

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Технологическое оборудование»

А. В. Ажар

ТЕХНОЛОГИЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО
ПРОИЗВОДСТВА

Пособие
для студентов специальности 1-36 01 03
«Технологическое оборудование машиностроительного
производства» специализации 1-36 01 03-02
«Инструментальное производство»

В 2 частях

Часть 1

*Рекомендовано учебно-методическим объединением по образованию
в области машиностроительного оборудования и технологий*

Минск
БНТУ
2022

УДК 621.715.2(075.8)
ББК 30.605я7
А34

Р е ц е н з е н т ы:

начальник технологическо-конструкторского отдела
ТКО СИиТО УГТ МТЗ *А. В. Шахнович*;
кафедра «Технология и оборудование машиностроения» БарГУ
(доцент кафедры, канд. техн. наук, доцент *А. Н. Жигалов*)

Ажар, А. В.
А34 Технология инструментального производства : пособие для студентов специальности 1-36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительного производства» специализации 1-36 01 03-02 «Инструментальное производство» : в 2 ч. / А. В. Ажар. – Минск : БНТУ, 2022. – Ч. 1. – 72 с.
ISBN 978-985-583-700-9 (Ч. 1).

В пособии изложены методы и особенности настройки станков инструментального производства на примерах операций механической обработки гнезд под сменные многогранные пластины (СМП) в сборных режущих инструментах, прямых и винтовых стружечных канавок на цилиндрической поверхности осевых инструментов.

Представлены примеры использования средств компьютерного 3D-моделирования для расчета, анализа и оптимизации параметров настройки станков для рассмотренных операций предварительной механической обработки режущих инструментов.

УДК 621.715.2(075.8)
ББК 30.605я7

ISBN 978-985-583-700-9 (Ч. 1)
ISBN 978-985-583-701-6

© Ажар А. В., 2022
© Белорусский национальный
технический университет, 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
1. ФРЕЗЕРОВАНИЕ ГНЕЗДА ПОД СМЕННУЮ МНОГОГРАННУЮ ПЛАСТИНУ (СМП) В ДЕРЖАВКЕ РЕЗЦА	5
2. ФРЕЗЕРОВАНИЕ ВИНТОВЫХ СТРУЖЕЧНЫХ КАНАВОК НА ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ ИНСТРУМЕНТА	29
3. ФРЕЗЕРОВАНИЕ СТРУЖЕЧНЫХ КАНАВОК С НЕРАВНОМЕРНЫМ ОКРУЖНЫМ ШАГОМ НА ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ИНСТРУМЕНТАХ	43
4. КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГНЕЗДА ПОД СМЕННУЮ МНОГОГРАННУЮ ПЛАСТИНУ (СМП) В ДЕРЖАВКЕ РЕЗЦА	52
5. КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУЖЕЧНЫХ КАНАВОК С НЕРАВНОМЕРНЫМ ОКРУЖНЫМ ШАГОМ НА ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ИНСТРУМЕНТАХ	64
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	71

Введение

Процесс создания современного высокоэффективного режущего инструмента тесно связан с решением задач технологической подготовки его производства.

В отличие от большинства машиностроительных деталей, для инструментов характерны фасонно-зубчатая форма поперечного сечения рабочей части, фасонные винтовые поверхности в продольном направлении, поверхности специальных форм: образованные спиралью Архимеда (затылованные), эвольвентами и другими кривыми. Наличие и сочетание таких поверхностей в одном инструменте определяет необходимость в специальных и специализированных станках для инструментального производства: фрезерных, затыловочных, зубо- и резьбообрабатывающих, заточных, либо универсальных станках со сложной технологической оснасткой: делительные приспособления и головки, угловые и поворотные тиски или накладные столы, копировальные устройства.

В последнее время все шире в инструментальном производстве находят применение 4- и 5-координатные станки с ЧПУ для пространственной обработки сложно сопряженных режущих и опорных (гнезда, пазы) поверхностей инструмента. Настройка такого оборудования требует специальных расчетов и навыков, обработки опытных образцов изделий с целью исключения ошибок и погрешностей, поиска оптимального варианта расположения, формы и размера инструмента второго порядка. Все это повышает трудоемкость подготовительных операций и себестоимость изготовления инструмента особенно в условиях мелкосерийного и единичного производства, следовательно, требуются высококвалифицированные наладчики и операторы-станочники оборудования инструментального производства.

Решить ряд организационно-технических проблем разработки и оптимизации операций механической обработки режущих инструментов может создание и использование универсальных методов расчета и выбора оснастки, настройки типового оборудования для обработки наиболее сложных поверхностей инструмента. Использование современных CAD- и CAM-программных продуктов, позволяющих осуществлять 3D параметрическое моделирование, исключит серии опытных испытаний и сократит время на подготовку производства.

1. ФРЕЗЕРОВАНИЕ ГНЕЗДА ПОД СМЕННУЮ МНОГОГРАННУЮ ПЛАСТИНУ (СМП) В ДЕРЖАВКЕ РЕЗЦА

1.1. Особенности конструкции и технологии изготовления резцов и резцовых вставок с СМП

ВНИИинструмент разработал систему токарных резцов, предназначенную для выполнения всего многообразия токарных операций обработки на станках с ручным управлением и ЧПУ, а также на гибких производственных модулях (ГПМ) и гибких производственных системах (ГПС) [1].

По технологическому назначению систему резцов подразделяют на подсистемы для:

- 1) наружного точения и растачивания;
- 2) нарезания резьб, прорезания канавок и отрезания;
- 3) работ на тяжелых, крупных токарных и карусельных станках;
- 4) специальных работ.

Каждая из подсистем имеет свои специфические особенности, обусловленные многими факторами, в первую очередь, конструкцией оборудования и его технологическим назначением.

Подсистема токарных резцов для наружного точения и растачивания предназначена для оснащения станков легких и средних серий. Их характерными особенностями являются:

- наличие различных углов в плане и типов державок, обеспечивающих возможность выполнения всех операций точения и растачивания;
- изготовление деталей резцов из легированных сталей с применением прогрессивной технологии, что обеспечивает качество и повышенную надежность;
- применение сменных многогранных пластин (СМП) (в качестве режущей части сборных резцов) из различных марок режущих материалов всей гаммы форм и размеров со сложной передней поверхностью, обеспечивающей эффективное дробление и отвод стружки;
- использование способов закрепления, обеспечивающих надежную фиксацию СМП, их быстросменность и точность позиционирования вершин за счет создания точных (без отверстий) державок;
- соответствие габаритных размеров резцов и их точностных параметров требованиям отечественных и международных стандартов.

Резцы со сменными пластинами, используемые на станках токарной группы, можно условно разделить на резцы «традиционных» конструкций, с державками прямоугольного, квадратного или круглого сечения (рис. 1.1), резцы с хвостовиками HSK или «Capto» (рис. 1.2) и резцовые вставки (рис. 1.3), которые закрепляются в оправках, непосредственно в резцедержателе либо в револьверной головке станка с ЧПУ.



Рис. 1.1. Резцы сборные с механическим креплением СМП для наружной токарной обработки и расточки отверстий

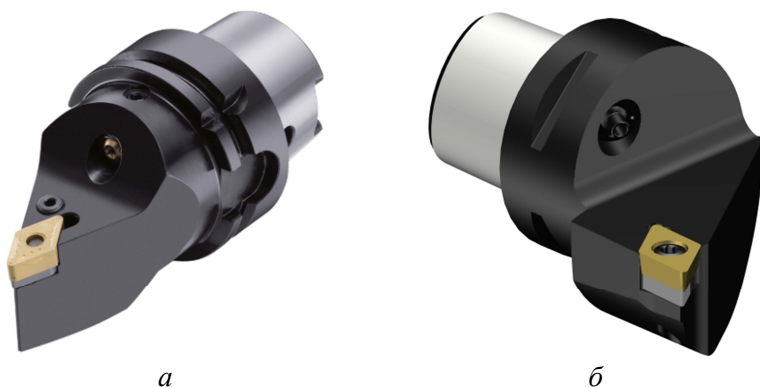


Рис. 1.2. Резцы сборные с механическим креплением СМП и подачей СОТС: *а* – с хвостовиками HSK; *б* – с хвостовиками «Capto»



Рис. 1.3. Вставки резовые регулируемые с механическим креплением СМП:
а – L-образным прихватом; *б* – винтом

Одним из существенных факторов, характеризующих качество работы резов и вставок с СМП, является надежность базирования и закрепления последних.

При разработке способов крепления пластин в державках сборных резов за базовые были приняты четыре известные и промышленно апробированные конструкторские решения:

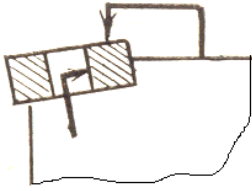

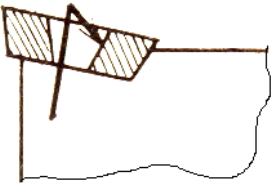
- прихват для пластин без отверстия (тип *C*);
- клин-прихват (тип *M*) или рычажный механизм (тип *P*) для пластин с центральным цилиндрическим отверстием;
- винтовой механизм для пластин с центральным тороидальным отверстием (тип *S*).

Условные обозначения способов крепления, в зависимости от характеристик СМП, в соответствии с ГОСТ 26476-85, ГОСТ 27686-88 и международной классификацией ISO 5608:2012 приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Способ крепления режущей пластины

Символ	Схема и способ крепления пластины		Характеристика пластины
<i>C</i>		Крепление сверху	Без отверстия

Символ	Схема и способ крепления пластины	Характеристика пластины	
М		Крепление сверху прихватом и через отверстие	С отверстием
Р		Крепление через отверстие	С отверстием
С		Крепление винтом через отверстие	С отверстием

Резцы с креплением СМП по способу *С* (рис. 1.4, *а*) в основном предназначены для оснащения автоматических линий и многооперационных станков с фиксированными режимами обработки и могут комплектоваться СМП из твердого сплава и из керамики.

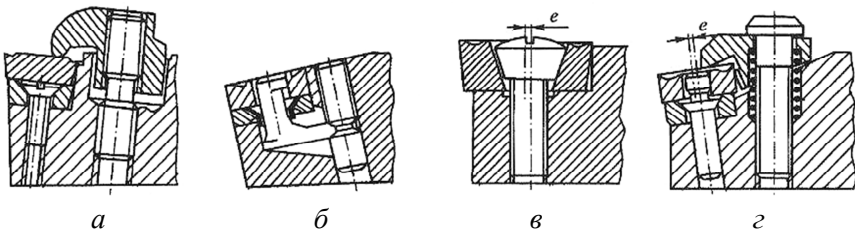


Рис. 1.4. Схемы механического крепления СМП:
а – прихватом сверху; *б* – рычагом через отверстие; *в* – винтом с конической головкой; *г* – штифтом через отверстие и прихватом сверху

Резцы с креплением СМП по способу *P* (рис. 1.4, б, 1.5) предназначены для оснащения станков с ЧПУ средних серий, ГПС и ГПМ на получистовых и чистовых операциях, где требуется высокая точность позиционирования вершины, и комплектуются пластинами из твердого сплава.



Рис. 1.5. Система крепления с двойным усилием L-образным рычагом по типу *P*

Резцы с креплением СМП по способу *S* (рис. 1.4, в) предназначены для оснащения станков с ЧПУ легких серий, ГПС и ГПМ на чистовых операциях и комплектуются пластинами из твердого сплава.

Резцы с креплением СМП по способу *M* (рис. 1.4, з, 1.6) предназначены для оснащения станков с ручным управлением. Обеспечивают выполнение черновых и получистовых операций и комплектуются пластинами из твердого сплава.

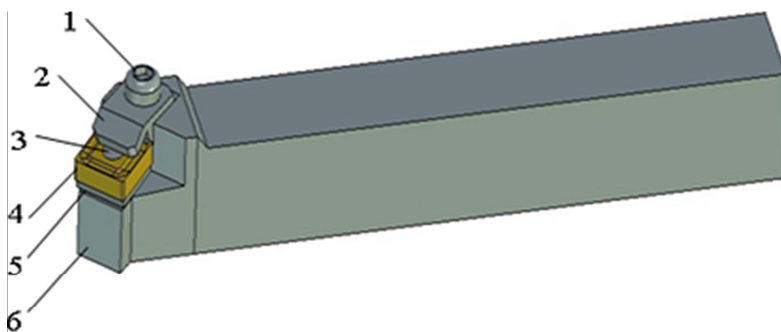


Рис. 1.6. Резец проходной наружный с креплением СМП клин-прихватом (тип *M*):
 1 – винт; 2 – клин-прихват; 3 – штифт; 4 – пластина режущая;
 5 – пластина подкладная; 6 – державка

При работе резцов в условиях высоких нагрузок и вибраций, при сьеме больших сечений среза применяется способ крепления D : прихватом, действующим одновременно сверху и в отверстии (рис. 1.7).

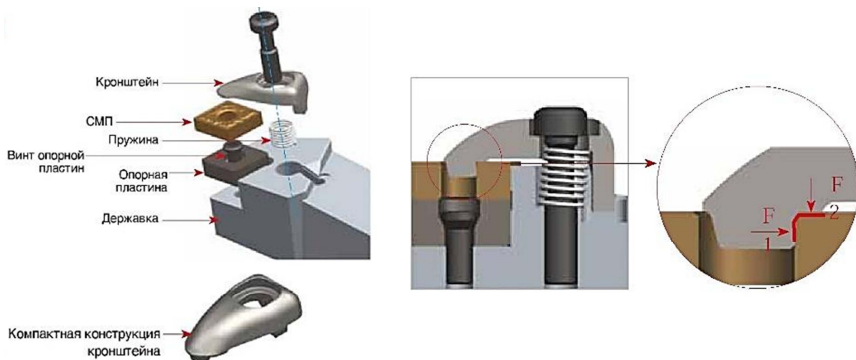


Рис. 1.7. Система крепления с двойным усилием прихватом, действующим сверху и в отверстии по типу D

В настоящее время на основе принятых схем крепления пластин разработано множество разнообразных конструкций механизмов крепления.

Одной из основных операций изготовления сборных инструментов (резцов для наружного точения, расточных резцов и резцовых вставок) является фрезерование гнезда под СМП в державке (корпусе) из конструкционной стали марок 45, 50 (ГОСТ 1051-73 или ГОСТ 1050-88), стали 40Х, 45Х (ГОСТ 4543-2016) или инструментальной стали У8, У10 (ГОСТ 1050-88). Операция чаще всего осуществляется концевой фрезой на универсально-фрезерных и широкоуниверсальных фрезерных инструментальных станках в том числе и с ЧПУ при наличии специальной оснастки (2-, 3-угловых поворотных тисков, накладных и встроенных поворотных столов или фрезерных головок). Наиболее трудоемкой является операция фрезерования гнезд закрытого типа, т. к. осуществляется в несколько проходов по сложной траектории. Еще больше проблем во время изготовления возникает при наличии в конструкции механизма крепления клинового и рычажного типа.

Применяемые стандартные пластины выпускаются с задними углами $\alpha_{пл}$ с нормированным шагом, так и без них с $\alpha_{пл} = 0^\circ$ в соответствии с системой обозначения ISO 1832:2012 и ГОСТ 19042-80 (табл. 1.2).

Таблица 1.2

Задний угол пластины

№	Величина заднего угла, град.	Обозначение по ГОСТ	Обозначение по ИСО / ГОСТ
1	3	7	A
2	5	8	B
3	7	2	C
4	15	6	D
5	20	4	E
6	25	5	F
7	30	9	G
8	0	1	N
9	11	3	P
10	Специальные	0	O*

* Обозначает задние углы, отличающиеся от указанных в табл. 1.2.

В случае применения пластин без задних углов в статическом положении, обеспечить необходимые статические и кинематические углы резания резца в сборе можно, только изменяя положение основной опорной плоскости гнезда от горизонтали, в одном или двух направлениях, и боковых опорных поверхностей (при их наличии) – от вертикали. Аналогичная ситуация возникает в случае, когда выбранная пластина имеет задние углы, отличные от главного α и вспомогательного α_1 задних углов резца в сборе. Тогда опорные плоскости гнезда должны быть скорректированы, исходя из разницы между задними углами резца α и α_1 и пластины $\alpha_{пл}$.

Целесообразность применения пластин без задних углов обусловлена возможностью их установки с двух сторон, что существенно увеличивает ресурс инструмента при затуплении. Компенсация несоответствия передних углов γ в таких конструкциях заданным

обеспечивается стружколомающими канавками, на передней поверхности пластины вдоль режущей кромки, или использованием накладных стружколомов.

Еще одной проблемой при настройке оборудования является то, что задние углы инструмента α_N и α_{1N} задаются в нормальных секущих плоскостях относительно главной и вспомогательной задних поверхностей, положение которых зависит от углов в плане φ и φ_1 инструмента. В таких условиях настройка угла поворота опорной плоскости пластины ν относительно основной плоскости резца возможна только после определения положения секущей плоскости $B-B$, в которой этот поворот может быть осуществим. Плоскость $B-B$ проходит через ось поворота $T-T$ относительно главной режущей кромки резца под углом θ , определяемым расчетным путем (см. рис. 1.10).

Тогда как поворот стола, тисков или фрезерной головки осуществляется в системе координат станка, относительно взаимно перпендикулярных осей (X, Y, Z), связанных с направлением перемещения рабочих органов (бабки, стола, консоли, салазок), поворот корпуса инструмента на угол τ или θ вокруг оси $T-T$, с дальнейшим поворотом на угол ν (см. рис. 1.10), не всегда возможен. Более рациональным является метод настройки станка путем поворота опорной поверхности стола, тисков или фрезерной головки в двух взаимно перпендикулярных плоскостях, расположенных в продольном сечении корпуса, под углом ω_1 , и в поперечном сечении, под углом ω_2 (см. рис. 1.10).

