УДК 674.05:621.9

И. Т. Рогожникова, кандидат технических наук, доцент (УГЛТУ, Россия);
В. Г. Новоселов, кандидат технических наук, доцент (УГЛТУ, Россия);

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРИОДА СТОЙКОСТИ ФРЕЗЕРНЫХ НОЖЕЙ ПО КРИТЕРИЮ «ШЕРОХОВАТОСТЬ ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ»

Рассмотрено влияние износа лезвий инструмента на изменение шероховатости обработанной поверхности древесины при фрезеровании. Определена наработка до отказа по данному критерию качества продукции. Обоснована необходимость учета факторов процесса обработки: толщина срезаемого слоя и скорость резания, а также требований к качеству получаемой поверхности для определения периода стойкости режущего инструмента.

Influence of wear of edges of the tool on change of a roughness of the processed surface when milling of wood is considered. The operating time to the full is determined by this criterion of quality of production. Need of the to take into account of factors of processing is proved: thickness of a cut-off layer and cutting speed, requirements to quality of a received surface for definition of the period of firmness of the cutting tool.

Введение. В процессе механической обработки древесины происходит интенсивное трение лезвия режущего инструмента о древесину. Возникающая при этом высокая температура (600…800°С) приводит к различным физико-химическим процессам в поверхностных слоях металла, прилегающих к лезвию на глубине 2…3 мкм: происходит изменение структуры металла, приводящее к уменьшению его прочности и твердости, возникают: механическое диспергирование, тепловой износ, окислительный износ, электрохимическая коррозия, электрическая эрозия, абразивный износ. В результате износа происходит изменение начальной микрогеометрии резца, образованной в процессе заточки. В теории резания древесины и в практической деятельности остроту лезвия принято оценивать по радиусу закругления режущей кромки ρ, определяемому как радиус окружности, вписанной между передней и задней гранью резца и поверхностью его реальной кромки (рис. 1).

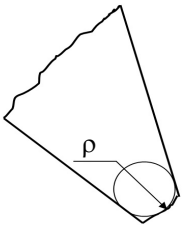


Рис. 1. Микрогеометрия лезвия

Для острых лезвий фрез считается ρ_o= = 4…10 мкм. В результате износа радиус закругления режущей кромки увеличивается до ρ_{max} = 30…60 мкм и более.

Период стойкости инструмента (время работы до предельного затупления) в справочной литературе [1, 2] приводится в зависимости от обрабатываемого материала, типа и материала режущей части инструмента и составляет, например, для цилиндрических фрез со стальными ножами от 8 до 10,4 ч. Причем эти данные не сопоставлены с такими факторами процесса обработки, как толщина срезаемого слоя, диаметр окружности резания, скорость вращения инструмента. Не оговаривается также критерий, по которому следует оценивать наступление предельного затупления лезвия.

С точки зрения надежности функционирования технологических систем важнейшим показателем является качество продукции. В свою очередь, одним из главных показателей качества деталей из древесины является шероховатость обработанной поверхности. Она определяет основные эксплуатационные свойства – эстетические: отражающую и поглощающую способность поверхностей [3], конструктивно-технологические: адгезию к лакокрасочным покрытиям и клеевым составам, прочность клеевого соединения при скалывании и технико-экономические: трудоемкость операции отделки и расход лакокрасочных материалов. ГОСТ 7016–82 [4] дает рекомендуемые предельные значения параметров шероховатости поверхности изделий из древесины и древесных материалов, получаемых различными видами обработки. В частности, для продольного фрезерования массивной древесины эти значения приведены в табл. 1.

