

Н. С. Кузьмич

НЕРАВНОМЕРНОСТЬ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ ПРИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ ФРЕЗЕРОВАНИИ

Рассматривая процесс резания цилиндрической фрезой при обработке плоских поверхностей, можно видеть, что в каждый данный момент в резании участвует только один резец. Следовательно, за время одного оборота фрезы окружная сила резания изменяется от нуля до некоторой величины столько раз, сколько в данной фрезе установлено работающих резцов, а обрабатываемая заготовка воспринимает на себя такое же количество ударов.

При указанном виде обработки (фрезерование плоских поверхностей) высота снимаемого слоя (h) равна в среднем 2—3 мм и величина дуги контакта реза с обрабатываемым материалом незначительна по сравнению с окружностью резания.

Теоретически суммарная величина дуги контакта (Σl) за один оборот режущего инструмента определится:

$$\Sigma l = ZR\varphi, \quad (1)$$

где Z — количество резцов;

R — радиус резания;

φ — угол контакта.

Отношение Σl к длине окружности резания составляет незначительную величину. Например, при $D=128$ мм, $h=2,5$ мм и $Z=2$.

$$\frac{\Sigma l}{\pi D} = 0,085.$$

В действительности отношение $\frac{\Sigma l}{\pi D}$ бывает еще меньше. Дело в том, что на практике существуют такие факторы, как неточность установки резцов в ножевых валах и фрезях, отклонение режущих лезвий от заданной формы, эксцентриситет установки фрез на рабочих шпинделях и биение шпинделей. Все это приводит к тому, что радиусы резания отдельных режущих лезвий отличаются друг от друга на некоторую величину (τ). Эта разница, как показали производственные замеры (за исключением тех случаев, когда производится прифуговка режущих лезвий непосредственно на станке), очень часто измеряется в десятых долях миллиметра — 0,1—0,4 мм. Наличие такой разницы в радиусах резания приводит к

весьма неравномерному участию в работе отдельных резцов, так как при этом для резца с меньшим радиусом резания угол контакта (φ_r) уменьшается и может быть даже равным нулю.

Изучение на предприятиях способов подготовки к работе режущего инструмента показывает, что вопросу обеспечения точности установки резцов не уделяется должного внимания, тем самым, по нашему мнению, не используется резерв увеличения производительности станков, работающих по методу фрезерования.

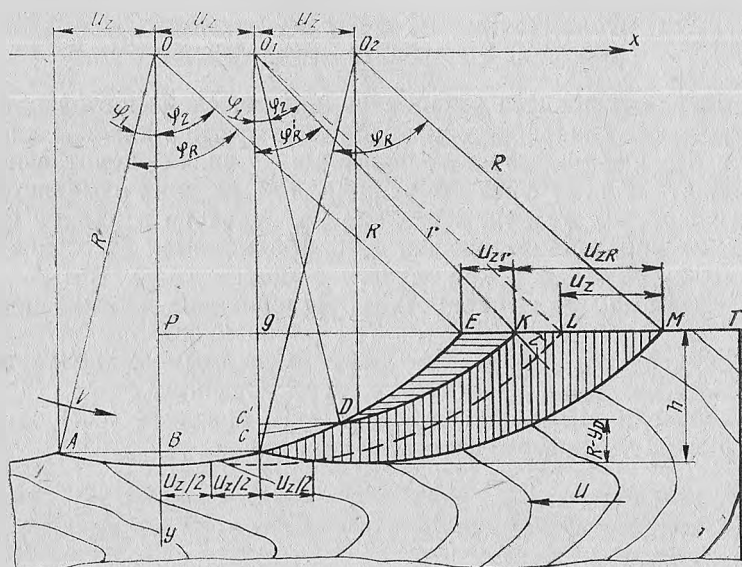


Рис. 1. Схема стружкообразования при цилиндрическом фрезеровании.