Таким образом, разработка операций механической обработки резца с СМП включает в себя:

- изучение конструктивных особенностей инструмента, способа установки в державке резца многогранных пластин, в том числе не имеющих задних углов в статическом положении;
- обоснование выбора исходных и геометрических параметров резца;
- выполнение теоретического расчета элементов ориентации многогранной пластины в державке;
- выбор оборудования и оснастки;
- определение основных параметров настройки приспособления для выполнения операции формообразования опорной поверхности гнезда под пластину;

- расчет и назначение режимов резания;
- практическую проверку, контроль и анализ полученных геометрических параметров опытного образца изделия;
- подготовку и осуществление обработки партии инструментов.

1.2. Оборудование, инструменты и контрольно-измерительные приборы

Операция фрезерования гнезда под СМП выполняется на вертикально-фрезерном или широкоуниверсально-фрезерном станке (рис. 1.8).

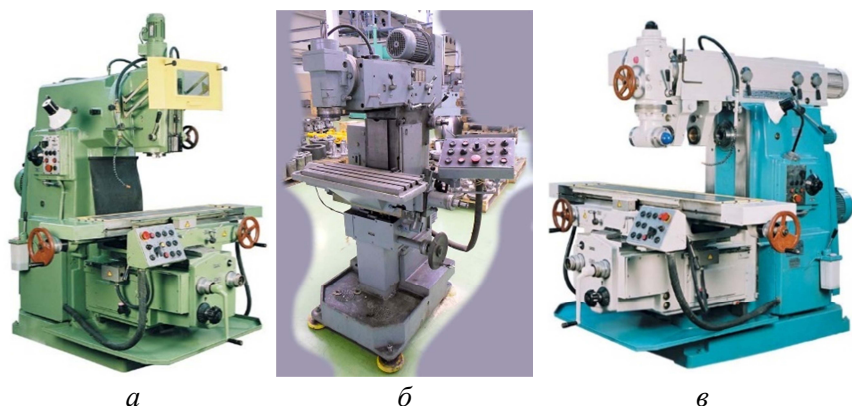


Рис. 1.8. Фрезерные станки для обработки державок сборных резцов:
a – вертикальный консольно-фрезерный станок с поворотной головкой 6Т12;
б – широкоуниверсальный инструментальный фрезерный станок с УЦИ 6Е75ПФ1 (двухшпindelный);
в – широкоуниверсальный консольно-фрезерный станок 6Т82Ш (двухшпindelный)

Для снижения трудоемкости механической обработки опорной поверхности под пластину на опытном образце токарного резца до запуска изделия в серию рекомендуется применять макет державки из легкообрабатываемого материала (алюминия, дерева). Формообразование основных элементов гнезда под пластину выполняют в двух- или трехповоротных тисках, с использованием специальной державки (рис. 1.9), или на специальном накладном поворотном столе, входящем в комплект станка.



Рис. 1.9. Тиски трехугольные поворотные

Контроль полученных геометрических параметров режущей части выполняется с помощью настольного угломера для контроля углов реза в плане, настольного или инклинометрического (маятникового) угломера конструкции ВНИИ (см. рис. 1.13).

1.3. Методика расчета, порядок выполнение настройки станка и контроль реза после фрезерования гнезда под СМП

При механическом креплении пластины глубина гнезда равна сумме толщин опорной и режущей пластин. Размеры гнезда должны обеспечивать вылет режущих пластин из корпуса не более чем на 0,8 мм, у пластин с длиной режущей кромки менее 12,7 мм, и не более 1,0 мм, у пластин с длиной кромки свыше 12,7 мм [2].

Расчет параметров гнезда для установки многогранной пластины производится в указанной ниже последовательности [2, 6]:

1. В соответствии с заданными условиями обработки выбирают форму многогранной пластины. Число граней пластины определяют по формуле (1.1):

$$n = \frac{360}{(\varphi + \varphi_1)}, \quad (1.1)$$

где φ и φ_1 – соответственно, главный и вспомогательный углы реза в плане.

В случаях, когда число граней получается дробным, его округляют до целого числа n_ϕ . При этом сохраняют заданное значение главного угла в плане φ , а фактическое значение вспомогательного

угла в плане $\varphi_{1\phi}$ определяют расчетом, преобразуя формулу (1.1) к виду (1.2):

$$\varphi_{1\phi} = \frac{360}{n_{\phi}} - \varphi. \quad (1.2)$$

При выборе многогранной пластинки необходимо пользоваться приведенными рекомендациями и справочной нормативной литературой (ГОСТ 19042-80, 19086-80, ISO 1832:2012).

Формы и размеры СМП регламентированы ГОСТами. Так для режущих твердосплавных пластин действуют ГОСТы 19043-80...19048-80, 19049-80...19052-80, 19056-80...19059-80, 19062-80...19065-80, 19067-80...19072-80, 24247-80...24253-80, 24255-80...24257-80. Для опорных пластин – ГОСТы 19073-80...19081-80, 19083-80, 24254-80. Для стружколомов – ГОСТы 19084-80, 19085-80. Для керамических пластин – ГОСТ 25003-81 и сверхтвердых материалов – ГОСТ 28762-90. Аналогичные сведения приведены в каталогах отечественных и зарубежных производителей в соответствии со стандартами ISO, DIN, ANSI.

2. Для создания задних углов на главной α и вспомогательной α_1 режущих кромках резца пластина (если она не имеет задних углов) должна быть установлена в державке с наклоном в сторону вершины резца. В резце с многогранными пластинами нельзя задавать независимо друг от друга все шесть основных геометрических параметров режущей части (углы φ , φ_1 , γ , α , α_1 , λ), как в цельных резцах, так как они связаны как с формой пластины, так и между собой.

Геометрические параметры резца с многогранной пластиной определяются углами φ , α и α_1 , значения которых могут быть заданы независимо друг от друга. Значения углов φ_1 , γ и λ будут производными от этих углов, числа граней и формы пластинки.

На практике пользуются приближенными выражениями для определения ориентации многогранной пластины без задних углов. Схема ее установки представлена на рис. 1.10. После выбора числа граней пластины, по формуле (1.1) по заданным углам φ и φ_1 , и определения фактического угла $\varphi_{1\phi}$, по формуле (1.2), задают требуемые значения углов α и α_1 . Определяют положение секущей плоскости $B-B$, расположенной под углом θ относительно главной ре-

жущей кромки по формуле (1.3), в которой необходимо повернуть опорную плоскость пластины на угол ν , рассчитываемый по формуле (1.5), относительно основной плоскости реза. Поворот пластины на угол ν позволяет получить заданные задние углы α и α_1 на резце в сборе.

Угол θ определяет положение плоскости поворота пластины. Его рассчитывают по формуле (1.3):

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{\operatorname{tg} \alpha \sin \varepsilon}{\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha \cos \varepsilon}, \quad (1.3)$$

где ε – угол при вершине многогранной пластины.

Угол ε определяют по формуле (1.4):

$$\varepsilon = \frac{180(n_{\phi} - 2)}{n_{\phi}}. \quad (1.4)$$

Угол поворота опорной плоскости пластины относительно основной в сечении $B-B$ рассчитываем по формуле (1.5):

$$\operatorname{tg} \nu = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\sin \theta}. \quad (1.5)$$

Если пластина имеет задние углы, то в величины θ и ν вносят соответствующие корректировки, считая

$$\alpha = \alpha_{\text{ном}} - \alpha_{\text{п}},$$

где $\alpha_{\text{ном}}$ – номинальный задний угол реза в сборе;

$\alpha_{\text{п}}$ – задний угол пластины.

Указанных данных достаточно для изготовления гнезда под пластину у резцов, однако вместо угла θ удобнее пользоваться углом τ между осью державки и секущей плоскостью $B-B$.

Расчет угла τ производится по формуле (1.6):

$$\tau = (\varphi + \theta) - 90^\circ. \quad (1.6)$$

Сама же плоскость сечения $B-B$ проходит через ось $T-T$ (рис. 1.10).

Для фрезерования паза державку разворачивают в горизонтальной плоскости на угол τ , а в вертикальной – на угол ν . При этом опорная поверхность гнезда оказывается параллельной поверхности стола фрезерного станка, и корпус резца можно поворачивать вокруг вертикальной оси на любой угол для фрезерования боковых поверхностей гнезда.

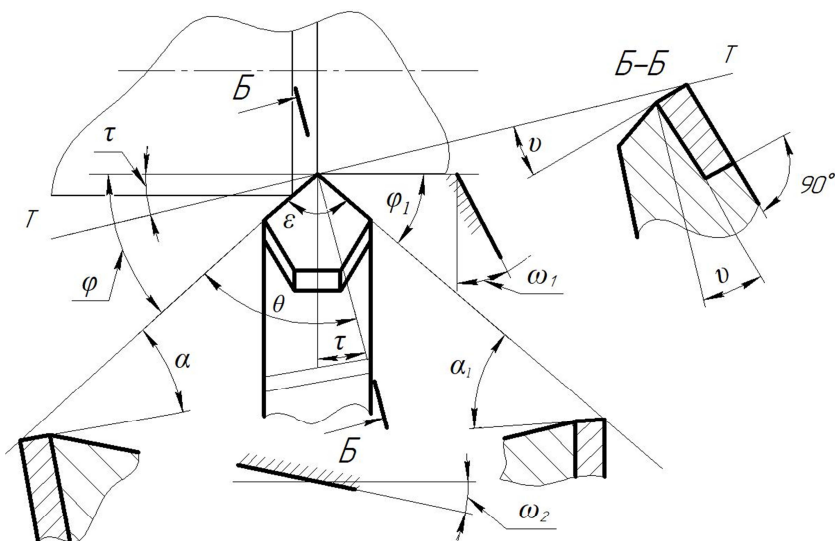


Рис. 1.10. Схема расположения опорной поверхности пластины на державке резца

Передний угол инструмента в сборе γ определяют по формуле (1.7):

$$\gamma = \gamma_{\text{пл}} - \alpha, \quad (1.7)$$

где $\gamma_{\text{пл}}$ – передний угол пластинки в статическом положении.

Передний угол пластинки с плоской передней поверхностью $\gamma_{\text{пл}} = 0^\circ$.

При использовании пластинок с плоской передней поверхностью (без лунок, стружколомов) резец будет иметь отрицательный передний угол, равный по абсолютной величине заднему углу α .

3. Для проверки выполненных расчетов опорную поверхность гнезда державки обрабатывают на макете резца (рис. 1.11). Обработку осуществляют на вертикальном или широкоуниверсальном фрезерном станке концевой фрезой или на универсально-заточном станке шлифовальным кругом.

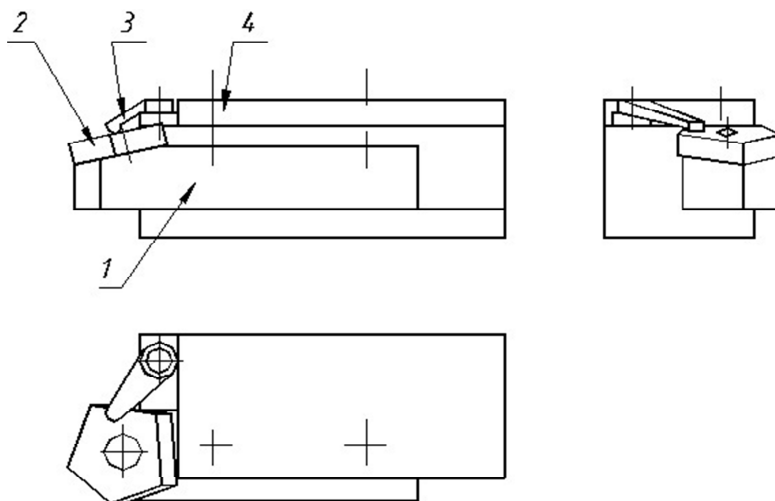


Рис. 1.11. Схема закрепления СМП на державке резца:
1 – державка; 2 – СМП; 3 – прихват; 4 – обойма

Установку державок на станке производят в трехповоротных тисках, на накладном двух- или трехугловом столе. Для настройки тисков или стола необходимо определить углы поворота их отдельных частей вокруг соответствующих осей, на которых опорная плоскость гнезда под пластинку займет требуемое положение.

Для этой цели опорную плоскость гнезда под пластину задают двумя прямыми, расположенными в продольном сечении корпуса, под углом ω_1 , и поперечном сечении, под углом ω_2 (рис. 1.10).

Углы ω_1 и ω_2 определяют из формулам (1.8) и (1.9):

$$\operatorname{tg} \omega_1 = (\operatorname{tg} \alpha / \cos \lambda) \cos \varphi + \operatorname{tg} \lambda \sin \varphi; \quad (1.8)$$

$$\operatorname{tg} \omega_2 = (\operatorname{tg} \alpha / \cos \lambda) \sin \varphi - \operatorname{tg} \lambda \cos \varphi. \quad (1.9)$$

Угол наклона главной режущей кромки резца в сборе λ определяют по формуле (1.10):

$$\operatorname{tg} \lambda = \operatorname{tg} \alpha \operatorname{ctg} \theta. \quad (1.10)$$

При фрезеровании паза (рис. 1.12) державку резца устанавливают основной плоскостью на опорную поверхность тисков и, после двух последовательных поворотов вокруг горизонтальной оси, параллельной направлению подачи, на угол ω_1 и горизонтальной оси, перпендикулярной к направлению подачи, на угол ω_2 , опорная поверхность гнезда под пластину займет положение, параллельное плоскости фрезерования. Аналогично настраивают приспособление при шлифовании на плоскошлифовальном станке.

4. После обработки опорной поверхности требуемого профиля державку устанавливают в обойме (рис. 1.11) и на ней закрепляют многогранную пластину.

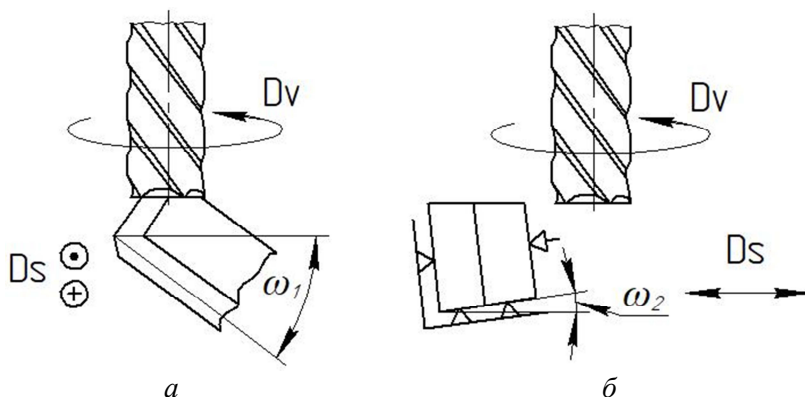


Рис. 1.12. Схема формирования опорной поверхности гнезда под СМП:
a – вид сбоку на зону обработки станка; *б* – вид спереди на зону обработки станка;
 D_v – главное движение резания (вращение шпинделя с фрезой);
 D_s – движение подачи (продольное перемещение стола с заготовкой)

Ориентацию пластины в державке производят по главному углу в плане φ (рис. 1.13, *a*). После закрепления пластину измеряют, как показано на рис. 1.13, *б, в* и анализируют величины фактических значений геометрических параметров резца: α , α_1 , φ_1 , λ , γ . При их от-

клонениях, превышающих допустимые значения, проверяют расчеты и работу повторяют.

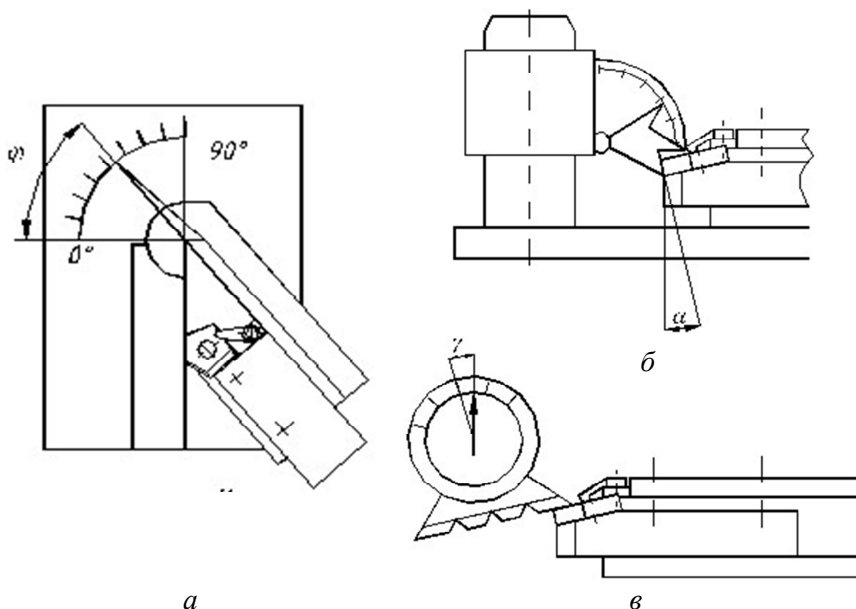


Рис. 1.13. Схема контроля геометрических параметров реза
a – угла в плане φ ; *б* – заднего угла α ; *в* – переднего угла γ

В ряде конструкций резцов и резцовых вставок с базированием СМП по отверстию в державках присутствует отверстие под штифт, винт, паз под Г-образный рычаг. Поэтому после операции фрезерования паза под пластину необходимо обработать точное цилиндрическое или резьбовое отверстие, либо паз на опорной плоскости державки.

Определить координаты центра отверстия под штифт, винт или рычаг для установки пластины (рис. 1.14) можно по формулам (1.11), (1.12) [2]:

$$l = (R - b) \cos \frac{\varepsilon}{2}; \quad (1.11)$$

$$l_1 = (R - b) \sin \frac{\varepsilon}{2}, \quad (1.12)$$

где R – радиус описанной окружности пластины; для трехгранных пластин $R = m - d / 2$, для пластин других форм $R = m + d / 2$;

m, d – размеры пластины, указанные в соответствующем ГОСТе;

b – вылет пластины из гнезда;

ε – угол при вершине пластины.

