

И.Т. Глебов  
УГЛТУ, Екатеринбург, РФ  
GIT5@yandex.ru

**РАСЧЕТ КАСАТЕЛЬНОЙ  
СИЛЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ  
ДРЕВЕСНОСТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ**

**CALCULATION OF TANGENT FORCE OF CUTTING WHEN  
MILLING DREVESNOSTRUZHCHNYKH OF PLATES**

Плиты ДСтП выпускаются плоского и экструзионного прессования. Различают цилиндрическое фрезерование пласти плиты, кромки продольное и кромки поперечное. При расчете режимов фрезерования используют методику, разработанную Ю.А. Цукановым, которая дает большие погрешности.

В статье предложена новая методика расчета, в которой процесс фрезерования кромок ДСтП плоского прессования представлен как процесс перерезания древесных волокон стружек под углом перерезания  $\varphi_g = 45^\circ$  и процесс перерезания клеевых оболочек. Показано, что сила перерезания клеевых оболочек составляет примерно 80% от силы резания стружек плиты. Сравнительный анализ результатов позволяет сделать следующий вывод. При расчете режимов резания кромок плит фрезами диаметром  $D = 80$  мм и более можно использовать предлагаемый способ, который для данных условий сопоставим с методом расчета Ю.А. Цуканова. Для решения вопроса о расчете режимов фрезерования фрезами диаметром 50 мм и менее необходимы дополнительные исследования.

Particle boards are manufactured flat and extrusion. There are cylindrical milling plati plate longitudinal edges and transverse edges. When calculating the milling mode, the procedure developed by Y.A. Tsukanov that provides large errors.

The paper proposes a new method of calculation, in which the milling process Cro-IOC chipboard flat pressing is presented as a process of cutting wood fiber chips cutting angle  $^\circ = 45$  and the process of cutting the adhesive membranes. It is shown that the power of cutting the adhesive skins is approximately 80% on the strength of the cutting chip plates. A comparative analysis of the results leads to the following conclusion. In calculating the cut edges of plates modes cutters diameter = 80 mm or more can use the proposed method, which, for these conditions is comparable to the method of calculating Y.A. Tsukanov. To solve the problem of calculating the modes of milling cutters diameter of 50 mm and less than more research is needed.

Древесностружечные плиты (ДСтП) – листовой материал, изготовленный путем горячего прессования древесных частиц, преимущественно стружек, смешанных со связующим минерального происхождения с введением при необходимости специальных добавок. ДСтП получают методом плоского или экструзионного прессования [1].

*Древесностружечная плита плоского прессования* – это плита, у которой древесные частицы расположены преимущественно параллельно ее пласти. При изготовлении плиты

усилие прессования прилагается перпендикулярно пласти плиты, в результате чего стружки ориентируются плоской стороной параллельно пласти плиты.

*Древесностружечная плита экструзионного прессования* – плита, у которой плоскости древесных частиц расположены преимущественно перпендикулярно ее пласти. При изготовлении таких плит усилие прессования направлено параллельно пласти плиты.

*Виды фрезерования ДСтП.* При цилиндрическом фрезеровании древесностружечных плит можно выделить фрезерование по слою, фрезерование кромки продольное и кромки поперечное. На рис. 1 показаны схемы фрезерования ДСтП плоского прессования (колонка 1) и экструзионного прессования (колонка 2). На схемах показана плита, надвигающаяся со скоростью подачи  $V_s$  на вращающуюся фрезу. Фреза вращается с окружной скоростью  $V$ .

При фрезеровании по слою обрабатывается плоть (рис. 1, 1а) или кромка плиты (рис. 1, 2а), которые расположены перпендикулярно направлению прессования с подачей параллельно слою склеенных стружек в плите. Поскольку склеенные стружки сориентированы относительно направления прессования только широкими плоскостями, то свойства плит по обрабатываемым поверхностям одинаковы в любом направлении. Если процесс резания рассматривать с учетом направления волокон стружек, то при фрезеровании по слою будет наблюдаться продольно-торцово-поперечное резание. Вектор скорости главного движения  $V$  расположен по отношению к обрабатываемой поверхности под углом встречи  $\varphi_в$ , который учитывает долю продольно-торцового резания. Перерезание волокон древесины в отдельных стружках изменяется от продольно-торцового до поперечного. Угол наклона  $\varphi_н$ , учитывающий долю торцово-поперечного резания, изменяется от  $90^\circ$  при продольно-торцовом резании до  $0^\circ$  при поперечном резании и может быть принят равным  $\varphi_н=45^\circ$ .