Придавая точности установки резцов весьма важное значение в деле совершенствования данного процесса обработки, мы считаем целесообразным в настоящей работе дать более глубокий анализ рассматриваемого вопроса.

Следует отметить, что влияние неточности установки резцов на процесс цилиндрического фрезерования впервые исследовал Ф. М. Манжос. Наши теоретические и экспериментальные исследования продолжают и развивают данный вопрос.

Для большей наглядности влияния неточности установки резцов на равномерность резания ниже приведем кинематический расчет процесса фрезерования для двухрезцовой фрезы, в которой разность между радиусами резания составляет некоторую величину τ . Для каждого резца определим угол контакта (φ), дугу контакта (l), подачу на резец (U_z) и толщину стружки (e_φ).

Рассмотрим схему на рис. 1. На схеме в координатах X, Y показаны траектории двух режущих ножей, установленных с разными

радиусами резания — R и r , причем $R > r$. Кривые AE и CM — траектории ножа с радиусом резания r , кривая DK — траектория ножа с радиусом резания R ; φ_R и φ_r — соответственно углы контакта резцов с древесиной; $EL=LM=U_z$ — подача на один нож при условии $R=r$; $KM=U_{zR}$ — подача на нож с радиусом резания R ; $EK=U_{zr}$ — подача на нож с радиусом резания r ; $CDKM$ и DEK — боковые площади стружек, снимаемых соответственно ножами с радиусами резания R и r .

Для простоты расчета траекторию ножа по отношению к обрабатываемому материалу условно принимаем по окружности, а не по действительной траектории — трахоиде. Допускаемая при этом погрешность, как показали предварительные расчеты (при параметрах фрезерования, применяемых на производстве), не превышает $\pm 1,5\%$. При малых подачах на резец (U_z), которые практически всегда имеют место, погрешность еще менее существенна и практически не оказывает влияния на точность расчетов.

Определим углы контакта резцов (φ).

Расчетный угол контакта резца с древесиной без учета точности установки резцов определяется по известному уравнению:

$$\varphi_{\text{расч}} = \arcsin 2 \sqrt{\frac{h}{D}}, \quad (2)$$

где h — толщина снимаемого слоя;

D — диаметр окружности резания.

С учетом неточности установки резцов ($R-r=\tau$) углы φ_R и φ_r определяются так:

$$\varphi_R = \varphi_1 + \varphi_2, \quad (3)$$

$$\varphi_r = \varphi_2' - \varphi_1'. \quad (4)$$

Подставляя найденные из схемы (рис. 1) значения углов φ_1 , φ_2 , φ_1' и φ_2' в уравнения (3) и (4), получим:

$$\varphi_R = \arcsin \frac{U_z}{R} + \arcsin \frac{R-h}{R}, \quad (5)$$

$$\varphi_r = \arcsin \frac{R-h}{r} - \arcsin \frac{(R+r)\tau - U_z^2}{2U_z r}. \quad (6)$$

Определим дуги контакта резцов (l).

$$\cup l = R\varphi, \quad (7)$$

где R — радиус резания резца;

φ — угол контакта в радианах.

$$\cup l_{\text{расч}} = R \arcsin 2 \sqrt{\frac{h}{D}}. \quad (8)$$

$$\cup l_R = R \left(\arcsin \frac{U_z}{R} + \arcsin \cos \frac{R-h}{R} \right). \quad (9)$$

$$\cup l_r = r \left[\arcsin \frac{R-h}{r} - \arcsin \frac{(R+r)\tau - U_z^2}{2U_z r} \right]. \quad (10)$$

Определим величины подачи на резец (U_z).

$$U_{z \text{ расч}} = \frac{1000 U}{Zn} \text{ мм}, \quad (11)$$

где U — скорость подачи м/мин;

Z — число резцов;

n — число оборотов фрезы в минуту.

Из схемы (рис. 1) видно, что $U_{zR} = X_M - X_K$,

где X_M, X_K — координаты точек M и K .