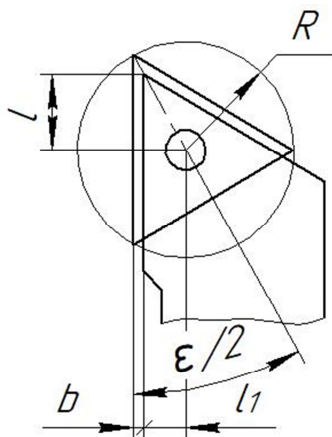


Рис. 1.14. Схема для расчета координат центра отверстия под штифт

При креплении пластины винтами, для плотного прижима ее к боковым стенкам корпуса, вводят коррекцию на смещения оси отверстия державки относительно оси отверстия пластины на $0,1 \dots 0,2$ мм в сторону прижима пластины к стенкам гнезда, что указывается на чертеже инструмента и должно быть обеспечено при сверлении отверстия в державке.

1.4. Особенности фрезерования гнезда под пластину на станках с ЧПУ

Гнездо (паз) под пластину в корпусах сборного режущего инструмента является одним из важнейших элементов, поскольку точность изготовления и качество поверхности опорной и направляющих баз непосредственно влияют на точность установки режущей пластины, прочность и жесткость режущей части, виброустойчивость режущего инструмента.

Поэтому к точности изготовления и качеству поверхности гнезда под пластину предъявляются повышенные технические требования: неплоскостность и непрямолинейность – не более 0,02 мм, шероховатость поверхностей – не более $Ra = 1,25$ мкм. Полузакрытая форма гнезда во много раз увеличивает трудоемкость его изготовления. Обеспечить одновременно высокие точность и производительность может только оборудование с ЧПУ.

Пятиосевой станок умеет все то же, что и обычный фрезерный трехосевой, к тому же имеет две дополнительные поворотные оси, которые позволяют вести обработку со всех сторон изделия, в том числе и под углом к поверхности.

Две дополнительные оси обеспечиваются, в основном, поворотом стола на 360° и его наклоном (наклонно-поворотный стол) или поворотной фрезерной головкой.

Основное требование к 5-осевому станку – одновременное управление всеми 5-ю осями, т. е. станок должен иметь 5-осевое ЧПУ.

Важно различать 5-осевую обработку и 3+2-осевую обработку.

Пятиосевая машина осуществляет непрерывную одновременную обработку по всем пяти осям, чтобы фреза оставалась оптимально перпендикулярной к поверхности детали. Система ЧПУ выполняет 5-осевую программу обработки.

Конфигурация станка 3+2, также называемая 5-сторонней, или позиционной 5-осевой обработкой, представляет собой выполнение 3-осевой программы с режущим инструментом, зафиксированным под углом, определяемым двумя осями вращения. Переориентация инструмента по осям вращения между проходами резания называется *5-осевой индексацией*, хотя она по-прежнему считается 3+2.

Основным преимуществом непрерывной 5-осевой обработки по сравнению с 5-осевой индексацией является скорость, так как последняя требует остановки и запуска между переориентацией инструмента, тогда как 5-осевая не делает этого.

Результаты при использовании непрерывной, или индексированной, 5-осевой обработки вполне сопоставимы.

Стоит отметить, что преимущество в скорости ведет к увеличению хода движущихся частей, что означает повышенный износ, а также к большей потребности в обнаружении возможности столкновения деталей. Это одна из причин, по которой непрерывная 5-осевая обработка является более сложной с точки зрения программирования.

В большинстве случаев для обработки гнезд под СМП, даже в полузакрытом исполнении с механизмом крепления типов *M* и *P*, достаточно конфигурации станка 3+2. Если гнезда располагаются на винтовой поверхности осевого инструмента, тогда предпочтительна полная 5-осевая обработка.

Примеры станков 5-ти осевого исполнения, с указанием координатных осей перемещения рабочих органов, представлены на рис. 1.15, 1.16.

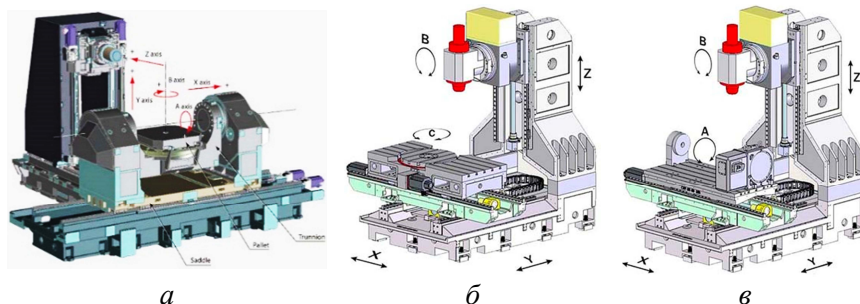


Рис. 1.15. 5-осевые фрезерно-сверлильно-расточные станки с ЧПУ:
a – 5-осевой станок на базе горизонтального обрабатывающего центра с 2-угловым поворотным столом; *б* – 5-осевой станок с поворотной шпиндельной головкой и поворотным столом с вертикальной осью вращения; *в* – 5-осевой станок с поворотной шпиндельной головкой и поворотным столом с горизонтальной осью вращения

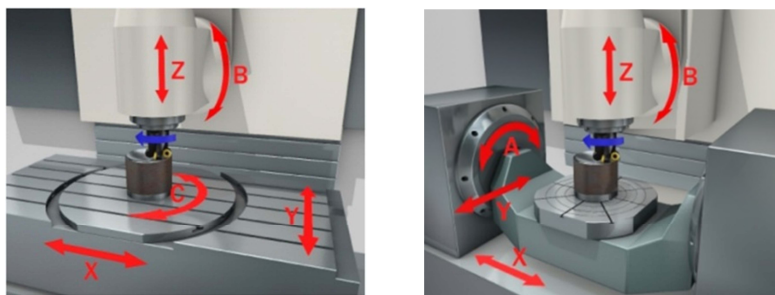


Рис. 1.16. Координатные оси перемещения узлов станка при 5-осевой обработке

Основными технологическими особенностями полузакрытого гнезда являются обработка внутреннего контура концевыми фрезами малого (от 3 до 6 мм) диаметра и наличие технологических разрядок в вершинах контура [7].

В типовой технологический процесс изготовления полузакрытых гнезд входят:

- 1) предварительная обработка верхней поверхности рабочей части резца торцевой фрезой;
- 2) обработка наружного контура концевой фрезой диаметром 16...25 мм;
- 3) затем непосредственно в гнезде производится предварительный съем припуска концевой фрезой диаметром 8...10 мм и черновое фрезерование внутреннего контура концевой фрезой диаметром 3...6 мм с оставлением припуска 0,2...0,5 мм;
- 4) центрование, сверление отверстий в гнезде;
- 5) чистовое фрезерование внутреннего контура и дна гнезда.

Черновое фрезерование осуществляется концевыми фрезами с углом $\varphi = 90^\circ$, а чистовое – концевыми фрезами, имеющими, в зависимости от формы поперечного сечения гнезда, прямой или обратный конус рабочей части. Применяется в основном только попутное фрезерование, т. к. при этом повышается стойкость режущего инструмента, снижаются силы резания и шероховатость обработанной поверхности (рис. 1.17).

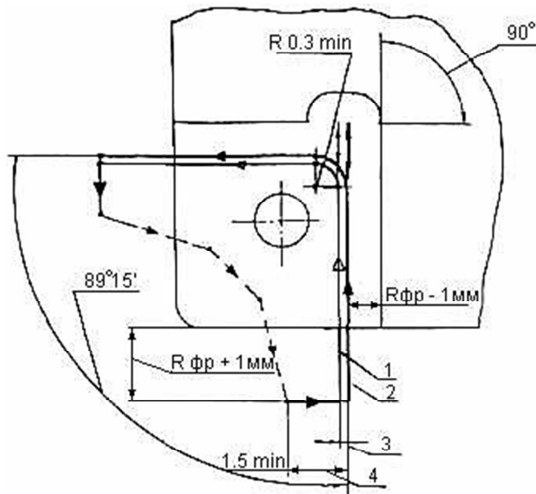


Рис. 1.17. Траектория инструмента при фрезеровании гнезда под пластину:
1 – траектория фрезы при черновой обработке; 2 – траектория фрезы при чистовой обработке; 3 – припуск под чистовую обработку 0,2 мм;
4 – подход к обрабатываемому контуру

Такая последовательность технологических процессов не случайна, т. к. при центровании отверстия в гнезде происходит «выдавливание» металла на опорную поверхность, что нарушает прилегание режущей пластины к базе (рис. 1.18).

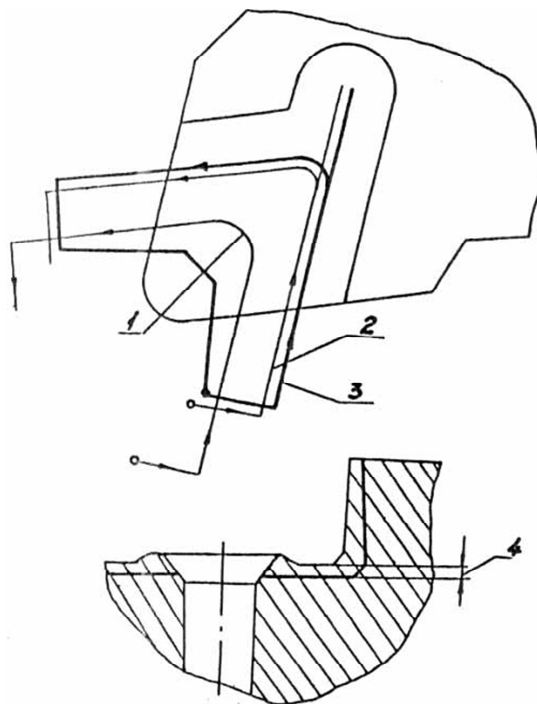


Рис. 1.18. Особенности обработки дна гнезда под пластину в корпусах сборного режущего инструмента:

- 1 – предварительная обработка, фреза диаметром 8 мм; 2 – черновая обработка, концевая фреза диаметром 5 мм; 3 – чистовая обработка, концевая фреза диаметром 5 мм; 4 – припуск под чистовую обработку 0,2–0,5 мм

Разделение припуска между предварительным, черновым и чистовым проходами вызвано, прежде всего, необходимостью увеличения стойкости наиболее нагруженных фрез для черновой и чистовой обработки, определяющих точность размеров гнезда.

Разрядка в вершинах контура обрабатывается (за исключением отдельных случаев) методом фрезерования, который позволяет по-

лучить большую, чем при сверлении, надежность, т. к. основная часть поломок концевых фрез малого диаметра происходит при их входе в предварительно просверленное отверстие.

Повышение точности и производительности изготовления гнезд под пластину требует создания специального режущего инструмента второго порядка, обладающего более высокими точностью, стойкостью и надежностью по сравнению со стандартным. Более того, некоторые конструкции сборного режущего инструмента такие, как сверла с СМП, концевые фрезы и расточные резцы, не могут быть обработаны стандартными серийно выпускаемыми концевыми фрезами из-за большого вылета инструмента.

Во ВНИИинструмент разработаны, изготовлены и испытаны опытные образцы специальных концевых фрез диаметром 5 и 6 мм. Новые фрезы имеют следующие преимущества (рис. 1.19):

1. Утолщенный хвостовик и переходный конус от рабочей к хвостовой части значительно повышает жесткость и прочность тела фрезы.

2. Отсутствие переднего центра и канавки торцового зуба значительно увеличивают прочность уголка.

3. Фреза имеет две рабочие части, что почти в полтора раза снижает расход инструментального материала.

4. Усовершенствованная форма канавки и спинки зуба (аналогичная шпоночным фрезам) улучшает отвод стружки и повышает прочность зуба фрезы.

5. Уменьшенный угол наклона винтового зуба повышает прочность и жесткость рабочей части фрезы.

6. Фрезы изготавливаются методом вышлифовки из предварительно закаленной заготовки. Вышлифовка, заточка и последующие переточки производятся при базировании по хвостовику. Это позволило значительно увеличить стойкость фрез, т. к. гарантируются стабильность термообработки режущих кромок, точность изготовления винтовых канавок, малая шероховатость поверхностей канавок, минимальное (не более 0,01 мм) биение периферийного и торцового зуба.

Специальные концевые фрезы позволяют увеличить производительность обработки гнезд под пластину не менее, чем в два раза. Кроме того, их применение позволяет производить изготовление гнезд под пластину в корпусах сборного режущего инструмента при максимальной частоте вращения шпинделя станка, 3200 мин^{-1} ,

а также фрезерование предварительно термообработанных заготовок при HRC 28...32 и выше.

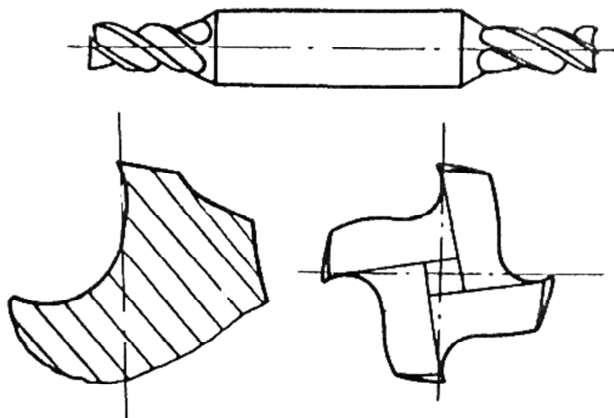


Рис. 1.19. Концевая специальная фреза для изготовления полузакрытых пазов для СМП

Разработаны также специальные конструкции сверл-центровок и сверл-зенкеров для обработки отверстий в гнезде под пластину, а также специальные двухсторонние шпоночные фрезы для обработки паза под рычаг в корпусах сборных резцов.

1.5. Контрольные вопросы

1. Как подразделяются СМП по ГОСТ 19042-80, ГОСТ 24257-80 и др. по форме, по конструкции, по точности и т. д.?
2. Какие существуют способы крепления СМП на державках резцов. При каких видах обработки они применяются?
3. На каких станках обрабатываются гнезда под СМП в державках резцов?
4. Как определяется форма и число граней пластины?
5. Как обеспечить необходимые задние углы резца в сборе при нулевых статических задних углах пластины?
6. Чем объясняется определенное положение секущей плоскости $N-N$ на расчетной схеме (см. рис. 1.10) относительно главной режущей кромки?

7. Какие из геометрических параметров резца являются исходными, а какие определяются в ходе расчета?
8. Какие из расчетных углов являются углами настройки приспособления?
9. Какой порядок настройки станка на операцию механической обработки гнезда под СМП в державке резца?
10. Какие существуют гнезда (пазы) под СМП?
11. Особенности изготовления гнезд под СМП на станках с ЧПУ?
12. Для чего необходима разрядка в вершинах контура гнезда?
13. Перечислить преимущества специальных концевых фрез.

2. ФРЕЗЕРОВАНИЕ ВИНТОВЫХ СТРУЖЕЧНЫХ КАНАВОК НА ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ ИНСТРУМЕНТА

2.1. Особенности фрезерования винтовых стружечных канавок на цилиндрической поверхности осевого инструмента

Большинство осевых инструментов (сверла, зенкеры, фрезы, метчики и т. д.) имеют винтовые стружечные канавки, обеспечивающие равномерность резания за счет нахождения в работе нескольких зубьев, уменьшение мгновенной ширины стружки при врезании, улучшение отвода стружки в желаемом направлении.

Фрезерование винтовых стружечных канавок производится при формировании рабочей части сверл, зенкеров, цилиндрических и концевых фрез, червячных и фасонных фрез и других многолезвийных инструментов.

Фрезерование стружечных канавок на цилиндрических поверхностях осуществляют как одноугловой, так и двухугловой фрезой.

Двухугловые фрезы имеют более высокую стойкость и обеспечивают меньшую шероховатость обрабатываемой поверхности. Винтовые стружечные канавки фрезеруют только двухугловыми фрезами.

Фрезы, предназначенные для обработки винтовых канавок, теоретически должны иметь криволинейный профиль. При углах наклона стружечных канавок ω до 10° погрешности профилирования невелики и обработку ведут двухугловыми фрезами. Радиус кривизны ρ двухугловой фрезы в сечении $B-B$ (рис. 2.1) должен быть меньше радиуса кривизны ρ_1 обрабатываемой винтовой канавки, и соприкосновение такой фрезы с заготовкой происходит подобно обкатыванию. При фрезеровании винтовой канавки одноугловой фрезой (на рис. 2.1 она показана штриховой линией), вследствие соприкосновения ее в точках A и B профиль зуба будет искажаться таким образом, что на некотором участке передней поверхности (примерно $1/2-1/3$ высоты зуба h) передний угол γ будет отрицательным (рис. 2.1).

При фрезеровании винтовых канавок ставится задача получить зубья у фрез, зенкеров, разверток с передним углом $\gamma = 0$ или $\gamma > 0$ и высотой зуба h , измеренной в радиальном направлении.

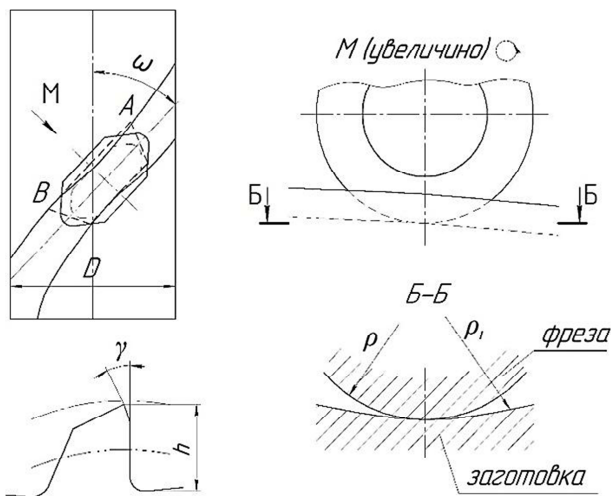


Рис. 2.1. Схема фрезерования винтовых канавок двухугловыми фрезами

2.2. Оборудование, приспособление, инструмент и контрольно-измерительные приборы

Фрезерование винтовых стружечных канавок на цилиндрической поверхности производится на универсально-фрезерном станке модели 6P82, 6T82, 6M82 и т. д. (рис. 2.2).

