

появляется возможность окорки некондиционного короткомерного и большей кривизны сырья.

2. Исключение дополнительной секции вальцового механизма подачи обеспечивает следующие технико-экономические преимущества станка в сравнении с известными моделями:

- а) упрощение конструкции;
- б) снижение металлоемкости;
- в) уменьшение габаритных размеров окорочной части станка; для сравнения из рисунка 2 видно, что предлагаемая компоновка четырехроторного станка имеет почти в полтора раза меньшие габаритные размеры, чем трехроторная модель финского производства;
- г) при последовательной установке двух роторных головок появляется возможность формирования четырехроторных станков, объединяя четыре операции и упрощая технологические потоки.

В целом, предложенная конструкция имеет более высокие технико-экономические показатели.

### Библиографический список

1. Побединский, В. В. Современные роторные окорочные станки : учебное пособие / В. В. Побединский. – Екатеринбург : УГЛТУ, 2018. – 141 с.
2. Патент № 139143 Российская Федерация, МПК В27L 1/00 (2006/01). Окорочная головка роторного окорочного станка : № 2013142792/13 : заявл. 20.09.13 : опубл. 10.04.14, Бюл. № 10 / Побединский В. В., Мехренцев А. В., Попов А. И., Рябкова Н. В., Асин К. П.

УДК 674.055

**С. В. Щепочкин, В. Г. Новоселов**  
(S. V. Shchepochkin, V. G. Novoselov)  
(УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ)

E-mail для связи с авторами: shchepochkinsv@m.usfeu.ru

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ЯВЛЕНИЙ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ МДФ НА СТАНКЕ С ЧПУ

### EXPERIMENTAL STUDY OF THERMAL ADVANTAGES WHEN MILLING THE FINE FRACTION OF WOOD ON A CNC MACHINE

*Приведены результаты эксперимента по определению температуры на поверхности резания обрабатываемой заготовки (материал – МДФ) в процессе фрезерования на станке с ЧПУ в зависимости от параметров: глубины фрезерования, скорости резания и подачи на зуб.*

*The results of an experiment to determine the temperature on the cutting surface of the workpiece (material – the fine fraction of wood) during milling on a CNC machine, depending on the parameters: milling depth, cutting speed and feed to the tooth.*

При составлении управляющих программ для обработки древесных материалов на фрезерных станках с ЧПУ необходимо указывать скорость подачи. При выборе режимов обработки в системах CAD/CAM необходимо выбирать максимально

возможные значения скорости подачи  $V_s$ , т. е. обеспечить максимальную производительность обработки детали. Но ряд факторов процесса фрезерования накладывает ограничения на производительность. Такими ограничениями являются:

- шероховатость обработанной поверхности;
- мощность двигателя привода фрезы;
- прочность инструмента;
- тепловая стойкость инструмента;
- тепловая стойкость обрабатываемого материала.

По первым трём ограничениям имеются научно обоснованные рекомендации по расчету скорости подачи, но для последних двух критериев научно обоснованных рекомендаций по выбору режимов резания, по нашим сведениям, не существует.

В процессе фрезерования древесины и древесных материалов работа, затрачиваемая на резание, преобразуется в тепловую энергию. Теплота, поступающая в заготовку и инструмент, концентрируется в микрослоях, прилегающих к обработанной поверхности, и микрослоях, прилегающих к режущей кромке. Этого количества теплоты достаточно для повышения температуры до высоких значений, при которых происходит перегрев фрезы, т. е. происходит тепловая посадка инструмента, а на поверхности древесины образуются так называемые «прижоги».

Рациональный режим резания включает такое значение подачи на зуб  $S_z$ , которое наилучшим образом удовлетворяет всем критериям [1].

Для исследования тепловых явлений при фрезеровании древесины в УГЛТУ была разработана и собрана экспериментальная установка на базе фрезерного станка с ЧПУ Beaver 9A (рис. 1) [2]. Схема установки показана на рисунке 2.

