

УДК 674.023

И. Т. Глебов

ЗАВИСИМОСТЬ ВЫСОТЫ МИКРОНЕРОВНОСТЕЙ ОБРАТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ОТ НЕКОТОРЫХ ФАКТОРОВ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ

Показано влияние на высоту микронеровностей поверхности величины подачи на зуб и погрешности радиусов лезвий фрезы, которая зависит от точности заточки фрезы, установки ее на станок и радиального биения шпинделя. Приведены методы расчета высоты микронеровностей.

Ключевые слова: фрезерование, высота микронеровностей, лезвие, радиусы лезвий, радиальное биение.

Основным видом неровностей на обработанной поверхности методом цилиндрического фрезерования является кинематическая волнистость. Гребешки волн образуются при пересечении траекторий двух смежных зубьев фрезы радиусом R . Высоту гребней волн определяют по формуле

$$y \approx \frac{l^2}{8R}, \quad (1)$$

где y – высота гребня волны, мм;

l – длина волны, мм.

При выполнении расчетов за длину волны принимают величину подачи на один зуб (при абсолютном равенстве радиусов зубьев фрезы) или величину подачи за один оборот фрезы (при неравенстве радиусов) [1]. Формула (1) не учитывает влияние неравенства радиусов на высоту гребней волн.

Пусть деревянная заготовка обрабатывается четырехзубой цилиндрической фрезой с неравными радиусами лезвий. Для определения высоты гребней волн достаточно написать уравнения смежных окружностей, описываемых смежными зубьями, и найти точку их пересечения. Так получены координаты гребней кинематических волн [2]:

$$y_i = R - \sqrt{R_{1i}^2 - \left[\frac{S_z}{2} + \frac{\Delta(2R_{1i} - \Delta)}{2S_z} \right]^2}, \quad (2)$$

$$x_i = S_z(i-1) + \frac{\Delta(2R_{1i} - \Delta)}{2S_z} + \frac{S_z}{2}, \quad (3)$$

где y – высота гребня, мм; x – абсцисса гребня, мм; S_z – подача на зуб, мм; i – номер пары зубьев; Δ – неточность размеров радиусов, мм; $\Delta = \Delta_{1i-2i} = R_{1i} - R_{2i}$.

Пример 1. Пусть для фрезы диаметром 140 мм радиусы лезвий

равны $R = R_1 = 70,06$ мм, $R_2 = 70,00$ мм, $R_3 = 69,96$ мм, $R_4 = 70,02$ мм.

Требуется определить координаты гребней волн и высоту микронеровностей фрезерованной поверхности.

Исходные данные и расчеты рекомендуется представить в виде табл. 1. По результатам расчета можно построить график поверхности с указанием координат гребней волн [2] (ось ординат – высота гребней волн, мм; ось абсцисс – значения x_i на участке подачи за один оборот фрезы, мм). Из-за неравенства радиусов абсциссы гребней смещены относительно середин участков соответствующих подач на зуб. Зуб с максимальным радиусом формирует самую длинную волну, а зуб с минимальным радиусом срезает только верхушки высоких гребней [3]. Поэтому высота микронеровностей поверхности равна $R_{m \max} = 101$ мкм.

Таблица 1

Форма расчета координат гребней волн

Радиусы пар зубьев	$R_1 \dots R_2$	$R_2 \dots R_3$	$R_3 \dots R_4$	$R_4 \dots R_1$
Подача на зуб, мм	2	2	2	2
Максимальный радиус фрезы, мм	70,06	70,06	70,06	70,06
Радиусы лезвий в паре:				
R_{1i} , мм	70,06	70,0	69,96	70,02
R_{2i} , мм	70,0	69,96	70,02	70,06
Погрешность в паре лезвий, $\Delta_i = R_{1i} - R_{2i}$, мм	0,06	0,04	-0,06	-0,04
Порядковый номер пары, i	1	2	3	4
Высота гребней по (2), y_i , мм	0,069	0,101	0,109	0,041
Абсцисса гребней по (3), x_i , мм	3,1	4,4	2,9	5,6

При решении обратных задач необходимо найти значение подачи на зуб по заданной высоте микронеровностей поверхности, а также диаметр фрезы и допустимую погрешность радиусов лезвий.