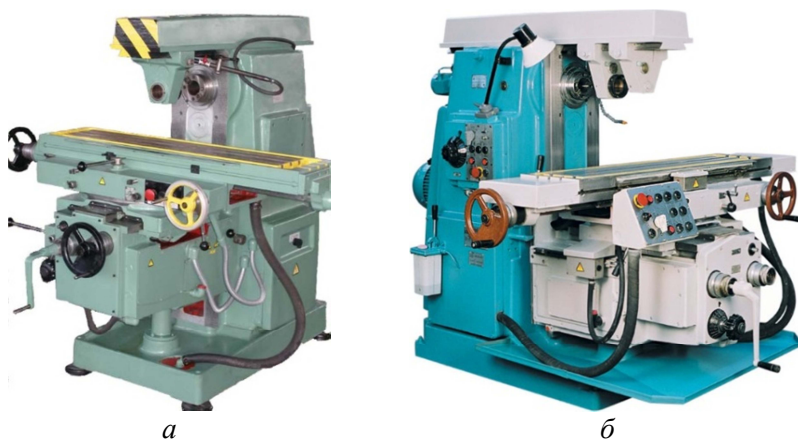


Рис. 2.2. Универсально-фрезерные станки:
а – 6P82; б – 6T82

В качестве приспособления для обработки применяется универсальная делительная головка УДГ (рис. 2.3), устанавливаемая на столе станка. Набор сменных зубчатых колес, входящий в комплект УДГ, предназначен для связи шпинделя головки с ходовым винтом продольного перемещения стола при настройке на угол подъема винтовой линии при фрезеровании.

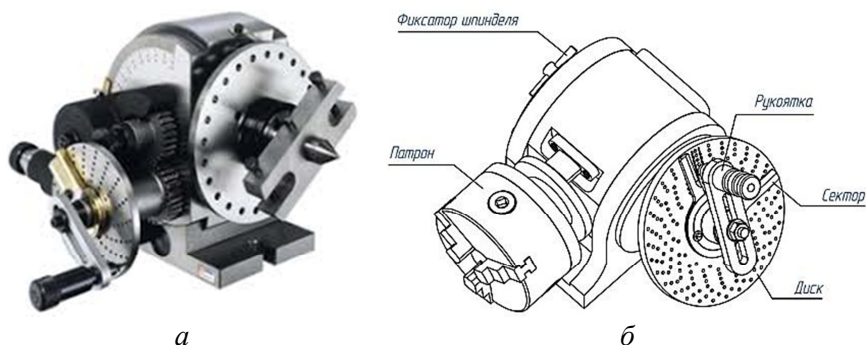


Рис. 2.3. Универсальная делительная головка (УДГ):
а – с поводковым патроном; *б* – с трехкулачковым патроном

В качестве инструмента 2-го порядка (рабочей фрезы) используется двухугловая дисковая фреза с несимметричным профилем по ТУ 2-035-526-84 (см. рис. 3.3, *б*), угол профиля которой должен быть равен углу профиля винтовой стружечной канавки θ обрабатываемого инструмента (см. рис. 2.7). Подробно выбор фрез описан в подразделе 3.3.

Для контроля параметров канавочной фрезы и обработанной стружечной канавки применяются:

- универсальный угломер (ГОСТ 5378-88);
- угломер 2УРИ (ТУ 2-034-617-84);
- штангенциркуль (ГОСТ 166-89);
- радиусомер (шаблоны радиусные ТУ 2-034-228-87);
- маятниковый угломер ЗУРИ-М;
- штангенрейсмас (ГОСТ 164-90).

Для контроля переднего угла с помощью штангенрейсмаса фрезе устанавливают в центрах и измеряют высоту A (рис. 2.4).

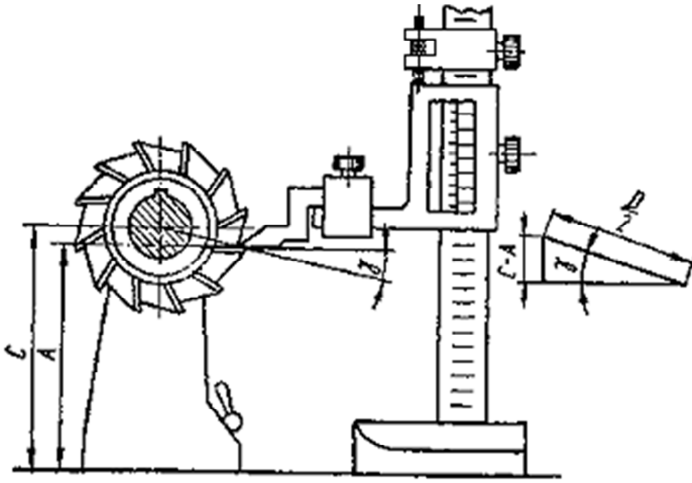


Рис. 2.4. Контроль переднего угла фрезы штангенрейсмасом

Величину переднего угла определяют по формуле (2.1):

$$\gamma = \arcsin \frac{2(C - A)}{D}, \quad (2.1)$$

где C – высота центров;

A – высота вершины контролируемого зуба фрезы;

D – наружный диаметр фрезы.

Измерение заднего угла производится штангенрейсмасом со специальной ножкой (рис. 2.5). Величину заднего угла определяют по формуле (2.2):

$$\alpha = \arcsin \frac{2(A - C)}{D}. \quad (2.2)$$

При измерении углов α , γ , ω маятниковым угломером фрезу устанавливают с оправкой на центрах, как показано на рис. 2.6, а. На плите помещается штангенрейсмас. Установив с помощью него вершину зуба фрезы в осевой плоскости и закрепив фрезу, измеряют маятниковым угломером углы α , γ , ω , как показано на рис. 2.6, б.

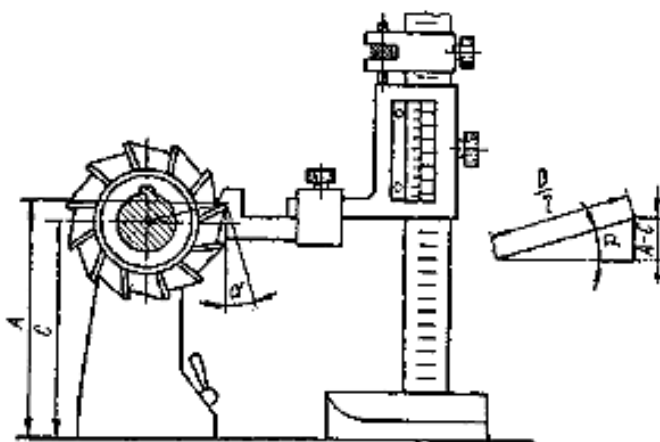


Рис. 2.5. Контроль заднего угла фрезы штангенрейсмасом

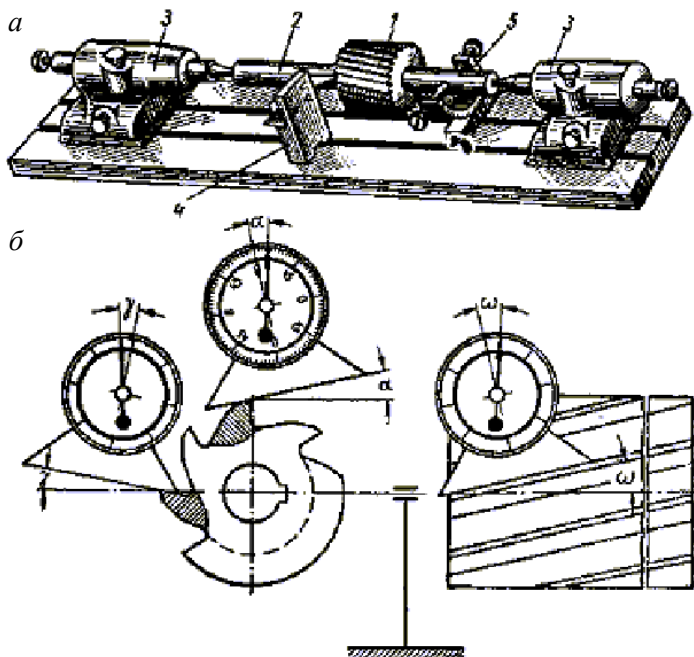


Рис. 2.6. Установка для измерения углов зубьев фрезы маятниковым угломером:
a – общий вид: 1 – фреза; 2 – оправка; 3 – центровые бабки; 4 – рейсмас;
 5 – фиксирующее устройство; *б* – измерение переднего γ , заднего α
 и угла наклона винтовой канавки зуба ω

2.3. Методика расчета параметров настройки станка на фрезерование винтовой стружечной канавки на инструменте

Исходные данные:

- диаметр обрабатываемого изделия D , мм;
- угол наклона винтовой канавки ω , град.;
- передний угол γ , град.;
- высота зуба h , мм;
- угол профиля стружечных канавок θ , град.;
- радиус закругления дна стружечной канавки r , мм.

По этим данным необходимо подобрать двухугловую фрезу так, чтобы общий угол профиля фрезы (угол между смежными режущими кромками) был равен углу θ , а радиус закругления вершины зубьев r . На выбранной фрезе универсальным угломером замерить боковой угол профиля θ_1 (рис. 2.7).

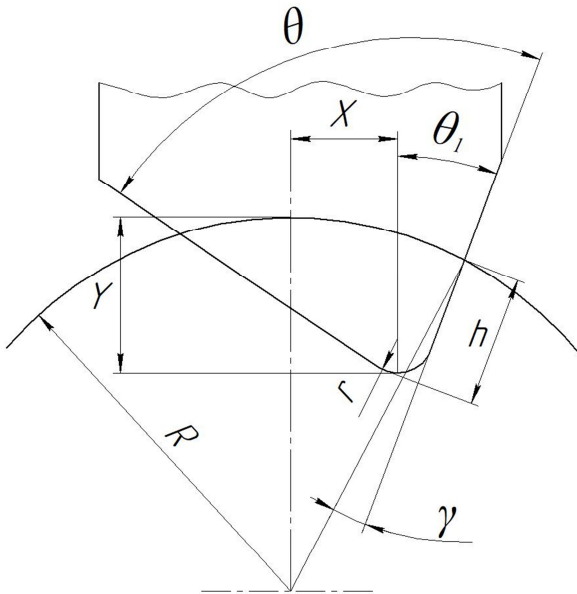


Рис. 2.7. Расчетная схема настройки станка

Используя исходные данные и результаты измерения канавочной дисковой угловой фрезы, необходимо рассчитать (рис. 2.7):

1) горизонтальное смещение заготовки по формуле (2.3):

$$X = \frac{\left[\left(\frac{D}{2} \right) \sin(\theta_1 + \gamma) - h \sin \theta_1 - r\sqrt{2} \sin(45^\circ - \theta_1) \right]}{\cos \omega}; \quad (2.3)$$

2) вертикальное смещение заготовки по формуле (2.4):

$$Y = \frac{\left\{ \frac{D}{2} - \left[\left(\frac{D}{2} \right) \cos(\theta_1 + \gamma) - h \cos \theta_1 \right] - r \left[\sqrt{2} \cos(45^\circ - \theta_1) - 1 \right] \right\}}{\cos \omega}. \quad (2.4)$$

Определить шаг винтовой стружечной канавки по формуле (2.5):

$$P_x = \frac{\pi D}{\operatorname{tg} \omega}. \quad (2.5)$$

Заготовку устанавливают в шпинделе делительной головки на столе станка и поджимают задним центром. Установку рабочей фрезы по координатам X и Y выполняют с помощью установочных шаблонов или перемещением стола станка.

Одноугловые фрезы устанавливают по центру изделия с помощью угольника и срезаемого до оси валика (рис. 2.8, *a*) или оправки с рисками (рис. 2.8, *б*), или специального шаблона (рис. 2.8, *в*). Двухугловые фрезы (рис. 2.8, *з*, *д*, *е*) устанавливают с помощью валика и шаблона (рис. 2.8, *з*) или приспособления (рис. 2.8, *д*), или по пятну касания (рис. 2.8, *е*).

Заготовку, установленную в центрах делительной головки, приводят к рабочей фрезе до касания (рис. 2.8, *е*). Затем стол перемещают на величину X и поднимают на высоту Y (рис. 2.7). Горизонтальное смещение X и вертикальное Y называют *параметрами настройки*. Затем стол разворачивают на угол наклона $\omega + 1^\circ$ винтовой канавки.

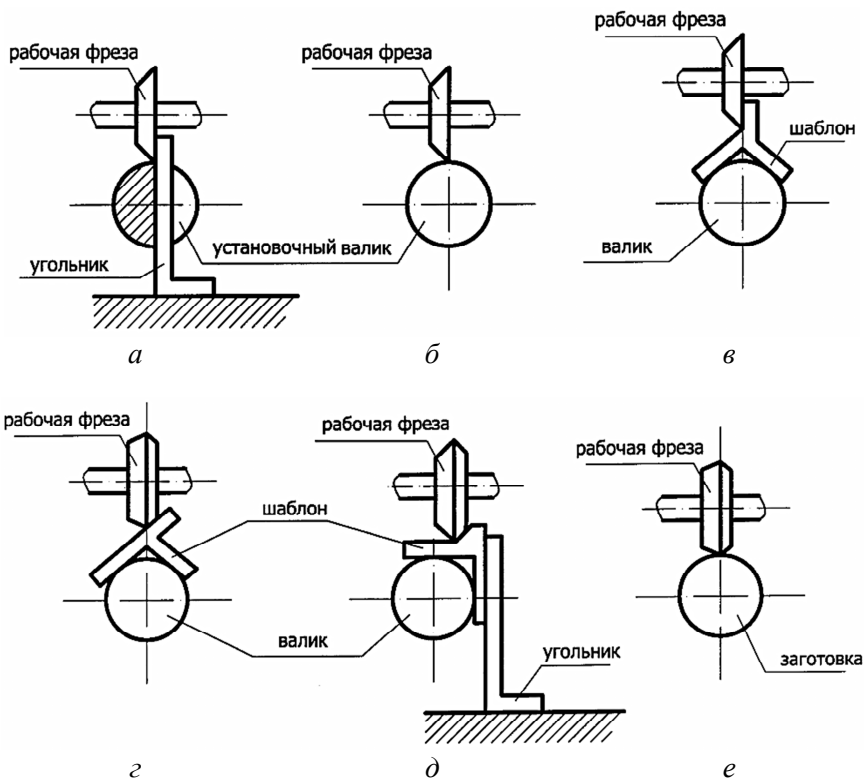


Рис. 2.8. Схема установки фрез при обработке канавок:
a – по срезанному валу и угольнику; *б* – по валу с рисками;
в, г – по шаблону; *д* – по шаблону с угольником; *е* – по пятну касания

Для получения винтовой канавки на цилиндрической поверхности заготовки необходимо при фрезеровании согласовать поворот заготовки с продольным перемещением стола. Для этого шпиндель делительной головки связывают с вращением ходового винта продольного перемещения стола с помощью двухпарной гитары сменных зубчатых колес.

Передаточное отношение сменных колес гитары определяется по формуле (2.6):

$$i = \frac{NP_B}{P_X}, \quad (2.6)$$

где $N = 40$ – характеристика делительной головки;

$P_B = 6$ мм – шаг ходового винта продольного перемещения стола станка.

Подбираем сменные шестерни гитары по формуле (2.7):

$$i = \frac{a c}{b d} = \frac{NP_B}{P_X}. \quad (2.7)$$

Для подбора шестерен гитары, к делительной головке дается набор шестерен с числом зубьев: 23, 24, 25, 30, 34, 35, 37, 40, 41, 43, 45, 47, 48, 50, 53, 55, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 65, 67, 70, 71, 73, 75, 79, 80, 83, 85, 89, 90, 91, 95, 97, 98, 100. Чтобы подобранные сменные зубчатые колеса могли поместиться на гитаре и не упирались во втулки валиков зубчатых колес, необходимо соблюдать следующие условия зацепления:

$$a + b \geq c + 22;$$

$$c + d \geq b + 22.$$

Суммы чисел сопряженных колес не должны превышать допустимого значения, определяемого конструкцией и размерами места, отведенного для размещения гитары на станке. Существует несколько способов подбора чисел зубьев сменных зубчатых колес [15]:

- 1) разложение на простые множители;
- 2) замена часто встречающихся чисел приближенными дробями;
- 3) логарифмический способ;
- 4) подбор чисел зубьев колес по логарифмической линейке;
- 5) подбор чисел зубьев по таблицам М. В. Сандакова или В. А. Шишкова [17, 18].

Например, на основе результата расчета, полученного по формуле (2.7) (с точностью до 7-го знака после запятой), по справочникам [17, 18] подбираем шестерни. Для фрезерования правой винтовой канавки в гитаре должна быть поставлена паразитная шестерня. Если при установке паразитной шестерни произойдет двойное сцепление, то необходимо будет пропорционально увеличить числа зубьев шестерен, не превышая максимального значения зубьев наибольшей

шестерни – 100 зубьев. По заданной скорости резания и подаче на зуб рассчитываем частоту вращения шпинделя с фрезой n , мин^{-1} , и минутную подачу стола с заготовкой $S_{\text{мин}}$, мм/мин [19].