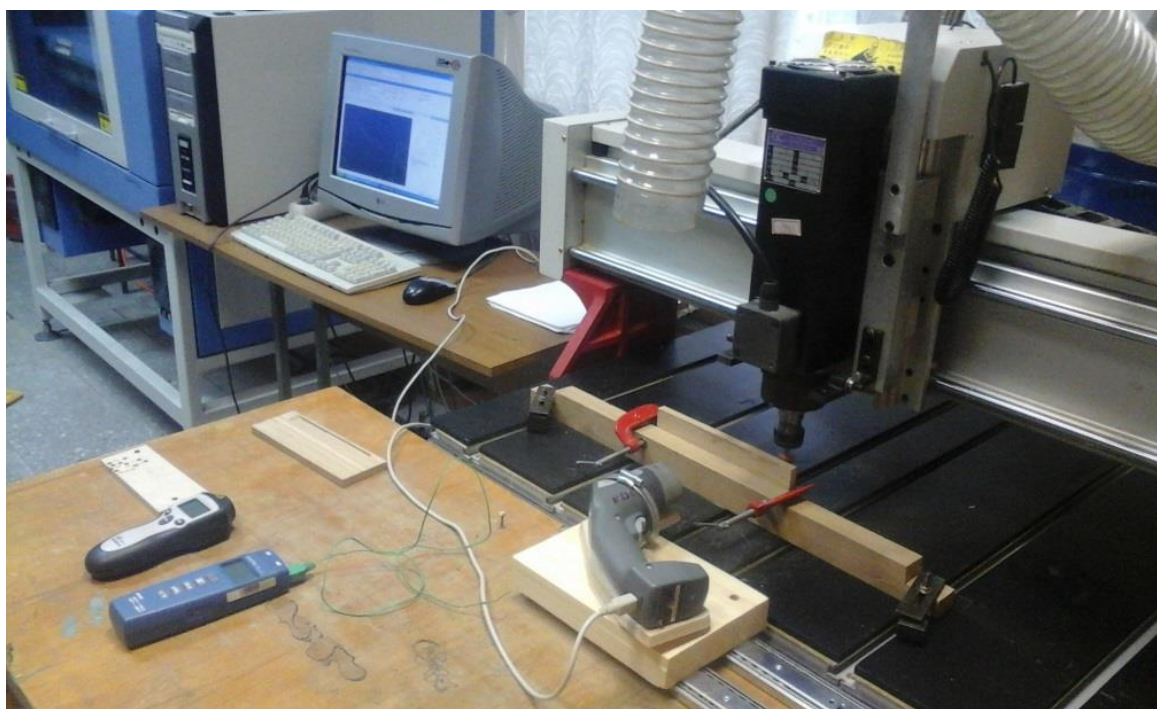


Рис. 1. Экспериментальная установка на базе фрезерного станка с ЧПУ Beaver 9A

На столе фрезерного станка закрепляется обрабатываемая заготовка *1* (рис. 2), в которой предварительно фрезеруется ступенчатый паз. Этот паз расположен с противоположной стороны поверхности обработки во время эксперимента. Температура на его поверхности измеряется бесконтактным инфракрасным пирометром *4*, мод. Mikron

M120 в двух точках во время фрезерования цилиндрической фрезой 2. Во время эксперимента заготовка неподвижна, а подача осуществляется фрезой. Данные об измеряемой температуре передаются в персональный компьютер 6. В ходе эксперимента необходимо измерить температуры поверхностей  $t_1$  и  $t_2$  с противоположной стороны обработки на расстояниях от плоскости резания  $l_1$  и  $l_2$  соответственно. Для этого пирометр 4 закреплен на ползуне 5 и перемещается по направляющим 3 из положения I в положение II, во время фрезерования.

