

Исследование процесса формообразования цилиндрических поверхностей фасонными полукруглыми и двухугловыми фрезами

*Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ»
Киевский авиационный техникум
Сумской национальной аграрный университет*

Рассмотрены процессы формообразования цилиндрических поверхностей фасонными полукруглыми и двухугловыми фрезами при различных величинах углов τ наклона оси фрезы относительно направления движения подачи. Проведены экспериментальные исследования процессов формообразования цилиндрических поверхностей угловыми фрезами на фрезерном станке с использованием приспособления, позволяющего ориентировать заготовку относительно вектора скорости движения подачи.

Ключевые слова: формообразование, исходная инструментальная поверхность, граничная окружность, характеристика, сопряжённые фасонные поверхности.

Важное значение в эффективности работы машиностроительного предприятия имеет обеспеченность высокопроизводительным режущим инструментом, проектирование которого основывается на теории формообразования поверхностей резанием. Одной из проблем теории формообразования является определение возможных поверхностей, которые могут быть обработаны известным инструментом, хорошо апробированным в производственных условиях и соответствующим высоким требованиям, предъявляемым к современному режущему инструменту.

В трудах известных ученых: Н. Н. Семенченко, С. Н. Грановского, Н. В. Уваса, Е. Г. Коновалова, Б. А. Перепелицы, Н. С. Равской, О. А. Розенберга, П. Р. Родина, Opitz, Spur и других изложены основополагающие теоретические и практические результаты в области разработки теории формообразования поверхностей резанием и создания на этой основе прогрессивных режущих инструментов. Однако, несмотря на то, что в теории формообразования имеются глубокие научные и практические разработки, на основе которых созданы разнообразные режущие инструменты, проблема определения поверхностей детали, обработанные надежно работающим режущим инструментом, на сегодняшний день не решена в полном объёме.

В современном гибком производстве зачастую возникает необходимость перехода от обработки одной поверхности к другой. Для этих целей разрабатывают всевозможные режущие инструменты, режущим элементам которых в процессе обработки сообщаются дополнительные движения и, таким образом, создаётся возможность формообразования одним инструментом различных поверхностей.

С этой точки зрения перспективно использование угловых и фасонных фрез. Вопросы определения форм поверхностей, обработанных такими фрезами, при изменении кинематики их движений разработаны недостаточно. Поэтому актуальной является задача определения возможных форм поверхностей, которые могут быть обработаны заданными фрезами путем изменения кинематики движений относительно заготовки.

Цель статьи – исследование формообразования фасонными полукруглыми и двухугловыми фрезами при наклонной установке оси фрезы относительно направления движения подачи.

Формообразование цилиндрических поверхностей фасонными полукруглыми фрезами

Распространёнными режущими инструментами являются фасонные полукруглые фрезы.

Определим возможные формы обработанных полукруглой фрезой поверхностей путем изменения положения оси фрезы относительно скорости \vec{V} прямолинейно-поступательного движения подачи.

На рис. 1 графически определен профиль фасонной цилиндрической поверхности, обработанной фрезой при выбранной величине угла τ наклона оси фрезы.