В соответствии с указаниями настраиваем станок и фрезеруем винтовую канавку. Определяем, на какой угол необходимо повернуть заготовку, чтобы получить требуемую форму спинки зуба и ленточку при фрезеровании последующих канавок. Для этого применяется простое деление с помощью универсальной делительной головки. Поворот заготовки на требуемый угол осуществляется с помощью делительного диска (лимба) и рукоятки с фиксатором (рис. 2.9). Для удобства отсчета угла поворота заготовки используют раздвижной сектор с двумя линейками, подпружиненными между собой от самопроизвольного поворота.

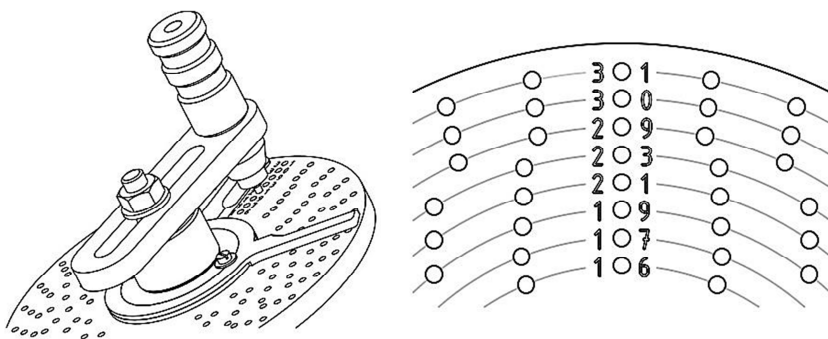


Рис. 2.9. Схема расположения концентрических окружностей с отверстиями на делительном диске универсальной делительной головки

Делительные диски универсальных делительных головок имеют ряд концентрических окружностей со следующим количеством отверстий:

с одной стороны – 16, 17, 19, 21, 23, 29, 30, 31;

с другой стороны – 33, 37, 39, 41, 43, 47, 49, 54.

Делительный диск крепится к головке четырьмя винтами и может при необходимости поворачиваться обратной стороной.

Для определения угла поворота заготовки используем формулу (2.8) наладки универсальной головки:

$$n_{\text{РУК}} = \frac{40}{Z}, \quad (2.8)$$

где Z – число канавок (частей), на которое требуется выполнить деление;

$n_{\text{РУК}}$ – число оборотов рукоятки.

В том случае, когда $n_{\text{РУК}}$ получается дробным числом, необходимо преобразовать формулу (2.8) следующим образом:

$$n_{\text{РУК}} = \frac{40}{Z} = a + \frac{b}{c}, \quad (2.9)$$

где a – целое число оборотов рукоятки;

c – число отверстий в одном из рядов делительного диска;

b – число отверстий (шагов), на которое надо дополнительно повернуть рукоятку.

Пример. Необходимо наладить универсальную делительную головку для фрезерования стружечных канавок фрезы с числом зубьев $Z = 36$.

Решение примера:

$$n_{\text{РУК}} = \frac{40}{Z} = \frac{40}{36} = 1 + \frac{4}{36} = 1 + \frac{1}{9} = 1 + \frac{1 \cdot 6}{9 \cdot 6} = 1 + \frac{6}{54}.$$

На делительном диске установить $1/9$ часть оборота невозможно. Следовательно, для поворота шпинделя с заготовкой на $1/9$ оборота для знаменателя дроби подбираем из ряда чисел отверстий на делительном диске число, кратное 9. Им является число 54. Для того, чтобы дробь не изменилась, умножаем числитель на то же число 6. Рукоятку делительной головки следует каждый раз поворачивать на один полный оборот и шесть шагов. Линейки раздвижного сектора устанавливаются (раздвигаются) на шесть отверстий, не считая седьмого, в которое вставлен фиксатор рукоятки делительной головки (рис. 2.10).

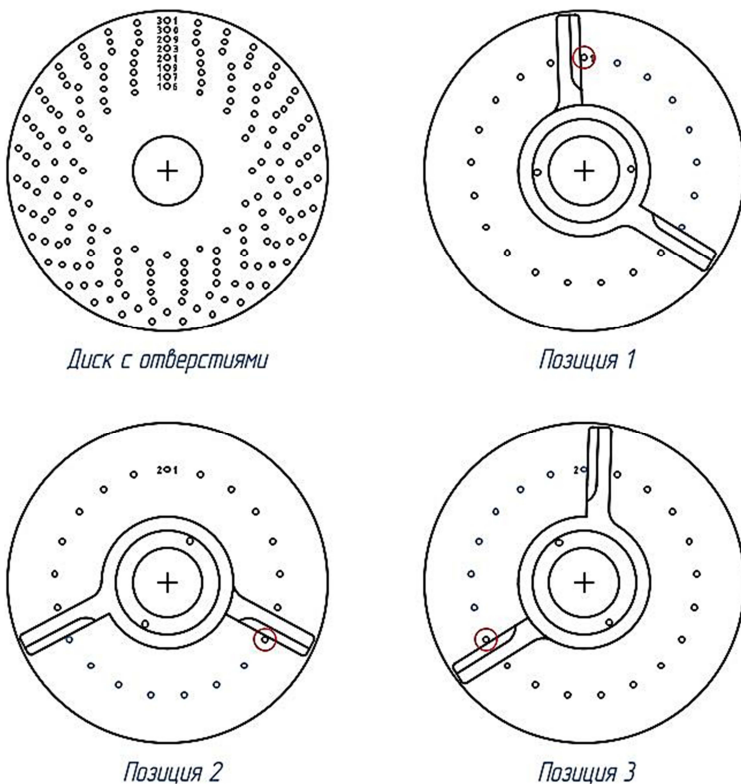


Рис. 2.10. Пример работы УДГ и настройки делительного диска при делении заготовки на зубья

2.4. Порядок выполнения настройки станка

1. В соответствии с заданием выбрать двухугловую рабочую фрезу и измерить углы профиля θ и θ_1 , а также радиус закругления у вершины зуба r .
2. Рассчитать, используя исходные данные, горизонтальное и вертикальное смещение заготовки по формулам (2.3) и (2.4).
3. Установить делительную головку на столе станка.
4. Рассчитать по формуле (2.7) передаточное отношение цепи винтонарезания, подобрать колеса предложенными выше методами и настроить гитару сменных зубчатых колес.
5. Закрепить рабочую фрезу на оправке в шпинделе станка.

6. Закрепить заготовку на шпинделе делительной головки.
7. Вершину двухугловой фрезы совместить с риской на задней бабке делительной головки (см. рис. 2.8).
8. Опустить стол станка с заготовкой, включить станок и вращающейся фрезой коснуться заготовки.
9. Установить горизонтальное X и вертикальное Y смещение перемещениями стола в плоскостях (см. рис. 2.7).
10. Развернуть стол в горизонтальной плоскости на угол ω_1 :

$$\omega_1 = \omega + (1\dots 2)^\circ.$$

Для правых винтовых канавок стол поворачивают против часовой стрелки (смотреть на стол сверху), для левых – по часовой стрелке.

11. Рассчитать и установить режимы резания: n и $S_{\text{мин}}$, например, приняв скорость резания $V = (20\dots 25)$ м/мин, подачу $S_z = (0,01\dots 0,03)$ мм/зуб – для обработки канавки угловой фрезой из быстрорежущей стали марки Р6М5 ГОСТ 19265-73 [19].

12. Фрезеровать стружечную канавку.

13. Рассчитать число делений на делительном диске универсальной головки, используя формулу (2.9), на которое надо повернуть рукоятку для определения угла поворота заготовки.

14. Выполнить деление заготовки и последовательно обработать Z стружечных канавок.

15. Измерить параметры полученной стружечной канавки:

- высоту зуба h (с помощью штангенциркуля);
- угол наклона винтовой линии ω (с помощью угломера);
- передний угол γ (координатным методом, с помощью специального приспособления или угломера 2УРИ).

16. Результаты измерения вместе с исходными данными занести в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Таблица исходных данных и результатов измерений

Параметры стружечной канавки	h , мм	ω , град.	γ , град.
Исходные данные			
Фактические результаты			

17. Проанализировать полученные результаты по точности обработки, величине скругления дна канавки и отсутствию зареза передней поверхности зуба. При наличии отклонений от требуемых параметров обработки заменить инструмент или внести коррективы в настройку станка.

2.5. Контрольные вопросы

1. Можно ли одноугловой фрезой фрезеровать винтовые стружечные канавки?
2. Какие существуют методы установки одноугловых и двухугловых фрез по центру заготовки?
3. На каких станках обрабатываются винтовые стружечные канавки осевых инструментов? Какие приспособления для этого необходимы?
4. Какой инструмент используется для фрезерования винтовых стружечных канавок и почему?
5. Как устанавливают двухугловую фрезу относительно заготовки для обеспечения необходимого профиля стружечной канавки?
6. Как подбираются сменные колеса гитары? Какие условия зацепления колес необходимо соблюдать?
7. Как выполнить деление заготовки на требуемое число канавок?
8. Описать и продемонстрировать измерение углов профиля фрезы и обработанной детали?
9. Какая последовательность настройки станка для фрезерования винтовых канавок двухугловыми фрезами?

3. ФРЕЗЕРОВАНИЕ СТРУЖЕЧНЫХ КАНАВОК С НЕРАВНОМЕРНЫМ ОКРУЖНЫМ ШАГОМ НА ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ИНСТРУМЕНТАХ

3.1. Теоретические сведения о фрезеровании стружечных канавок с неравномерным окружным шагом

Окружной шаг зубьев осевого инструмента – это расстояние между двумя одинаковыми точками режущих кромок двух смежных зубьев, измеренное по дуге с центром на оси инструмента в плоскости, перпендикулярной этой оси.

Шаг зубьев может быть равномерным и неравномерным. Так неравномерное расположение зубьев фрезы вызывает меньшие вибрации, чем равномерное расположение. Фрезы с неравномерным шагом рекомендуют при большом вылете и большой шириной резания (a_e). Окружной шаг зубьев у разверток делают неравномерным для исключения огранки отверстия.

При фрезеровании стружечных канавок с неравномерным шагом применяются две схемы обработки:

1-я схема. Обработка каждой из канавок выполняется за один проход. Схемы последовательного положения инструмента и детали в процессе такой обработки показаны на рис. 3.1, *а*. Для получения каждой стружечной канавки необходимо рассчитать конкретные значения H и E (см. рис. 3.4).

Расчет величины вертикального H и горизонтального E смещения стола с заготовкой производится, исходя из величины центрального угла φ_i и условия сохранения постоянной ширины ленточки f на всех зубьях.

2-я схема. Обработку винтовых стружечных канавок с неравномерным окружным шагом можно выполнить специально спрофилированной фасонной фрезой. В этом случае параметры E и H рассчитываются по приближенным формулам, а затем, при необходимости, корректируются по пробным проходам. Обработка канавок ведется за два прохода (рис. 3.1, *б*). По этой схеме вначале фрезеруются все канавки с наименьшим центральным углом ψ_0 . Ширина ленточки при этом получается различная на каждом зубе. Затем во втором проходе осуществляется дополнительная обработка канавок для зубьев, где центральный угол ψ_i превышает ψ_0 . Обработка может производиться

как со стороны спинки зуба, так и со стороны передней поверхности. Ширина ленточки f за счет дополнительной обработки канавок (т. е. за счет доворота заготовки) получается постоянной.

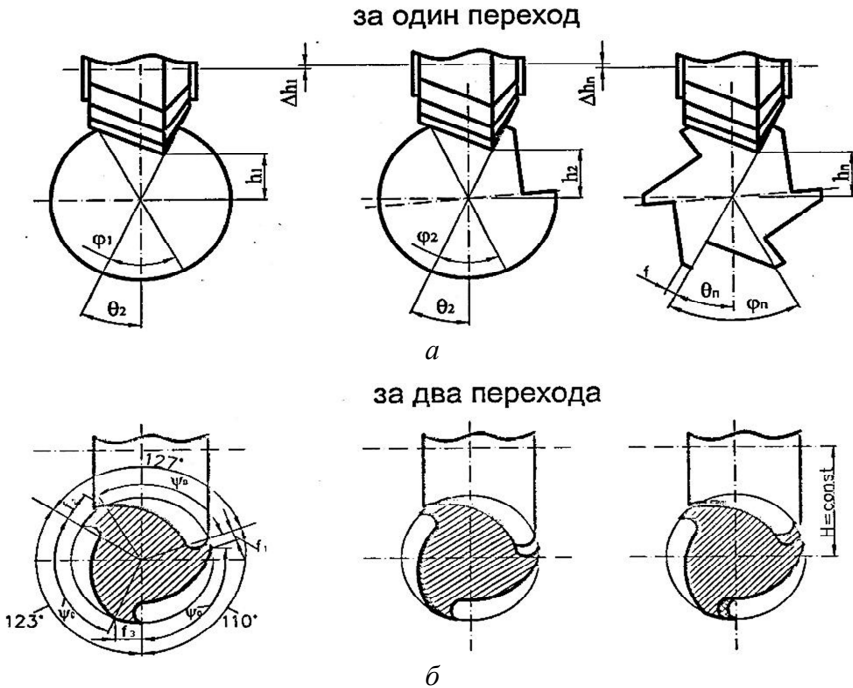


Рис. 3.1. Схема фрезерования стружечных канавок многозубого инструмента с неравномерным угловым шагом

3.2. Деление заготовки по окружности на неравные части

При фрезеровании стружечных канавок цилиндрических, концевых фрез и разверток с неравномерным шагом приходится делить окружность на неравные части. Для этой цели на диске делительной головки выбирают подходящее число отверстий на какой-либо окружности и заранее составляют расчетную таблицу. Так, например, требуется профрезеровать канавки концевой фрезы с неравномерным шагом и соответствующими центральными углами 85° , 90° , 95° и 90° . Для поворота заготовки на 360° , рукоятку делительной головки с характеристикой «40» необходимо повернуть на 40 обо-

поров. Для поворота заготовки на 1° рукоятку заготовки надо повернуть на $n = \frac{40}{360} = \frac{1}{9} = \frac{3}{27} = \frac{4}{36}$ оборота. Теперь легко составить таблицу количества оборотов рукоятки для поворота заготовки при фрезеровании стружечных канавок концевой фрезы соответственно на 85° , 90° , 95° и 90° :

$$n_1 = \frac{85 \cdot 3}{27} = 9 + \frac{12}{27}; \quad n_2 = \frac{90 \cdot 3}{27} = 10;$$

$$n_3 = \frac{95 \cdot 3}{27} = 10 + \frac{15}{27}; \quad n_4 = \frac{90 \cdot 3}{27} = 10.$$

Первую стружечную канавку фрезеруют произвольно, для фрезерования второй канавки, с центральным углом 85° , рукоятку делительной головки поворачивают на 9 полных оборотов и дополнительно на 12 промежутков (шагов) по окружности делительного диска с 27 отверстиями (рис. 3.2).

Для фрезерования третьей канавки, с центральным углом 90° , рукоятку поворачивают на 10 полных оборотов и т. д.

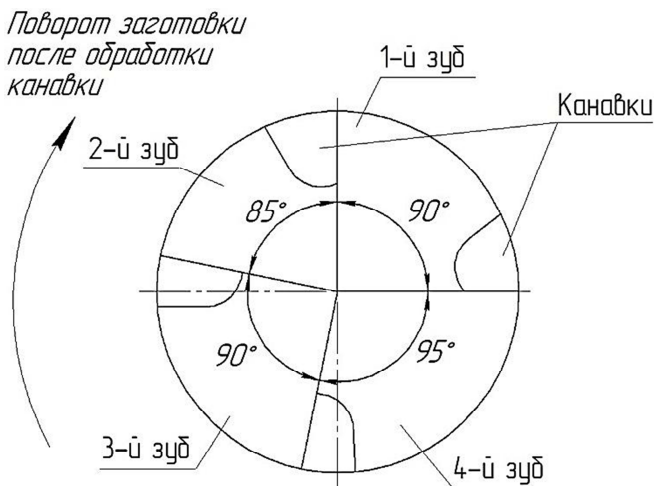


Рис. 3.2. Неравномерная разбивка зубьев инструмента

В том случае, если на делительном диске выбрана окружность с 36 отверстиями, то

$$n_1 = \frac{85 \cdot 4}{36} = \frac{340}{36} = 9 + \frac{16}{36}; \quad n_2 = \frac{90 \cdot 4}{36} = \frac{360}{36} = 10;$$

$$n_3 = \frac{95 \cdot 4}{36} = \frac{380}{36} = 10 + \frac{20}{36}; \quad n_4 = \frac{90 \cdot 4}{36} = \frac{360}{36} = 10;$$

3.3. Методика выполнения настройки станка

Примеры исходных данных для настройки станка на фрезерование прямых стружечных канавок, с неравномерным окружным шагом, приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Исходные данные к расчету

№	D , мм	f спинки, мм	f_1 ленточки, мм	θ_ϕ , °	r , мм
1	6	0,5...0,7	0,1...0,2	85...90	0,5
2	12	0,6...1,0	0,15...0,25	80	0,5
3	20	1,0...1,2	0,15...0,25	80	0,5
4	22	1,0...1,2	0,2...0,3	80	0,5
5	32	1,3	0,3...0,4	70	1,0

По исходным данным определяем число зубьев изготавливаемого инструмента для диаметров до 12 мм по формуле (3.1):

$$z = 2\sqrt{D}, \quad (3.1)$$

и для диаметров свыше 14 мм по формуле (3.2):

$$z = 1,5\sqrt{D} + 2. \quad (3.2)$$

Полученное значение округляем до четного числа.

По табл. 3.2 определяем переменные шаги между зубьями в зависимости от количества зубьев. Более подробно определить применяемый окружной шаг зубьев разверток, с $z = 4 \dots 22$, и фрез, с $z = 3 \dots 7$, можно по табл. 6.46 и табл. 7.6 [2].