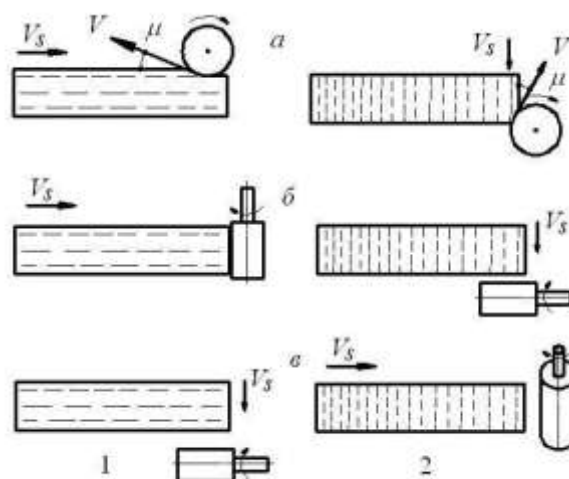


Рис. 1. Виды фрезерования древесностружечных плит плоского 1 и экструзионного 2 прессования:

*а* – по слою; *б* – по кромке продольное; *в* – по кромке поперечное

При продольном фрезеровании обрабатываются кромки расположенные параллельно направлению прессования плиты с подачей параллельно слою стружек (рис. 1, 1б) или (рис. 1, 2б). В этом случае наблюдается продольно-торцовое резание, при котором угол

встречи для отдельных склеенных стружек изменяется от  $\varphi_g = 0^\circ$  до  $\varphi_g = 90^\circ$ . В среднем можно принять  $\varphi_g = 45^\circ$ .

При поперечном фрезеровании обрабатываются кромки расположенные параллельно направлению прессования плиты с подачей перпендикулярно слою стружек (рис. 1, 1в) или (рис. 1, 2в). В этом случае наблюдается торцово-продольно-поперечное резание стружек.

Таким образом, сопротивление при фрезеровании древесностружечных плит можно рассматривать как сумму сопротивлений перерезанию клеевых слоев и сопротивлений перерезанию волокон древесных стружек в продольно-торцово-поперечном или в продольно-торцовом, или в торцово-продольно-поперечном направлениях.

*Расчет сил резания.* В настоящее время для расчета сил резания при фрезеровании древесностружечных плит наиболее часто используется метод Ю.А. Цуканова [2], разработанный в 60-х годах прошлого столетия. Для определения касательной силы резания находят табличное значение удельной работы резания (находят по величине подачи на зуб) и пять поправочных коэффициентов, учитывающих группу плит, их плотность, содержание связующих, угол резания и коэффициент затупления. Произведение табличного значения удельной работы резания и указанных коэффициентов дает расчетное для заданного режима резания значение удельной работы резания. Затем по объемной формуле находят мощность на фрезерование и значение касательной силы резания.

Расчетный метод Ю.А. Цуканова в современных условиях не дает точный результат, так как при определении табличной удельной работы резания не учитывается влияние породы древесины, из которой сделаны стружки, не учитывается скорость главного движения при фрезеровании, не учитывается диаметр фрезы и др.

С переходом технологии деревообработки на принципиально новый технологический уровень, связанный с использованием деревообрабатывающих станков с ЧПУ и хвостового фрезерного инструмента, точность к расчету режимов резания повышается.

Ниже приводится новый метод расчета режимов резания ДСтП, основанный на использовании метода А.Л. Бершадского, применяемого для расчета режимов резания массивной древесины. При этом приняты следующие допущения:

– принимается, что стружки в слое плиты плоского прессования расположены хаотически и средний угол перерезания волокон равен  $\varphi_g = 45^\circ$  при продольно-торцовом резании;

– принимается, что каждая стружка плиты находится в клеевой оболочке, усилие перерезания которой составляет 80% от усилия перерезания волокон древесины заданной породы;

– принимается, если  $D < 60$  мм, то учетная скорость резания  $V_1 = V$ , иначе, если  $V < 50$  м/с, то  $V_1 = 90 - V$ , иначе  $V_1 = V$ , где  $V$  – скорость главного движения при резании.