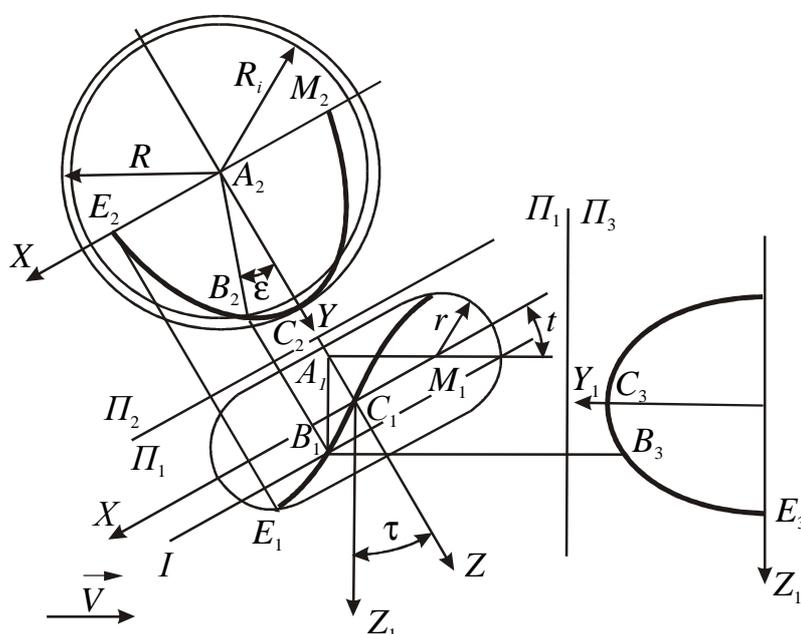


Рис. 1. Графическое определение профиля обработанной поверхности полукруглой фрезой

На профиле фрезы рассмотрена произвольная точка M , расположенная в сечении I , перпендикулярном оси фрезы.

Положение точки M характеризуется величиной угла t . Сечение I с исходной инструментальной поверхностью фрезы пересекается по окружности радиуса R_i .

$$R_i = R - r(1 - \cos t),$$

где r — радиус профиля фрезы.

Нормали к исходной инструментальной поверхности, проведенные в точке окружности радиуса R_i , образуют конус нормалей, который в точке A пересекает ось фрезы.

Проводят нормаль AB , перпендикулярную скорости \vec{V} . По свойству общих нормалей точка B будет точкой характеристики — точкой контакта исходной инструментальной поверхности фрезы и поверхности детали.

Аналогично точке B находят другие точки характеристики BCE .

Характеристика EBC , двигаясь со скоростью \vec{V} , описывает сопряженную фасонную цилиндрическую поверхность детали.

Профиль $C_3B_3E_3$ обработанной поверхности детали в истинную величину проецируется на плоскость Π_3 . В соответствии с графическим решением алгоритм аналитического определения профиля обработанной фасонной цилиндрической поверхности детали может быть следующим:

- на полукруглом профиле фрезы выбираем ряд опорных точек, т. е. задаемся величинами угла t в этих точках;
- для каждой опорной точки рассчитывается угол ε по формуле

$$\sin \varepsilon = \operatorname{tg} \tau \cdot \operatorname{tg} t,$$

где τ — выбранная величина угла наклона оси фрезы.

- Определяем радиусы R_i опорных точек:

$$R_i = R - r(1 - \cos t),$$

где R — радиус фрезы.

- Находим координаты точек характеристики в системе XYZ :

$$X = R_i \cdot \sin \varepsilon;$$

$$Y = R_i \cdot \cos \varepsilon;$$

$$Z = r \cdot \sin t.$$

- По формулам преобразования координат определяем координаты точек профиля поверхности детали, соответствующие выбранным опорным точкам на профиле фрезы:

$$Y = Y_1; \quad Z_1 = Z \cos \tau + X \sin \tau.$$

В частном случае при $\tau = 0$ профиль обработанной поверхности детали будет совпадать с профилем исходной инструментальной поверхности фрезы.

При $\tau = 90^\circ$ не соблюдается первое условие формообразования, т. е. не существует поверхности, сопряженной с заданной исходной инструментальной поверхностью фрезы:

$$\sin \varepsilon = \operatorname{tg} \tau \cdot \operatorname{tg} t,$$

получается равным бесконечности, что невозможно. В этом случае поверхность детали будет формироваться окружностью радиуса R при ее прямолинейно-поступательном движении со скоростью \vec{V} . Профиль поверхности детали будет окружностью радиуса R .

Более сложная картина наблюдается при обработке фасонных цилиндрических поверхностей двухугловыми фрезами. На рис. 2 графически определен профиль цилиндрической поверхности детали при угле установки оси фрезы $\tau = 20^\circ$. Исходная инструментальная поверхность двухугловой фрезы состоит из двух смежных участков I_1 и I_2 конических поверхностей.

