

П. В. Рудак, инженер, БГТУ

СТОЙКОСТЬ РЕЖУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ КОНЦЕВОГО ФРЕЗЕРНОГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ ОБРАБОТКЕ ПЛИТНЫХ ДРЕВЕСНЫХ МАТЕРИАЛОВ

The purpose of the given operation is determination and research of the factors which are working upon dates of process of machining of crimps of wood-base materials by the end milling instrument.

Features of determination of rate of average width of shavings for a cutting action are observed by the end milling instrument.

As a result of conducting of experimental researches it is installed, that considerable agency on durability of cutting elements of the end milling instrument is rendered by an end milling cutter rotational speed. This dependence is most expressed at a reinforced wood particle board cutting.

It is installed, that durability of cutters of end milling cutters is influenced by efficiency of waste disposal from a cutting zone. It can be linked with the phenomenon of secondary cutting of shavings.

Введение. Плитные древесные материалы востребованы во многих областях современной промышленности. Широко используются древесно-стружечные плиты (ДСтП).

В связи с особенностями состава, структуры и строения ДСтП относятся к труднообрабатываемым материалам (рис. 1), например, их обработка резанием сопровождается повышенным износом режущих элементов.

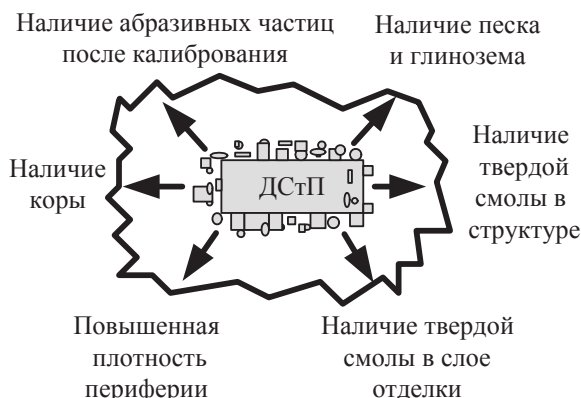


Рис. 1. Основные причины отнесения ДСтП к труднообрабатываемым материалам

Одним из типов инструмента, применяемого для обработки кромок ДСтП, является концевой фрезерный инструмент.

Несмотря на широкое промышленное использование, на сегодняшний день процесс резания ДСтП концевыми фрезами является недостаточно исследованным и четкие рекомендации по назначению режимов резания отсутствуют.

Цель работы. Целью данной работы является определение и исследование факторов, оказывающих влияние на стойкостные показатели процесса обработки кромок плитных древесных материалов концевым фрезерным инструментом.

Обзор научных представлений по вопросу стойкости режущих элементов концевых фрез при обработке ДСтП. При изучении износостойкости концевых фрез, оснащенных

различными износостойкими материалами, Шилько В. К. было установлено [1], что безвольфрамовые твердые сплавы и композит 05 ИТ уступают в стойкости сплавам группы ВК, содержащим карбидов вольфрама более 92%. Износостойкость вольфрамокарбидовых сплавов на 25–30% можно повысить нанесением износостойких покрытий из нитрида титана.

С увеличением числа зубьев в 4 раза износостойкость концевых фрез возрастает лишь в 1,9 раза, а с увеличением подачи на зуб от 0,2 до 0,6 мм износ и затупление фрез увеличиваются всего лишь в 1,5 раза.

С увеличением жесткости системы шпиндель – фреза в 3 раза износостойкость фрезы увеличивается в 1,7 раза.

Моисеевым А. В. выполнен анализ доминирующих факторов, которые влияют на износ сверхтвердых инструментальных материалов (СТМ) при обработке древесностружечных плит.

При этом выделены четыре фактора, которые существенно влияют на износ СТМ: путь резания, микротвердость инструментального материала, задний угол, скорость резания.

Кривая износа состоит из двух участков: участка усиленного приработочного износа и участка монотонного износа. Исследованию подвергался лишь участок монотонного износа. Изнашивание резцов производилось на специально предназначенной для этого фрезерной установке, в которой за счет изменения технологической схемы обработки получена возможность значительного увеличения интенсивности наработки пути резания.