Если радиусы всех лезвий фрезы одинаковы, неточность их $\Delta=0$, то из формулы (2) следует, что при $R=R_1$ подача на зуб, мм

$$S_z = 2\sqrt{y(2R - y)}. \quad (4)$$

Кроме того, из (2) следует

$$S_z = \sqrt{y(2R - y)} + \sqrt{y(2R - y) - \Delta(2R - \Delta)}. \quad (5)$$

Формулой (5) подтверждаются известные правила:

1. Неточность радиусов Δ фрезы не должна превышать высоту гребней кинематических волн y , иначе подкоренное выражение в (5) получается отрицательным по знаку.

2. Значение подачи на зуб складывается из двух слагаемых. Первое из них равно половине максимального значения S_z при $\Delta=0$, а

второе меньше первого с поправкой на погрешность длин радиусов Δ .

Исследованиями Ф.М. Манжоса установлено, что при установке ножей в ножевые валы или ножевые головки радиусы резания отдельных режущих кромок отличаются друг от друга на величину 0,07...0,15 мм. Прифуговка лезвий уменьшает неточность расположения режущих кромок, после чего $\Delta=0,04...0,06$ мм. Прифуговка лезвий цилиндрических фрез – важнейший способ снижения величины микронеровностей фрезерованной поверхности.

В табл. 2 приведены значения подачи на зуб, полученные по формуле (5). Максимальное значение S_z получено при $\Delta=0$, минимальное – при $\Delta=y$.

Таблица 2

Предельные значения подачи на зуб при цилиндрическом фрезеровании древесины

Высота неровностей $R_{m\max}$, мкм	Значения подачи на зуб S_z , мм, при диаметре окружности резания D , мм							
	60	80	100	120	140	160	180	200
6,3	0,6/1,2	0,7/1,4	0,8/1,6	0,9/1,7	0,9/1,9	1,0/2,0	1,1/2,1	1,1/2,2
12,5	0,9/1,7	1,1/2,0	1,2/2,2	1,3/2,4	1,4/2,6	1,5/2,8	1,6/3,0	1,7/3,2
25	1,3/2,4	1,5/2,8	1,7/3,2	1,8/3,5	2,0/3,7	2,1/4,0	2,3/4,2	2,4/4,5
50	1,7/3,5	2,1/4,0	2,3/4,5	2,6/4,9	2,8/5,3	3,0/5,7	3,1/6,0	3,3/6,3
100	2,4/4,9	2,8/5,7	3,2/6,3	3,5/6,9	3,9/7,5	4,1/8,0	4,4/8,5	4,6/8,9
200	3,7/6,9	4,3/8,0	4,8/8,9	5,2/9,8	5,7/10,6	6,1/11,3	6,4/12,0	6,8/12,6
400	5,1/9,8	5,9/11,3	6,6/12,6	7,3/13,8	7,8/14,9	7,4/16,0	8,9/17,0	9,4/17,9
800	6,9/13,8	8,2/15,9	9,2/17,8	10,1/19,5	10,9/21,1	11,7/22,6	12,4/23,9	13,1/25,2

Пример 2. На фуговальном станке с диаметром окружности резания ножевого вала $D = 128$ мм требуется обработать заготовки с высотой микронеровностей $R_{m\max} = 25$ мкм.

Определить значение подачи на зуб.

Решение. По правилу 1 неточность радиусов Δ фрезы не должна превышать высоту гребней кинематических волн. Приняв погрешность радиусов лезвий $\Delta = 0,025$ мм

$$S_z = \sqrt{y(2R - y)} + \sqrt{y(2R - y) - \Delta(2R - \Delta)} = \\ = \sqrt{0,025(2 \cdot 64 - 0,025)} + \sqrt{0,025(2 \cdot 64 - 0,025) - 0,025(2 \cdot 64 - 0,025)} = 1,8 \text{ мм.}$$

Пример 3. Заготовки обрабатываются на станке фрезой диаметром $D = 140$ мм с подачей на зуб $S_z = 4$ мм.

Определить высоту микронеровностей поверхности по высоте гребней волн.

Решение. Из табл. 2 следует, что при заданном режиме работы станка высота микронеровностей может быть в диапазоне

50...100 мкм. Приняв $\Delta = 0,05$ мм, $R = R_1$, по формуле (2) уточним значение высоты гребней волн

$$y_i = 70 - \sqrt{70 - \left[\frac{4}{2} + \frac{0,05(2 \cdot 70 - 0,05)}{2 \cdot 4} \right]^2} = 0,059 \text{ мм} = 59 \text{ мкм.}$$

Влияние на высоту микронеровностей поверхности радиального биения шпинделя станка.