Угол при вершине конической поверхности I_1 принят равным $2\rho_1 = 40^\circ$, а угол при вершине конической поверхности I_2 равен $2\rho_2 = 150^\circ$.

Рассмотрим окружность AC , которая является границей смежных участков исходных инструментальных поверхностей. Если в точках этой окружности провести нормали к исходной инструментальной поверхности I_1 , то образуется

конус нормалей с вершиной в точке O . Плоскость, перпендикулярная скорости \vec{V} , проходящая через точку O , пересекается с окружностью AC в точке A .

Поэтому по свойству общих нормалей образующая AB конической поверхности I_1 будет характеристикой. В результате движения со скоростью \vec{V} характеристика AB опишет плоскость обработанной детали, профиль A_3B_3 которой в истинную величину проецируется на плоскость Π_3 . Положение характеристики AB определяется углом ε , величина которого равна:

$$\sin \varepsilon = \operatorname{tg} \rho \cdot \operatorname{tg} \tau.$$

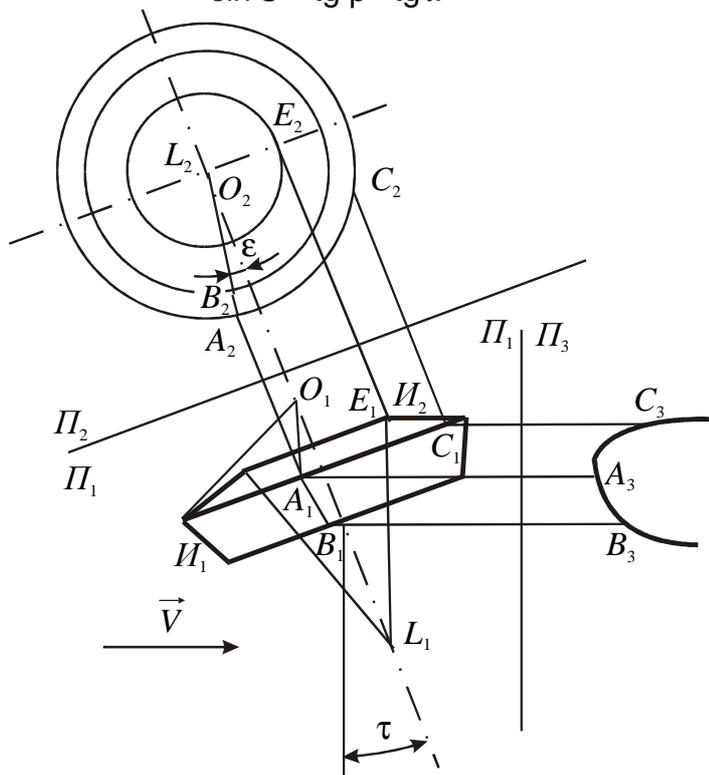


Рис. 2. Графическое определение профиля обработанной поверхности двухугловой фрезой

Иная картина наблюдается на втором участке исходной инструментальной поверхности I_2 .

Как следует из построения, ни одна из образующих конуса нормалей с вершиной в точке L не идет перпендикулярно скорости \vec{V} .

$$\sin \varepsilon = \operatorname{tg} \rho \cdot \operatorname{tg} \tau = \operatorname{tg} 75^\circ \cdot \operatorname{tg} 20^\circ = 1,36, \text{ что невозможно.}$$

Следовательно, на участке конической исходной инструментальной поверхности I_2 не соблюдается первое условие формообразования и участок I_2 не создает сопряженную поверхность детали.

Поверхность детали будет формироваться граничной окружностью AC при ее прямолинейно-поступательном движении со скоростью \vec{V} . Профиль поверхности детали на этом участке будет частью эллипса A_3C_3 , большая ось которого $2a = 2R$, а малая ось $2b = 2R \sin \tau$.

Аналогично определяют сопряженные фасонные цилиндрические поверхности детали при других значениях угла наклона ε оси фрезы.