Уточненный расчет величины средней толщины стружки при резании концевым фрезерным инструментом. Согласно многим исследованиям, при обработке древесины и древесных материалов фрезерованием на качественные и энергетические показатели процесса значительное влияние оказывает величина средней толщины стружки $a_{ср}$ [3], расчет которой для случая использования концевой фрезерного инструмента имеет особенности.

В производственных условиях при обработке ДСтП концевой фрезерный инструмент снимает с боковой поверхности заготовки припуск от 2 мм (для устранения сколов отделки) до величины собственного диаметра (в случае раскроя заготовки). При этом в случае снятия припуска величиной меньше либо равной радиусу используемой концевой фрезы, в зависимости от направления подачи по отношению к направлению вращения инструмента, осуществляется либо только встречное, либо только попутное фрезерование.

Процесс обработки со снятием припуска, величина которого больше радиуса или равна диаметру концевой фрезы, отличается последовательным осуществлением двух указанных типов фрезерования в течение одного оборота инструмента. Траекторией относительного движения режущего элемента в процессе обработки является ветвь удлиненной циклоиды – на участке встречного фрезерования, и ветвь укороченной циклоиды – на участке попутного фрезерования.

При этом за среднюю толщину стружки уже не может быть принята толщина стружки в середине дуги контакта $a_{\text{серед}}$, мм, что обычно допускают в случае цилиндрического фрезерования насадным фрезерным инструментом [2]:

$$a_{\text{серед}} = U_z \cdot \sin \frac{\varphi_k}{2}, \quad (1)$$

где φ_k – угол контакта, град. (рис. 2).

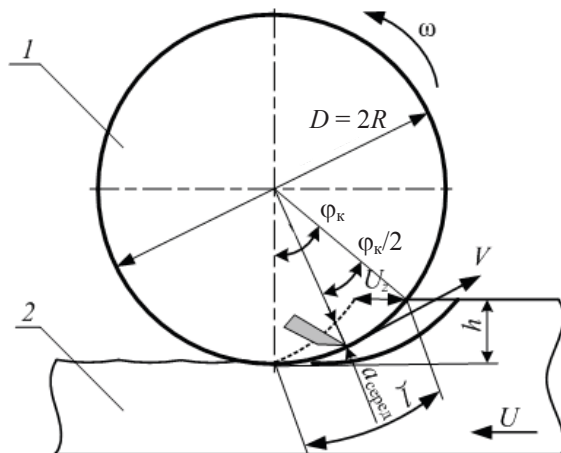


Рис. 2. Схема к определению средней толщины стружки без учета угла входа режущего элемента в материал при обработке:

1 – фреза; 2 – обрабатываемый материал

Так, для случая раскроя концевым фрезерным инструментом $\varphi_k = 180^\circ$ и толщина стружки на середине дуги контакта, согласно уравнению (1), $a_{\text{серед}} = U_z$ соответствует не средней, а наибольшей толщине стружки. Это обусловлено значительными величинами угла контакта при работе концевых фрез.

Определим величину средней толщины стружки при обработке материала концевым фрезерным инструментом.

Площадь боковой поверхности срезаемого слоя (стружки) $S_{\text{бок}}$ (рис. 3):

$$S_{\text{бок}} = \int_0^h U_z dh = U_z \int_0^h dh = U_z \cdot h, \quad (2)$$

где U_z – подача на резец, мм; h – припуск, снимаемый инструментом с заготовки, мм;

Вычисляемая по уравнению (2) площадь является фактической. Для определения средней толщины стружки вводится понятие фиктивного слоя.

