

УДК 674.05

И.Т. Глебов

(УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ), GIT5@yandex.ru

РАЗВИТИЕ НАУКИ О РЕЗАНИИ ДРЕВЕСИНЫ

THE DEVELOPMENT OF THE SCIENCE OF CUTTING WOOD

Опираясь на школу А.Л. Бершадского в области теории резания древесины, в статье рассмотрены новые методики определения касательной силы резания в диапазоне тонких срезаемых слоев, коэффициента затупления лезвий дереворежущего инструмента, шероховатости и точности обработанных поверхностей.

Relying on the school A.L. Bershada in the theory of cutting wood, the article discusses the new methodologies for the determination of the tangential cutting force in a range of subtle cutting layers, the coefficient of dull blades wood cutting tools, roughness and accuracy of the machined surfaces.

Обращаясь к развитию науки о резании древесины, многие исследователи отдают предпочтение школе Александра Львовича Бершадского. При этом в работах А.Л. Бершадского отмечается много противоречий, неточностей, упрощений формул, ориентированных на возможность выполнения расчетов с помощью логарифмической линейки – основного инструмента инженера 60-х годов прошлого века. В последние годы некоторые проблемы удалось решить.

1. *Общий закон резания.* По А.Л. Бершадскому, зависимость касательной силы резания от толщины срезаемого слоя (рис. 1) выражается параболой *AE* для тонких срезаемых слоев и прямой линией *AB* для толстых срезаемых слоев.

Для удобства выполнения расчетов А.Л. Бершадским параболическая кривая заменяется прямой линией с уравнением:

$$F_{xм1} = 0,2p + k_м a_м, \tag{1}$$

где $F_{xм1}$ – касательная сила резания для микростружек, Н;

p – фиктивная сила резания;

$k_м$ – касательное давление срезаемого слоя на переднюю поверхность лезвия, МПа;

$a_м$ – толщина срезаемого слоя для микростружек, мм.

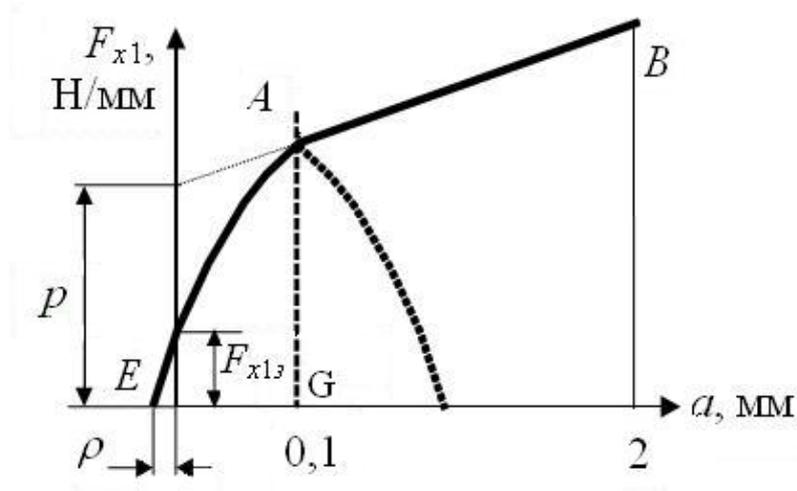


Рис. 1. Расчетная схема к определению касательной силы резания для микрослоев

Многочисленные решения обратных задач с использованием уравнения (1) показали, что очень часто скорость подачи получается с отрицательным знаком. Абсурд.

Напишем уравнение кривой AE с вершиной параболы в точке A . Получим [1]:

$$F_{x1} = (p + 0,1k) \left(1 - \frac{1}{\lambda} a^2 + \frac{0,2}{\lambda} a - \frac{0,01}{\lambda} \right), \quad (2)$$

где F_{x1} – единичная касательная сила резания для ширины срезаемого слоя в 1 мм, Н/мм;

a – толщина срезаемого слоя для микрослоев, мм;

λ – коэффициент.

$$\lambda = \rho^2 + 0,2\rho + 0,01,$$

где ρ – радиус закругления режущей кромки лезвия, мм.

С использованием уравнения (2) при решении обратных задач указанные проблемы исчезли.

2. *Сила резания по задней поверхности лезвия.* По А.Л. Бершадскому, сила резания по задней грани лезвия $F_{xz} = 0,2\rho$. Этот результат получен при конкретных условиях резания и не может быть распространен на все случаи.

