11 – выключатель освещения; 12 – выключатель охлаждения; 13 – сигнальная лампа «станок под напряжением»; 14 – гитара деления; 15 – гитара подач; 16 – рукоятка включения цикла.

При чистовых режимах данный станок обеспечивает 6-ую степень точности обработанных зубчатых колес (по ГОСТу 9178-59) при условии нарезания червячными фрезами класса ААА.

Полуавтомат работает методом обката червячной фрезы и обрабатываемого колеса. Станок (рис. 4.2) имеет горизонтальную компоновку с фрезерной кареткой 1, перемещающейся по направляющим параллельно оси заготовки. Шпиндель инструмента 2, установленный в вертикальном суппорте

каретки 1, получает вращение через телескопический универсальный шарнир 5. Габариты рабочего пространства представлены на (рис. 4.3).

Настройка числа оборотов фрезы производится переключением коробки скоростей, а настройка величины подачи и числа обрабатываемых зубьев – гитарами сменных колес.

Делительный червяк выполнен с прогрессивным шагом для регулировки зазора в делительной червячной паре.

Включение станка по полуавтоматическому циклу производится рукояткой подъема фрезы 6 на межцентровое расстояние обработки.

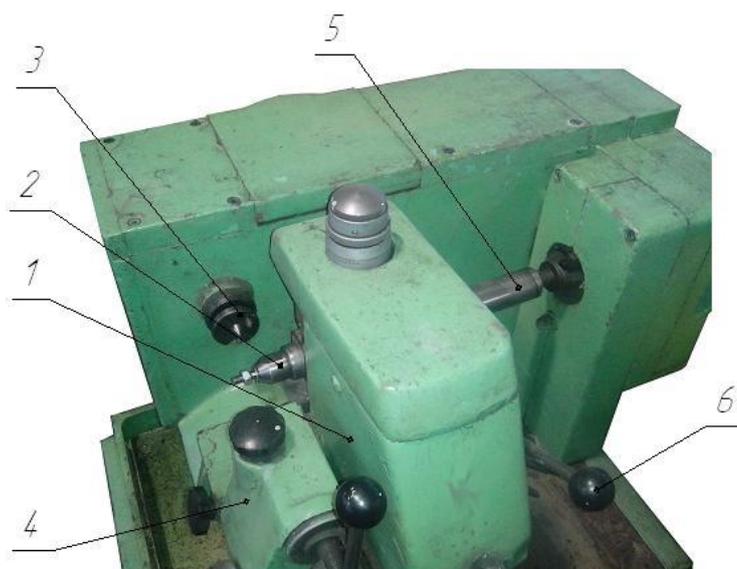


Рис. 4.2 Общий вид рабочего пространства зубофрезеного полуавтомата

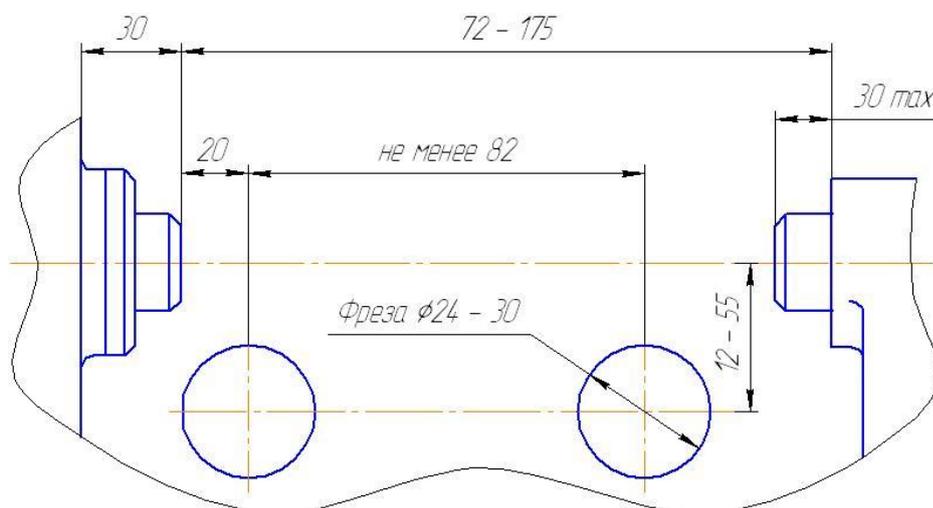


Рис. 4.3 Габарит рабочего пространства

Технические характеристики

Габариты полуавтомата:	
Длина, мм	675
Ширина, мм	730
Высота, мм	1410
Наибольшие размеры нарезаемых колес, мм:	
Наружный диаметр	80
Длина зуба	72
Модуль	1
Число нарезаемых зубьев	8-517
Диаметр фрезы, мм	24-30
Длина хода каретки, мм	82
Наибольший угол поворота фрезерного шпинделя, град	3
Цена одного деления нониуса поворота фрезерного шпинделя, мин	3
Вертикальное перемещение фрезерного суппорта, мм	43
Величина перемещения суппорта за один оборот лимба, мм	1
Величина подъема и опускания фрезы, мм	3
Посадочный диаметр под фрезу, мм	13
Число скоростей фрезерного шпинделя	6
Частота вращения фрезерного шпинделя, об/мин	
202; 314; 508; 805; 1275; 2040	
Максимальная частота вращения шпинделя изделия, об/мин	64
Число ступеней подач	7
Подача, мм/об	
0,1-1,42	
Скорость ускоренного перемещения фрезерной каретки, м/мин	0,94
Характеристики электродвигателей	

Привода главного движения:	
Мощность, кВт	0,6
Частота вращения, об/мин	2800
Привода ускоренного перемещения фрезерной каретки:	
Мощность, кВт	0,08
Частота вращения, об/мин	1390
Масса полуавтомата, кг	505

5. Схема формообразования, реализуемая на полуавтомате

Согласно схеме формообразования (рис. 5.1), реализуемой на зубофрезерном полуавтомате, инструменту и заготовке сообщают согласованные вращательные движения B_1 и B_2 относительно скрещивающихся осей. Для формирования зубчатого контура по длине обрабатываемой детали, инструменту сообщается прямолинейное движение подачи Π_3 вдоль оси вращения заготовки. Движения B_4 и Π_5 являются установочными, обеспечивая требуемую ориентацию инструмента относительно заготовки.