Решая совместно уравнения кривой CM и прямой PT , находим X_M .

$$X_M = 2 U_z + \sqrt{Dh - h^2}.$$

Из уравнения кривой DK и прямой PT находим X_K .

$$X_K = U_z + \sqrt{Dh - h^2 - D\tau}.$$

Следовательно,

$$U_{zR} = U_z + \sqrt{Dh - h^2} - \sqrt{Dh - h^2 - D\tau}. \quad (12)$$

Аналогичным образом находим U_{zr} .

$$U_{zr} = U_z + \sqrt{Dh - h^2 - D\tau} - \sqrt{Dh - h^2}. \quad (13)$$

Определим толщину стружек (l_φ).

Как известно, толщина стружки с достаточной для практики точностью определяется по известному уравнению

$$l_{\varphi \text{ расч}} = U_z \sin \varphi. \quad (14)$$

Из схемы видно, что толщину стружки $l_{\varphi R}$ можно определить по следующим двум уравнениям:

$$l_{\varphi R} = U_z \sin \varphi + \tau, \quad (15)$$

$$l_{\varphi R} = 2U_z \sin \varphi. \quad (16)$$

По уравнению (15) толщина стружки определяется при угле поворота $\varphi \geq \arcsin \frac{\tau}{U_z}$, а при $\varphi \leq \arcsin \frac{\tau}{U_z}$ определяется по уравнению (16).

Толщина стружки, снимаемой резцом с радиусом r , определяется:

$$l_{\varphi r} = U_z \sin \varphi - \tau \quad (17)$$

$$(\text{при } \tau = U_z \sin \varphi, l_{\varphi_r} = 0).$$

Если при вычислении по уравнению (17) получим отрицательное значение l_{φ_z} , то это значит, что резец с радиусом резания r не работает.

По полученным уравнениям для нижеследующих параметров фрезерования: $U=12$ м/мин, $n=5000$ об/мин, $D=128$ мм, $Z=2$ и $\tau=0,2$ мм — определим численное значение $\angle \varphi^\circ$, $\cup l$, U_z и $l_{\text{ср}}$ (в миллиметрах).

Углы контакта, $^\circ$:

$$\varphi_{\text{расч}} = 16; \varphi_R = 17; \varphi_r = 6.$$

Дуги контакта, мм:

$$\cup l_{\text{расч}} = 17,8; \cup l_R = 19; \cup l_r = 6,7.$$

Подачи на резец, мм:

$$U_{z\text{расч}} = 1,2; U_{zR} = 1,9; U_{zr} = 0,5.$$

Толщины стружек, мм:

$$l_{\text{ср.расч}} = 0,167; l_{\text{ср.}R} = 0,334; l_{\text{ср.}r} = 0,07.$$

Из приведенных расчетных данных видно, что численно небольшая разница в радиусах резания ($\tau=0,2$ мм) приводит к весьма неравномерной работе резцов.

Из анализа расчетной схемы видно, что при значении $X_D = U_z$ резец с меньшим радиусом резания перестает формировать обрабатываемую поверхность.

Значение τ для этого случая определяется по нижеследующему уравнению

$$\tau = \frac{U_z^2}{R+r}. \quad (18)$$

При значении $\varphi_D = R-h$ резец с меньшим радиусом перестает участвовать в резании.

Величина τ в этом случае определится по уравнению

$$\tau = \frac{2U_z \sqrt{2Rh - h^2 - U_z^2}}{R+r}. \quad (19)$$

Наглядно схемы процесса цилиндрического фрезерования при различной точности установки резцов показаны на рис. 2.

Для удобства анализа процесса фрезерования с учетом неточности установки резцов на основании полученных выше уравнений построена номограмма (рис. 3).

Суть анализа процесса цилиндрического фрезерования заключается в следующем.