Экспериментальное исследование процесса формообразования цилиндрических поверхностей угловыми фрезами

Процесс формообразования цилиндрических поверхностей двухугловой фрезой исследовали на фрезерном станке (рис. 3). Заготовку устанавливали с помощью приспособления, позволяющего ориентировать заготовку относительно вектора скорости движения подачи.

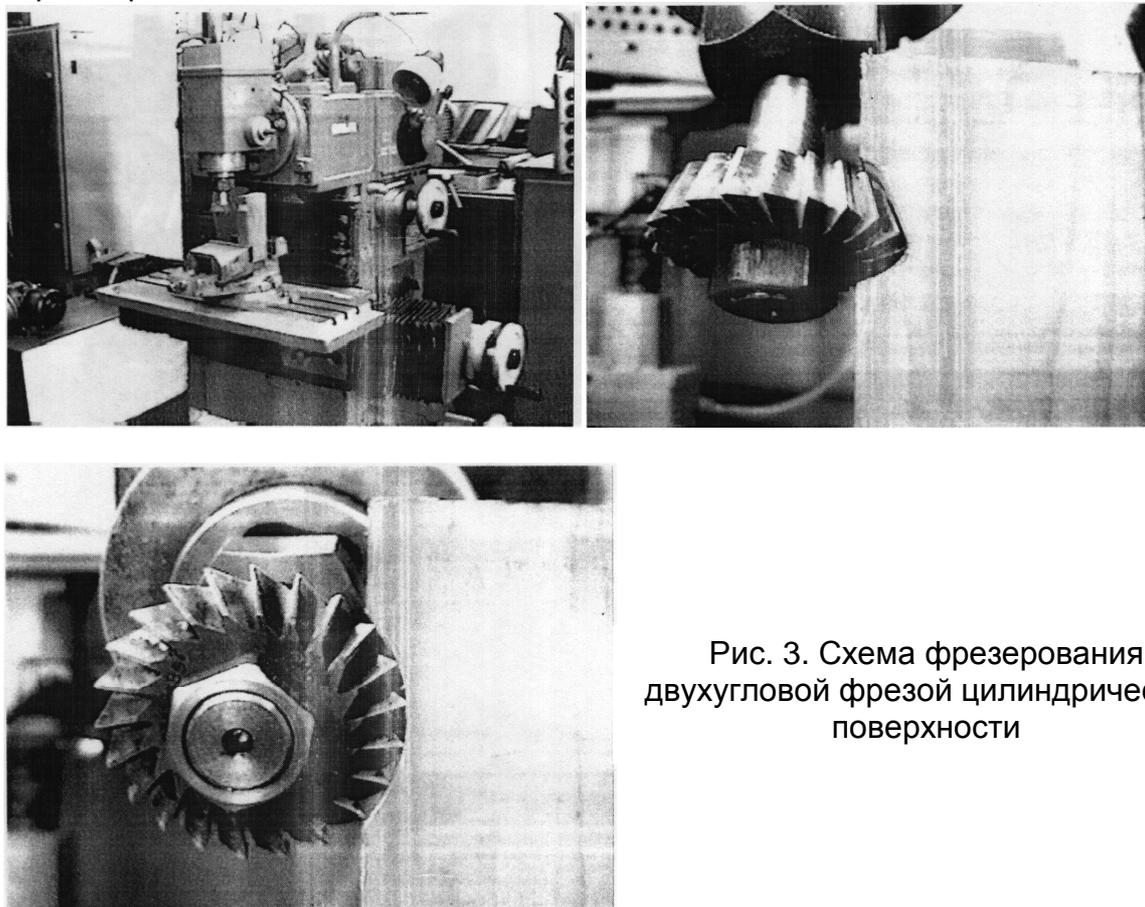


Рис. 3. Схема фрезерования двухугловой фрезой цилиндрической поверхности

Различные величины углов τ наклона оси фрезы достигались путем поворота шпинделя фрезерного станка. После обработки заготовки двухугловой фрезой при различных углах τ поворота оси инструмента контролировали профиль обработанной поверхности детали на инструментальном микроскопе.