Проверка предлагаемого метода проводилась путем сравнения результатов расчета по методу Ю.А. Цуканова. При этом для расчета были написаны две компьютерные программы: по методу Ю.А. Цуканова и предлагаемому методу. Затем было выделено трехмерное пространство исследуемых параметров и приняты значения параметров: по оси скорости подачи  $V_s = 8; 12; 16; 20$  м/мин; по оси диаметра фрезы  $D = 21; 50; 80; 100$  мм; по оси частоты вращения фрезы  $n = 6000; 8000; 10000; 14000$  мин<sup>-1</sup>. Из этого

пространства произвольно было выбрано 12 условий фрезерования. Условия и результаты расчетов сведены в табл. 1.

Порядок расчета по предлагаемому методу показан на примере решения задачи.

**Дано.** На фрезерном станке фрезеруются по кромке древесностружечные плиты II группы, стружки изготовлены из древесины березы, содержание связующего равно 10%, плотность плит  $0,6 \text{ г/см}^3$ . Диаметр фрезы  $D = 100 \text{ мм}$ , частота вращения  $n = 6000 \text{ мин}^{-1}$ , скорость подачи  $V_s = 8 \text{ м/мин}$ , угол резания  $\delta = 85^\circ$ , число зубьев  $z = 4$ , глубина фрезерования  $t = 2$ . Ширина фрезерования  $b = 20 \text{ мм}$ . Радиус закругления режущей кромки зуба  $\rho_0 = 10 \text{ мкм}$ . Приняты коэффициент породы  $a_n = 1,25$  (древесина березы), коэффициент группы плит  $a_{zp} = 0,89$ , коэффициент, учитывающий перерезание оболочек связующего,  $a_{ce} = 1,8$ .

*Определить* окружную касательную силу резания.

*Решение.* 1. Скорость главного движения

$$V = \frac{\pi D n}{60000} = \frac{3,14 \cdot 100 \cdot 6000}{60000} = 31,4 \text{ м/с.}$$

2. Находим подачу на зуб

$$S_z = \frac{1000 V_s}{z n} = \frac{1000 \cdot 8}{4 \cdot 6000} = 0,33 \text{ мм.}$$

3. Толщина срезаемого слоя

$$a = S_z \sqrt{\frac{t}{D}} = 0,33 \sqrt{\frac{2}{100}} = 0,047 \text{ мм.}$$

4. Длина дуги контакта

$$l_k = \sqrt{tD} = \sqrt{2 \cdot 100} = 14,14 \text{ мм.}$$

5. Фиктивная сила резания для продольно-торцового резания с углом перерезания волокон  $\varphi_6 = 45^\circ$ :

$$p_{//\perp} = 1,57 + 3,23 \sin^{1,25}_{\varphi_6} = 1,57 + 3,23 \sin^{1,25} 45^\circ = 3,66 \text{ Н/мм.}$$

6. Касательное давление срезаемого слоя на переднюю грань лезвия [3]

$$\begin{aligned} k_{//\perp} &= 0,196\delta + 0,069V' - 5,4 + (0,354\delta + 0,127V' - 14,22) \sin^{1,25} \varphi_6 = \\ &= 0,196 \cdot 85 + 0,069(90 - 31,4) - 5,4 + (0,354 \cdot 85 + 0,127(90 - 31,4) - \\ &- 14,22) \sin^{1,25} 45^\circ = 30,4 \text{ МПа} \end{aligned}$$

7. Коэффициент затупления для острого лезвия  $\alpha_\rho = 1$ .

8. Значение коэффициента  $\lambda$ , применяемого для расчета силы резания в зоне микрослоев

$$\lambda = \rho^2 + 0,2\rho + 0,01; \rho = \rho_0 + \Delta_\rho; \rho - \text{в мм.}$$

$$\lambda = (0,010 + 0)^2 + 0,2(0,010 + 0) + 0,01 = 0,0121;$$

9. Средняя сила резания на дуге контакта находится из условия: если  $a > 0,1 \text{ мм}$ , то

$$F_{x \text{ зуб}} = a_n a_{zp} a_{ce} (\alpha_\rho p + ka) b, \text{ иначе}$$

$$F_{x \text{ зуб}} = a_n a_{ep} a_{cs} (\alpha_p p + 0,1k) \left(1 - \frac{1}{\lambda} a^2 + \frac{0,2}{\lambda} a - \frac{0,01}{\lambda}\right) b.$$