Шпиндели станков монтируются на шариковых подшипниках, которые имеют радиальные зазоры между кольцами и телами качения. При посадке подшипников на вал и в корпус зазоры могут быть сведены до минимума и даже до натяга. При вращении шпинделя тела качения

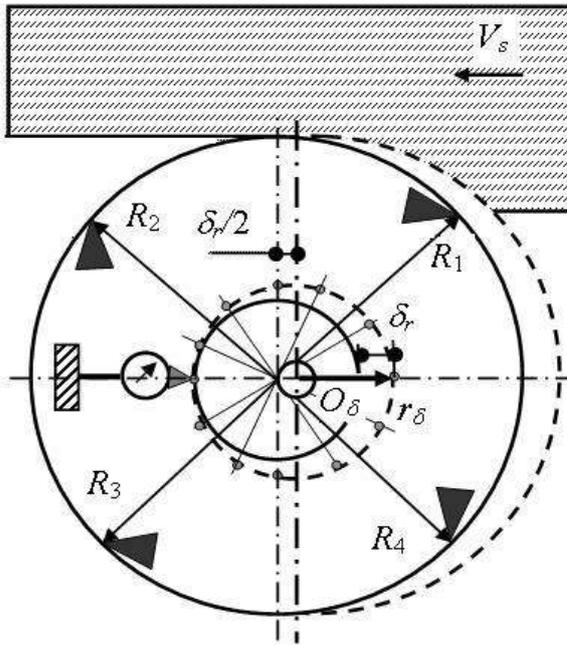


Рис.1. Радиальное биение фрезы

под действием центробежных сил прижимаются к наружному кольцу, между ними и дорожкой внутреннего кольца образуются зазоры. Величина зазоров и погрешностей формы тел качения и внутреннего кольца обуславливают величину радиального биения в месте посадки фрезы. Величина радиального биения фрезы фрезерных и продольно-фрезерных станков регламентирована и равна $\delta_r = 0,03$ мм.

Радиальное биение – одна из причин изменение радиусов лезвий фрезы.

Радиальное биение шпинделя в месте посадки фрезы измеряют индикатором (рис. 1). Для примера измерения выполнены для вертикального правого шпинделя четырехстороннего продольно-фрезерного станка С16-4А. Торцовая поверхность вала была поделена на 12 равных частей. При вращении вала в указанных точках измерено его радиальное биение: 0; 0; 0,008; 0,015; 0,02; 0,025; 0,03; 0,022; 0,015; 0,01; 0,008; 0,002 мм. От цилиндрической поверхности вала по радиусу в указанных точках отложены полученные показания индикатора. Так построена эпюра радиального отклонения вала за один его оборот. Форма эпюры близка к окружности радиуса r_δ и смещена относительно центра вала на величину $\delta_r/2$. Эпюра жестко связана с валом и поворачивается вместе с ним. Форма эпюры обусловлена погрешностями формы дорожек внутренних колец подшипников, установленных с натягом.

Режущие кромки фрезы при вращении шпинделя двигаются по окружностям радиусов R_1, R_2, R_3, R_4 , и при этом центр вращения вала перемещается с той же частотой по окружности радиуса $\delta_r/2$ относительно центра O_δ .

Пусть фреза насажена на шпиндель так, что направление r_δ максимального радиального биения параллельно вектору скорости подачи V_s и совпадает с направлением R_1 . зуб R_1 расположен на горизонтальной оси. Тогда зуб R_2 будет находиться в точке врезания в древесину. В момент врезания в древесину при продольном фрезеровании радиусы лезвий всех зубьев можно найти по формуле

$$R_\delta = R + (\delta_r/2) \sin\varphi,$$

где R_δ – величина радиуса режущей кромки лезвия с учетом радиального биения; φ – угол поворота вала от горизонтальной оси.