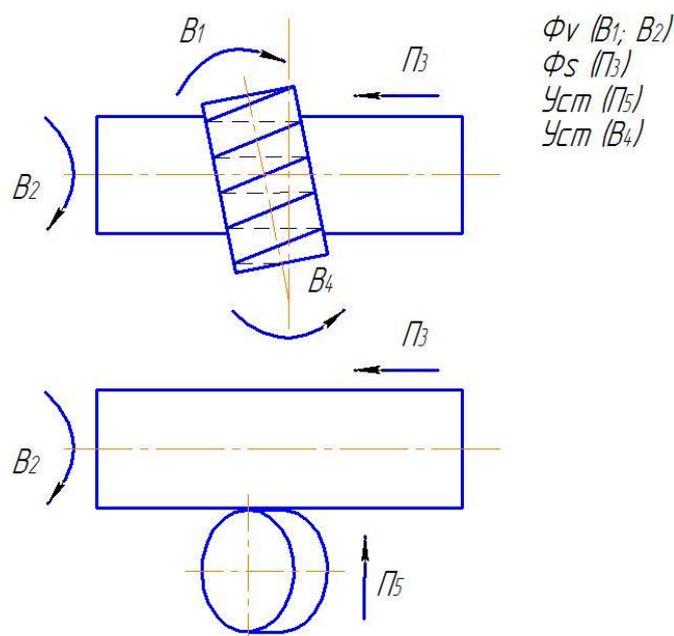


Рис. 5.1. Схема формообразования

Для каждого исполнительного движения определены следующие настраиваемые параметры (в общем случае это траектория, путь, скорость, направление, исходная точка).

Движение B_1 настраивается по скорости.

Движение B_2 настраивается по траектории.

Движение Π_3 настраивается по исходной точке, пути и скорости.

В рассмотренной схеме формообразования применяются червячные фрезы (см. рис. 5.2). Такой инструмент представляет собой одно- или многозаходный червяк. Расположенные вдоль оси профильные стружечные канавки образуют зубья, которые имеют передний и задние по вершине и боковым сторонам углы, необходимые для обеспечения резания. Фрезы разделяют на черновые, чистовые и прецизионные.

Червячная фреза является сложным инструментом, как в геометрическом так и в технологическом плане, что видно из чертежа, представленного на рис.5.3.

Типовые детали, обработанные на полуавтомате по рассмотренной схеме формообразования, представлены на рис 5.4.



Рис. 5.2 Червячные фрезы

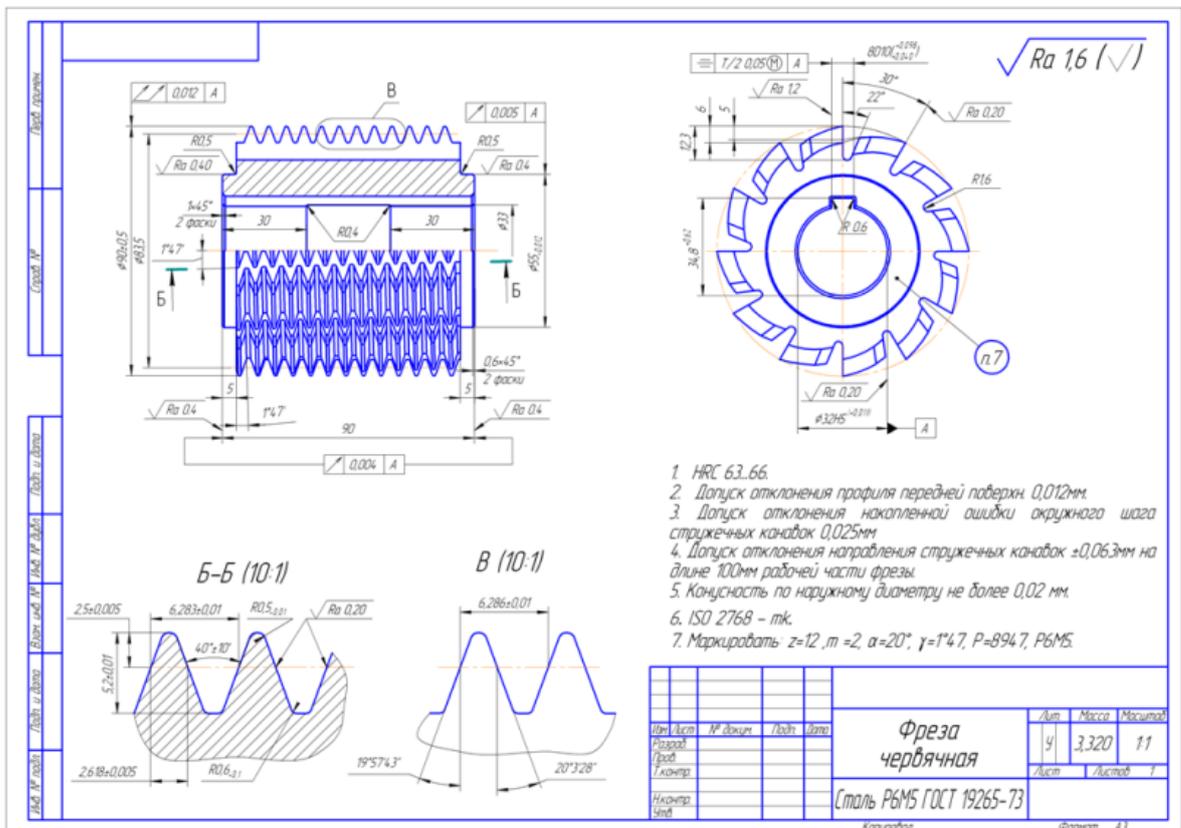


Рис. 5.3 Чертеж червячной фрезы



Рис.5.4 Типовые детали, обработанные на полуавтомате по основной схеме формообразования

6. Кинематическая схема станка

Кинематическая структура станка может быть разделена на четыре части, выделенные в кинематической структуре станка (рис. 6.1): цепь главного движения ($M1 - 1 - i_v - 2$), цепь деления ($2 - i_x - 3$), цепь подачи ($3 - i_s - 4 - 6$) и цепь ускоренного хода фрезерной каретки ($M2 - 7 - P_1 - 5 - 6$).