Результаты контроля профиля детали сопоставлялись с расчетным профилем и принимали решение о справедливости принятой методики анализа процесса формообразования цилиндрической поверхности детали двухугловыми фрезами.

По разработанной методике рассчитывали профиль цилиндрической поверхности детали при ее обработке двухугловой фрезой при угле τ наклона ее оси, равном $\tau = 10^\circ$.

Размеры используемой при экспериментах двухугловой фрезы показаны на рис. 4.

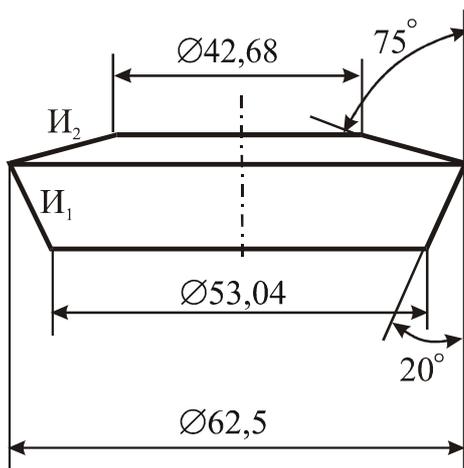


Рис. 4. Размеры используемой при экспериментах двухугловой фрезы

Исходная инструментальная поверхность фрезы состоит из двух смежных участков конических круглых поверхностей. Угол ρ при вершине на первом участке исходной инструментальной поверхности I_1 равен $2\rho = 40^\circ$, а на втором участке исходной инструментальной поверхности I_2 $\rho = 75^\circ$.

Положение характеристики на исходной инструментальной поверхности I_1 определяется величиной угла ε

$$\sin \varepsilon = \operatorname{tg} \rho \cdot \operatorname{tg} \tau = \operatorname{tg} 20^\circ \cdot \operatorname{tg} 10^\circ = 0,064,$$

отсюда

$$\varepsilon = 3^\circ 40'.$$

В системе XYZ координаты точки A характеристики (рис. 5) будут равны:

$$X = R \cos \varepsilon = 31,25 \cdot \cos 3^\circ 40' = 31,18;$$

$$Y = R \sin \varepsilon = 31,25 \cdot \sin 3^\circ 40' = 2,0;$$

$$Z = 0.$$

В системе X_1Z_1 координаты точки A_3 профиля поверхности детали равны:

$$X = X_1;$$

$$Z_1 = Y \sin \tau = 2,0 \cdot \sin 10^\circ;$$

$$Z_1 = 0,348.$$

Координаты второй крайней точки B_3 характеристики равны:

$$X = R \cos \varepsilon = 26,52 \cos 3^\circ 40' = 26,47;$$

$$Y = R \sin \varepsilon = 26,52 \sin 3^\circ 40' = 1,69;$$

$$Z = 13.$$

В системе X_1Z_1 координаты точки B е профиля детали равны:

$$X_1 = X = 26,47;$$

$$Z_1 = Z \cos \tau + Y \sin \tau = 13 \cos 10^\circ + 1,69 \sin 10^\circ = 13,1.$$