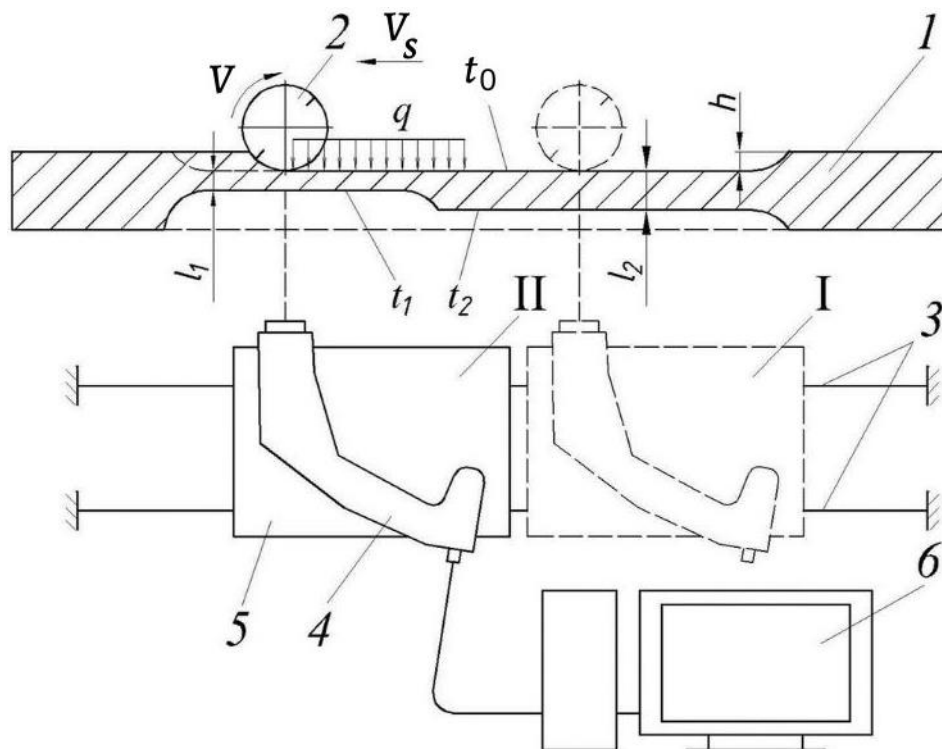


Рис. 2. Схема экспериментальной установки и расчетная схема определения температуры на обрабатываемой поверхности

Эксперимент проводился методом полного факторного эксперимента ПФЭ  $2^k$ . Определялась температура на обрабатываемой поверхности заготовки в зависимости от параметров: глубины фрезерования  $h$ , скорости резания  $V$  и подачи на зуб  $S_z$ .

Составлялась управляющая программа для станка с ЧПУ, в которой задавалась скорость подачи  $V_s$ , глубина фрезерования  $h$  и частота вращения фрезы  $n$ . Пирометр осуществлял измерение температуры, а компьютер – запись измерений с периодом между измерениями 0,1 с. В процессе фрезерования фреза проходила первую точку измерения температуры  $t_2$  (положение пирометра I, рис. 2), затем пирометр перемещался в положение II со скоростью значительно выше чем скорость подачи  $V_s$ , опережая фрезу. Происходило измерение температуры  $t_1$ . Для настройки излучательной способности пирометра был использован контактный термометр CENTER 308. Для контроля частоты вращения шпинделя – тахометр АТ-6. После проведения опыта измерялись микрометром толщины полученных стенок  $l_1$  и  $l_2$  на обработанной заготовке.

График записи температуры обрабатываемой заготовки, полученной от пирометра (рис. 3), характеризуется следующими участками: I – температура заготовки, равная температуре окружающей среды  $t_{окр} = 26,4$  °С (фреза находится на отдаленном расстоянии от пирометра); на участке 2 (увеличено показан на рис. 4) фреза проходит напротив

пирометра (рис. 2, положение I); температура  $t_2 = 27,7\text{ }^\circ\text{C}$  на расстоянии  $l_2$  от поверхности резания.