Таблица 3.2

Значения углов ω у разверток с четным числом зубьев в зависимости от диаметра

z	ω_1	ω_2	ω_3	ω_4	ω_5	ω_6
4	87°55'	92°05'	—	—	—	—
6	58°02'	59°53'	62°05'	—	—	—
8	41°53'	44°05'	46°06'	47°56'	—	—
10	33°15'	34°32'	36°00'	37°28'	38°45'	—
12	27°33'	28°28'	29°34'	30°30'	31°25'	32°30'

Для фрезерования прямых и винтовых стружечных канавок у режущих инструментов применяются фрезы угловые:

а) одноугловые (ТУ 2-035-526-84), диаметром $D_\Phi = 40; 50; 63$ мм, шириной $B = (8 \dots 20)$ мм, с углом при вершине $\phi = (40 \dots 100)^\circ$ через каждые 5° (рис. 3.3, а). Применяются для фрезерования прямых стружечных канавок инструментов (фрез, разверток);

б) одноугловые (ТУ 2-035-526-84), с углом $\phi = 18; 22; 25$ и 30° . Применяются для фрезерования стружечных канавок затылованных инструментов с прямыми канавками (рис. 3.3, а);

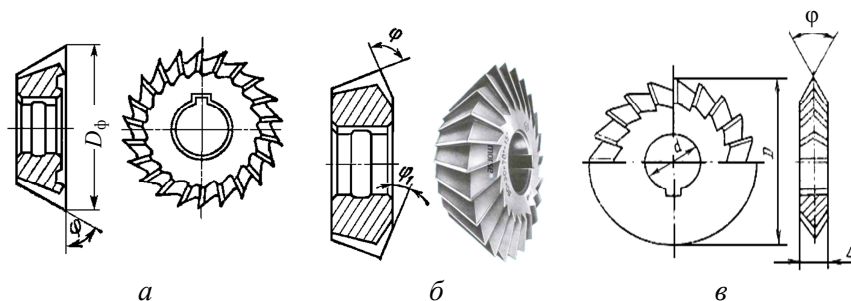


Рис. 3.3. Фрезы насадные угловые:

а – одноугловая; б – двухугловая несимметричная; в – двухугловая симметричная

в) двухугловые несимметричные (ТУ 2-035-526-84), диаметром $D_{\phi} = 40; 50; 63; 80$ мм, шириной $B = (6 \dots 25)$ мм, с углом $\varphi = (50 \dots 100)^{\circ}$ через каждые 5° , $\varphi_1 = (15 \dots 25)^{\circ}$ (рис. 3.3, б). Применяются для фрезерования как стружечных канавок, расположенных по винтовой линии, так и прямых;

г) двухугловые симметричные (нестандартные), с углом профиля $\varphi = 18; 22; 25; 30^{\circ}$ (рис. 3.3, в). Применяются для фрезерования стружечных канавок, расположенных на винтовой линии у затылованных инструментов.

Пример условного обозначения двухугловой фрезы, диаметром $D_{\phi} = 63$ мм, шириной $B = 20$ мм, с углом $\varphi = 90^{\circ}$ праворежущей. Фреза двухугловая $63 \times 20 \times 90^{\circ}$ ТУ 2-035-526-84.

Для рассматриваемого случая подбираем двухугловую несимметричную фрезу (ТУ 2-035-526-84) так, чтобы общий угол профиля фрезы φ (рис. 3.3) был равен углу θ_{ϕ} стружечной канавки (рис. 3.4), а радиус закругления вершины зубьев – r . На выбранной фрезе боковой угол профиля θ_1 (рис. 3.4) можно принять равным $\varphi_1 = (15 \dots 25)^{\circ}$ (рис. 3.3). Вычерчиваем расчетную схему для определения горизонтального и вертикального смещения стола универсально-фрезерного станка для каждого угла ω_i (рис. 3.4).

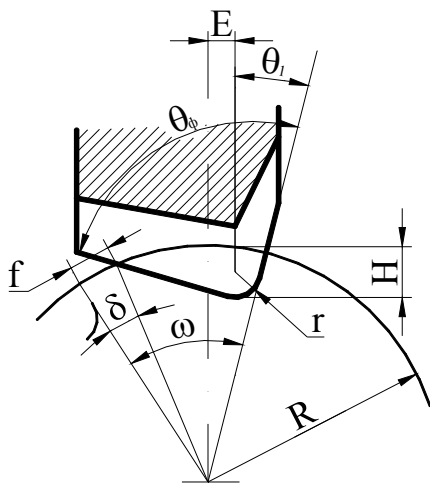


Рис. 3.4. Расчетная схема для определения вертикального H и горизонтального E смещения стола станка

Для фрезерования прямых стружечных канавок развертки (фрезы) с неравномерным шагом двухугловой фрезой (рис. 3.4) определяем значение вертикального смещения стола по формуле (3.3):

$$H = \frac{D}{2} \left[1 - \frac{\sin(\delta + \theta_\phi - \omega) \cos \theta_1}{\sin \theta_\phi} \right] - r \left[\frac{\cos\left(\frac{\theta_\phi}{2} - \theta_1\right)}{\sin \frac{\theta_\phi}{2}} - 1 \right], \quad (3.3)$$

где D – диаметр инструмента, мм;

δ – угол, соответствующий ширине спинки зуба;

θ_ϕ – угол впадины между зубьями фрезеруемого инструмента;

ω – центральный угол между зубьями;

θ_1 – боковой угол профиля фрезы;

r – радиус при вершине фрезы (радиус впадины), мм.

Угол спинки зуба можно определить по приближенной зависимости, если принять ширину спинки f равной длине дуги наружной окружности инструмента на участке между лучами, образующими угол δ и проведенными из центра окружности по формуле (3.4), град.:

$$\delta = \frac{360f}{\pi D}. \quad (3.4)$$

Величину горизонтального смещения стола станка определяем по формуле (3.5):

$$E = \frac{D}{2} \left[\frac{\sin(\delta + \theta_\phi - \omega) \sin \theta_1}{\sin \theta_\phi} \right] - r \frac{\sin\left(\frac{\theta_\phi}{2} - \theta_1\right)}{\sin \frac{\theta_\phi}{2}}. \quad (3.5)$$

Руководствуясь табл. 3.2, рассчитываем параметры настройки делительной головки для деления заготовки на требуемые углы ω_i .

По выполненным расчетам необходимо построить поперечное сечение режущего инструмента и профиль стружечной канавки.

Необходимо рассчитать режимы резания с целью определения скоростных параметров настройки станка: n – частоты вращения шпинделя с фрезой, мин^{-1} ; $S_{\text{мин}}$ – минутной подачи стола с заготовкой, мм/мин [19].

Так глубина резания t , мм , принимается равной величине вертикального смещения стола H , рассчитанной по формуле (3.3). Ширина фрезерования B , мм , равна ширине стружечной канавки на наружном диаметре фрезеруемого инструмента. Величина подачи на зуб фрезы S_z , мм/зуб , принимается для угловых фрез по табл. 35, с. 284 [19]. Скорость резания v , м/мин , определяется по эмпирической зависимости с. 282 [19], с учетом коэффициента условий резания K_v , диаметра D_ϕ и числа зубьев z_ϕ угловой фрезы, ширины фрезерования B и подачи на зуб S_z , стойкости инструмента T , мин , значений коэффициента C_v и показателей степени q, x, y, u, p . Стойкость фрезы $T = 120; 180$ мин для $D_\phi = (40 \dots 75; 90)$ мм , соответственно, по табл. 40, с. 290 [19].

Частота вращения фрезы определяется по формуле (3.6):

$$n = \frac{1000v}{\pi D_\phi}. \quad (3.6)$$

Полученное значение частоты округляется до стандартного ближайшего меньшего, принятого на станке.

Минутная подача стола с заготовкой рассчитывается по формуле (3.7):

$$S_{\text{мин}} = S_z z_\phi n, \quad (3.7)$$

где z_ϕ – число зубьев угловой фрезы, шт .

Полученное значение минутной подачи округляется до стандартного ближайшего меньшего, принятого на станке.

Так при фрезеровании заготовки осевого инструмента, из отожженной быстрорежущей стали марки Р6М5 ГОСТ 19265-73, дисковой угловой фрезой, из закаленной стали той же марки, на горизонтальном универсально-фрезерном станке можно принять скорость резания $v = 30 \frac{\text{м}}{\text{мин}}$, подачу на зуб фрезы $S_z = 0,02 \frac{\text{мм}}{\text{зуб}}$, число зубьев угловой фрезы $z_\phi = 18, 20, 22$.

Порядок действий и выбор средств технического оснащения при работе на станке по предложенной методике соответствуют представленным в разделе 2.

При фрезеровании прямых стружечных канавок исключается применение и настройка гитары сменных колес. Она необходима для нарезания винтовой стружечной канавки или дифференциального деления заготовки при отсутствии возможности осуществить его при помощи делительного диска простым методом (см. рис. 2.9).

3.4. Контрольные вопросы

1. Дать определение окружному шагу зубьев осевого инструмента.
2. Зачем применяют неравномерное расположение зубьев у ряда фрез и разверток?
3. Можно ли одноугловой фрезой фрезеровать прямые и винтовые стружечные канавки?
4. Какие существуют методы установки фрез для фрезерования стружечных канавок с неравномерным шагом?
5. На каких станках обрабатываются прямые и винтовые стружечные канавки с неравномерным окружным шагом осевых инструментов? Какие приспособления для этого необходимы?
6. Как выполняется деление заготовки на требуемое число канавок?
7. Почему при фрезеровании стружечных канавок необходимо горизонтальное и вертикальное смещение? Как оно осуществляется на станке?
8. Какие существуют схемы фрезерования канавок с неравномерным окружным шагом? Достоинства и недостатки второй схемы фрезерования стружечных канавок с неравномерным шагом.
9. Как образуется постоянное значение ленточки на зубе при первом и втором методе фрезерования?
10. Какие элементы режима резания устанавливаются на фрезерном станке?

4. КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГНЕЗДА ПОД СМЕННУЮ МНОГОГРАННУЮ ПЛАСТИНУ (СМП) В ДЕРЖАВКЕ РЕЗЦА

4.1. Применение средств компьютерного 3D моделирования для решения задач разработки и анализа операций механической обработки державок сборных резцов с СМП

Для сборного инструмента, где основным методом профилирования является метод следа и обработанный профиль поверхности получается вершиной режущей кромки инструмента, часто возникают проблемы с определением положения режущей пластины относительно плоскости резания, обеспечивающего правильные передние и задние углы инструмента. В данном случае необходимо определить положение опорных плоскостей под СМП, обеспечивающих правильный контакт вершины инструмента с обрабатываемой поверхностью и заданные задние углы в главной и вспомогательной секущих плоскостях. Решение данной проблемы аналитическим методом для проходных и расточных резцов является трудоемкой задачей и результаты расчета требуют проверки путем достаточно трудоемких опытных испытаний. Данная проектная задача может быть решена с помощью компьютерного моделирования, методом итерационного подбора угла наклона опорной плоскости под пластину, обработка которой реализуется на фрезерных широкоуниверсальных станках и станках с ЧПУ, а угол наклона плоскости являются параметром настройки стола, приспособления или фрезерной головки данного вида оборудования [20].

Перед моделированием необходимо обосновать выбор исходных геометрических параметров резца, выполнить теоретический расчет элементов ориентации многогранной пластины в корпусе инструмента, определить основные параметры настройки приспособления для выполнения операции формообразования опорной поверхности гнезда под пластину. Далее создать модель инструмента, произвести практическую проверку и анализ полученных геометрических параметров резца. В случае отклонения полученных параметров инструмента от заданных произвести ряд последовательных пошаговых перестроений, изменяя значения углов, определяющих положение

опорной плоскости под пластину, используя возможности параметрических связей элементов модели и дерева (истории) моделирования.

4.2. Расчет параметров гнезда под СМП в державке резца и установки ее на станке при фрезеровании паза под пластину

Для фрезерования гнезда под пластину в державке резца необходимо рассчитать углы ω_1 и ω_2 . На основании методики, представленной в разделе 1, разработан программный код для расчета параметров конструкции резца и настройки станка на обработку гнезда под СМП. Для разработки программного кода использовано приложение для инженерных расчетов MathCAD [21], а сам код может быть использован как программное средство для аналогичных расчетов других сборных резцов и резцовых вставок.

Пример расчета в MathCAD

Исходные данные:

$\phi := 60$ - главный угол в плане; $\phi 1 := 10$ - вспомогательный угол в плане

$\alpha := 8$ - главный задний угол; $\alpha 1 := 8$ - вспомогательный задний угол

Расчет параметров гнезда под пластину.

Число граней сменной многогранной пластины (СМП):

$n := \frac{360}{(\phi + \phi 1)}$ $n = 5$ (если n дробное, то необходимо округлить до ближайшего целого значение)

Угол при вершине СМП:

$\varepsilon := \frac{[180 \cdot (n - 2)]}{n}$ $\varepsilon = 108$

Вспомогательный угол в плане принимает значение

$\phi 1 := 180 - (\varepsilon + \phi) = 12$

Угол определяющий положения плоскости поворота СМП:

$$\operatorname{tg}\theta := \frac{\tan(\alpha \cdot \text{deg}) \cdot \sin(\varepsilon \cdot \text{deg})}{\tan(\alpha \cdot \text{deg}) + \tan(\alpha \cdot \text{deg}) \cdot \cos(\varepsilon \cdot \text{deg})} = 1.376$$

$$\theta := \operatorname{atan}(\operatorname{tg}\theta) \cdot \frac{180}{\pi} = 54$$

Угол поворота опорной плоскости под СМП относительно основной плоскости резца:

$$\operatorname{tg}\nu := \frac{\tan(\alpha \cdot \text{deg})}{\sin(\theta \cdot \text{deg})} = 0.174 \quad \nu := \operatorname{atan}(\operatorname{tg}\nu) \cdot \frac{180}{\pi} = 9.855$$

Угол наклона главной режущей кромки:

$$\operatorname{tg}\lambda := \tan(\alpha \cdot \text{deg}) \cdot \cot(\theta \cdot \text{deg}) = 0.102 \quad \lambda := \operatorname{atan}(\operatorname{tg}\lambda) \cdot \frac{180}{\pi} = 5.83$$

Передний угол СМП: $\gamma_{\text{МП}} := 0$

Передний угол резца с СМП в сборе: $\gamma := \gamma_{\text{МП}} - \alpha \quad \gamma = -8$

Угол поворота опорной плоскости гнезда под СМП в продольном сечении корпуса резца (угол наклона стола при фрезеровании):

$$\operatorname{tg}\omega_1 := \left(\frac{\tan(\alpha \cdot \text{deg})}{\cos(\lambda \cdot \text{deg})} \right) \cdot \cos(\phi \cdot \text{deg}) + \tan(\lambda \cdot \text{deg}) \cdot \sin(\phi \cdot \text{deg}) = 0.159$$

$$\omega_1 := \operatorname{atan}(\operatorname{tg}\omega_1) \cdot \frac{180}{\pi} = 9.038$$

Угол поворота опорной плоскости гнезда под СМП в поперечном сечении корпуса резца (угол наклона стола при фрезеровании):

$$\operatorname{tg}\omega_2 := \left(\frac{\tan(\alpha \cdot \text{deg})}{\cos(\lambda \cdot \text{deg})} \right) \cdot \sin(\phi \cdot \text{deg}) - \tan(\lambda \cdot \text{deg}) \cdot \cos(\phi \cdot \text{deg}) = 0.071$$

$$\omega_2 := \operatorname{atan}(\operatorname{tg}\omega_2) \cdot \frac{180}{\pi} = 4.078$$

4.3. Выбор формы и размеров державки резца и СМП

Выбор формы и размеров державки резца производится в соответствии с заданием на моделирование и требованиями ГОСТ 26476-85 «Резцы токарные и резцы-вставки с механическим креплением режущих сменных многогранных пластин. Обозначения», ГОСТ 27686-88 «Резцы расточные с механическим креплением режущих сменных многогранных пластин. Обозначения», ISO 5608:2012 «Державки обычного и картриджного типов для многогранных режущих пластинок, применяемые при токарных и копировальных работах. Обозначение».

При выборе многогранной пластины необходимо пользоваться рекомендациями, приведенными в ГОСТ 19042-80 «Пластины сменные многогранные. Классификация. Система обозначений. Формы», ГОСТ 19086-80 «Пластины сменные многогранные твердосплавные. Технические условия», ISO 1832:2012 «Пластины многогранные сменные для режущих инструментов. Обозначение».

Формы и размеры СМП регламентированы ГОСТами. Для режущих твердосплавных пластин действуют ГОСТы 19043-80...19048-80, 19049-80...19052-80, 19056-80...19059-80, 19062-80...19065-80, 19067-80...19072-80, 24247-80...24253-80, 24255-80...24257-80. Для опорных пластин – ГОСТы 19073-80...19081-80, 19083-80, 24254-80. Для стружколомов – ГОСТы 19084-80, 19085-80. Для керамических пластин – ГОСТ 25003-81 и сверхтвердых материалов – ГОСТ 28762-90. Аналогичные сведения приведены в каталогах отечественных и зарубежных производителей, в соответствии со стандартами ISO, DIN, ANSI.

4.4. Этапы построения модели резца

Процесс моделирования может быть осуществлен в любой компьютерной системе, поддерживающей параметрическое 3D-проектирование. Пример моделирования сборного резца представлен в системе проектирования SolidWorks [22]. Построение модели резца рассмотрим на примере расчета параметров гнезда под СМП, который приведен в программе MathCAD в п. 4.2.

Пример моделирования сборного реза с СМП

1. Создаем деталь под названием «Державка». В развернутом окне моделирования открываем панель инструментов «Эскиз», выбираем одну из предложенных плоскостей «Спереди», «Сверху», «Справа» и создаем эскиз заготовки державки в виде прямоугольника, длиной $L = 200$ мм и шириной $B = 30$ мм. Далее открываем панель инструментов «Элементы», выбираем команду «Вытянутая бобышка/основание» и создаем модель заготовки державки в виде призмы высотой $H = 20$ мм, на основе полученного эскиза (рис. 4.1, а). Модель заготовки державки обрезаем по контуру режущей кромки под главным $\varphi = 60^\circ$ и вспомогательным $\varphi_1 = 12^\circ$ углами в плане относительно плоскости резания при помощи команды «Вытянутый вырез» (рис. 4.1, б).