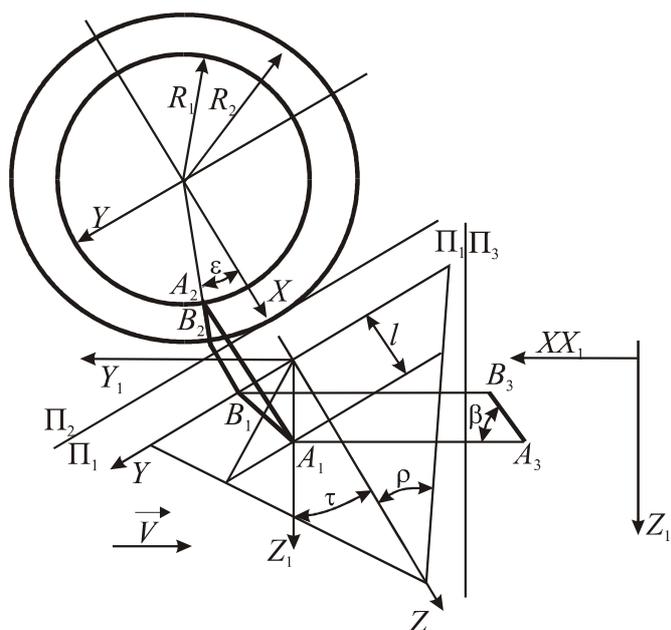


Рис. 5. Определение координат точек характеристики AB

Отрезок A_3B_3 прямолинейной характеристики будет соответствовать наклонной плоскости обработанной исходной инструментальной поверхностью Π_1 . Положение характеристики на смежном участке Π_2 исходной инструментальной поверхности определяется величиной угла ε

$$\sin \varepsilon = \operatorname{tg} \rho \cdot \operatorname{tg} \tau = \operatorname{tg} 75^\circ \cdot \operatorname{tg} 10^\circ,$$

отсюда

$$\varepsilon = -41^\circ.$$

В системе XYZ координаты точки L характеристики таковы:

$$X = R \cos \varepsilon = 31,25 \cdot \cos (-41^\circ) = 23,584;$$

$$Y = R \sin \varepsilon = 31,25 \cdot \sin (-41^\circ) = -20,559;$$

$$Z = 0.$$

В системе X_1Z_1 координаты точки L_3 профиля поверхности детали равны:

$$X_1 = X = 23,584;$$

$$Z_1 = Y \sin \tau = -20,559 \cdot \sin 10^\circ = -3,577.$$

Координаты второй крайней точки C характеристики будут равны:

$$X = R \cos \varepsilon = 21,34 \cdot \cos (-41^\circ) = 16,105;$$

$$Y = R \sin \varepsilon = 21,34 \cdot \sin (-41^\circ) = -14,04;$$

$$Z = -3.$$

В системе X_1Z_1 координаты точки C_3 профиля детали равны:

$$X_1 = X = 16,105;$$

$$Z_1 = Z \cos \tau + Y \sin \tau = -3 \cos 10^\circ - 14,04 \cdot \sin 10^\circ = -5,39.$$

На границе окружности AL характеристики на смежных участках поверхности детали терпят разрыв. Отсюда поверхность детали при кромочном соприкосновении на переходном участке A_3L_3 будет формироваться дугой окружности AL .

В системе XYZ координаты точек рассматриваемой дуги окружности таковы:

$$X = R \cos t;$$

$$Y = R \sin t;$$

$$Z = 0,$$

где угол t меняется от $3^{\circ}40'$ до минус $40^{\circ}30'$. Так при $t = -21^{\circ}$ будем иметь:

$$X = 31,25 \cdot \cos (-21^{\circ}) = 29,17;$$

$$Y = 31,25 \cdot \sin (-21^{\circ}) = -11,2;$$

$$Z = 0.$$

Соответственно в системе X_1Z_1 координаты точки профиля поверхности детали будут:

$$X_1 = X;$$

$$Z_1 = Y \sin \tau = -11,2 \cdot \sin 10^{\circ} = -1,94.$$

В рассматриваемом случае поверхность детали формируется также окружностью радиуса $R = 26,52$ мм. В системе XYZ координаты точек дуги окружности при $R = 26,52$ мм таковы:

$$X = R \cos t;$$

$$Y = R \sin t;$$

$$Z = 13.$$

где $t > 3^{\circ}40'$.

Так, при $t = 45^{\circ}$ будем иметь:

$$X = 26,52 \cos 45^{\circ} = 18,75;$$

$$Y = 26,52 \sin 45^{\circ} = 18,75;$$

$$Z = 13.$$

Соответственно в системе X_1Z_1 получаем координаты точек профиля поверхности детали на рассматриваемом участке будут:

$$X_1 = X;$$

$$Z_1 = Z \cos \tau + Y \sin \tau.$$

При $t = 45^{\circ}$

$$X_1 = 18,75;$$

$$Z_1 = 13 \cos 10^{\circ} + 18,75 \sin 10^{\circ} = 16,06.$$

Аналогично определяем профили поверхности детали при других значениях угла τ наклона оси фрезы.