$$F_{x \text{ зуб}} = a_n a_{ep} a_{cs} (\alpha_p p + 0,1k) \left(1 - \frac{1}{\lambda} a^2 + \frac{0,2}{\lambda} a - \frac{0,01}{\lambda}\right) b =$$

$$= 1,25 \cdot 0,89 \cdot 1,8 \cdot (1 \cdot 3,66 + 0,1 \cdot 30,4) \cdot \left(1 - \frac{1}{0,0121} 0,047^2 + \frac{0,2}{0,0121} 0,047 - \frac{0,01}{0,0121}\right) \cdot 20 =$$

$$= 210,4 \text{ Н.}$$

10. Окружная сила резания

$$F_x = F_{x \text{ зуб}} \frac{l_{\kappa z}}{\pi D} = 210,4 \frac{14,14 \cdot 4}{3,14 \cdot 100} = 37,89 \text{ Н.}$$

Таблица 1

Условия фрезерования ДСтП и результаты расчетов окружной касательной силы резания  $F_x$ , Н

$D$ , мм	$n$ , мин <sup>-1</sup>	$V_s$ , м/мин	По Ю.А. Цуканову	По предлагаемому способу	Ошибка, %
100	6000	8	36,3	37,9	4,2
80	8000	12	46,0	46,4	0,86
50	10000	16	74,2	61,3	-21,0
21	12000	20	177,5	105	-68,5
21	14000	24	178,0	109,4	-62,7
50	12000	20	74,5	62,7	-18,8
80	10000	16	46,4	46,9	1,1
100	8000	12	36,8	38,6	4,7
21	6000	8	172,9	95,9	-80,3
50	8000	12	73,6	59,3	-24,1
80	6000	16	49,2	44,4	-10,8
100	12000	20	37,3	42	11,2

Анализ данных таблицы показывает, что при использовании фрез небольшого диаметра ( $D=50$  мм и менее) результаты расчета по предлагаемому способу показывают заниженный результат, отклонение достигает до 68,5 %. В остальных случаях погрешность находится в пределах нормы.

Для сравнения результатов расчетов, полученных по предлагаемому способу, можно использовать уравнения регрессии, полученные П.В. Рудак [4] при фрезеровании кромок ДСтП фрезами диаметром 21 мм при частоте их вращения 4000...18000 мин<sup>-1</sup>. Решая уравнение регрессии для принятых нами условий получены следующие значения окружной силы резания: 7,9; 7,86; 12,29 Н. По сравнению с этими данными в предлагаемом методе расчета получены во много раз превышающие данные.

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. При фрезеровании кромок ДСтП плоского прессования процесс резания можно считать продольно-торцовым с углом встречи  $\varphi_e = 45^\circ$ .

2. При расчете режимов резания кромок ДСтП фрезами диаметром  $D=80$  мм и более можно использовать предлагаемый способ, который для данных условий сопоставим с методом расчета Ю.А. Цуканова.

3. Для решения вопроса о расчете режимов фрезерования фрезами диаметром 50 мм и менее необходимы дополнительные исследования.

#### **Библиографический список**

1. Глебов И.Т., Рысев В.Е. Технология деревообработки. Термины и определения. Учебное пособие. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2005. – 220 с.

2. Цуканов Ю.А., Амалицкий В.В. Обработка резанием древесностружечных плит. – М.: Лесн. пром-сть, 1966. – 96 с.

3. Глебов И.Т. Резание древесины: Учебное пособие. – СПб.: Издательство «Лань», 2010. – 256 с.

4. Рудак П.В. Энерго- и ресурсосберегающие режимы обработки облицованных древесностружечных плит концевыми фрезами. Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. техн. наук. – Минск: БГТУ, 2010. – 22 с.

#### **BIBLIOGRAPHY**

1 . Glebov I.T. Rysev V. E. Technology of a woodworking. terms and definitions. manual. – yekaterinburg: ugltu, 2005. – 220 pages.

2 . Tsukanov U.A. Amalitsky V.V. Obrabotka cutting of drevesnostruzhechny plates. – m: lesn. prom-st, 1966. – 96 pages.

3 . Glebov I.T. Wood cutting: manual. – spb. : lan publishing house, 2010. – 256 pages.

4 . Rudak P. V. Power - and resource-saving modes of processing of the revetted drevesnostruzhechny plates trailer mills. the thesis abstract on competition of a scientific degree of cand.tech.sci. – minsk: bgtu, 2010. – 22 pages.