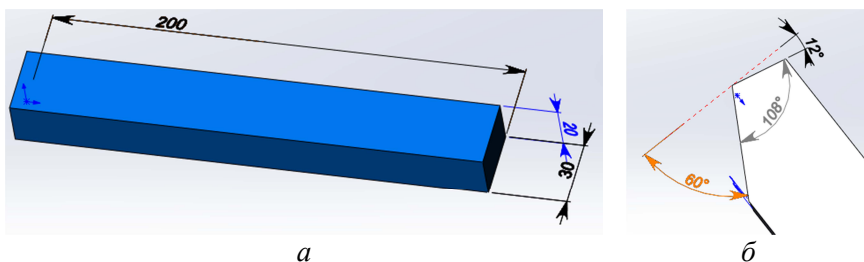


Рис. 4.1. Построение модели державки

Также можно сразу построить эскиз с контуром державки реза, соблюдая геометрию режущей части инструмента: главный и вспомогательный углы в плане φ и φ_1 и угол при вершине реза ε , а также габаритные размеры: длину L и ширину B . Далее создать 3D-модель державки, вытягивая полученный эскиз на величину, равную высоте H державки.

Первый способ моделирования гнезда (опорной плоскости под СМП) в державке реза

2. На верхней плоскости державки создаем вспомогательную линию, проходящую через ее вершину под углом $\theta = 54^\circ$ относительно главной режущей кромки (рис. 4.2, а). Через полученную линию строим вспомогательную «Плоскость 1», проходящую через вершину перпендикулярно основанию державки (рис. 4.2, б).

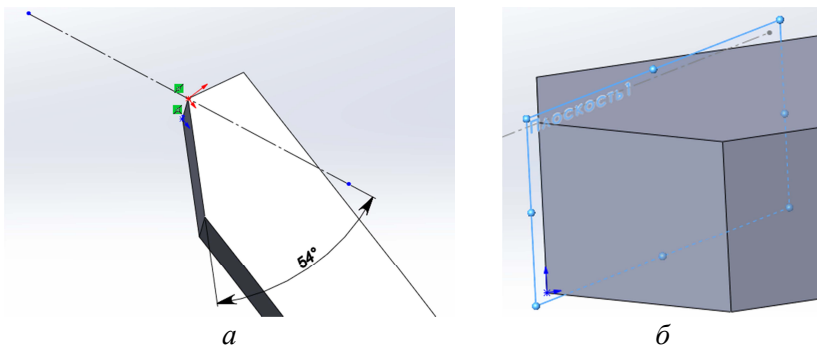


Рис. 4.2. Построение вспомогательной линии и плоскости

3. В построенной «Плоскость 1» создаем эскиз с линией, проходящей под углом $\nu = 9,85^\circ$ к верхней плоскости резца (основной плоскости). С использованием построенной линии создаем замкнутый контур (рис. 4.3, а). При помощи команды «Вытянутый вырез» созданным в эскизе контуром вырезаем гнездо (опорную плоскость) под пластину (рис. 4.3, б).

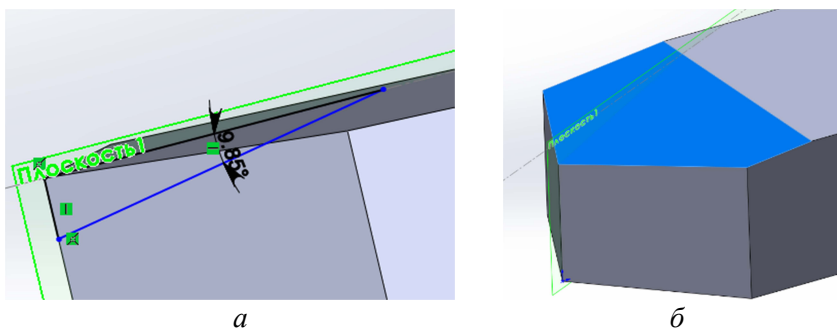


Рис. 4.3. Построение гнезда (опорной плоскости) под пластину

4. Создаем еще одну деталь под названием «Пластина». В открывшемся окне моделирования создаем эскиз, а затем на его основе строим модель пятигранной пластины без задних углов ($\alpha_{пл} = 0^\circ$) с размерами, указанными в ГОСТ 19065-80 (диаметр вписанной окружности, толщина, радиус при вершине).

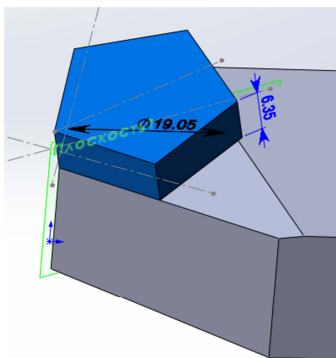


Рис. 4.4. Построение модели реза в сборе с пятигранной пластиной

Измеряем углы $\beta = 172,04^\circ$ (рис. 4.5, а) и $\beta_1 = 172^\circ$ (рис. 4.5, б), образующиеся между главной и вспомогательной задними плоскостями пластины и боковыми плоскостями державки, к которым прилегает пластина. Вычисляем фактические нормальные (главный α и вспомогательный α_1) задние углы реза в сборе по формулам (4.1) и (4.2), соответственно:

$$\alpha = 180^\circ - \beta; \quad (4.1)$$

$$\alpha_1 = 180^\circ - \beta_1. \quad (4.2)$$

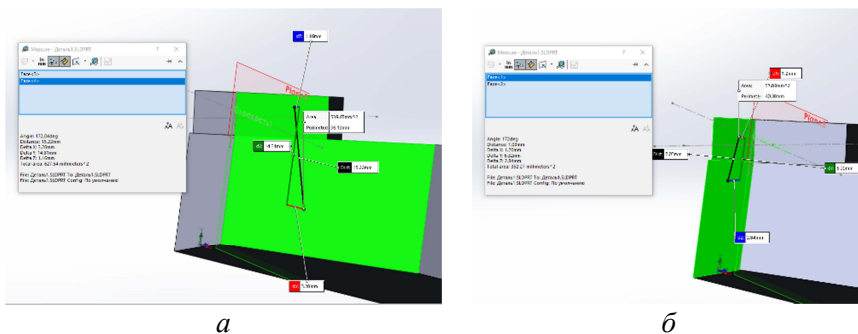


Рис. 4.5. Проверка нормальных задних углов α и α_1 на модели реза в сборе

В результате моделирования были получены допустимые задние углы реза в сборе, а именно

$$\alpha = 180^\circ - 172,04^\circ = 7,96^\circ;$$

$$\alpha_1 = 180^\circ - 172^\circ = 8^\circ.$$

Следовательно, полученные в результате расчета углы $\theta = 54^\circ$ и $\nu = 9,85^\circ$ могут быть использованы в качестве расчетных параметров настройки фрезерного станка на операцию фрезерования гнезда под СМП в державке резца.

Второй способ моделирования гнезда в державке резца

2. Через вершину резца параллельно боковой опорной плоскости и перпендикулярно плоскости резания или задней стенке державки строим вспомогательную продольную «Плоскость 7», используя панель инструментов «Справочная геометрия» и команду «Плоскость» (рис. 4.6). Аналогично, используя инструменты добавления справочной геометрии, строим еще одну поперечную плоскость, перпендикулярную продольной «Плоскость 7» и проходящую также через вершину резца (рис. 4.6).

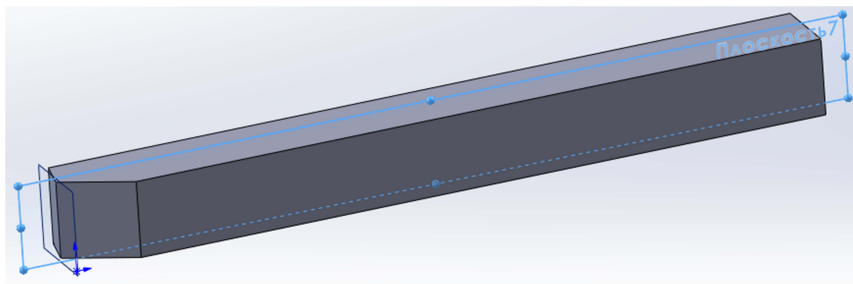


Рис. 4.6. Продольная и поперечная плоскость, проведенные через вершину резца

3. В полученной продольной плоскости *через вершину резца* строим вспомогательную линию, под углом $\omega_1 = 9,04^\circ$, относительно верхней плоскости державки (рис. 4.7, а), а также еще одну вспомогательную линию в поперечной плоскости *через вершину резца*, под углом $\omega_2 = 4,08^\circ$ (рис. 4.7, б).

Внимание. *Прямые линии должны выходить из вершины державки резца*, т. к. они используются для построения опорной плоскости, а стандартная опция построения плоскости через два отрезка прямых линий включает определение положения одной из прямых линий и точки на второй прямой. При произвольном задании начала

отрезка вспомогательной прямой угол наклона плоскости в одном из взаимно перпендикулярных направлений может получиться отличным от заданного.

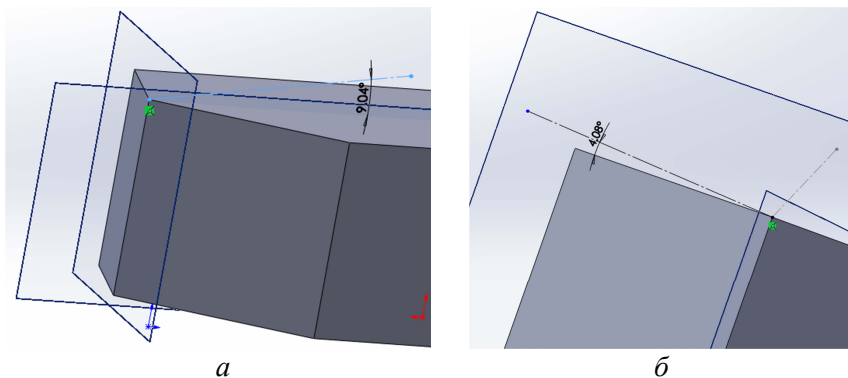


Рис. 4.7. Построение вспомогательных линий под углами $\omega_1 = 9,04^\circ$ и $\omega_2 = 4,08^\circ$

4. С помощью построенных линий, используя команду «Плоскость», создаем вспомогательную «Плоскость 8», в которой строим эскиз с контуром пластины, после чего этим замкнутым контуром, при помощи команды «Вытянутый вырез», делаем гнездо под пластину в державке на глубине не более толщины пластины так, чтобы вершины пластины после сборки резца не были ниже верхней примыкающей к ним плоскости державки (рис. 4.8).

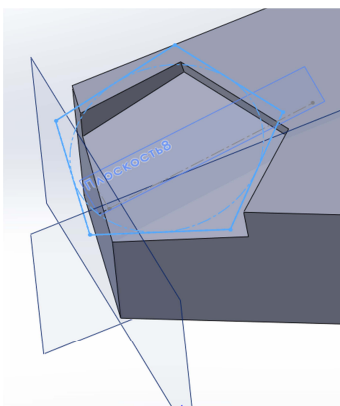


Рис. 4.8. Вырез гнезда в пластине

5. Создаем деталь под названием «Пластина», по аналогии с п. 4 *первого способа моделирования гнезда*, и сборку из детали «Державка» и «Пластина», по аналогии с п. 5, сопрягая основную и одну из боковых опорных плоскостей державки с соответствующими опорными плоскостями пластины (рис. 4.9).

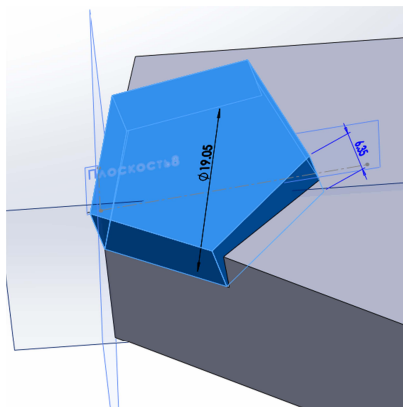


Рис. 4.9. Резец с пластиной в сборе

6. Проверяем правильность построения, т. е. правильность нормальных задних углов α и α_1 модели резца в сборе. При помощи команды «Измерить» получаем углы $\beta = 172^\circ$ (рис. 4.10, а) и $\beta_1 = 171,99^\circ$ (см. рис. 4.10, б).

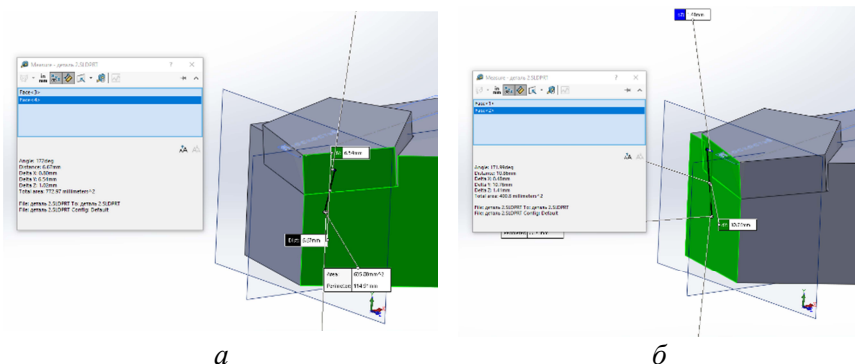


Рис. 4.10. Проверка нормальных задних углов α и α_1 на модели резца в сборе

Так, в результате моделирования были получены допустимые нормальные задние углы резца в сборе, а именно

$$\alpha = 180^\circ - 172^\circ = 8^\circ;$$

$$\alpha_1 = 180^\circ - 171,99^\circ = 8,01^\circ.$$

Следовательно, полученные в результате расчета углы $\omega_1 = 9,04^\circ$ и $\omega_2 = 4,08^\circ$ могут быть использованы в качестве расчетных параметров настройки фрезерного станка на операцию фрезерования гнезда под СМП в державке резца.

4.5. Выводы по результатам компьютерного моделирования

В ходе построения модели резца с пластиной без задних углов ($\alpha_{пл} = 0^\circ$) двумя способами были получены нормальные (главный и вспомогательный) задние углы резца в сборе, которые фактически равны заданным по условию: $\alpha = 8^\circ$ и $\alpha_1 = 8^\circ$. Погрешность главного заднего угла $\Delta\alpha = 0,04^\circ$, при построение опорной плоскости державки по первому методу, и вспомогательного заднего угла $\Delta\alpha_1 = 0,01^\circ$, при построении гнезда по второму методу, связана с погрешностью округления расчетных параметров гнезда и смещением вершины резца в сборе относительно вершины державки, принятой за начало координат при моделировании. Следовательно, полученные в результате расчета углы $\theta = 54^\circ$ и $\nu = 9,85^\circ$; $\omega_1 = 9,04^\circ$ и $\omega_2 = 4,08^\circ$ могут быть использованы в качестве расчетных параметров настройки фрезерного станка на операцию фрезерования гнезда под СМП в державке резца.

4.6. Контрольные вопросы

1. Какая проектная задача может быть решена с помощью компьютерного моделирования сборного резца?
2. Какие размеры и геометрические параметры определяют конструкцию модели державки и пластины резца?
3. Какой порядок моделирования операции фрезерования гнезда под СМП в державке резца?

4. Какие способы построения опорной плоскости и гнезда под СМП применяются при моделировании державки резца?

5. Какие ошибки построения опорной плоскости под СМП могут привести к неточности нормальных задних углов α и α_1 модели резца в сборе?

6. Зачем при моделировании необходимо создавать сборку державки и пластины?

7. Как определить задние углы α и α_1 модели резца в сборе?

8. Что делать если значения задних углов α и α_1 , полученные при моделировании, не соответствуют расчетным?

5. КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУЖЕЧНЫХ КАНАВОК С НЕРАВНОМЕРНЫМ ОКРУЖНЫМ ШАГОМ НА ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ИНСТРУМЕНТАХ

5.1. Цель работы

С помощью компьютерного моделирования [22] изучить и проанализировать одну из операций технологического процесса изготовления режущего инструмента: фрезерование стружечных канавок с неравномерным окружным шагом на цилиндрической поверхности осевого инструмента.

5.2. Этапы построения модели

1. По расчетным данным* строим эскиз профиля межзубой впадины (стружечной канавки) осевого инструмента с неравномерным окружным шагом (развертки, концевой фрезы). Пример построения профиля впадины зуба в поперечном сечении развертки представлен на рис. 5.1.

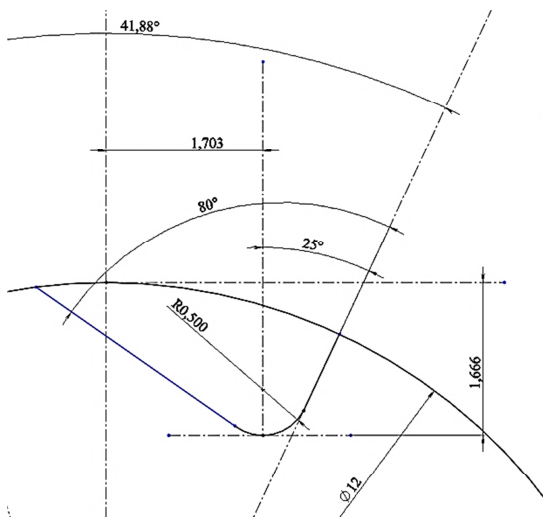


Рис. 5.1. Эскиз профиля впадины зуба развертки по расчетным данным:
 $D_p = 12$ мм; $z = 8$; $r = 0,5$ мм; $\gamma = 5^\circ$; $\theta = 80^\circ$; $\theta_1 = 25^\circ$; $H_1 = 1,666$ мм; $E_1 = 1,703$ мм

* Расчет производится в соответствии с методикой, описанной в разделе 3.