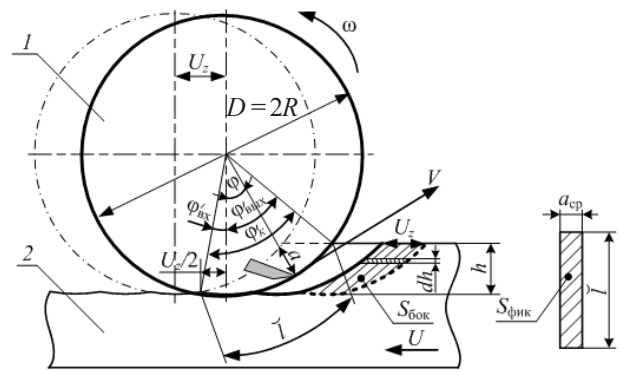


Рис. 3. Схема к определению средней толщины стружки на дуге контакта, состоящей из участка встречного фрезерования концевой фрезой:

1 – фреза; 2 – обрабатываемый материал

Площадь боковой поверхности и длина фиктивного слоя совпадают с аналогичными параметрами слоя фактического, но толщина фиктивного слоя принимается постоянной и равной средней толщине срезаемого слоя $a_{\text{ср}}$.

Таким образом, площадь боковой поверхности фиктивного слоя $S_{\text{фик}}$:

$$S_{\text{фик}} = \tilde{l} \cdot a_{\text{ср}}, \quad (3)$$

где $\tilde{l}$ – длина дуги контакта, т. е. путь резца в обрабатываемом материале, мм;

Величина длины дуги контакта может быть определена по уравнению, мм:

$$\tilde{l} = \frac{\pi \cdot d \cdot \varphi_k}{360}, \quad (4)$$

где φ_k – угол контакта, т. е. центральный угол между радиусом резания, нормальным к подаче, и радиусом, проходящим через точку выхода резца из обрабатываемого материала, град.

Тогда, приравнявая правые части уравнений (2) и (3) и учитывая (4), средняя толщина стружки

$$\varphi_k''' = 2 \cdot \arcsin \frac{U_z}{2 \cdot R} + \arccos \frac{R - h}{R}. \quad (5)$$

Угол контакта определяется как сумма углов входа $\varphi_{\text{вх}}$ резца в обрабатываемый материал и выхода резца из обрабатываемого материала $\varphi_{\text{вых}}$:

$$\varphi_{\text{к}} = \varphi_{\text{вх}} + \varphi_{\text{вых}}. \quad (6)$$

Рассмотрим отдельно, как изменяется угол контакта при движении режущего элемента концевой фрезы по участку встречного и попутного фрезерования.

Для встречного фрезерования (рис. 3) имеем:

$$\begin{aligned} \varphi'_{\text{вх}} &= \arcsin \frac{U_z}{2 \cdot R}; \\ \varphi'_{\text{вых}} &= \arccos \frac{R-h}{R}. \end{aligned}$$

На основании выражения (6) угол контакта для встречного фрезерования может быть определен по уравнению, мм:

$$\varphi'_{\text{к}} = \arcsin \frac{U_z}{2 \cdot R} + \arccos \frac{R-h}{R}. \quad (7)$$

Для случая участия режущего элемента в движении последовательно на участках встречного и фрагменте участка попутного (или наоборот) фрезерования (снимаемый припуск меньше диаметра) (рис. 4) получим:

$$\begin{aligned} \varphi''_{\text{вх}} &= \arcsin \frac{U_z}{2 \cdot R}, \\ \varphi''_{\text{вых}} &= 90^\circ + \arcsin \frac{h-R}{R} = 90^\circ - \arcsin \frac{R-h}{R}, \end{aligned}$$

при этом, учитывая, что

$$90^\circ = \arcsin \frac{R-h}{R} + \arccos \frac{R-h}{R},$$

имеем

$$\begin{aligned} \varphi''_{\text{вых}} &= \arccos \frac{R-h}{R}, \\ \varphi_{\text{к}} &= \arcsin \frac{U_z}{2 \cdot R} + \arccos \frac{R-h}{R}. \end{aligned} \quad (8)$$

Для случая раскроя заготовки концевым фрезерным инструментом (рис. 5) следует принимать во внимание равные значения угла входа на участке встречного фрезерования и угла выхода на участке попутного фрезерования:

$$\varphi'''_{\text{к}} = 2 \cdot \arcsin \frac{U_z}{2 \cdot R} + \arccos \frac{R-h}{R}. \quad (9)$$

Таким образом, получаем выражения для определения значений средней толщины стружки при обработке заготовок концевым фрезерным инструментом.

