

П. В. Рудак, ассистент (БГТУ); А. С. Кравченко, канд. техн. наук (БГТУ)

ОБРАБОТКА ДРЕВЕСНОСТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ ОСЦИЛЛИРУЮЩИМ КОНЦЕВЫМ ФРЕЗЕРНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

Большое практическое значение имеет повышение эффективности обработки древесностружечных плит концевыми фрезами. Одним из направлений решения данной задачи является фрезерование с осцилляцией.

В статье приведены результаты исследований влияния основных параметров процесса резания с осцилляцией концевой фрезы на силы резания. Горизонтальная составляющая усилия внедрения лезвия осциллирующей концевой фрезы в древесностружечную плиту уменьшается в связи с уменьшением горизонтальной составляющей силы трения поверхностей лезвия об обрабатываемый материал. При этом требуемое для разрушения волокон напряженное состояние достигается при меньших значениях внедрения лезвия в материал и силы резания.

Согласно экспериментальным исследованиям, резание с осцилляцией концевого фрезерного инструмента сокращает энергетические затраты на обработку древесностружечных плит. При этом повышается стойкость режущих элементов и полнота их использования.

The big practical meaning has increasing of efficiency of processing of a reinforced wood particle board by trailer mills. One of directions of the decision of the given problem is milling with tool fluctuations.

In article results of researches of influence of key parameters of a cutting action with fluctuations of a trailer mill on cutting powers contain. The horizontal component of effort of introduction of an edge of a fluctuating trailer mill in a reinforced wood particle board decreases in connection with reduction of horizontal making force of a friction of surfaces of an edge about a treated material. Thus demanded for destruction of fibers the case-hardening is reached at smaller meanings of introduction of an edge in a material and cutting powers.

According to experimental researches, cutting with fluctuations of the trailer milling tool reduces power inputs to processing of wood particle boards. Firmness of cutting elements and completeness of their utilization thus raises.

Введение. Древесностружечные плиты (ДСтП) относят к труднообрабатываемым материалам. Вместе с тем их широко применяют для производства деталей мебели, элементов строительных конструкций.

Большое практическое значение имеет повышение эффективности обработки ДСтП концевыми фрезами. Одним из направлений решения данной задачи является фрезерование с осцилляцией инструмента [1].

Резание с осцилляцией инструмента имеет ряд достоинств. При таком резании со стороны лезвия на обрабатываемый материал воздействует знакопеременная нагрузка и в материале появляется знакопеременное поле напряжений, которое локализуется в некоторой массе материала, обладающей собственной частотой упругих колебаний. Возможен подбор амплитуды и частоты вибраций, накладываемых на лезвие и вызывающих резонанс, благодаря которому снижается энергоемкость процесса резания.

Процесс обработки с протягиванием инструмента вдоль лезвия характеризуется также существенными изменениями условий трения в зоне образования стружки. Известно, что силы трения скольжения уменьшаются в первоначальном направлении движения, если к этому телу приложено дополнительное движение, перпендикулярное к первому.

Важное значение имеет и равномерный износ режущих элементов.

Основная часть. Рассмотрим режущий элемент, вращающийся с окружной скоростью V_o концевой фрезы, который совершает одновременно еще два независимых движения – движение подачи со скоростью U и возвратно-поступательное движение вдоль режущей кромки со скоростью V_{os} – скоростью осцилляции. На рис. 1. показан резец в момент его движения вверх.

Векторы скорости резания без осцилляции V_{pbo} и скорости осцилляции V_{os} расположены в вертикальной плоскости под углом движения λ друг к другу.

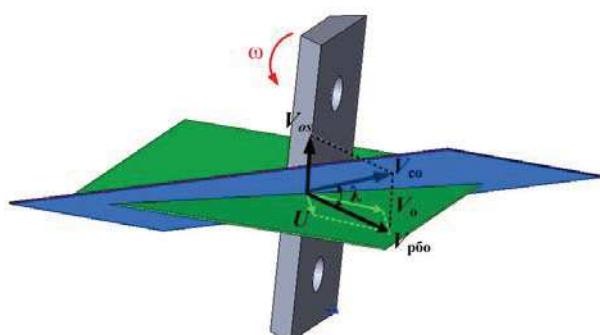


Рис. 1. Составляющие вектора результирующего движения осциллирующего резца концевой фрезы