При $\tau = 20^{\circ}$ необходимо учитывать, что на поверхности I_2 не выполняется первое условие формообразования, так как величина $\sin \varepsilon$ по расчету получается больше единицы, что невозможно:

$$\sin \varepsilon = \operatorname{tg} \tau \cdot \operatorname{tg} \rho = \operatorname{tg} 20^{\circ} \cdot \operatorname{tg} 75^{\circ} = 1,358.$$

Поэтому в рассматриваемом случае формировать поверхность детали будет исходная инструментальная поверхность I_1 , окружность AC радиуса

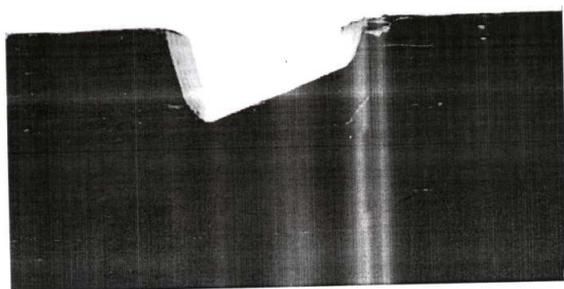
$R = 31,25$ мм и окружность радиуса $R = 26,52$ мм.

При $\tau = 71^\circ$ расчеты показывают, что на обеих исходных инструментальных поверхностях I_1 и I_2 не выполняется первое условие формообразования. Поэтому в рассматриваемом случае сформировать поверхность детали будет, при кромочном соприкосновении только граничная окружность радиуса $R = 31,25$ мм.

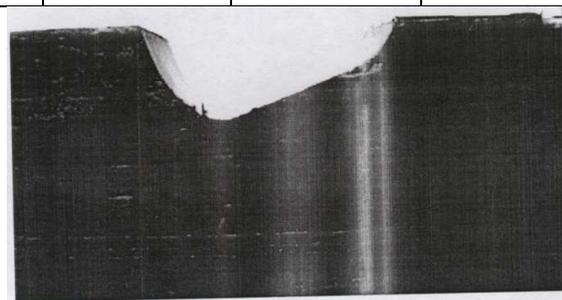
В процессе экспериментов при рассмотренных параметрах обработки, были измерены координаты точек профиля поверхности детали (рис. 6).

При $\tau = 10^\circ$ рассчитанные величины координат точек профиля поверхности детали таковы:

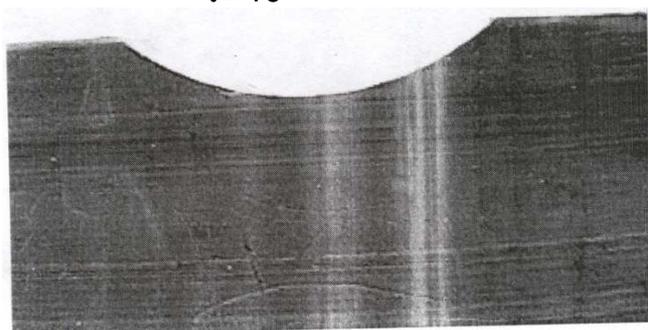
X_1	16,105	23,584	29,175	31,18	26,47	18,75
Z_1	-5,392	-3,577	-1,944	0,348	13,1	16,057



$\tau = 10^\circ$



$\tau = 20^\circ$



$\tau = 71^\circ$

Рис. 6. Обработанные поверхности при различных углах τ наклона оси шпинделя фрезерного станка

Измеренные величины координат точек профиля поверхности детали:

X_1	16,2	24,0	29,1	31,8	26,4	18,5
Z_1	-5,4	-3,6	-2,0	0,4	13,0	16,0

При $\tau = 20^\circ$ рассчитанные величины координат точек профиля поверхности детали:

X_1	22,096	31,25	30,97	26,28	18,75
Z_1	-7,557	0	1,42	13,42	18,628

Измеренные величины координат точек профиля поверхности детали при $\tau = 20^\circ$ были равны:

X_1	22,2	31,0	31,0	27,0	18,7
Z_1	-7,6	0	1,4	13,5	18,6

При $\tau = 71^\circ$ рассчитанные величины координат точек профиля поверхности детали:

X_1	22,096	29,175	31,25	29,175	22,096
Z_1	-20,89	-10,589	0	10,589	20,89

Измеренные величины координат точек профиля поверхности детали при $\tau = 71^\circ$:

X_1	22,5	29,1	31,2	29,1	22,5
Z_1	-21	-10,5	0	10,5	21

Сравнение рассчитанных и измеренных на обработанной поверхности детали координат точек профиля показало их близкое совпадение, что свидетельствует о достоверности разработанной методики решения поставленной задачи, выведенных аналитических зависимостей и алгоритмов расчета.

Выводы

Развита теория формообразования поверхностей деталей фасонными полукруглыми фрезами при наклонной установке оси фрезы относительно направления движения подачи.

Проведены экспериментальные исследования формообразования поверхностей двухугловой фрезой при различных углах установки фрезы относительно направления движения подачи.

Установлено, что изменение угла наклона оси инструмента относительно направления движения подачи позволяет обрабатывать различные фасонные поверхности, используя проверенные, надёжно работающие конструкции фасонных и угловых фрез.

Экономическая эффективность приведённой обработки очевидна в следствие таких причин:

- не требуется использования дорогостоящего оборудования;
- нет необходимости в разработке конструкции и изготовлении фасонного инструмента для обработки указанных поверхностей.

Список литературы

1. Семенченко, И. И. Анализ применяемых конструкций режущего инструмента и основные направления совершенствования конструкций [Текст] / И. И. Семенченко // Труды ВНИИ, 1958.
2. Грановский, Г. И. Кинематика резания [Текст] / Г. И. Грановский. — М.: Машгиз, 1948. — 199 с.
3. Геометрия сопряженных поверхностей [Текст] / Н. С. Равская, П. Р. Родин, Т. П. Николаенко и др. — Житомир: ЖИТИ, 2001. — 319 с.
4. Родин, П. Р. Основы формообразования поверхностей резанием [Текст] / П. Р. Родин — К.: Вища школа, 1977. — 192 с.
5. Основи формоутворення поверхонь при механічній обробці [Текст] / Н. С. Равська, П. Р. Родін, Т. П. Ніколаєнко, П. П. Мельничук — Ж., 2000. — 169 с.

Поступила в редакцию 18.03.2015

Дослідження процесу формоутворення циліндричних поверхонь фасонними напівкруглими і двохкутовими фрезами

Розглянуто процеси формоутворення циліндричних поверхонь фасонними напівкруглими і двохкутовими фрезами при різних величинах кутів τ нахилу осі фрези відносно напрямку руху подачі. Проведено експериментальні дослідження процесів формоутворення циліндричних поверхонь кутовими фрезами на фрезерному верстаті з використанням пристосування, що допомагає орієнтувати заготовку відносно вектора швидкості руху подачі.

Ключові слова: формоутворення, вихідна інструментальна поверхня, граничне коло, характеристика, спряжені фасонні поверхні.

Investigation of forming cylindrical surfaces semicircular shaped cutters and dvuhkutovymy

The processes of forming cylindrical surfaces shaped semicircular dvuhuglovymi and cutters for different values of τ angles of inclination of the axis of the cutter relative to the direction of feed. Experimental study of the processes of forming cylindrical surfaces angled cutters on the milling machine using the tools to orientate the workpiece relative to the vector velocity of the flow.

Keywords: shaping, the original instrumental surface boundary circle, characteristic conjugate shaped surface.