Для случая снятия припуска величиной меньше диаметра концевой фрезы:

$$\begin{aligned} a_{\text{ср}}^{h < d} &= \frac{U_z \cdot h \cdot 360}{\pi \cdot d \cdot \varphi_{\text{к}}} = \\ &= \frac{U_z \cdot h \cdot 360}{\pi \cdot d \cdot \left(\arcsin \frac{U_z}{2 \cdot R} + \arccos \frac{R-h}{R} \right)}. \end{aligned} \quad (10)$$

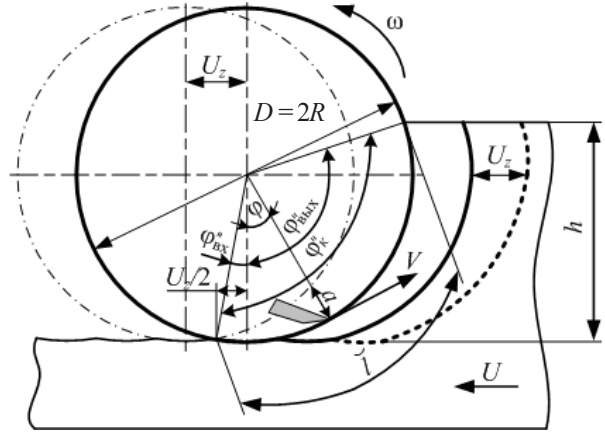


Рис. 4. Схема к определению толщины стружки на дуге контакта, включающей участки встречного и попутного фрезерования

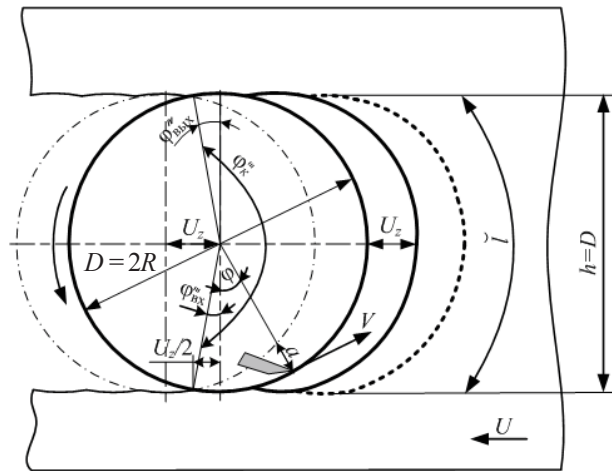


Рис. 5. Схема к определению толщины стружки при раскрое материала концевой фрезой

Для случая снятия припуска величиной равной диаметру концевой фрезы:

$$\begin{aligned} a_{\text{ср}}^{h=d} &= \frac{U_z \cdot h \cdot 360}{\pi \cdot d \cdot \varphi_{\text{к}}} = \\ &= \frac{U_z \cdot 360}{\pi \cdot (2 \cdot \arcsin \frac{U_z}{2 \cdot R} + 180)} = \\ &= \frac{U_z \cdot 180}{\pi \cdot \left(\arcsin \frac{U_z}{2 \cdot R} + 90 \right)}. \end{aligned} \quad (11)$$

Из уравнения (11) видно, что расчет средней толщины стружки для операции раскроя материала концевым фрезерным инструментом, будучи выполненным без учета угла входа, сопровождается погрешностью.

На рис. 6 приведен график зависимости относительной погрешности (q , %) определения величины средней толщины стружки без учета угла входа от величины подачи на резец (U_z , мм) при раскросе ДСтП.