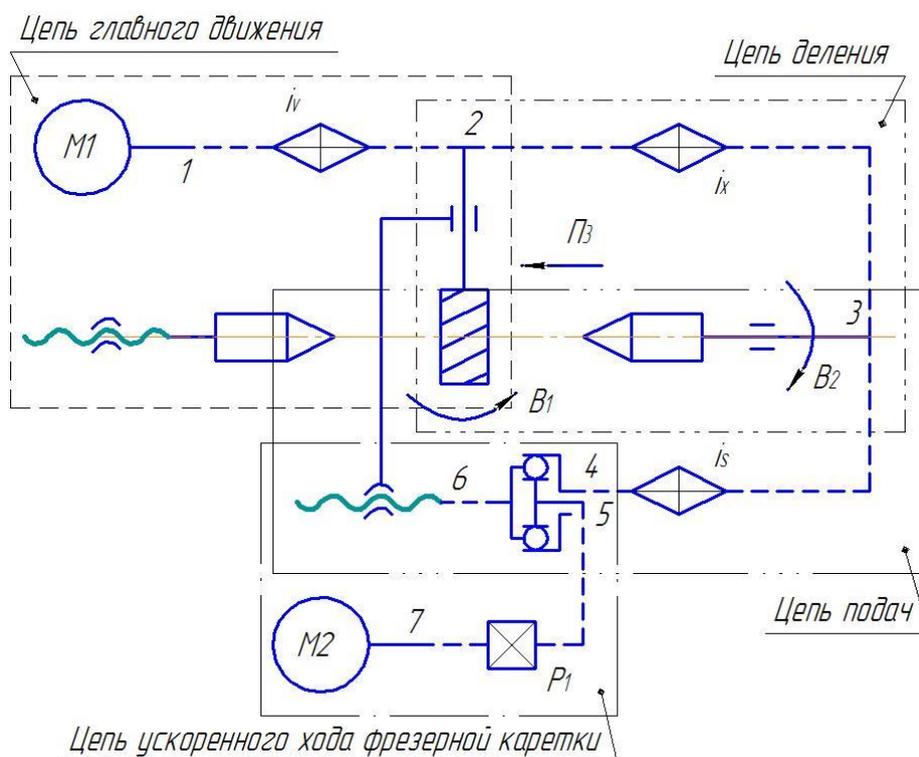


Рис. 6.1 Кинематическая структура станка

Кинематическая схема зубофрезерного полуавтомата представлена на рис. 6.2.

Цепь главного движения служит для передачи вращения шпинделю фрезы XII от электродвигателя $M1$ ($N=0.6$ кВт, $n=2800$ мин⁻¹). Вращение с вала VI через шестерни z_{12} и z_{13} передается на вал VIII коробки скоростей. Затем, переключая блок шестерен z_{14} , z_{15} , z_{16} сидящий на валу VIII, и блок шестерен z_{21} , z_{22} , сидящий на валу X с шестернями z_{17} , z_{18} , z_{19} , z_{20} , получаем шесть скоростей вращения вала X. С вала X через шкивы d_{23} и d_{24} движение передается на приводной вал XI и через шарнирно-телескопическое соединение на шпиндель фрезы XII.

Цепь деления связывает шпиндель фрезы XII через гитару деления и делительную пару z_{25} , z_{26} со шпинделем изделия. Делительная шестерня z_{26} имеет 50 зубьев, червяк z_{25} однозаходный с переменной толщиной витка, что позволяет регулировать боковой зазор в делительной паре за счет осевого перемещения червяка.

Цепь подач передает движение от шпинделя изделия через винтовую пару Z_8, Z_9 вала III, а от него через сменные шестерни гитары подач и обгонную муфту на вал II, от которого через винтовую пару Z_4, Z_5 получает вращение вал IV (ходовой винт t_6), передающий движение подачи фрезерной каретке.

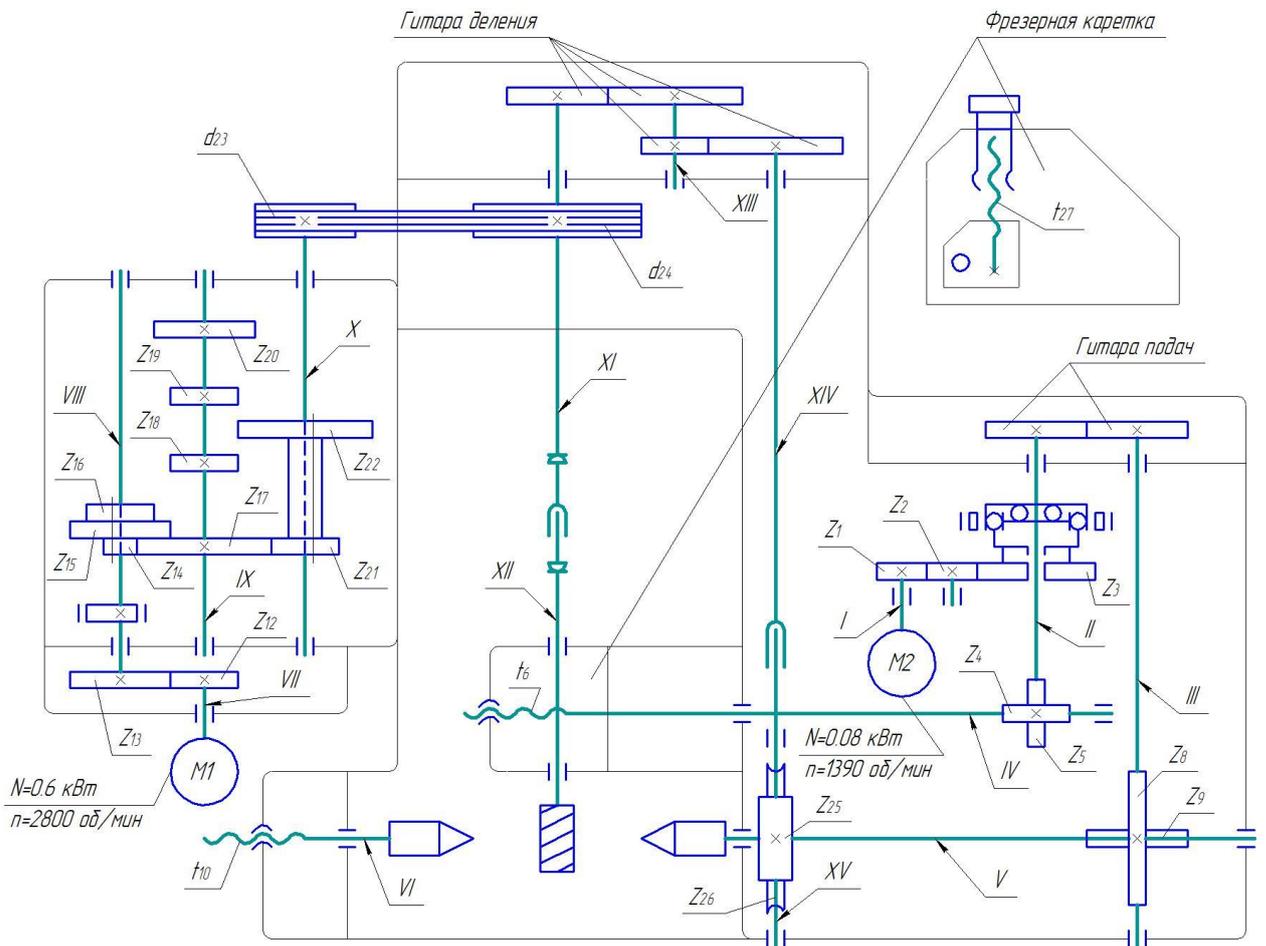


Рис.6.2 Кинематическая схема станка

Ускоренное перемещение фрезерной каретки осуществляется от электродвигателя M2 ($N=0.08$ кВт, $n=1390$ мин⁻¹), через шестерни Z_1, Z_2, Z_3 и обгонную муфту передается на вал II и дальше через винтовую пару Z_4, Z_5 на ходовой винт t_6 .

