

УДК 674.023

И.Т. Глебов

Уральский государственный лесотехнический университет

Глебов Иван Тихонович родился в 1938 г, окончил в 1961 г. Уральский лесотехнический институт, кандидат технических наук, профессор кафедры станков и инструментов Уральского государственного лесотехнического университета, почетный работник высшей школы. Имеет более 250 публикаций в области эксплуатации деревообрабатывающих машин.

E-mail: GIT5@yandex.ru



ЗАВИСИМОСТЬ ВЫСОТЫ МИКРОНЕРОВНОСТЕЙ ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ОТ НЕКОТОРЫХ ФАКТОРОВ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ

Показано влияние на высоту микронеровностей обработанной поверхности подачи на зуб и погрешностей радиусов лезвий, которые зависят от точности заточки и установки фрезы 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 поверхности, обработанной методом цилиндрического фрезерования, является кинематическая волнистость. Гребни волн образуются при пересечении траекторий двух смежных зубьев фрезы радиусом R . Высоту гребней (y , мм) определяют по формуле

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

При выполнении расчетов за длину волны принимают величину подачи на один зуб (при абсолютном равенстве радиусов зубьев фрезы) или за один оборот фрезы (при неравенстве радиусов) [2]. Формула (1) не учитывает влияние неравенства радиусов на высоту гребней волн.

Цель нашей статьи – разработать методики расчета высоты микронеровностей с учетом подачи на зуб и погрешности радиусов лезвий фрезы.

Пусть деревянная заготовка обрабатывается четырехзубой цилиндрической фрезой с неравными радиусами лезвий. Для определения высоты гребней волн воспользуемся уравнениями смежных окружностей, описываемых смежными зубьями, и найдем точку их пересечения. Получим координаты гребней кинематических волн [1]:

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

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

где i – номер пары зубьев;

S_z – подача на зуб, мм;

Δ – неточность, мм, размеров радиусов, $\Delta = \Delta_{1i-2i} = R_{1i} - R_{2i}$;

x – абсцисса гребня, мм.

Пример 1. Заготовка обрабатывается фрезой диаметром 140 мм. Радиусы лезвий: $R = R_1 = 70,06$ 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.

Решение. Исходные данные и расчеты координат гребней волн представим в виде табл. 1. По результатам расчета можно построить график поверхности с указанием координат гребней волн [1] (ось ординат – высота гребней волн, мм; ось абсцисс – значения x_i , мм, на участке подачи за один оборот фрезы). 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 максимальная высота микронеровностей поверхности $R_{m \max} = 101$ мкм.

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, их неточность $\Delta = 0$, то из формулы (2) следует, что при $R = R_1$ подача на зуб

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

Кроме того, из (2) следует

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

Таблица 1

Показатель	Значение показателя для радиусов лезвий в паре			
	R_1-R_2	R_2-R_3	R_3-R_4	R_4-R_1
Подача на зуб, мм	2,0	2,0	2,0	2,0
Максимальный радиус фрезы, мм	70,060	70,060	70,060	70,060
Радиусы, мм, в паре лезвий:				
R_{1i}	70,060	70,000	69,960	70,020
R_{2i}	70,000	69,960	70,020	70,060
Погрешность, мм, в паре лезвий, $\Delta_i = R_{1i}-R_{2i}$	0,060	0,040	-0,060	-0,040
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

Формула (5) подтверждает следующие известные правила.

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

2. Подача 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 радиусов Δ .

В ходе исследований Ф.М. Манжос [2] выявил, что при установке ножей в ножевые валы или ножевые головки радиусы резания отдельных режущих кромок отличаются друг от друга на 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.

Предельные значения подачи на зуб при цилиндрическом фрезеровании древесины, полученные по формуле (5), приведены в табл. 2.

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

Требуется определить подачу на зуб.

Решение. По первому правилу неточность радиусов лезвий Δ фрезы не должна превышать высоту гребней кинематических волн. Приняв $\Delta = 0,025$ мм, по формуле (5) имеем:

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

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

Необходимо определить высоту микронеровностей поверхности по высоте гребней волн.

Таблица 2

Высота неровностей $R_{m \max}$, мкм	Подача 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
25,0	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
50,0	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
100,0	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
200,0	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
400,0	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
800,0	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

Примечание. Максимальные значения S_z (знаменатель) получены при $\Delta = 0$, минимальные (числитель) – при $\Delta = y$.