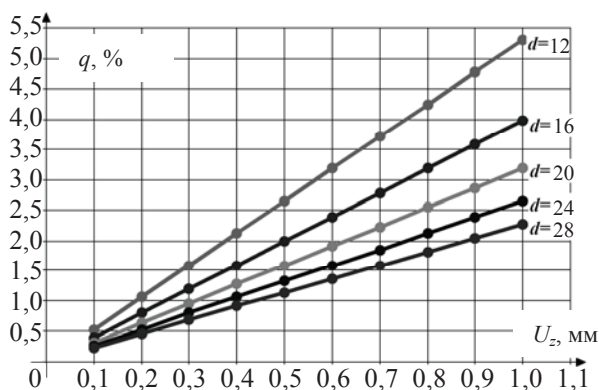


Рис. 6. График зависимости относительной погрешности определения величины средней толщины стружки без учета угла входа (выхода) от величины подачи на резец при раскросе ДСтП

Согласно графику на рис. 6, для концевых фрез диаметром менее 12 мм при подачах на резец близким к 1 мм относительная погрешность превышает 5%, что следует учитывать при назначении параметров режима обработки.

В то же время для концевой фрезерной инструмента большего диаметра, при эксплуатации с подачей на резец из диапазона 0,1...0,6 мм, относительная погрешность составляет 0,2 ...2,5 % и для удобства расчетов при определении толщины стружки величина углов входа может не учитываться.

Следует отметить, что для раскроя ДСтП в производственных условиях используют концевой фрезерный инструмент диаметром от 14 мм до 30 мм, который, как правило, эксплуатируют при величинах подачи на резец до 1 мм.

Экспериментальные исследования стойкости концевой фрезерной инструмента. Исследования осуществлялись на обрабатывающем центре с ЧПУ ROVER B 4.35 сборным концевым фрезерным инструментом различного диаметра (рис. 7).

Для проведения исследований концевые фрезы оснащались различными по составу неперетачиваемыми режущими элементами из твердого сплава вольфрамокобальтовой группы (таблица).

Угол заострения главной режущей кромки резцов $\beta = 55^\circ$.

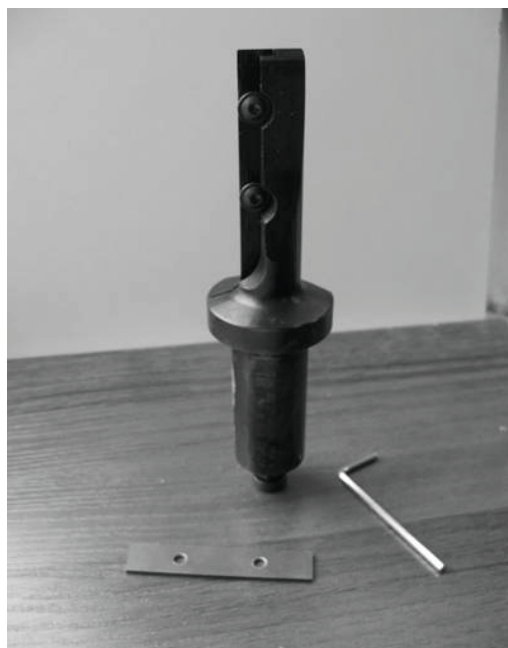


Рис. 7. Сборная концевая фреза с твердосплавным режущим элементом

Обрабатывались ДСтП двух типов с двусторонней отделкой пленками на основе термоактивных полимеров: ДСтП производства ОАО «Ивацевичдрев» (на основе плиты марки П-Б по ГОСТ 10632-2007) и ДСтП «Кронопол» (по EN 14322).

Таблица

Марки твердого сплава режущих элементов, испытываемых в эксперименте

Марка твердого сплава		Co, %	Средняя величина зерна WC, мкм	ρ , г/см ³	RA
по ИСО 513	наиболее близкая по ГОСТ 3882-74				
SMG02 (<K 01)	BK 3 OM	2,5	0,5-0,8	15,25	95,4
K 05	BK6 OM	6	0,8-1,5	14,8	93,2
K 30	BK 8	7,6	1-3,5	14,7	91

В качестве критерия потери стойкости принято появление сколов отделки пластей ДСтП.

Экспериментальные исследования проводились в условиях удаления отходов из зоны обработки стандартным вытяжным колпаком (рис. 8, а), с реализацией указанных в руководстве по эксплуатации параметров воздушного потока, а также в условиях модернизированного вытяжного колпака (рис. 8, б) и реализации воздушного потока благоприятного направления.