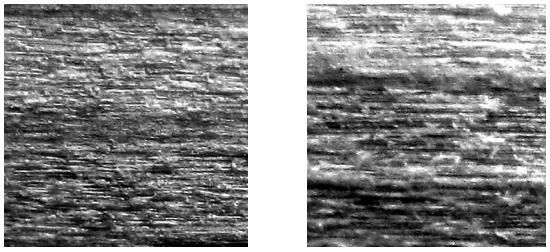
Таблица 1

Значения продольного фрезерования

Материал, изделие и способ обработки	Значения параметров				
	$R_{m_{max}}$, мкм	R_m, мкм	R_z, мкм	R_a, мкм	S_z, мм
Древесина массивная, продольное фрезерование	–	16–250	16–250	–	2,5–12,5

Как видно, диапазон изменения параметров шероховатости поверхности изделий из массивной древесины без указания их назначения весьма широк. Для профильных деталей, получаемых продольным фрезерованием, ГОСТ 8242–88 определяет параметры шероховатости поверхности в зависимости от дальнейшего использования деталей. Например, для деталей под прозрачное покрытие шероховатость $R_{m_{\max}}$ =80 мкм, под непрозрачное покрытие $R_{m_{\max}}$ = 200 мкм, для нелицевых поверхностей $R_{m_{\max}}$ = 500 мкм, для других деталей $R_{m_{\max}}$ = 120 мкм.

Как показывают исследования, при остром лезвии инструмента (радиус закругления режущей кромки ρ_o) происходит перерезание волокон древесины с минимальными неровностями разрушения, мшистостью и ворсистостью получаемой поверхности (рис. 2, *а*).



а *б*

Рис. 2. Разрушение древесины острым (*а*) и затупленным (*б*) резцами (увеличение ×50)

Величина шероховатости поверхности определяется в основном неточностью установки режущих лезвий инструмента – разностью радиусов фактических поверхностей резания относительно оси их вращения и является так называемой «кинематической волнистостью».

В результате изнашивания инструмента и увеличения радиуса закругления режущей кромки изменяется характер разрушения древесины: затупленное лезвие сминает и разрывает волокна, что приводит к увеличению шероховатости обработанной поверхности (рис. 2, *б*).

Опытные данные Н. А. Кряжева показывают, что шероховатость обработанной поверхности древесины существенно зависит от радиуса закругления режущей кромки лезвия инструмента. Она достаточно хорошо описывается экспонентой

$$R(\rho) = R_0 e^{k\rho}, \qquad (1)$$

где R_0 – параметр шероховатости поверхности, обработанной остро заточенным лезвием режущего инструмента, мкм; k – коэффициент пропорциональности.

Значение радиуса закругления режущей кромки ρ зависит от интенсивности изнашивания материала лезвия инструмента γ_Δ и суммарной длины пути контакта его с древесиной в процессе обработки (пути резания) L:

$$\rho = \rho_0 + \Delta_\rho = \rho_0 + \gamma_\Delta L, \qquad (2)$$

где ρ_0 – радиус закругления режущей кромки остро заточенного инструмента.

Если принять, что идеально заточенный инструмент имеет «нулевой» радиус закругления режущей кромки (ρ_0 = 0), то его значение, соответствующее пути резания L, будет равно

$$\rho = \Delta_\rho = \gamma_\Delta L. \qquad (3)$$

В свою очередь, путь резания пропорционален длине дуги контакта лезвия с древесиной $l_к$ (мм), частоте вращения фрезы n (мин$^{-1}$) и времени работы инструмента t, ч:

$$L = \frac{l_к}{1000} 60nt = 0,06 l_к nt. \qquad (4)$$

Ввиду малости $l_к$, приближенно считают

$$l = \sqrt{hD_р}. \qquad (5)$$

где h – толщина срезаемого слоя (мм); $D_р$ – диаметр окружности резания (мм).

Совершая ряд математических преобразований, получаем следующий вид формулы экспоненциальной зависимости шероховатости:

$$R(t) = R_0 e^{0,06 k \gamma_\Delta n \sqrt{hD_р} t}. \qquad (6)$$

Отказ технологической системы по параметру качества продукции «шероховатость поверхности» наступит, когда соответствующий параметр достигнет своего предельного значения $R_{\lim}$. Наработку до такого отказа можно определить, решив выражение (6) относительно t. Подставляя в преобразованное выражение средние значения всех параметров, получим выражение для средней наработки до отказа:

$$T_1 = \frac{16,7}{\bar{k}\bar{\gamma}_\Delta \bar{n}\sqrt{\overline{hD}_р}} \ln \frac{\bar{R}_{\lim}}{\bar{R}_0}. \qquad (7)$$

Продолжение работы после этого момента приведет к выпуску продукции несоответствующего качества, потребует дополнительных затрат на устранение повышенной шероховатости обработанной поверхности.