7. Настройка и наладка станка

7.1. Настройка частоты вращения шпинделя

Установка выбранной частоты вращения шпинделя в соответствии с требуемой скоростью резания обеспечивается коробкой скоростей. Рукоятки коробки нужно поставить в необходимое положение, руководствуясь таблицей настройки и указателями, перемещающимися вместе с рукоятками.

Таблица настройки чисел оборотов шпинделя

№ п/п	Положение рукояток коробки скоростей		Частота вращения шпинделя
1	Б	Д	202
2	Б	В	314
3	Б	Г	508
4	А	Д	805
5	А	В	1275
6	А	Г	2040

Для фрез из быстрорежущей стали рекомендуются скорости резания, указанные в таблице.

№ п/п	Материал заготовки	Скорость резания V, м/мин	
		При черновом проходе	При чистовом проходе
1	Чугун	16-20	20-25
2	Сталь $\sigma < 600$ МПа	25-28	30-35
3	Сталь $\sigma > 600$ МПа	20-25	25-30
4	Бронза	25-40	25-40
5	Пластмассы	25-40	25-40

$$n_{\phi} = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D_{\phi}}$$

где V-скорость резания м/мин;
D_φ-диаметр фрезы, мм.

Для сохранения точности делительной пары максимальная частота вращения фрезы должна удовлетворять условию:

$$n_{\phi p} \leq 64 \cdot z,$$

где z –число нарезаемых зубьев.

7.2. Настройка гитары деления

Гитара деления состоит из четырех сменных зубчатых колес (рис. 7.1).
Формула настройки гитары деления:

$$\frac{A \cdot C}{B \cdot D} = \frac{50}{z},$$

где A – ведущая шестерня;
B и C – промежуточные шестерни;
D – ведомая шестерня;
z –число нарезаемых зубьев.

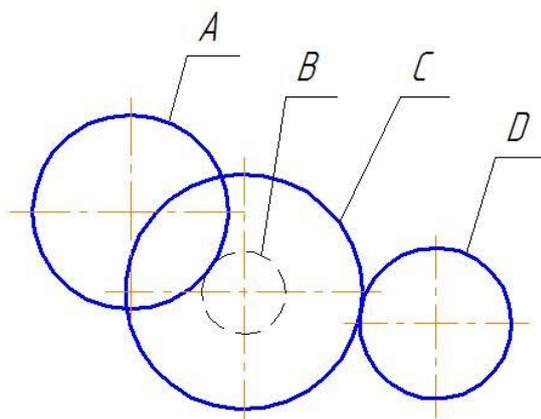


Рис. 7.1 Схема гитары деления

Со станком поставляется набор сменных шестерен в количестве 38 шт.:
 24 (2 шт.), 25, 34, 40, 48 (2 шт.), 50, 60 (3 шт.), 70, 72 (2 шт.), 74, 76, 78, 81,
 82, 86 (2 шт.), 90, 91, 92, 94, 95, 96, 98, 100, 102, 104, 110, 112, 116, 120, 124, 125,
 126.

7.3. Настройка величины подачи

Подача S – величина смещения режущей кромки инструмента за один оборот детали или в единицу времени в направлении движения подачи.

При чистовой обработке подача зависит от требований к шероховатости:

R_a , мкм	0,63	1,25	2,5	5
S , мм/об	0,25	0,5	1	2

Величина подачи настраивается двумя сменными шестернями (рис. 7.2-7.3). Сменные шестерни гитары подач и гитары деления взаимозаменяемы.

Формула настройки гитары подач:

$$S = 0.38 \frac{z_1}{z_2},$$

где z_1 – ведущая шестерня;

z_2 – ведомая шестерня;

S – подача, мм/об.

Таблица настройки гитары подачи

№ п/п	Подача в мм за 1 оборот изделия	Число зубьев сменных шестерен	
		Z_1	Z_2
1	0.1	24	96
2	0.156	34	86
3	0.262	48	72
4	0.394	60	60
5	0.591	72	48
6	0.997	86	34
7	1.575	96	24



Рис. 7.2 Гитара деления полуавтомата



Рис. 7.3 Гитара подачи полуавтомата

7.4. Настройка на длину фрезерования

Настройка станка на длину фрезерования каретки производится упорами, расположенными на подкаретной плите.

7.5. Поворот суппорта

При нарезании прямозубых колес фреза по отношению к изделию устанавливается под углом. Угол установки суппорта с фрезой равен углу подъема червячной фрезы γ .

Угол подъема указывается на торце фрезы. Грубая установка фрезы «на угол» производится по шкале суппорта, а окончательная по нониусу.

8. Расширение технологических возможностей станка

Используемые в современном машиностроении технологии металлообработки резанием характеризуются стереотипностью, что предопределяет трудоемкость, а порой и невозможность осуществления обработки сложнопрофильных или труднодоступных поверхностей. Данный недостаток определяется схемами формообразования, лежащими в основе технологии. Однако использование нетрадиционных схем формообразования, способно значительно расширить возможности обработки металлов резанием, путем уменьшения трудоемкости и расширения технологических возможностей. Данное обстоятельство указывает на необходимость в разработке новой тенденции в технологиях металлообработки, базирующейся на использовании прогрессивных схем формообразования и инструментов их реализующих, а так же использовании скрытых технологических возможностей существующего оборудования.

В частности на станке модели 5А308П возможна реализация схем формообразования позволяющих расширить технологические возможности оборудования, за счет применения специального инструмента, скрытых потенциалов кинематики станка и его конструктивных особенностей (см. табл 1).

Рассмотрим реализацию процесса обработки храповой муфты (см. табл. 1 п. 3) осуществляемую инструментом, режущие зубья которого располагают на наружной поверхности корпуса инструмента по дуге, не превышающей половины длины окружности, на которой находятся их вершины. Инструмент устанавливают с эксцентриситетом e относительно оси вращения. Для получения заданной глубины пазов величину эксцентриситета определяют по формуле

$$e = \frac{f}{2},$$

где f – глубина паза.

Плоскость вращения инструмента устанавливают на расстоянии h от оси вращения заготовки, которое рассчитывают по формуле

$$h = \frac{r^2}{(R + e)m},$$

где r – средний радиус пазов;

m – число обрабатываемых пазов;

R – радиус инструмента;

e – эксцентриситет установки инструмента,

а расстояние H между осями вращения инструмента и заготовки задают по зависимости

$$H = r \cos \arcsin \frac{r}{(R + e)m} + (R + e) \cos \delta,$$

где δ – угол конуса впадин.