Векторная сумма окружной скорости и скорости подачи определяет скорость резания $V_{\text{рбо}}$ при классической обработке без протягивания. При этом происходит трансформация угловых характеристик резца, замеренных в статической системе координат (без учета параметров главного движения и движения подачи) в горизонтальной плоскости на величину динамического угла μ , то есть в процессе движения концевой фрезы со скоростью $V_{\text{рбо}}$ появляются кинематические углы резца, отличающиеся от замеренных в статике (α_h, γ_h): задний $\alpha_k = \alpha_h - \mu$, передний $\gamma_k = \gamma_h + \mu$, угол резания $\delta_k = \alpha_k + \beta_k$ [2].

Зададим концевой фрезе перемещения в вертикальной плоскости по гармоническому закону:

$$z = z_{os} \cdot \cos(\omega \cdot t), \quad (1)$$

где z – текущая координата точки лезвия осциллирующей концевой фрезы, мм; z_{os} – амплитуда осцилляции концевой фрезы, мм; ω – циклическая скорость, с^{-1} ; t – время, с.

Из рис. 1 видно, что

$$\begin{aligned} \mu_{cp} &= \left(\int_0^{\frac{\pi}{2}} \arctg \left(\frac{U \cdot \sin \varphi}{V_{ok} + U \cdot \cos \varphi} \right) d\varphi \right) \frac{\pi}{2} = \\ &= \arctg \left(\frac{2 \cdot U}{\pi \cdot V_{ok}} \right). \end{aligned} \quad (2)$$

Для горизонтальной плоскости по теореме синусов:

$$V_{\text{рбо}} = \frac{U \cdot \sin \varphi}{\sin \mu}. \quad (3)$$

Величина динамического угла μ , соответствующая углу поворота концевой фрезы φ :

$$\mu = \arctg \left(\frac{U \cdot \sin \varphi}{V_{ok} + U \cdot \cos \varphi} \right). \quad (4)$$

Анализируя уравнение (4), устанавливаем, что углам поворота $\varphi = 0$ и $\varphi = 180^\circ$ соответствует наименьшее значение динамического угла $\mu_{\min} = 0$, а максимального значения динамический угол μ достигает при $\varphi = 90^\circ$:

$$\mu_{\max} = \arctg \left(\frac{U}{V_{ok}} \right). \quad (5)$$

Среднее за оборот концевой фрезы значение динамического угла:

$$\begin{aligned} \mu_{cp} &= \left(\int_0^{\frac{\pi}{2}} \arctg \left(\frac{U \cdot \sin \varphi}{V_{ok} + U \cdot \cos \varphi} \right) d\varphi \right) \frac{\pi}{2} = \\ &= \arctg \left(\frac{2 \cdot U}{\pi \cdot V_{ok}} \right). \end{aligned} \quad (6)$$

Скорость осцилляции вдоль режущей кромки в момент времени t :

$$V_{os} = \frac{dz}{dt} = z_{os} \cdot \omega \cdot \sin(\omega \cdot t). \quad (7)$$

Анализируя уравнение (7), устанавливаем, что в момент времени $t = 0$, $V_{os} = 0$, а максимальное значение скорость осцилляции $V_{os} = z_{os} \cdot \omega$ приобретает в момент времени $t = T_{\text{ц}} / 4$.

Средняя за время цикла $T_{\text{ц}} = 2 \cdot \pi$ скорость осцилляции концевой фрезы:

$$\begin{aligned} V_{os} &= \left(z_{os} \cdot \omega \cdot \int_0^{\frac{T_{\text{ц}}}{4}} \cos(\omega \cdot t) dt \right) \frac{1}{T_{\text{ц}}} = \\ &= \frac{4 \cdot z_{os}}{T_{\text{ц}}} = \frac{z_{os} \cdot N}{15}, \end{aligned} \quad (8)$$

где N – число двойных ходов концевой фрезы в минуту, дв. х/мин.

В общем виде

$$\operatorname{tg} \lambda = \frac{V_{os}}{V_{\text{рбо}}} = \frac{V_{os} \cdot \sin(\varphi - \mu)}{V_{ok} \cdot \sin \varphi}, \quad (9)$$

где ω_{os} – циклическая частота осцилляции концевой фрезы, с^{-1} .

$$\operatorname{tg} \lambda =$$

$$= \frac{z \cdot \omega_{os} \cdot \sin(\omega_{os} \cdot t) \cdot \sin(\varphi - \arctg(\frac{U \cdot \sin \varphi}{V_{ok} + U \cdot \cos \varphi}))}{V_{ok} \cdot \sin \varphi}.$$

Введем кинематическую систему координат, ориентированную относительно направления скорости резания без осцилляции (рис. 2).