Из уравнения (2) получена формула, пригодная для всех случаев резания:

$$F_{x1z} = (p + 0,1k) \left(\frac{\rho_o}{\rho_o + 50} \right), \quad (3)$$

где F_{x1z} – единичная касательная сила резания на 1 мм ширины стружки, Н/мм.

3. *Коэффициент затупления режущей кромки лезвия.*

По А.Л. Бершадскому,

$$\alpha_\rho = 1 + \frac{0,2\Delta_\rho}{\rho_o},$$

где Δ_ρ – величина затупления лезвия, мкм.

Предложено

$$\alpha_\rho = 1 + (1 + 0,1 \frac{k}{p}) \frac{\Delta_\rho}{\rho_o + 50}. \quad (4)$$

Пример. Определить значение коэффициента затупления α_ρ при резании с $\rho_o = 5$ мкм и $\Delta_\rho = 20$ мкм и касательной силой резания, описанной уравнениями:

$$F_{x1} = 4\alpha_\rho + 38a,$$

$$F_{x1} = 1,5\alpha_\rho + 13a.$$

Для первого уравнения получим следующее выражение для α_ρ :

$$\alpha_\rho = 1 + \frac{(1 + 0,1 \frac{38}{4}) 20}{5 + 50} = 1,71.$$

Для второго уравнения получим:

$$\alpha_\rho = 1 + \frac{(1 + 0,1 \frac{13}{1,5}) 20}{5 + 50} = 1,68.$$

Для сравнения приведем результат по формуле А.Л. Бершадского:

$$\alpha_\rho = 1 + \frac{0,2\Delta_\rho}{\rho_o} = 1 + \frac{0,2 \cdot 20}{5} = 1,8.$$

Таким образом, значения коэффициента затупления, вычисляемые по формуле (4), получаются несколько ниже, чем по методу А.Л. Бершадского. Отклонения составляют соответственно 5 и 6,7 %.

4. *О взаимосвязи сил*, действующих при резании по задней и передней поверхностям лезвия. Вопрос до сих пор не решен. А.Л. Бершадский признавал действие закона диалектической взаимосвязи процессов, происходящих при резании материала, однако на практике не знал, как это отразить в расчетных формулах.

Из предложенных формул (3) и (4) следует, что сила резания по задней поверхности лезвия зависит от величины k – касательного давления срезаемого слоя по передней поверхности и величины радиуса закругления режущей кромки – одного из параметров задней поверхности.

5. О границе зон микро- и макросрезаемых слоев древесины. По А.Л. Бершадскому, эта граница находится в точке $a = 0,1$ мм. Почему это так, объяснений нет.

Для решения вопроса были проведены экспериментальные исследования В.В. Глебовым в рамках выполнения магистерской диссертации по строганию кромок фанеры [2]. Результаты экспериментов в виде графиков представлены на рис. 2.

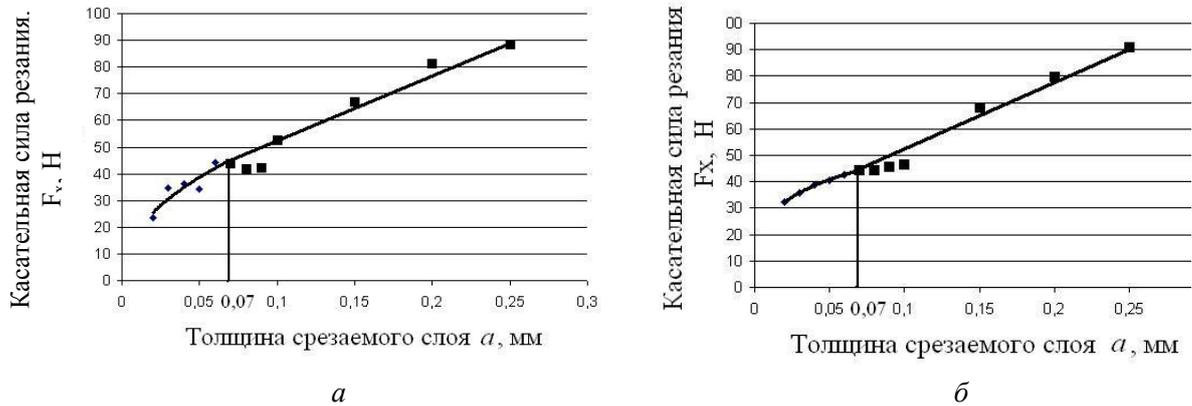


Рис. 2. Зависимость касательной силы резания от толщины срезаемого слоя при строгании кромок фанеры толщиной 6 мм: a – для продольных кромок; b – для поперечных кромок

Графики показывают, что граничной абсциссой между кривой линией в диапазоне срезаемых микрослоев и прямой линией в диапазоне срезаемых макрослоев является абсцисса $a_0 = 0,07$ мм.