Зная режим работы станка, параметры режущего инструмента

и неточность установки резцов, определяем численное значение величины дуги (AD), на участке которой резец с меньшим радиусом не производит резания.

Найденное значение дуги AD (см. рис. 3) сопоставляем с величиной дуги AC , значение которой в зависимости от диаметра фрезы (D) и толщины снимаемого слоя (h) находим в таблице.

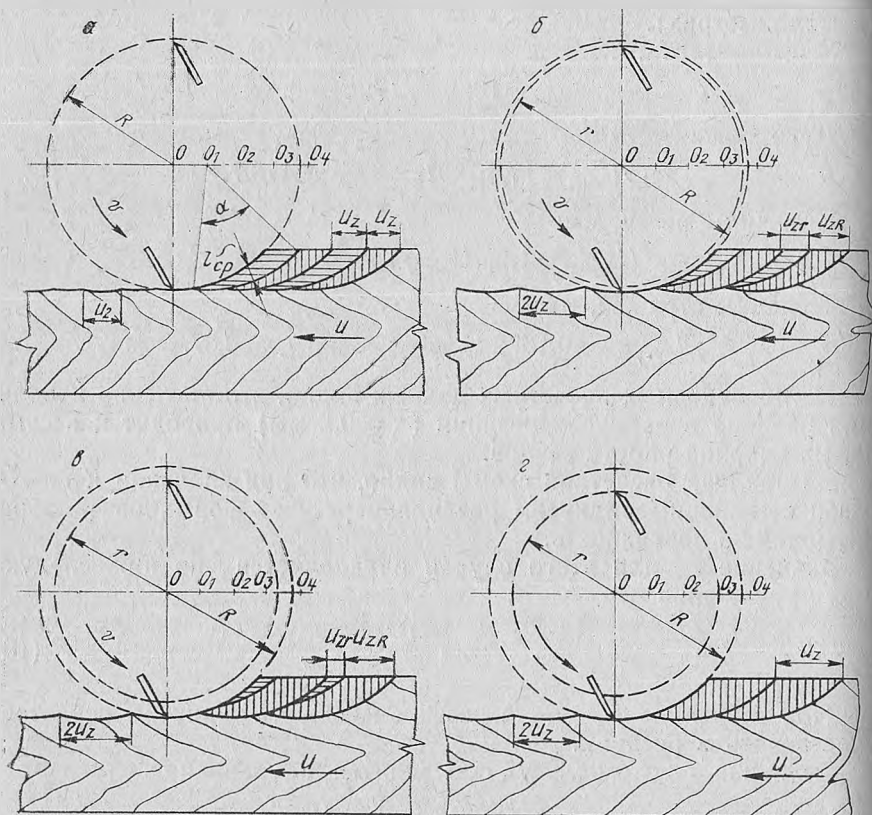


Рис. 2. Схемы фрезерования при различной точности установки резцов ($Z=2$), $\alpha - \tau = 0$;

$$\begin{aligned}
 \delta - \tau &= \frac{U_z^2}{R+r}; & \text{в} - \frac{U_z^2}{R+r} < \tau < \frac{2U_z \sqrt{2RH - H^2} - U_z^2}{R+r}; \\
 \delta - \tau &> \frac{2U_z \sqrt{2RH - H^2} - U_z^2}{R+r}
 \end{aligned}$$

Сопоставление численных значений указанных дуг дает наглядную картину процесса фрезерования с учетом наличия разницы в радиусах резания резцов.

Определение дуги AD по номограмме производится следующим образом.