В результате модернизации вытяжного устройства обрабатываемого центра увеличены скорости воздушных потоков в трех взаимно перпендикулярных направлениях выполняемых замеров (от 1,5 до 8 раз). При

этом мощность электродвигателя привода вентилятора не увеличивалась.

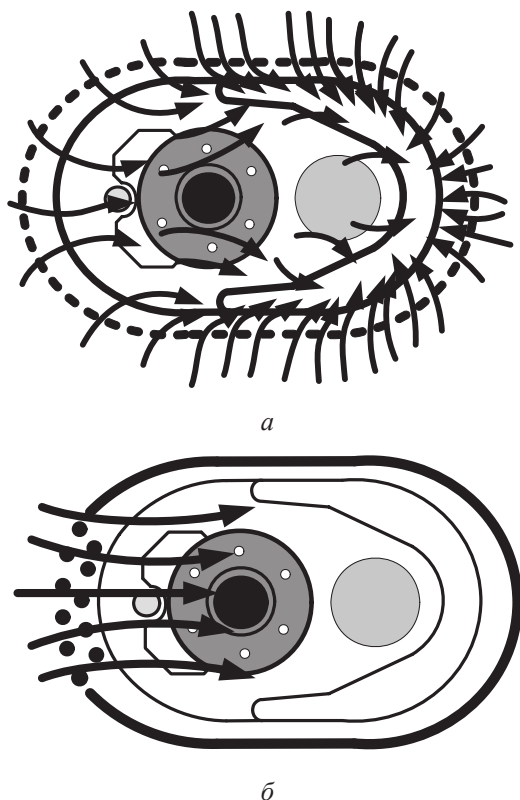


Рис. 8. Вытяжное устройство обрабатывающего центра с ЧПУ до модернизации (а) и после модернизации (б)

Заключение. В результате проведения экспериментальных исследований установлено, что значительное влияние на стойкость режущих элементов концевой фрезерного инструмента оказывает частота вращения концевой фрезы. Эта зависимость наиболее выражена при раскросе ДСтП.

При уменьшении зернистости твердого сплава стойкость резцов возрастает.

Установлено, что на стойкость резцов концевых фрез оказывает влияние эффективность удаления отходов из зоны резания. Это может

быть связано с явлением вторичного перерезания стружки [4, 5].

После модернизации вытяжного устройства обрабатывающего центра процесс фрезерования боковых поверхностей ДСтП характеризовался увеличением ресурса режущих элементов концевых фрез. Сократилась дисперсность стружки, что косвенно свидетельствует о сокращении эффекта ее вторичного перерезания.

Увеличение стойкости резцов проявилось при обработке ДСтП с осцилляцией – протягиванием инструмента попеременно вверх-вниз относительно заготовки. Это может быть связано с уменьшением нагруженности режущего элемента, его более эффективным охлаждением [6, 7].

Литература

1. Шилько, В. К. Повышение долговечности концевых фрез при обработке древесно-стружечных плит в панельном домостроении: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.05. / В. К. Шилько; Ленинградская лесотехн. академия. – Л., 1985. – 20 с.
2. Любченко, В. И. Резание древесины и древесных материалов: учеб. для вузов / В. И. Любченко. М.: Изд-во Московского гос. ун-та леса, 2002. – 310 с.
3. Бершадский, А. Л. Резание древесины / А. Л. Бершадский, Н. И. Цветкова. – Минск: Выш. школа, 1975. – 304 с.
4. Святков, С. Н. Удаление стружки и пыли при работе на деревообрабатывающих станках. М.; Л.: Машиностроение, 1964. – 124 с.
5. Власов, А. Ф. Удаление пыли и стружки от режущего инструмента / А. Ф. Власов. – М.: Машиностроение, 1982. – 241 с.
6. Бакиев Р. Ш. Контактные напряжения на резце и влияние вибраций на процесс резания древесины: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.06.02 / Р. Ш. Бакиев; Московский лесотехн. ин-т. – М., 1972. – 22 с.
7. Подураев В. Н. Резание труднообрабатываемых материалов / В. Н. Подураев. – М.: Машиностроение, 1974.