Решение. Из данных табл. 2 следует, что при заданном режиме работы станка высота микронеровностей находится в диапазоне 50...100 мкм. Приняв $\Delta = 0,05$ мм и $R = R_1$, по формуле (2) уточним значение высоты гребней волн:

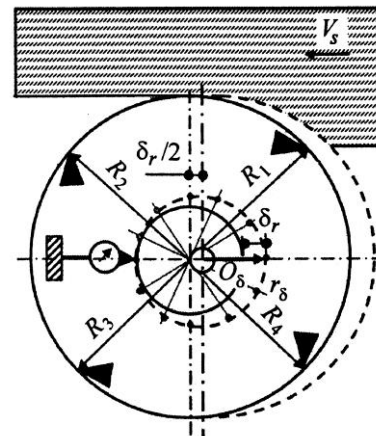
$$y_i = 70 - \sqrt{70 - \left[\frac{4}{2} + \frac{0,05(2 \cdot 70 - 0,05)}{2 \cdot 4} \right]^2} = 0,059 \text{ мм} = 59 \text{ мкм.}$$

Влияние радиального биения шпинделя станка на высоту микронеровностей обрабатываемой поверхности. Шпиндели станков монтируют 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 под действием центробежных сил прижимаются к наружному кольцу, между ними и дорожкой внутреннего кольца образуются зазоры. Величины 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: $\delta_r = 0,03$ мм.

Радиальное биение – одна из причин изменения радиусов лезвий фрезы. Радиальное биение шпинделя в месте посадки фрезы измеряют индикатором (см. рисунок).

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; 0,020; 0,025; 0,030; 0,022; 0,015; 0,010; 0,008; 0,002 мм. От цилиндрической поверхности вала по радиусу в указанных точках были отложены полученные показания индикатора и 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 . При этом центр вращения вала перемещается с той же частотой по окружности радиуса $\delta_r/2$ относительно центра O_δ .



Радиальное биение фрезы

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 радиусы лезвий в точке врезания в древесину

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

Если фрезу насадить на вал под углом 45° по отношению к направлению r_δ (см. рисунок), то радиусы лезвий определим по следующим формулам:

$$\begin{aligned} R_{1\delta} &= R_1 + \delta_r \sin(270^\circ + 45^\circ)/2 = R_1 - 0,35\delta_r; \\ R_{2\delta} &= R_2 + 0,35\delta_r; \quad R_{3\delta} = R_3 + 0,35\delta_r; \quad R_{4\delta} = R_4 - 0,35\delta_r. \end{aligned} \quad (7)$$

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

Пример 4. По условию примера 1 требуется определить высоту микронеровностей фрезерованной поверхности с учетом радиального биения фрезы $\delta_r = 0,03$ мм. Фреза насажена на вал так, что направление ее максимального биения 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 координат гребней волн приведены в табл. 3.

Таблица 3

Показатель	Значение показателя для радиусов лезвий в паре			
	R_1-R_2	R_2-R_3	R_3-R_4	R_4-R_1
Подача на зуб, мм	2,0	2,0	2,0	2,0
Максимальный радиус фрезы, мм	70,045	70,045	70,045	70,045
Радиусы, мм, лезвий в паре:				
R_{1i} , мм	70,045	70,000	69,976	70,020
R_{2i} , мм	70,000	69,976	70,020	70,045
Погрешность, мм, в паре лезвий, $\Delta i = R_{1i} - R_{2i}$	0,045	0,024	-0,044	-0,025
Порядковый номер пары i	1	2	3	4
Высота гребней по (2) y_i , мм	0,047	0,069	0,071	0,025
Абсцисса гребней по (3) x_i , мм	2,5	3,8	3,4	6,1

Высота микронеровностей поверхности $R_{m \max} = 71$ мкм. Эюра радиального биения накладывается так, что максимальный радиус фрезы уменьшается. Это снижает глубину микронеровностей поверхности.

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 величину этого зазора. Радиусы лезвий 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.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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

Поступила 17.10.08

I.T. Glebov
Ural State Forest Engineering University

Dependencies of Micro-roughness Height of Processed Surface on Some Factors of Cylinder Milling

The influence of tooth loading value and error radii of miller blade on the surface roughness is shown; the errors being dependent on the mill operation accuracy, its mounting on the machine and radial spindle wavering. Methods for calculation of roughness height are provided.

Keywords: milling, micro-roughness height, blade, blade radii, radial wavering.