Проведенные нами исследования позволили выявить количественную зависимость параметров шероховатости обработанных сосновых брусков от величины радиуса закругления режущей кромки лезвия (табл. 2).

Таблица 2

Параметры шероховатости

Параметр шероховатости	R_a	R_z	$R_{m_{\max}}$
R_0	3,476	5,996	19,569
k	0,0387	0,0339	0,0402

Результаты расчетов средней наработки до отказа по формуле (7) с использованием опытных данных табл. 2 для деталей различного назначения при интенсивности изнашивания материала инструмента $\gamma_\Delta = 0{,}001$ мкм/м, частоте вращения фрезы $n = 6000$ мин$^{-1}$, толщине срезаемого слоя $t = 2{,}5$ мм, диаметре окружности резания $D_p = 130$ мм показали, что с ужесточением требований к качеству обработанной поверхности существенно меняется средняя наработка до отказа по параметру «шероховатость поверхности» (табл. 3).

Таблица 3

Параметры шероховатости

Назначение детали	$R_{m_{\max}}$, мкм	T_1, ч.	$t_{0,8}$, ч
Под прозрачное покрытие	80	5,41	3,89
Под непрозрачное покрытие	200	8,93	6,42
Для нелицевых поверхностей	500	12,45	8,95

Учитывая, что средняя наработка до отказа достигается с вероятностью около 0,5, можно предположить, что примерно половина всех изготовленных за это время деталей будет иметь шероховатость выше предельного значения, то есть потребует доработки.

Для снижения процента брака необходимо использовать в качестве установленного периода стойкости инструмента не среднюю, а гамма-процентную наработку до отказа, например, 80-процентную:

$$t_{0,8} = T_1 - 0{,}841\sigma_t, \qquad (8)$$

где σ_t – среднее квадратическое отклонение наработки до отказа.

Принимая нормальное распределение наработки до отказа, а также то, что весь диапазон значений наработки до отказа равен удвоенному среднему значению и что верна гипотеза «трех сигм», получим значения 80-процентной наработки до отказа для деталей различного назначения, приведенные в табл. 3. Как видно, в диапазон рекомендуемых в справочниках [1, 2] периодов стойкости инструмента попадает только обработка деталей, не предназначенных для лицевых поверхностей.

Заключение. 1. Наработка до отказа технологической системы фрезерования древесины по параметру продукции «шероховатость поверхности» зависит как от износостойкости материала лезвий инструмента, так и от режимов резания: толщины срезаемого слоя и скорости резания, а также от требований к качеству обработки.

2. Существующие рекомендации по периоду стойкости инструмента значительно завышены и удовлетворяют только обработке деталей, не предназначенных для лицевых поверхностей.

3. Период стойкости инструмента должен назначаться с учетом всех существенных факторов процесса обработки и требований к качеству поверхности деталей.

Литература

1. Справочное пособие по деревообработке / В. В. Кислый [и др.]. Екатеринбург: БРИЗ, 1995. 558 с.

2. Глебов И. Т., Неустроев Д. В. Справочник по дереворежущему инструменту. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. акад., 2000. 253 с.

3. Мелешко А. В., Романова С. С. Влияние шероховатости поверхности изделий из хвойной древесины на блеск лакокрасочных покрытий / URL: http://sciencebsea.bgita.ru/2007/leskomp_2007/meleshko_vl.htm.

4. Изделия из древесины и древесных материалов. Параметры шероховатости поверхности: ГОСТ 7016–82. М.: Изд-во стандартов, 1983. 5 с.

Поступила 28.02.2014