Положение профиля определяется касанием радиуса скругления $R = 0,5$ мм дна канавки с расчетной точкой пересечения прямых, находящихся на расстоянии $H = 1,666$ мм и $E = 1,703$ мм от точки пересечения диаметральной окружности инструмента и вертикальной осевой линии (нулевой точки заготовки).

2. С помощью кругового массива смещаем профиль впадины зуба осевого инструмента на соответствующий угол окружного шага ω_i . Т. к. мы имеем неравномерный окружной шаг до половины полной окружности (до 180°), профиль каждой впадины надо смещать отдельно (рис. 5.2).

Из рис. 5.2 видно, что неравномерный окружной шаг не обеспечивает постоянства ширины спинки зуба f_c .

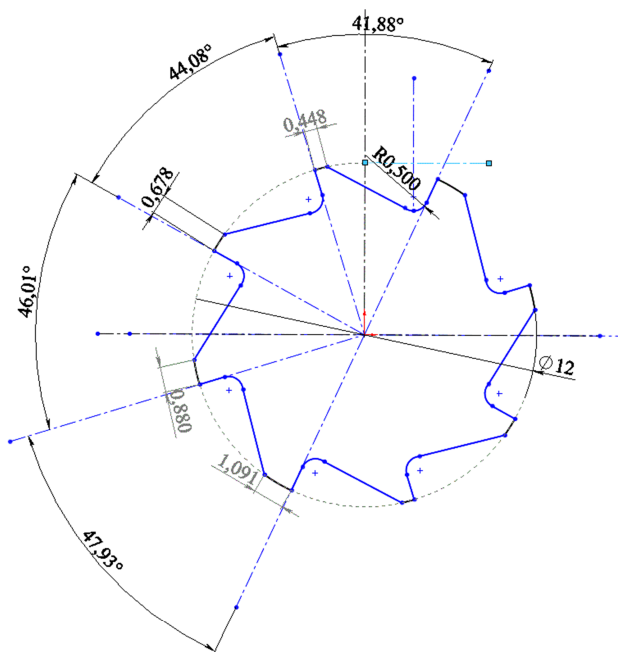


Рис. 5.2. Эскиз профиля развертки с неравномерным окружным шагом:
 $\omega_1 = 41,88^\circ$; $\omega_2 = 44,08^\circ$; $\omega_3 = 46,01^\circ$; $\omega_4 = 47,93^\circ$

Для получения одинаковой ширины спинки f_c на всех зубьях необходимо рассчитать конкретные значения вертикального H и гори-

зонтального E смещения стола горизонтально-фрезерного станка для каждой межзубой впадины*.

На основании методики, представленной в разделе 3, разработан программный код для расчета вертикального H и горизонтального E смещения стола универсально-фрезерного станка при настройке на обработку стружечной канавки. Для разработки программного кода использовано приложение для инженерных расчетов MathCAD [21], а сам код может быть использован как программное средство при аналогичных расчетах для различных осевых инструментов как с равномерным, так и неравномерным окружным шагом.

Формулы для расчета, созданные в программе MathCAD, представлены ниже.

Вертикальное смещение стола станка:

$$H := \frac{D}{2} \cdot \left(1 - \frac{\sin(\delta \cdot \text{deg} + \Theta\phi \cdot \text{deg} - \omega \cdot \text{deg}) \cdot \cos(\Theta 1 \cdot \text{deg})}{\sin(\Theta\phi \cdot \text{deg})} \right) - r \cdot \left[\frac{\cos\left(\frac{\Theta\phi \cdot \text{deg}}{2} - \Theta 1 \cdot \text{deg}\right)}{\sin\left(\frac{\Theta\phi \cdot \text{deg}}{2}\right)} - 1 \right]$$

Горизонтальное смещение стола станка:

$$E := \frac{D}{2} \cdot \left(\frac{\sin(\delta \cdot \text{deg} + \Theta\phi \cdot \text{deg} - \omega \cdot \text{deg}) \cdot \sin(\Theta 1 \cdot \text{deg})}{\sin(\Theta\phi \cdot \text{deg})} \right) - r \cdot \left(\frac{\sin\left(\frac{\Theta\phi \cdot \text{deg}}{2} - \Theta 1 \cdot \text{deg}\right)}{\sin\left(\frac{\Theta\phi \cdot \text{deg}}{2}\right)} \right)$$

В ходе расчета для выбранной операции фрезерования стружечных канавок развертки при соответствующих углах окружного шага $\omega_1 = 41,88^\circ$; $\omega_2 = 44,08^\circ$, $\omega_3 = 46,01^\circ$ и $\omega_4 = 47,93^\circ$, получаем следующие значения для вертикального H и горизонтально E смещения стола:

$$\begin{array}{ll} H_1 = 1,666 \text{ мм}; & E_1 = 1,703 \text{ мм}; \\ H_2 = 1,812 \text{ мм}; & E_2 = 1,635 \text{ мм}; \\ H_3 = 1,944 \text{ мм}; & E_3 = 1,572 \text{ мм}; \\ H_4 = 2,08 \text{ мм}. & E_4 = 1,508 \text{ мм}. \end{array}$$

3. На основании расчетных данных строим эскизы стружечных канавок. Значения вертикального H и горизонтального E смещения

* Расчет производится в соответствии с методикой, описанной в разделе 3.

стола проставляем относительно точки пересечения диаметральной окружности инструмента и вертикальной осевой линии (рис. 5.3).

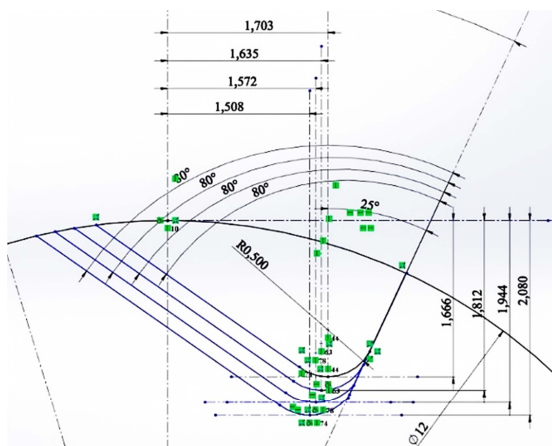


Рис. 5.3. Эскизы канавок развертки со смещением стола в вертикальном H и горизонтальном E направлении

4. При помощи кругового массива или операции поворота профиля относительно оси инструмента поворачиваем канавку с соответствующим смещением на расчетный угол окружного шага (рис. 5.4, 5.5).

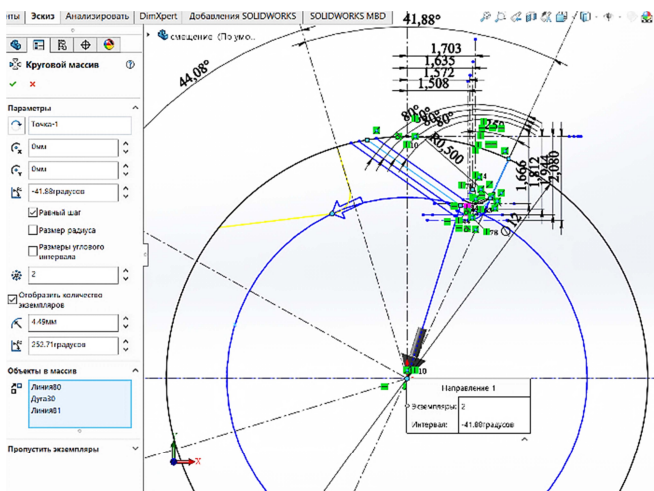


Рис. 5.4. Поворот профиля канавки на заданный неравномерный окружной шаг

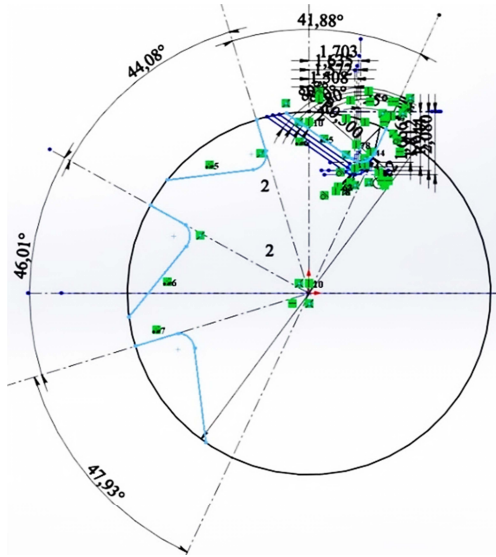


Рис. 5.5. Результаты построения стружечных канавок со смещением профиля на дуге окружности развертки, равной 180°

5. При помощи кругового массива достраиваем эскиз профиля развертки до полной окружности и замеряем ширину спинки зуба f_c (рис. 5.6).

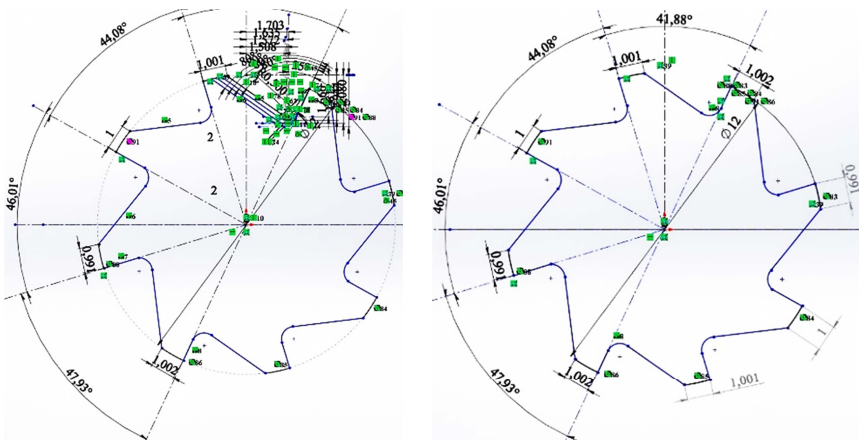


Рис. 5.6. Эскиз профиля развертки с неравномерным окружным шагом

Как видно из результатов построения, для выбранной развертки ширина спинки зуба имеет постоянное значение $f_c \approx 1$ мм. Можем считать результат построения удовлетворительным и доказывающим необходимость смещения дна стружечной канавки осевого инструмента при неравномерном окружном шаге.

5.3. Пример вывода по результатам моделирования на основе приведенного примера

В ходе построения эскиза развертки, диаметром $D_p = 12$ мм и числом зубьев $z = 8$, с неравномерным окружным шагом ω_i , опытным путем, при помощи средств компьютерного моделирования, было доказано, что отсутствие смещения стола горизонтально фрезерного станка в вертикальном H и горизонтальном E направлении не обеспечивает постоянства ширины спинки зуба, погрешность которой достигает 0,55 мм.

Смещение стола станка на величины H и E , полученные путем расчета ($H_1 = 1,666$ мм; $H_2 = 1,812$ мм; $H_3 = 1,944$ мм; $H_4 = 2,08$ мм; $E_1 = 1,703$ мм; $E_2 = 1,635$ мм; $E_3 = 1,572$ мм; $E_4 = 1,508$ мм), при реализации операции фрезерования стружечных канавок развертки с неравномерным окружным шагом ω_i ($\omega_1 = 41,88^\circ$; $\omega_2 = 44,08^\circ$; $\omega_3 = 46,01^\circ$; $\omega_4 = 47,93^\circ$), соответственно, обеспечивает получение одинаковой ширины спинки зуба, $f_c \approx 1$ мм, с небольшим отклонением в связи с погрешностями расчета и построения. Погрешности находятся в допустимых пределах для данной конструкции инструмента и не превышают 0,01 мм. Сами погрешности связаны с наличием скругления дна стружечной канавки, радиус которого влияет на точность настройки станка при смещении стола на величины H и E .

5.4. Контрольные вопросы

1. Какая последовательность построения эскиза поперечного сечения осевого инструмента с неравномерным окружным шагом зубьев?
2. На какие параметры профиля развертки (фрезы) влияют параметры настройки горизонтально-фрезерного станка: смещения стола в вертикальном H и горизонтальном E направлении?

3. Что станет с профилем зуба развертки (фрезы) с неравномерным окружным шагом, если при настройке для каждого зуба по окружности задавать неизменные значения вертикального H и горизонтального E смещения стола, рассчитанные для первой межзубой впадины?

4. Почему при построении профиля осевого инструмента с неравномерным окружным шагом необходимо для каждой стружечной канавки рассчитывать свои значения вертикального H и горизонтального E смещения стола?

5. На какие геометрические параметры зуба влияет горизонтальное E смещение стола при настройке станка на фрезерование стружечной канавки?

6. Какие есть требования к профилю фрезы для обработки стружечных канавок?

7. Можно ли обработать одинаковые стружечные канавки фрезами с одинаковым углом профиля θ , но с разным положением боковой кромки относительно оси профиля – углом θ_1 ?

8. Можно ли обработать прямые стружечные канавки инструмента с неравномерным окружным шагом одноугловой дисковой фрезой?

9. Какой из параметров профиля поперечного сечения инструмента с неравномерным окружным шагом должен иметь одинаковое расчетное значение: ширина зуба f или высота зуба h ? Почему?

10. Как обеспечить необходимый передний угол γ на зубе развертки (фрезы) при фрезеровании стружечной канавки?

11. Какие погрешности модели инструмента с неравномерным окружным шагом возникают при построении? С чем они связаны?

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Музыкант, Я. А. Металлорежущий инструмент : Номенклатурный каталог : в 4 ч. / Я. А. Музыкант. – М. : Машиностроение, 1995. – Ч. 1: Токарный инструмент. – 416 с. : ил.
2. Фельдштейн, Е. А. Металлорежущие инструменты : справочник конструктора / Е. А. Фельдштейн, М. А. Корниевич. – Минск : Новое знание, 2009. – 1039 с.
3. Фельдштейн, Е. Э. Режущий инструмент. Эксплуатация : учебное пособие / Е. Э. Фельдштейн, М. А. Корниевич. – Минск : Новое знание, 2012. – 256 с.
4. Боровский, Г. В. Справочник инструментальщика / Г. В. Боровский, С. Н. Григорьев, А. Р. Маслов; под общ. ред. А. Р. Маслова. – М. : Машиностроение, 2005. – 464 с.
5. Фельдштейн, Е. Э. Режущий инструмент и оснастка станков с ЧПУ / Е. А. Фельдштейн. – Минск : Вышэйшая школа, 1988. – 336 с.
6. Режущий инструмент : лабораторный практикум / Н. Н. Щегольков [и др.]. – М. : Машиностроение, 1985. – 168 с.
7. Негинский, Е. А. Особенности фрезерования гнезда под пластинку на станках с ЧПУ : сб. науч. трудов / ВНИИинструмент. – М. : ВНИИинструмент, 1986. – С. 29–33.
8. ГОСТ 19042-80. Пластины сменные многогранные. Классификация. Система обозначений. Формы. – М., 1980. – 19 с.
9. ISO 1832:2017. Indexable inserts for cutting tools – Designation. – 2017. – 32 p.
10. ГОСТ 26476-85. Резцы токарные и резцы-вставки с механическим креплением режущих сменных многогранных пластин. Обозначения. – М., 1985. – 5 с.
11. ГОСТ 27686-88. Резцы расточные с механическим креплением режущих сменных многогранных пластин. Обозначения. – М., 1989. – 8 с.
12. ISO 5608:2012. Turning and copying tool holders and cartridges for indexable inserts – Designation. – 2012. – 16 p.
13. ГОСТ 19086-80. Пластины сменные многогранные твердосплавные. Технические условия. – М., 1982. – 15 с.
14. Палей, М. М. Технология производства металлорежущих инструментов / М. М. Палей. – М. : Машиностроение, 1982. – 280 с.

15. Чернов, Н. Н. Металлорежущие станки / Н. Н. Сернов. – М. : Машиностроение, 1978. – 389 с.
16. Барбашов, Ф. А. Фрезерное дело / Ф. А. Барбашов. – М. : Высшая школа, 1980. – 208 с.
17. Петрик, М. И. Таблицы для подбора зубчатых колес / М. И. Петрик, В. А. Шишков. – 3-е изд. – М. : Машиностроение, 1973. – 528 с.
18. Сандаков, М. В. Таблицы для подбора шестерен / М. В. Сандаков. – М. : Машгиз, 1960. – 560 с.
19. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. / под ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1985. – Т. 2. – 496 с. : ил.
20. Решение проблем инструментального производства при проектировании сложнопрофильных фасонных и сборных инструментов методом 3D-моделирования : VII Белорусско-китайский молодежный инновационный форум 17–18 ноября 2020 г.: сб. материалов / Новые горизонты-2020; А. В. Ажар, А. Д. Пенкина. – Минск : БНТУ, 2020. – Т. 1. – С. 61–63.
21. Кирьянов, Д. В. Mathcad 15/Mathcad Prime 1.0 / Д. В. Кирьянов. – СПб. : БХВ-Петербург, 2012. – 432 с. : ил.
22. Алямовский, А. А. SolidWorks 2007/2008. Компьютерное моделирование в инженерной практике / А. А. Алямовский. – СПб. : БХВ-Петербург, 2008. – 1040 с.
23. Новые инструменты и решения // Sandvik Coromant [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.sandvik.coromant.com>. – Дата доступа : 20.10.2021.

Учебное издание

АЖАР Александр Владимирович

**ТЕХНОЛОГИЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО
ПРОИЗВОДСТВА**

Пособие

для студентов специальности 1-36 01 03
«Технологическое оборудование машиностроительного
производства» специализации 1-36 01 03-02
«Инструментальное производство»

В 2 частях

Часть 1

Редактор *Е. И. Бенищевич*

Компьютерная верстка *Н. А. Школьниковой*

Подписано в печать 03.01.2022. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 4,24. Уч.-изд. л. 3,32. Тираж 100. Заказ 578.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.