На рисунке 4 всплеск температуры до  $32\text{ }^\circ\text{C}$  объясняется измерением температуры при опережении фрезы пирометром. На участке 3 фреза снова проходит напротив пирометра, но температура измеряется на расстоянии  $l_1$  от поверхности резания и равна  $t_1 = 36,5\text{ }^\circ\text{C}$ .

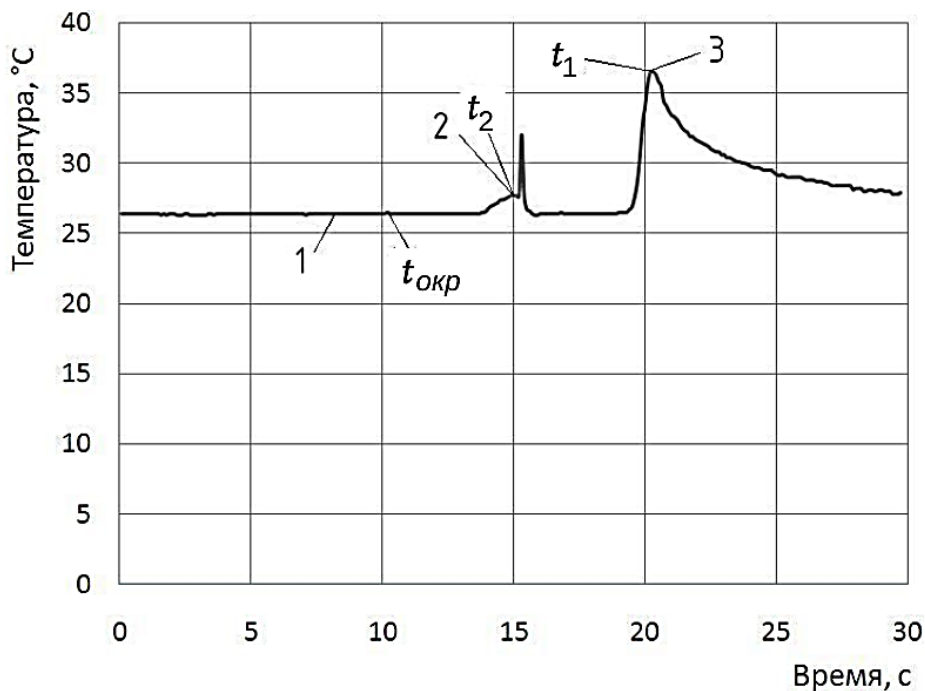


Рис. 3. График записи температуры обрабатываемой заготовки

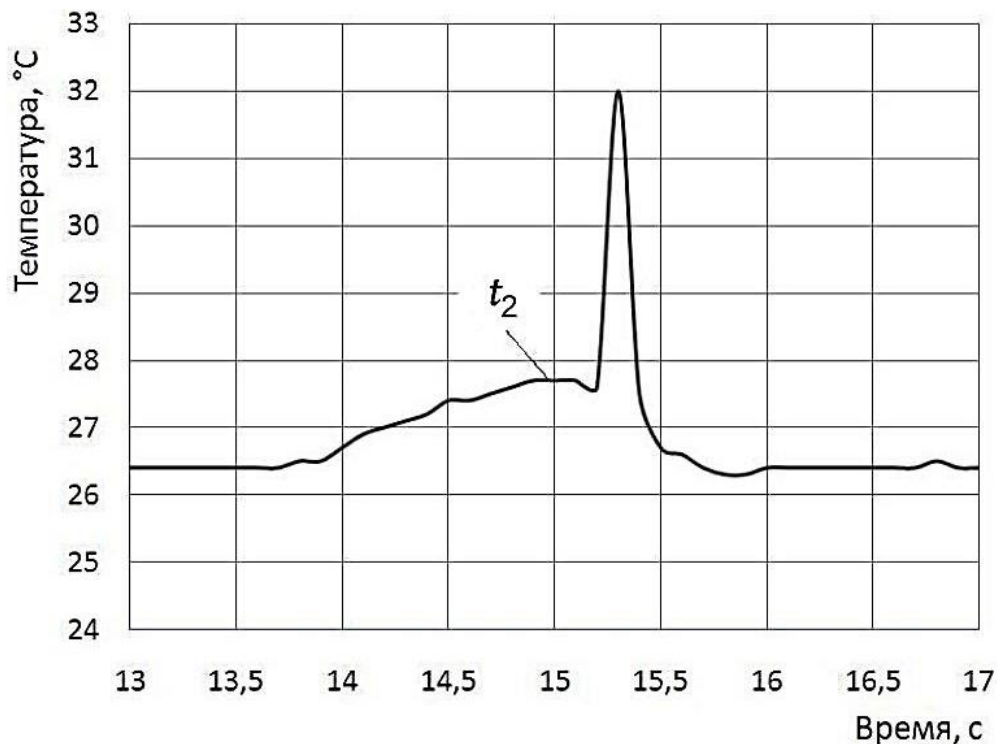


Рис. 4. График записи температуры обрабатываемой заготовки на участке 2

Определение температуры  $t_0$  на поверхности резания обрабатываемой заготовки осуществляется расчетом. Уравнение Фурье (основной закон теплопроводности) в общем виде для плоской однослойной стенки имеет вид:

$$q = \frac{\lambda}{\delta} \Delta t, \quad (1)$$

где  $q$  – плотность теплового потока, Вт/м<sup>2</sup>;

$\lambda$  – теплопроводность материала стенки, Вт/(м °С);

$\delta$  – толщина стенки, м;

$\Delta t$  – температурный перепад, °С.

Для нашего случая уравнение (1) для участка толщиной  $l_1$  и участка толщиной  $l_2$  соответственно примет вид:

$$q = \frac{\lambda}{l_1} (t_0 - t_1) \quad , \quad q = \frac{\lambda}{l_2} (t_0 - t_2) \quad . \quad (2)$$

Тепловой поток, поступающий в заготовку, считаем постоянным, поэтому из равенства выражений (2) получим значение температуры на обрабатываемой поверхности заготовки