Для подхода в точку врезания в древесину зуб R_1 повернется на 270° , зуб R_2 находится в точке врезания, $\varphi = 0^\circ$, зуб R_3 повернется на $\varphi = 90^\circ$, зуб R_4 повернется на $\varphi = 180^\circ$. Тогда значения радиусов лезвий в точке врезания в древесину будут следующие:

$$\begin{aligned} R_{1\delta} &= R_1 + (\delta_r/2)\sin 270^\circ = R_1 - \delta_r/2; \\ R_{2\delta} &= R_2; \quad R_{3\delta} = R_3 + \delta_r/2; \quad R_{4\delta} = R_4. \end{aligned} \quad (6)$$

Если фрезу насадить на вал под углом 45° по отношению к направлению r_δ (см. рис. 1), то значения радиусов лезвий можно определить по формулам:

$$\begin{aligned} R_{1\delta} &= R_1 + \delta_r \sin(270^\circ + 45^\circ)/2 = R_1 - 0,35\delta_r; \\ R_{2\delta} &= R_2 + 0,35\delta_r; \quad R_{3\delta} = R_3 + 0,35\delta_r; \quad R_{4\delta} = R_4 - 0,35\delta_r. \end{aligned} \quad (6)$$

Таким образом, можно считать, что радиальное биение шпинделя приводит к изменению радиусов режущих кромок фрезы в зоне резания.

Пример 4. По условию примера 1 определить высоту микронеровностей фрезерованной поверхности с учетом радиального биения фрезы $\delta_r = 0,03$ мм. Фреза насажена на вал так, что направление максимального биения фрезы совпадает с направлением скорости подачи и радиусом режущей кромки R_1 .

Решение. Определим значения радиусов режущих кромок:

$$\begin{aligned} R_{1\delta} &= R_1 - \delta_r/2 = 70,06 - 0,03/2 = 70,045 \text{ мм}; \quad R_{2\delta} = R_2 = 70,0 \text{ мм}; \\ R_{3\delta} &= R_3 + \delta_r/2 = 69,96 + 0,015 = 69,976 \text{ мм}; \quad R_{4\delta} = R_4 = 70,02 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Исходные данные и расчеты приведены в табл. 3.

Высота микронеровностей поверхности $R_{m \max} = 71$ мкм. Эюра радиального биения наложилась так, что максимальный радиус фрезы уменьшился. Это привело к уменьшению глубины микронеровностей поверхности.

Таблица 3

Форма расчета координат гребней волн

Радиусы пар зубьев	$R_1 \dots R_2$	$R_2 \dots R_3$	$R_3 \dots R_4$	$R_4 \dots R_1$
Подача на зуб, мм	2	2	2	2
Максимальный радиус фрезы, мм	70,045	70,045	70,045	70,045
Радиусы лезвий в паре:				
R_{1i} , мм	70,045	70	69,976	70,02
R_{2i} , мм	70	69,976	70,02	70,045
Погрешность в паре лезвий, $\Delta i = R_{1i} - R_{2i}$, мм	0,045	0,024	-0,044	-0,025
Порядковый номер пары, i	1	2	3	4
Высота гребней по (1), y_i , мм	0,047	0,069	0,071	0,025
Абсцисса гребней по (2), x_i , мм	2,5	3,8	3,4	6,1

Зависимость радиусов лезвий от точности посадки фрезы.

При механическом креплении фрезы максимальный зазор вала диаметром 30...50 мм в посадочном отверстии (при посадке H7/h6) равен 41 мкм. При установке на шпиндель станка фреза может эксцентрично сместиться на этого зазора. Радиусы лезвий как-то изменятся в пределах этого зазора. Для повышения точности совмещения оси шпинделя и оси фрезы рекомендуется использовать, например, гидравлические головки, или конические втулки, которые обеспечивают точность совмещения осей 0,005 мм.

Библиографический список

1. Манжос, Ф.М. Дереворежущие станки [Текст] Ф.М. Манжос; М.: Лесн. пром-сть, 1974. 450 с.
2. Глебов, И.Т. Исследование шероховатости фрезерованной поверхности древесины [Текст] И.Т. Глебов/ Деревообрабатывающая промышленность, 2006.– №3. С. 11-12.
3. Соловьев, А.А. Решение задач по резанию древесины [Текст]: учебное пособие/ А.А.Соловьев; М.: МЛТИ, 1981. 60 с.

I.T. Glebov

Dependence of the roughness of the processed surface on some factors of cylindrical milling Influence on a roughness of a surface of size of giving on a tooth and an error of radiuses of edges of a mill, which depends on accuracy of sharpening the cutting tool, its installations on the machine tool and radial palpation of a spindle is shown. Methods of calculation of size of a roughness are resulted.