

В. В. Раповец, аспирант, Н. В. Бурносков, доцент

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯЮЩИХ НА СИЛОВЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ НА ФРЕЗЕРНО-БРУСУЮЩИХ СТАНКАХ

Definition of parameters of process of cutting on the milling-bar machine tools influencing power parameters.

Совершенствование фрезерно-брусующих станков требует проведения специальных исследовательских работ, направленных на улучшение процесса переработки тонкомерных бревен с заданной производительностью и получением пилопродукции (брус и технологическая щепка) необходимого качества. При этом следует учитывать различные факторы, влияющие на процесс резания [1].

Среди этих факторов можно выделить производительность, размерно-качественные характеристики щепки и пласти бруса в зависимости от параметров режущего инструмента. Это взаимосвязанные факторы. Они определяют во многом технико-экономическую эффективность процесса переработки тонкомерных бревен [2].

Вопросы обработки древесины спиральными двухлезвенными фрезами (конструкция БТИ) недостаточно тщательно изучены как в силовом, так и в качественном отношении. Ведь для резания технологической щепки необходим один режим, а для формирования качественной пласти бруса — уже другой, несколько отличающийся от первого режима. К тому же весь этот процесс сопровождается значительными ударными нагрузками, затрудняющими измерение силовых показателей.

Рассмотрим принцип формирования щепки и пласти бруса (рис. 1).

На рис. 1 изображено перерабатываемое бревно диаметром  $D$  в трех проекциях, которое движется со скоростью подачи  $U$  (м/мин) между правой I и левой II фрезами с центром  $O$  и частотой вращения  $n$  (мин<sup>-1</sup>). Ось бревна смещена выше центра фрез на размер  $a$ . Резцами 1, 2, ...,  $i$  радиусами  $R_1, R_2, \dots, R_i$ , расположенными на одной спирали Архимеда, срезаются с каждой стороны бревна последовательно три слоя так, что получается брус высотой  $h_i$  и шириной меньшей пласти  $b_i$ . При этом резцы на правой и левой фрезе имеют прямую короткую кромку под углом  $\varphi_p$ . Угол среза торца щепки  $\varphi_{щ}$  в общем случае не равен углу скоса короткой кромки резца  $\varphi_p$ . Длинная кромка  $l_d$  формирует щепку по толщине  $S_{щ}$ , а короткая  $l_k$  по длине  $l_{щ}$ .

На горизонтальной проекции бревна показана форма поперечных сечений щепки на уровне  $AO$ , на фронтальной — на уровне входа резца в древесину ( $a + b_i / 2$ ), и на профильной показана форма режущих кромок резцов. При срезании слой древесины разрушается на отдельные щепки неопределенной ширины, но с постоянной площадью поперечного сечения  $F$ .

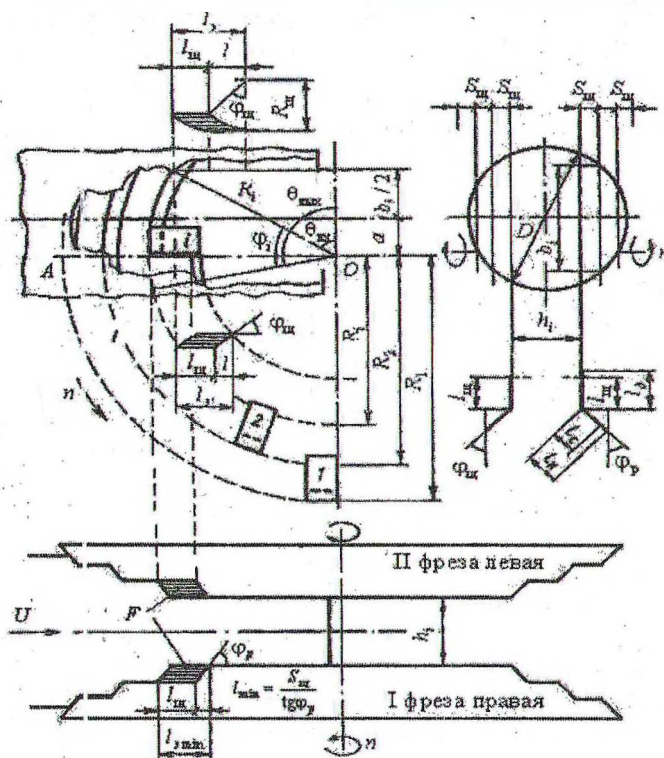


Рис. 1. Схема формирования элементов щепки и бруса

Определим теперь основные параметры щепы и резцов. Длина щепы по направлению волокон древесины

$$U_z = l_{щ} = \frac{1000 \cdot U}{z \cdot n},$$

где  $U$  – скорость подачи, м/мин;  $z$  – количество резцов, приходящихся на срезание одного слоя.

Длина длинной кромки резца

$$l_d = l_{щ} + 2 \text{ мм}.$$

Увеличение на 2 мм делается для компенсации возможной неточности расположения резцов по радиусам  $R_1, R_2, \dots, R_j$ . Длина элемента щепы  $l_3$  представляет собой длину щепы плюс длину скошенной части щепы. Рассмотрим этот случай.

$$l_3 = l_{щ} + l = l_{щ} + \sqrt{R_i^2 - (a + \frac{b_i}{2})^2} - \sqrt{(R_i - \frac{S_{щ}}{\text{tg}\phi_p})^2 - (a + \frac{b_i}{2})^2}, \quad (1)$$

где  $l$  – длина скошенной части элемента щепы, мм,  $\phi_p$  – угол скоса прямой короткой кромки резца, град.