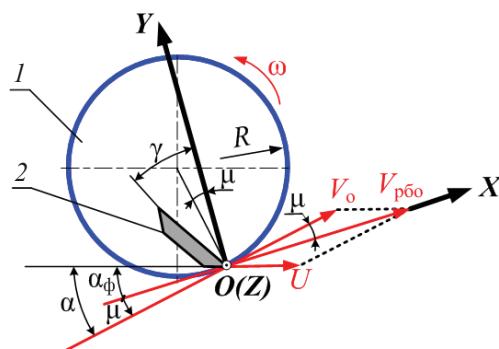


Рис. 2. Схема векторов скоростей вращающейся концевой фрезы

Наложение на классическую схему обработки концевым фрезерным инструментом дополнительного возвратно-поступательного движения вдоль лезвия обеспечивает сокращение касательной и радиальной составляющих усилия

резания, что нашло экспериментальное подтверждение при обработке ДСтП и фанеры.

Достоинства резания концевыми фрезами с осцилляцией подчеркивает также рассмотрение процесса внедрения (проникания) лезвия концевой фрезы в ДСтП.

В связи с тем, что обработка концевыми фрезами характеризуется малыми скоростями резания, а также предельностью остроты режущей кромки и структурной неоднородностью, пористостью ДСтП, в процессе резания волокна древесины (древесные частицы) не испытывают достаточного подпора, отгибаются, сминаются, далее начинают контактировать с гранями лезвия, отгибаются и сминаются еще в большей степени.

Перерезание волокон происходит после создания достаточного подпора [3, 4].

На рис. 3 представлена схема сил, действующих на лезвие концевой фрезы в процессе ее проникания в ДСтП.

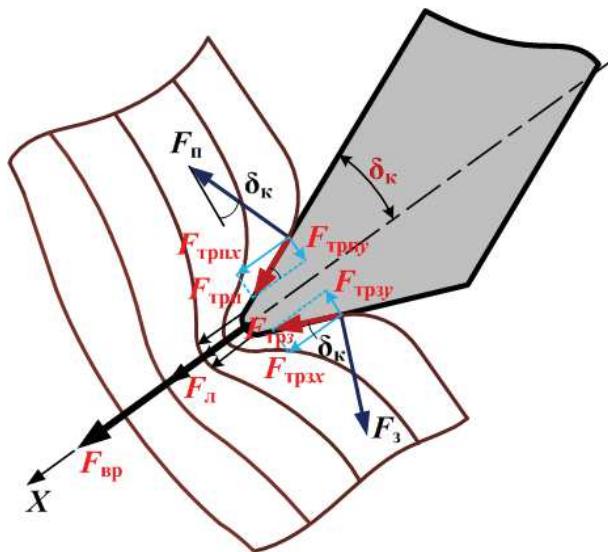


Рис. 3. Схема сил, действующих на лезвие концевой фрезы в процессе ее врезания в ДСтП

Согласно рис. 3, усилие, необходимое для врезания в материал резца концевой фрезы при классической схеме обработки:

$$\begin{aligned} F_{\text{вр}} &= \sum F_x = F_{\text{л}} + F_{\text{пх}} + F_{\text{зх}} + \\ &+ F_{\text{трх}} + F_{\text{трзх}} = \\ &= F_{\text{л}} + 2 \cdot F_{\text{п}} \cdot (\mu_{\text{тр}} \cdot \cos \delta_{\text{к}} + \sin \delta_{\text{к}}). \end{aligned} \quad (10)$$

На рис. 4 представлена схема сил, действующих на обрабатываемый материал со стороны проникающего в него лезвия осциллирующей концевой фрезы.