В процессе обработки детали и инструменту сообщают согласованные вращательные движения B_1 и B_2 соответственно с частотами n_1 и n_2 вокруг скрещивающихся под прямым углом осей. Отношение i частот вращательных движений задают пропорциональным количеству пазов m :

$$i = \frac{n_2}{n_1} = m,$$

где n_1 – частота вращения детали;

n_2 – частота вращения инструмента.

Благодаря этому обеспечивают непрерывность движения деления, т.е. переход от паза к пазу без остановки заготовки.

За счет эксцентричной установки инструмента при его вращении осуществляется движение врезания режущих зубьев в заготовку со средней подачей на зуб

$$S_z = \frac{f}{z},$$

где z – число режущих зубьев.

Табл. 1

Типовые детали обрабатываемые на полуавтомате по дополнительным схемам формообразования

№ п/п	Схема формообразования	Обработанная деталь
1.	<p>$\Phi_v (B_1; B_2; \Gamma_3)$ $\Upsilon_{cm} (\Gamma_5)$ $\Upsilon_{cm} (B_4)$</p>	
2.	<p>$\Phi_v (B_1; B_2)$ $\Phi_s (\Gamma_3)$ $\Upsilon_{cm} (\Gamma_5)$ $\Upsilon_{cm} (\Gamma_4)$</p>	
3.	<p>$\Phi_v (B_1; B_2)$ $\Phi_s (\Gamma_3)$ $\Upsilon_{cm} (\Gamma_5)$ $\Upsilon_{cm} (\Gamma_4)$</p>	

9. Описание конструкции узлов станка

9.1. Червячная делительная пара

Червячная делительная пара специальной конструкции (рис. 9.1). Состоит из червяка 2 с прогрессивным шагом переменной толщиной витка и червячного колеса 1. Червяк выполнен как одно целое с валом, термически обработан и установлен в гильзе 3 на двух радиально-упорных шариковых подшипниках. Вал червяка получает вращение от ведущего вала 8 гитары через втулку 5. Втулка 5 на валу червяка закреплена неподвижно, а ведомым валом гитары соединена по скользящей посадке на регулируемой шпонке 6. Перемещением гильзы 3 вместе с червяком 2 регулируется боковой зазор в

червячной паре. После регулировки гильзу фиксируют тангенциальным зажимом 7.

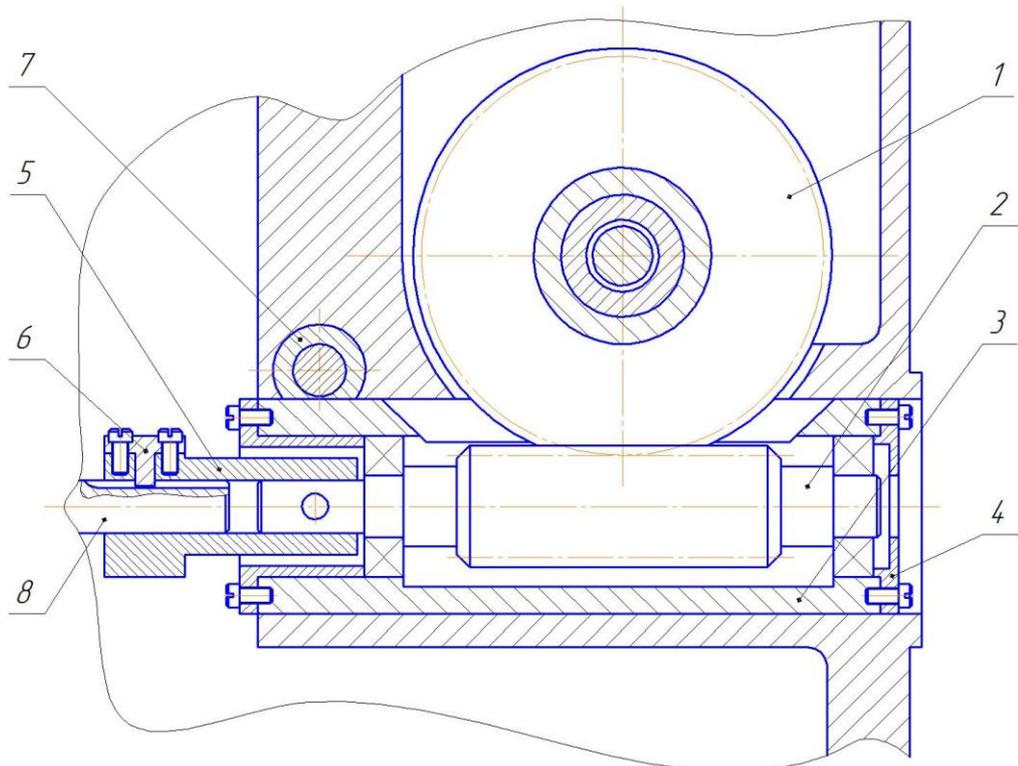


Рис. 9.1 Червячная делительная пара

9.2. Шпиндель изделия

Шпиндель изделия 2 вращается в двух бронзовых подшипниках скольжения 4, 13 установленных в конусных отверстиях станины 1 (рис. 9.2). Регулировка подшипников производится посредством гаек 3, 5, 12, 14.

На шпинделе с помощью винта 8 и контргайки закреплено делительное червячное колесо 7, которое находится в зацеплении с делительным червяком.