6. Касательная сила резания на передней поверхности лезвия. По А.Л. Бершадскому,

$$F_{xn} = 0,8p + ka,$$

где F_{xn} – единичная касательная сила резания по передней поверхности на 1 мм ширины стружки, Н/мм.

Предложено находить по схеме рис. 3.

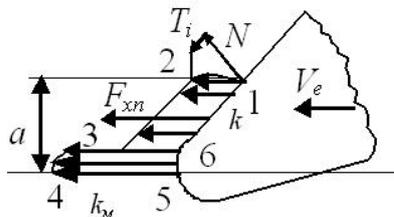


Рис. 3. Схема к расчету касательного давления срезаемого слоя на переднюю поверхность лезвия

Если форму слоев эпюры принять за параллелограммы, то единичную силу F_{xn} для срезаемого макрослоя можно найти как сумму площадей слоев эпюры по следующему выражению:

$$F_{xn} = 0,1k_m + k(a - 0,1), \quad (5)$$

где k_m, k – касательное давление на передней поверхности, равное сумме проекций векторов нормального давления и трения на направление скорости резания соответственно для микрослоя и внешнего слоя, МПа;

a – толщина срезаемого слоя, мм;

$0,1$ – толщина микрослоя в срезаемом макрослое, мм.

Если толщина срезаемого слоя $a_m < 0,1$ мм (микрослой), то

$$F_{хпм} = k_m a_m. \quad (6)$$

7. *Высота микронеровностей фрезерованной поверхности.* До недавнего времени считалось, что высота микронеровностей фрезерованной поверхности зависит только от количества зубьев фрезы, подачи на зуб и диаметра фрезы. Высоту образуемой кинематической волны определяли по формуле:

$$R_{m \max} = \frac{l^2}{4D},$$

где l – длина кинематической волны, мм;

$$l = S_z Z;$$

где S_z – величина подачи на зуб, мм;

Z – число зубьев фрезы, шт.

D – диаметр фрезы, мм.

В настоящее время признано, что величина микронеровностей фрезерованной поверхности зависит также от неточности длин радиусов отдельных зубьев.

Математическая модель для определения величины микронеровностей получена с использованием геометрической модели цилиндрического фрезерования (рис. 4).

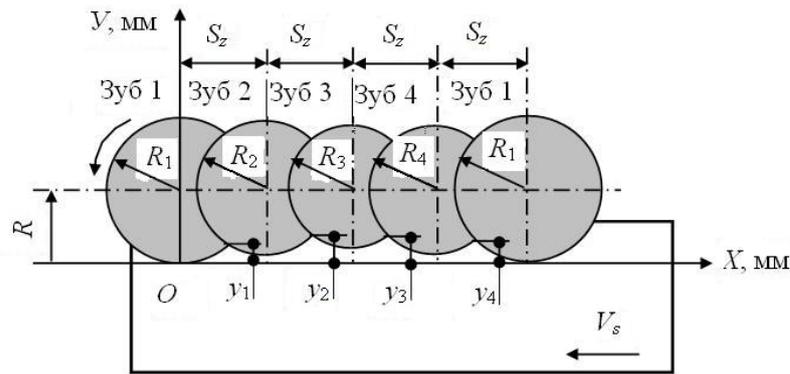


Рис. 4. Формирование кинематических волн на обработанной поверхности

Написав уравнения окружностей для каждого лезвия радиусом R и решив их попарно, найдем высоту гребешков кинематических волн. Высота гребня, образованного произвольной парой зубьев,

$$y_i = R - \sqrt{R_{li}^2 - \left[\frac{S_z}{2} + \frac{\Delta(2R_{li} - \Delta)}{2S_z} \right]^2}, \quad (7)$$

где R – max радиус лезвий фрезы, мм;

R_{li} – текущий радиус фрезы, мм.

Таким образом, высота гребешков волн y при цилиндрическом фрезеровании зависит от величины подачи на зуб S_z и погрешностей радиусов режущих кромок лезвий Δ относительно максимального радиуса R . Эта зависимость описана уравнением (8):

$$S_z = \sqrt{y(2R - y)} + \sqrt{y(2R - y) - \Delta(2R - \Delta)}. \quad (8)$$

Отсюда можно сделать два вывода. Во-первых, неточность радиусов лезвий Δ фрезы не должна превышать высоту гребней кинематических волн y . Если требуется

получить фрезерованную поверхность с высотой гребешков волн $R_{m \max} = y = 50$ мкм, то максимальная погрешность радиусов $\Delta = R - R_i$ не должна превышать 50 мкм. Во-вторых, значение подачи на зуб складывается из двух слагаемых. Первое из них равно половине максимального значения S_z при $\Delta = 0$, а второе меньше первого с поправкой на погрешность длин радиусов Δ .