На оси абсцисс справа находим величину подачи; из найденной точки проводим вниз перпендикуляр до пересечения с прямой ли-

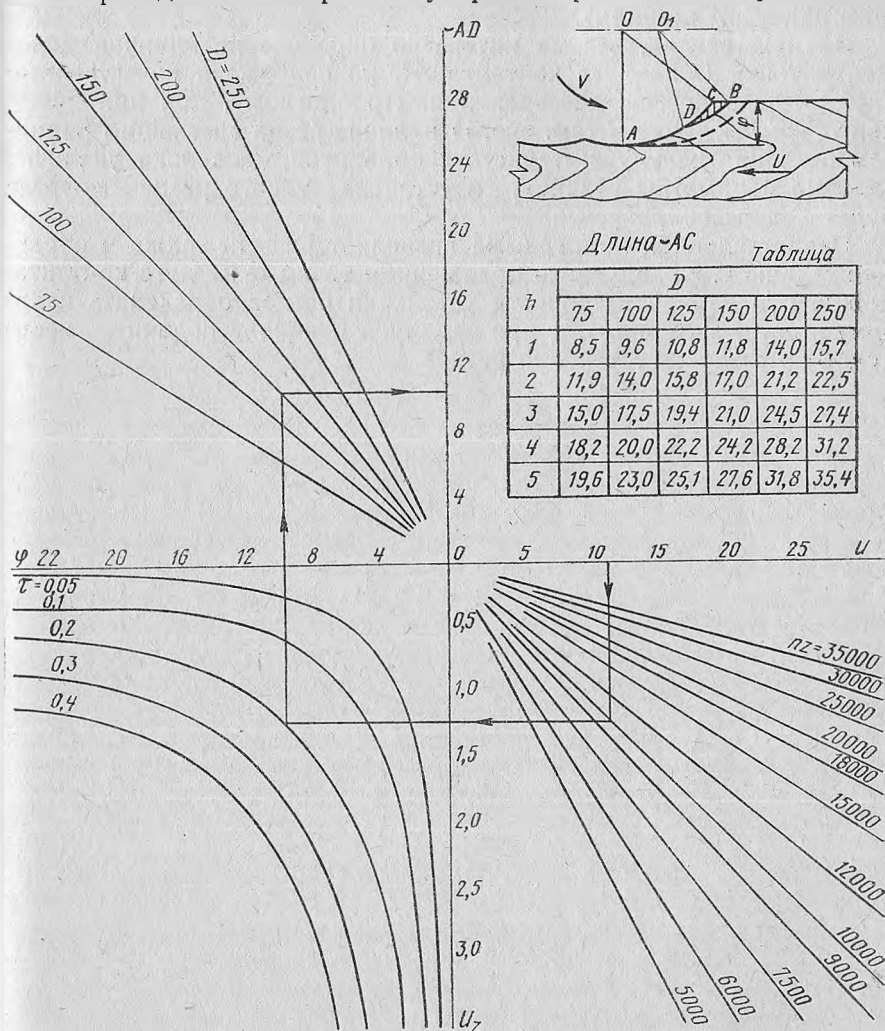


Рис. 3. Номограмма для определения дуги контакта реза с радиусом резания $R-\tau$.

нией nZ (n — число оборотов фрезы в минуту, Z — число резцов в фрезе). Из найденной точки проводим горизонталь до пересечения с кривой, соответствующей величине неточности установки режущих ножей (τ). Далее проводим вертикальную линию до пересече-

чения с линией, соответствующей диаметру фрезы. Полученную точку проектируем на ось ординат, на которой отложены численные значения дуги AD (точкой D обозначено пересечение траекторий двух резцов, что соответствует началу врезания резца с меньшим радиусом резания).

На наш взгляд, весьма интересно определение влияния положения точки D на дуге контакта AC на силовые и качественные параметры процесса фрезерования. По-видимому, при приближении точки D к точке C (см. рис. 1) наличие резца с меньшим радиусом резания не улучшит чистоту обработки, а только увеличит силовые параметры резания, и установка такого резца в фрезе будет нецелесообразной.

Представленная номограмма позволяет решать также и обратные задачи, т. е., задаваясь положением точки D на дуге контакта, можно при данной неточности установки резцов определить величину подачи материала, а при заданной величине подачи — необходимую точность установки резцов.