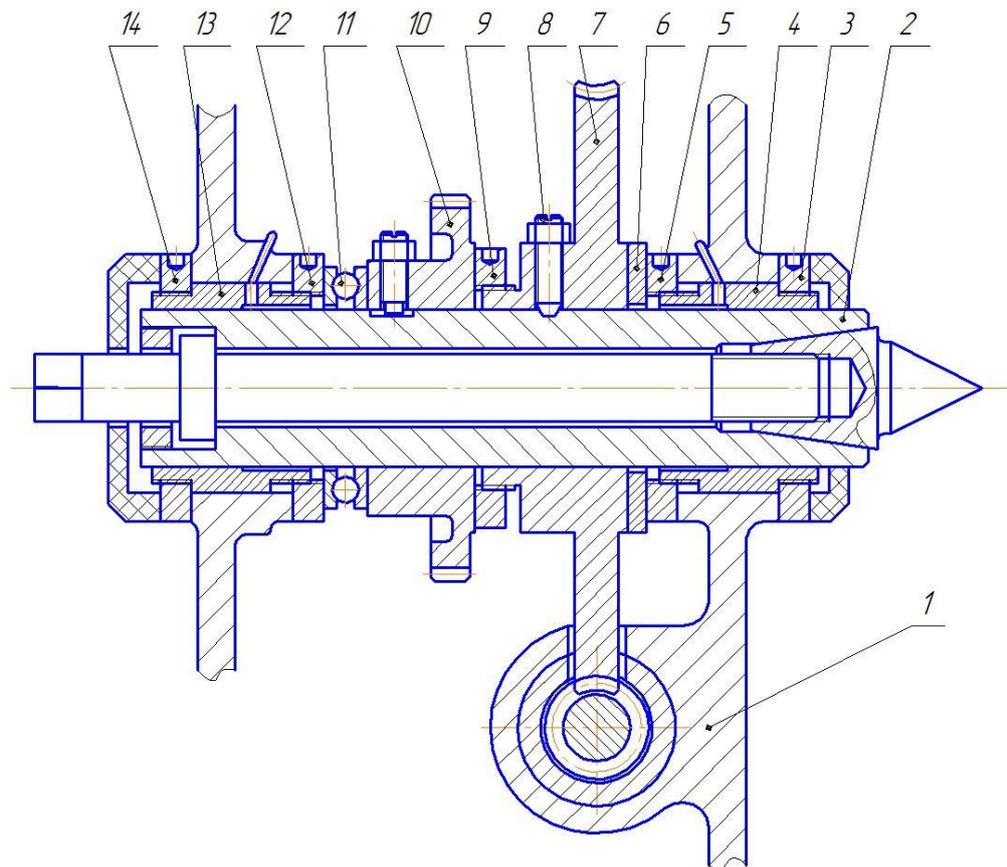


Рис. 9.2 Шпиндель изделия

Винтовая шестерня 10 закреплена на шпинделе и находится в зацеплении с винтовой шестерней ведущего вала гитары подач. Осевое усилие фрезерования воспринимается упорным шариковым подшипником 11. Для устранения зазора в осевом направлении шпинделя и установки червячного делительного колеса 7 служит регулировочная гайка 9 и компенсационное кольцо 6.

9.3. Привод подач

Движение подачи сообщается фрезерной каретке 10 через пару винт-гайка (рис. 9.3). Винт 1 получает вращение от винтовой шестерни 3, осевое перемещение которой ограничено-компенсационным кольцом 4. Осевая нагрузка от винта воспринимается двумя радиально-упорными подшипниками 5, перемещение которых ограничивается крышкой 8 и стопорным кольцом 11. На винте подшипники фиксируются гайками 6. Винт поддерживается подшипником скольжения 7, зафиксированным корпусе станины.

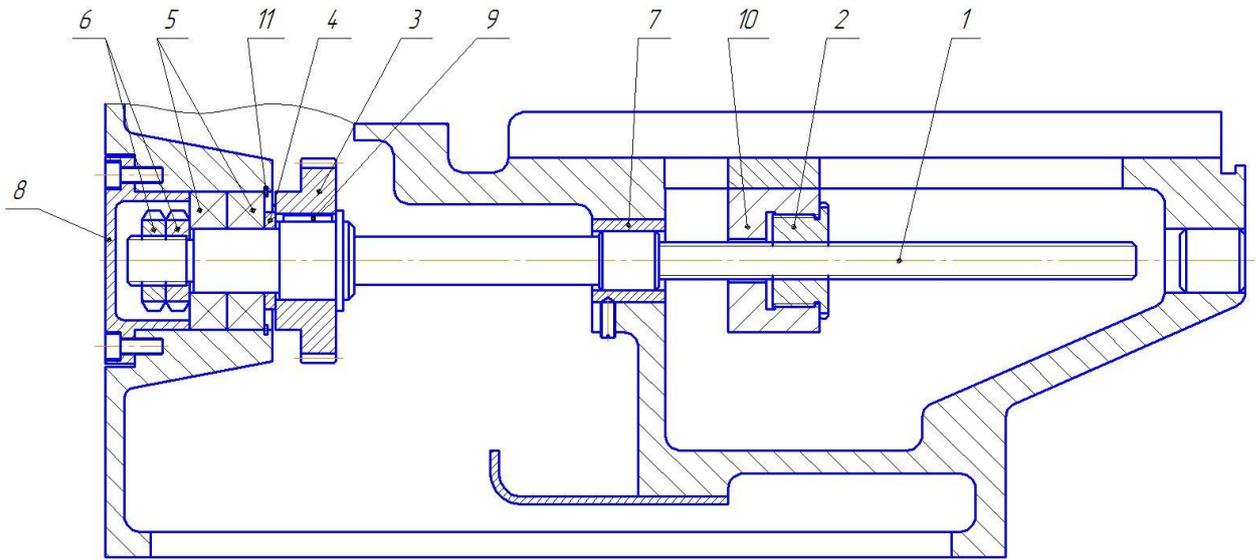


Рис. 9.3 Привод подачи

10. Электрооборудование станка

10.1. Описание принципиальной электросхемы

На станке установлены три трехфазных короткозамкнутых асинхронных электродвигателя (рис. 10.1):

- электродвигатель главного привода 1Д;
- электродвигатель ускоренного перемещения каретки 3Д;
- электронасос 2Д.

От понижающего трансформатора ТУ цепи управления питаются напряжением 127 В, цепь местного освещения – напряжением 36 В и цепи сигнальных ламп – напряжением 4 В.

Схема управления предусматривает возможность работы станка в полуавтоматическом и наладочном режимах.