Допустимая погрешность радиусов лезвий находится по уравнению, мм:

$$\Delta = R - \sqrt{R^2 + S_z^2 - 2S_z \sqrt{2Ry - y^2}}. \quad (9)$$

8. *Прифуговка лезвий.* Прифуговка лезвий позволяет уменьшить неточность расположения режущих кромок. При прифуговке радиус фрезы укорачивается на величину τ , и на задней поверхности лезвия образуется фаска. Ширина фаски должна быть не более $b = 0,15-0,20$ мм.

$$\tau = \frac{b}{\operatorname{tg}(\beta + \gamma) - \operatorname{tg}\gamma}, \quad (10)$$

где λ – задний угол, град.;

β – угол заточки (заострения), град.;

γ – передний угол, град.

При $b = 0,15$ мм допустимая величина стачивания лезвия при прифуговке будет равна ($\gamma = 35^\circ$, $\beta = 40^\circ$), мм:

$$\tau = \frac{0,15}{\operatorname{tg}(40+35) - \operatorname{tg}35} = 0,0495.$$

9. *Изменение точности фрезерования.* Точность размеров обработанных деталей зависит от износа и затупления лезвий фрезерного инструмента. При работе лезвия режущего инструмента монотонно изнашиваются, затупляются, укорачиваются по биссектрисе угла лезвий (рис. 5).

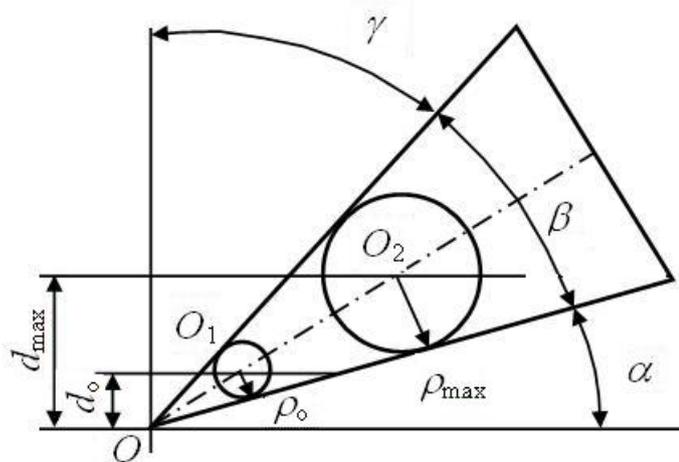


Рис. 5. Схема к расчету положения плоскости резания

Если острое лезвие имеет радиус закругления режущей кромки ρ_0 , то плоскость резания расположена от оси абсцисс на расстоянии d_0 . Если лезвие имеет радиус закругления ρ_{\max} , то плоскость резания проходит на расстоянии d_{\max} от оси абсцисс.

Обработанная поверхность древесины расположена ниже плоскости резания на величину остаточной деформации $\Delta_o = \rho \varepsilon_o$, где ε_o – относительная остаточная деформация. Таким образом, при обработке внешних поверхностей затупление лезвия приводит к увеличению размера, а при обработке внутренних поверхностей – к уменьшению размера детали.

Из рис. 6 следует, что предельно допустимое значение радиуса закругления режущей кромки в момент отказа станка по параметру «точность»

$$\rho_{\max} = \frac{d}{e - \varepsilon_o} + \rho_o, \quad (11)$$

где d – величина укорочения радиуса фрезы при затуплении лезвий, мкм;

$$e = \frac{\sin(\alpha + \beta/2)}{\sin(\beta/2)}.$$

Обработать деталь точно по номинальному размеру практически не возможно. Поэтому каждый номинальный размер ограничивают двумя предельными отклонениями: нижним ei и верхним es , которые образуют поле допуска. Величина поля допуска определяется качеством (степенью точности допусков размера). Допуск IT качества q равен $ITq = es - ei$.