$$t_0 = t_1 + \frac{l_1(t_1 - t_2)}{l_2 - l_1} \quad . \quad (3)$$

Диапазоны варьирования переменных факторов в эксперименте были приняты следующие:

- подача на зуб  $0,02 \text{ мм} \leq S_z \leq 0,03 \text{ мм}$ ;
- скорость резания  $16 \text{ м/с} \leq V \leq 24 \text{ м/с}$  (частота вращения фрезы 231,7 и 347,2 с<sup>-1</sup>);
- глубина фрезерования  $3 \text{ мм} \leq h \leq 5 \text{ мм}$ .

Идентификаторы, постоянные факторы и их уровни: цилиндрическая фреза диаметром 22 мм, с числом ножей – 2; обрабатываемый материал – МДФ; фрезерование встречное. Результаты эксперимента приведены в таблице.

#### Результаты эксперимента

№ опыта	Подача на зуб $S_z \cong x_1$ , мм	Скорость резания $V \cong x_2$ , м/с	Глубина фрезерования $h \cong x_3$ , мм	Скорость подачи $V_s$ , мм/мин	Толщина стенки		Температура				Температурный перепад $\Delta t_0$ , °С
					$l_1$ , мм	$l_2$ , мм	$t_1$ , °С	$t_2$ , °С	$t_0$ , °С	$t_{окр}$ , °С	
1	0,02	16	3	556	0,4	1,2	36,5	27,7	40,9	26,4	14,5
2	0,03	16	3	834	0,4	1,2	34,8	28,7	37,9	27,5	10,4
3	0,02	24	3	834	0,35	1,15	40,1	30,7	44,2	28,5	15,7
4	0,03	24	3	1250	0,4	1,15	35,4	28,4	39,1	28,2	10,9
5	0,02	16	5	556	0,45	1,1	35,9	29,4	40,4	27,4	13,0
6	0,03	16	5	834	0,45	1,25	33,2	28,5	35,8	27,5	8,3
7	0,02	24	5	834	0,4	1,15	36,8	29,9	40,5	27,8	12,7

Окончание табл.