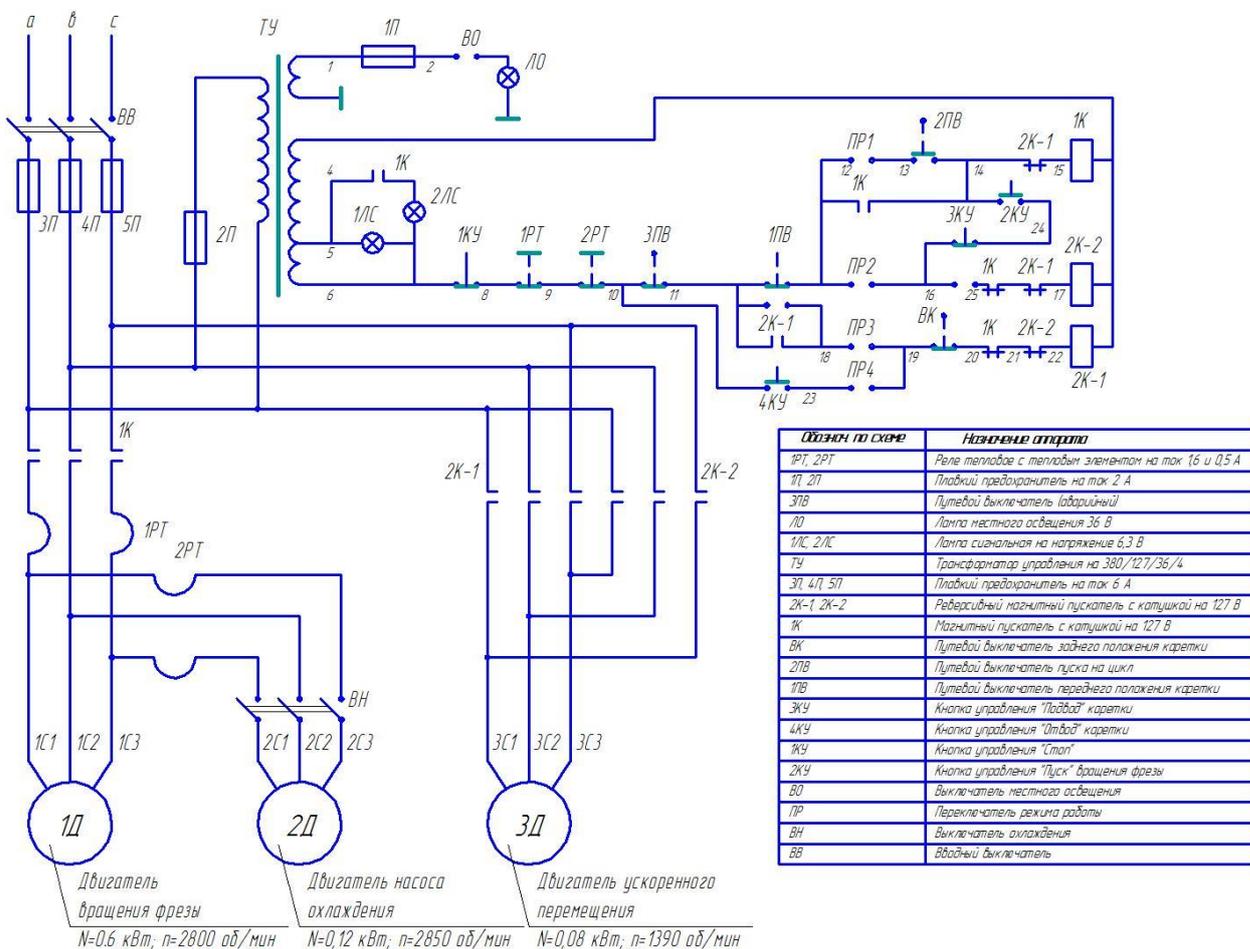


Рис. 10.1 Принципиальная электросхема

10.2. Полуавтоматический режим работы

Исходным состоянием станка является положение, когда каретка находится в крайнем правом положении и своим упором нажимает на конечный выключатель ВК.

Переключатель режима работы установлен в положение, указанное соответствующим символом на пульте управления обозначающим работу станка по циклу.

Для включения станка в работу необходимо включить вводной выключатель. При этом должна загореться сигнальная лампа на пульте управления.

При подъеме рукоятки нажимается путевой выключатель 2ПВ, замыкает цепь питания контактора 1К, который включаясь:

- включает электродвигатель 1Д, в результате чего происходит вращение шпинделя фрезы и перемещение каретки влево со скоростью рабочей подачи;
- замыкает цепь питания сигнальной лампочки «Цикл включен» на пульте управления.

При включенном выключателе БН от контактора 1К вместе с электродвигателем 1Д включается электронасос охлаждения 2Д.

В конце рабочего хода каретки нажимается рычаг, суппорт опускается и после срабатывания путевого выключателя 1ПВ отключается контактор 1К, выключается электродвигатель шпинделя фрезы 1Д, электронасос охлаждения 2Д и включается контактор 2К-1, который включает электродвигатель 3Д ускоренного перемещения каретки.

Каретка ускорено перемещается вправо в исходное положение.

При достижении кареткой исходного положения нажимается конечный выключатель ВК, который разрывает цепь питания контактора 2К-1. Последний выключает электродвигатель 3Д.

На этом полуавтоматический цикл работы станка заканчивается.

Цикл повторяется при подъеме рукоятки.

При необходимости остановки какого-либо электродвигателя во время работы станка по циклу следует нажать на кнопку 1КУ после чего работа станка прекращается.

Для дальнейшей работы станка по циклу каретку следует отвести в исходное положение в наладочном режиме.

10.3. Наладочный режим работы

В наладочном режиме работы можно осуществлять ускоренное перемещение каретки на любую длину хода каретки и вращение шпинделя с передвижкой каретки до крайнего левого положения.

Для работы станка в наладочном режиме необходимо переключатель режима работы ДР установить в положение, указанное соответствующим символом на пульте управления, обозначающим ручное управление. После чего при нажатии на кнопку 2КУ (срабатывает контактор 1К электродвигателя 1Д) включается вращение фрезы и рабочее передвижение каретки влево до крайнего левого положения, т.е. до нажатия на путевой выключатель 1ПВ. При нажатии на кнопку 4КУ, срабатывает контактор 2К-1 электродвигателя 3Д, происходит ускоренное перемещение каретки вправо.

При нажатии кнопки 3КУ, срабатывает контактор 2К-2, происходит ускоренное перемещение каретки влево.

При нажатии кнопки 1КУ выключаются все электродвигатели.

Защита электродвигателей станка от перегрузки осуществляется тепловыми реле.

Силовые цепи, цепь местного освещения и цепи управления защищаются от коротких замыканий плавкими предохранителями.

11. Программа расширяющая технологические возможности зубофрезерных станков

На основе этой программы будет производиться планирование работы технологом, которая рассчитывает обработку детали автоматически.

Представлены скриншеты программного интерфейса:

Обработка резцом лутчика
Информация

Детали обрабатываемые по схеме с резцом лутчика

Описание схемы формообразования

Траектория движения реза

Схема формообразования

Диаметр детали по впадинам (D), мм

Число пазов зубчатого контура

Радиус инструмента по вершине реза (R), мм

Угол скрещивания осей инструмента и заготовки (градусы)

Обработка резцом лутчика
Информация

Детали обрабатываемые по схеме с резцом лутчика

Описание схемы формообразования

Траектория движения реза

Описание схемы формообразования

Данная схема обработки позволяет формировать пазы на цилиндрической детали, которая может быть расположено равномерно или неравномерно и имеет одинаковую или разную форму.

Обработку пазов на цилиндрической поверхности заготовки 1 осуществляет инструментом 2. Плоскость его вращения устанавливается под определенным углом β к оси вращения заготовки.

В процессе обработки детали 1 и инструменту 2 сообщают согласованные вращательные движения B_1 и B_2 соответственно с частотами n_1 и n_2 . Отношение частот n_2 и n_1 задают пропорциональным число обрабатываемых пазов и обратно пропорциональным числу резцов:

$$i = \frac{n_2}{n_1} = \frac{m}{p}$$

где n_1 - частота вращения заготовки,
 n_2 - частота вращения инструмента,
 m - число обрабатываемых пазов,
 p - число резцов.