Пример. На сверлильно-пазовальном станке обрабатываются гнезда под шипы шириной 8Н13 мм и длиной $l = 40$ мм. Начальный радиус закругления боковых режущих кромок $\rho_o = 5$ мкм, углы резания $\alpha = 15^\circ$, $\beta = 40^\circ$, число зубьев фрезы $Z = 2$. Поле рассеяния размеров на станке $\omega = 180$ мкм (определяется методом статистической обработки выборки размеров деталей), относительная остаточная деформация $\varepsilon_o = 0,2$. Скорость осевой подачи $V_{s1} = 0,1$ м/мин, частота вращения фрезы $n = 3000$ мин⁻¹, число двойных ходов фрезы $n_1 = 90$ мин⁻¹.

Определить момент наступления отказа технологической системы по параметру «Точность».

Решение. Гнездо обрабатывается хвостовой фрезой диаметром $D = 8$ мм. При затуплении боковых режущих кромок диаметр фрезы уменьшается.

1. По ГОСТу 6449.1-82 находим поле допуска на линейный размер 8 мм $IT13 = 220$ мкм.

2. Находим величину запаса поля допуска, мкм:

$$\delta_3 = IT13 - \omega = 220 - 180 = 40.$$

3. По мере затупления фрезы запас поля допуска сокращается. Принимаем величину сокращения поля допуска на одну сторону, мкм:

$$d = \delta_3 / 2 = 40 / 2 = 20.$$

4. Определим значение выражения

$$e = \frac{\sin(\alpha + \beta/2)}{\sin(\beta/2)} = \frac{\sin(15 + 40/2)}{\sin(40/2)} = 1,677.$$

5. Находим предельно допустимый радиус закругления режущей кромки, мкм:

$$\rho_{\max} = \frac{d}{e - \varepsilon_o} + \rho_o = \frac{20}{1,677 - 0,2} + 5 = 15,7.$$

В этот момент наступает отказ технологической системы. При дальнейшей работе получается брак.

Заключение. В этой обзорной статье приведены некоторые элементы теории резания древесины, изложенные по-новому и совершенствующие расчетный метод А.Л. Бершадского. Все это наравне с опытом, накопленным в науке по механической обработке древесины, использовано уже в учебных пособиях, монографиях, справочниках.

Библиографический список

1. Глебов И.Т. Резание древесины: учеб. пособие / И.Т. Глебов. – СПб.: Лань, 2010. – 256 с.
2. Глебов И.Т. Зависимость сил резания от направления строгания и ширины кромок фанеры / И.Т. Глебов, В.В. Глебов // Лесной журнал. – № 1 – 2014. – С. 87–91.

УДК 674.05

И.Т. Глебов, Г. Амет
(УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ), git5@yandex.ru

УДАЛЕНИЕ СТРУЖКИ ПРИ СВЕРЛЕНИИ

REMOVAL OF SHAVING WHEN DRILLING

Приведен анализ геометрической и математической моделей принципа удаления стружки в процессе сверления древесины. Предложена формула для допустимой подачи на зуб при сверлении без брикетирования стружки и заклинивания сверла. Проведены экспериментальные исследования, выполнено сравнение расчетных и экспериментальных данных. Показана удовлетворительная сходимость результатов.

The analysis of the geometrical and mathematical models of the principle of chip removal during drilling of wood. The formula for allowable feed per tooth when drilling without briquetting chips and jamming. Experimental studies, comparison of calculated and experimental data. A satisfactory shadeport results.

При сверлении отверстий образовавшаяся стружка по канавкам сверла отводится из зоны резания, однако механизм удаления стружки остается непонятным.

Обработка отверстий в древесине и древесных материалах часто осуществляется винтовыми сверлами на сверлильных станках. По конструкции винтовые сверла могут быть с конической заточкой (по ГОСТу 22057-76), с центром и подрезателями (по ГОСТу 22053-76), с пластинами твердого сплава (по ТУ 2-035-962-84). Сверло состоит из хвостовика, с помощью которого оно крепится в патроне шпинделя станка, и рабочей части [1]. Рабочая часть включает два зуба с режущими кромками, передними 2 и задними 1 поверхностями, перемычкой 3, винтовые канавки для отвода стружки из зоны резания и узкие ленточки 4, центрирующие сверло в цилиндрическом отверстии (рис. 1).

При работе сверло заглубляется в древесину со скоростью подачи V_s . При заглублении на небольшую глубину dt сверло диаметром d срезает слой древесины

объемом

$$dO = \frac{\pi d^2}{4} dt \text{ см}^3,$$

массой

$$dm = 0,001 \frac{\pi d^2 \rho}{4} dt \text{ кг},$$

где ρ – плотность древесины, г/см³.

В каждую винтовую канавку попадает половина указанной массы стружки, кг:

$$dm_1 = 0,001 \frac{\pi d^2 \rho}{8} dt .$$