Согласно рис. 4, усилие, необходимое для врезания в материал резца осциллирующей концевой фрезы:

$$\begin{aligned} F_{\text{вр}} &= \sum F_x = F_{\text{л}} + F_{\text{пх}} + \\ &+ F_{\text{зх}} + F_{\text{трпх}} + F_{\text{трзх}} = \\ &= F_{\text{л}} + 2 \cdot F_{\text{п}} \cdot (\mu_{\text{тр}} \cdot \cos \delta_{\phi} \cdot \cos \lambda + \sin \delta_{\phi}). \end{aligned} \quad (11)$$

Таким образом, можем сделать вывод о том, что горизонтальная составляющая усилия внедрения лезвия осциллирующей концевой фрезы в ДСтП уменьшается в связи с уменьшением горизонтальной составляющей силы трения поверхности лезвия об обрабатываемый материал [5]. При этом требуемое для разрушения волокон напряженное состояние достигается при меньших значениях внедрения лезвия в материал и силы резания.

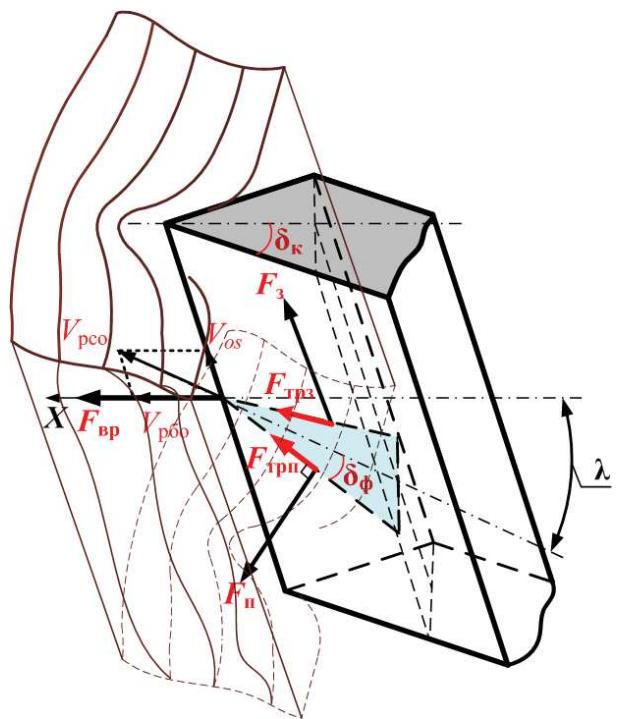


Рис. 4. Схема сил, действующих на обрабатываемый материал со стороны проникающего в него лезвия осциллирующей концевой фрезы

Кроме вышеуказанного, следует учитывать и наличие неровностей на режущей кромке, которые в процессе осциллирующих перемещений концевой фрезы обеспечивают эффект «подпиливания», что также сокращает усилие резания.

Заключение. Согласно экспериментальным исследованиям, резание с осцилляцией концевого фрезерного инструмента сокращает энергетические затраты на обработку ДСтП до 15% [6]. При этом повышается стойкость режущих элементов и полнота их использования.

Повышается работоспособность инструмента, что соответствует критерию качества обработанной поверхности.

Литература

1. Рудак, П. В. Эксплуатационные возможности повышения стойкости концевого фрезерного инструмента при обработке плитных древесных материалов / П. В. Рудак, А. П. Фридрих // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. – 2008. – Вып. XVI. – С. 215–221.
2. Ящерицын, П. И. Теория резания: учебник / П. И. Ящерицын, Е. Э. Фельдштейн, М. А. Корниевич. – Минск: Новое знание, 2005. – 512 с.
3. Бершадский, А. Л. Резание древесины / А. Л. Бершадский, Н. И. Цветкова. – Минск: Выш. шк., 1975. – 304 с.
4. Любченко, В. И. Резание древесины и древесных материалов: учеб. пособие для вузов /

В. И. Любченко. – М.: Лесная пром-сть, 1986. – 296 с.

5. Рудак, П. В. Силовые показатели процесса обработки древесностружечных плит осциллирующим концевым фрезерным инструментом / П. В. Рудак // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: труды IV Междунар. евраз. симпоз., Екатеринбург, 2–5 окт. 2009 г. / Урал. гос. лесотехн. ун-т; под ред. В. Г. Новоселова. – Екатеринбург, 2009. – С. 329–335.

6. Рудак, П. В. Силовые показатели процесса обработки плитных древесных материалов концевым фрезерным инструментом / П. В. Рудак // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. – 2009. – Вып. XVII. – С. 301–305.

Поступила 01.04.2010