Для получения заданной длины пазов, инструменту сообщают поступательное перемещение L вдоль оси вращения заготовки.

Скорость резания V при обработке предлагаемым способом равна геометрической сумме скоростей V_1, V_2 и определяется по формуле:

$$V = \sqrt{R^2 \omega_1^2 + \left(\frac{D}{2} \omega_2\right)^2}$$

где ω_1 и ω_2 - угловые скорости заготовки и инструмента соответственно.

Принцип, положенный в основу обработки пазов по данной схеме формообразования, заключается в направлении движения реза вдоль обрабатываемого паза.

Пазы формируются методом копирования (по контуру реза лутчика).

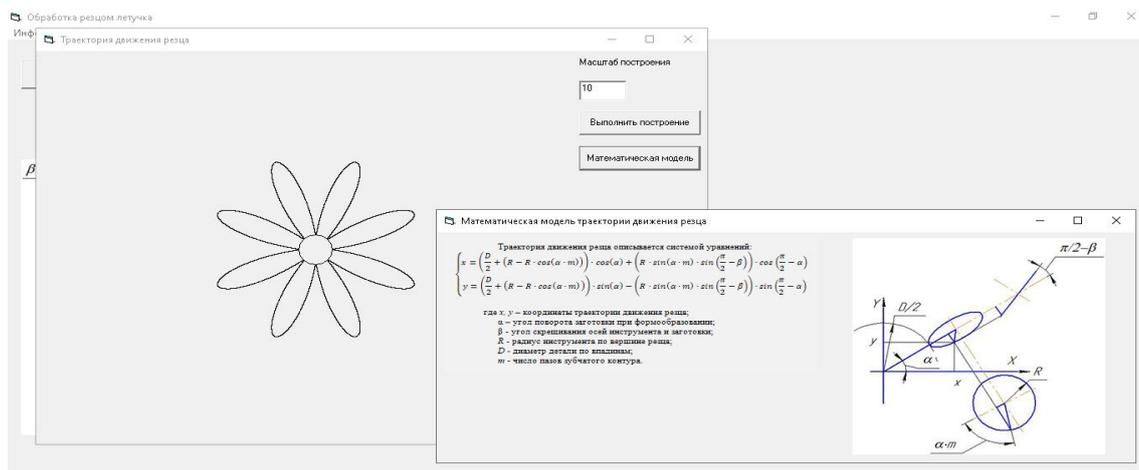
Скорость резания определяется геометрической суммой окружных скоростей заготовки 1 и инструмента 2

$$V_{рез} = V_1 + V_2$$

Угол скрещивания осей инструмента и заготовки β определяется по формуле:

$$\beta = \frac{\pi}{2} - \arccos\left(\frac{\sqrt{R^2 - \left(\frac{D}{2} m\right)^2}}{R}\right)$$

где R - радиус инструмента по вершине реза;
 D - диаметр детали по впадинам;
 m - число пазов зубчатого контура.



Данная схема обработки позволяет формировать пазы на цилиндрической детали, которые могут быть расположены равномерно или неравномерно и имеют одинаковую или равную форму. Обработку пазов на цилиндрической поверхности заготовки 1 осуществляют инструментом 2. Плоскость его вращения устанавливают под определенным углом β к оси вращения заготовки.

В процессе обработки детали 1 и инструмента 2 сообщают согласование вращательных движений ω_1 и ω_2 соответственно с частотами n_1 и n_2 задают пропорциональным числом обрабатываемых пазов и обратно пропорциональным числом резцов.

Для получения заданной длины пазов, инструменту сообщают поступательное перемещение Δz вдоль оси вращения заготовки.

Скорость резания V при обработке предлагаемым способом равна геометрической сумме скоростей V_2 V_1 и определяется по формуле:

Принцип положенный в основу обработки пазов по данной схеме формообразования, заключается в направлении движения резания вдоль обрабатываемого паза.

Пазы формируются методом копирования (по контуру резца летучка).

Скорость резания определяется геометрической суммой окружных скоростей заготовки 1 и инструмента 2.

Угол скрещивания осей инструмента и заготовки определяется по формуле:

$$\beta = \frac{\pi}{2} - \arccos \left(\frac{\sqrt{R^2 - \left(\frac{D}{2 \cdot m}\right)^2}}{R} \right)$$

где R - радиус инструмента по вершине резца;
 D - диаметр детали по впадинам;
 m - число пазов зубчатого контура.

Заключение

Интенсификация процессов обработки сложно-профильных поверхностей имеет важное практическое значение, так как применяемые схемы формообразования и станочное оборудование зачастую не обеспечивают требуемые производительность и точность. Это относится и к наиболее распространенной технологии обработки по методу единичного деления на универсальных фрезерных станках.

В этой связи заслуживает внимания направление исследования, связанное с кинематикой формообразования и реализацией схем обработки, основанных на совмещении движений формообразования и деления, что обеспечивает одновременно повышение производительности и точности обработки сложно-профильных поверхностей.

Схема обработки с параллельными осями и схема обработки со скрещивающимися осями позволяет формировать пазы на цилиндрической детали, которые могут быть расположены равномерно или неравномерно и имеют одинаковую, разную форму.

Предлагаемое программное обеспечение помогает в расширении технологических возможностей зубофрезерного оборудования, через реализацию прогрессивных схем формообразования.

Литература

1. Данилов В.А. Формообразующая обработка сложных поверхностей резанием.- Мн.:Навука и тэхника, 1995г.

<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwj--uyUkPT7AhUJHewKHUXpBPg4ChAWegQIBxAB&url=https%3A%2F%2Fvestift.belnauka.by%2Fjour%2Fissue%2Fdownload%2F17%2F2&usg=AOvVaw3ANTSVJBw-f5gsqo1gNytj>

2. Способ обработки изделия многогранной формы: А.С. 944769 СССР:МКИ В23В 5/44 В23В 1/100

3. Способ обработки пазов дисковой фрезой: А.С. 1798056 СССР:МКИ В23С 3/28

https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwix1PzfkPT7AhWhPOwKHSceCYEQFnoECA4QAQ&url=https%3A%2F%2Frep.bntu.by%2Fbitstream%2Fdata%2F68688%2F1%2FMas_hinostroenie_24-2.pdf&usg=AOvVaw0KiK7TF-YyyjxAIr9970xA

4. Конструирование и оснащение технологических комплексов / А.М. Русецкий и др.- Мн.: Беларус.навука, 2014

<https://www.iprbookshop.ru/29463.html>

5. Прогрессивные технологии формообразования торцовых зубчатых контуров деталей машин / В.А.Данилов, Р.А.Киселев, О.В.Яловский