№ опыта	Подача на зуб $S_z \cong x_1$ , мм	Скорость резания $V \cong x_2$ , м/с	Глубина фрезерования $h \cong x_3$ , мм	Скорость подачи $V_s$ , мм/мин	Толщина стенки		Температура				Температурный перепад $\Delta t_0$ , °C
					$l_1$ , мм	$l_2$ , мм	$t_1$ , °C	$t_2$ , °C	$t_0$ , °C	$t_{окр}$ , °C	
8	0,03	24	5	1250	0,4	1,2	34,5	27,9	37,8	27,8	10,0

Так как температура окружающей среды в ходе проведения опытов изменяется, в качестве выходной величины принимается температурный перепад между температурой на обрабатываемой поверхности заготовки и температурой окружающей среды  $\Delta t_0$ .

Уравнение регрессии для полного факторного эксперимента ПФЭ  $2^K$  ( $K = 3$ ) имеет следующий вид в кодированных значениях факторов:

$$\hat{y} = 11,9 - 2,03x_1 + 0,39x_2 - 0,93x_3 + 0,17x_1x_2 + 0,2x_1x_3 - 0,06x_2x_3 \quad (4)$$

Оценка значимости коэффициентов уравнения регрессии показала, что коэффициенты 0,17, 0,2 и -0,06 при взаимодействии факторов соответственно  $x_1x_2$ ,  $x_1x_3$ ,  $x_2x_3$ , являются незначимыми, и могут быть отброшены.

В натуральных значениях факторов зависимость температурного перепада от изучаемых параметров имеет вид:

$$\Delta t_0 = 14,7 - 40,6S_z + 0,1V - 0,93h \quad (5)$$

По результатам эксперимента возможно сделать следующие выводы. С увеличением глубины фрезерования  $h$ , температура на поверхности резания обрабатываемой заготовки  $t_0$  уменьшается в диапазоне варьирования факторов. Это объясняется тем, что при увеличении глубины фрезерования  $h$  увеличивается длина дуги контакта, и, следовательно, площадь контакта фрезы и обрабатываемой заготовки. Теплота распространяется на большую площадь, и температура на поверхности резания обрабатываемой заготовки  $t_0$  уменьшается.

С увеличением скорости резания  $V$  температура на поверхности резания обрабатываемой заготовки увеличивается, а с увеличением величины подачи на зуб  $S_z$  температура на поверхности резания обрабатываемой заготовки уменьшается в диапазоне варьирования факторов.

Наибольшее влияние из рассматриваемых факторов оказывает подача на зуб, и, следовательно, одной из основных причин появления прижогов является низкая скорость подачи, и, как следствие, низкая подача на зуб. Полученные экспериментальные данные положат основу для разработки методики расчета режимов фрезерования древесных материалов по критерию теплостойкости обрабатываемого материала.

### Библиографический список

1. Колосов, И. С. Изготовление изделий из древесины с рельефным узором на станках с ЧПУ / И. С. Колосов, С. В. Щепочкин // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России : мат-лы XIII Всерос. науч.-техн. конф. – Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2017. – С. 74–77.
2. Егорочкин, А. П. Установка для исследования тепловых явлений при фрезеровании древесины / А. П. Егорочкин, Г. З. Щепочкина, С. В. Щепочкин // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России : мат-лы XIII Всерос. науч.-техн. конф. – Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2017. – С. 71–74.