Проанализируем полученную зависимость (1):

1.  $l_{3 \text{ max}}$  будет при условии

$$(a + \frac{b_i}{2}) = (R_i - \frac{S_{щ}}{\text{tg}\phi_p}).$$

$$l_{3 \text{ max}} = l_{щ} + \sqrt{R_i^2 - (R_i - \frac{S_{щ}}{\text{tg}\phi_p})^2}.$$

2.  $l_{3 \text{ min}}$  будет при условии  $(a + \frac{b_i}{2}) = 0$ ;

$$l_{3 \text{ min}} = l_{щ} + \frac{S_{щ}}{\text{tg}\phi_p}.$$

Из (1) следует, что длина элемента щепы зависит от технологических и инструментальных факторов. Длина элемента изменяется только за счет длины скошенной части щепы. Расчет показывает, что для средних условий  $l_{3 \text{ max}} / l_{3 \text{ min}}$  достигает двух.

Длина среза торца щепы

$$l_c = \frac{S_{щ}}{\sin \phi_{щ}}. \quad (2)$$

Длина прямой короткой кромки резца

$$l_k = l_c + 2 \text{ мм}.$$

Длина контура среза щепы включает поперечное резание длинной кромкой и торцово-поперечное – короткой кромкой:

$$L = l_{щ} + l_c. \quad (3)$$

Угол среза торца щепы

$$\text{tg}\phi_{щ} = \frac{S_{щ}}{1} = \frac{S_{щ}}{\sqrt{R_i^2 - (a + \frac{b_i}{2})^2} - \sqrt{(R_i - \frac{S_{щ}}{\text{tg}\phi_p})^2 - (a + \frac{b_i}{2})^2}}. \quad (4)$$

Проанализируем аналитическую зависимость (4):

1.  $\text{tg}\phi_{щ \text{ max}}$  будет при условии  $l_{\text{min}} = \frac{S_{щ}}{\text{tg}\phi_p}$ ;

$$\text{tg}\phi_{щ \text{ max}} = \text{tg}\phi_p; \text{ т. е. } \phi_{щ \text{ max}} = \phi_p.$$

2.  $\text{tg}\phi_{щ \text{ min}}$  будет при условии

$$l_{\text{max}} = \sqrt{R_i^2 - (R_i - \frac{S_{щ}}{\text{tg}\phi_p})^2}.$$

$$\text{tg}\phi_{щ} = \frac{S_{щ}}{l_{\text{max}}}.$$

Угол среза торца щепы  $\phi_{щ}$  меньше угла скоса короткой кромки резца  $\phi_p$ . Они равны между собой только при  $(a + b_i / 2) = 0$ . Отношение  $\text{tg}\phi_{щ \text{ max}} / \text{tg}\phi_{щ \text{ min}}$  достигает четырех. Известно, что качество щепы во многом определяется качеством торцового среза, а условия резания зависят от угла перерезания волокон древесины  $\phi_{щ}$ .

Площадь поперечного сечения щепы

$$F = S_{щ} \cdot l_{щ}. \quad (5)$$

Эта площадь зависит от длины и толщины щепы и не зависит от ее конфигурации.

Объем стружки (с некоторым приближением), срезаемый  $i$ -м резцом с бревна за один рез (один оборот фрезы):

$$V = F \cdot B_i. \quad (6)$$

Изменяя сечение резца за счет толщины или длины щепы, можно выяснить их раздельное влияние на силовые показатели.

При определении мощности на резание удобно пользоваться

$$P = K \cdot O = K \cdot \left( \frac{\pi D^2 \arctg \frac{\sqrt{D^2 - h_i^2}}{h_i}}{360} - \frac{\sqrt{(D^2 - h_i^2)} \cdot h_i}{2} \right) \cdot \frac{100 \cdot U}{60}, \quad (7)$$

где  $O$  – объем щепы ( $\text{см}^3$ ), срезаемый в секунду;  $b$  – ширина пласти, см;  $D$  – средний диаметр бревна, см;  $U$  – скорость подачи, м/мин.

Угол входа  $i$ -го резца в древесину (кромки  $l_d$  и  $l_k$  полностью вступают в работу)

$$\cos \theta_{\text{вх}} = \frac{a + b_i / 2}{R_i}. \quad (8)$$



Угол выхода  $i$ -го резца из древесины (кромка  $l_k$  заканчивает торцовый срез)

$$\theta_{\text{вх}} = 180^\circ - \left( \arccos \frac{b_i / 2 - a}{R_i} \right). \quad (9)$$

Угол контакта  $i$ -го резца с древесиной

$$\varphi_i = \theta_{\text{вх}} - \theta_{\text{вх}}. \quad (10)$$

Длина дуги контакта (резца с древесиной)

$$l_i = 0,0175 \cdot R_i \cdot \varphi_i. \quad (11)$$

Рассмотрим подробнее угловые параметры режущего элемента. У известных резцов есть один общий признак – наличие двух режущих кромок [3].

На рис. 2 показаны линейные и угловые параметры резца, короткая режущая  $ab$  и длинная режущая  $bv$ . При этих кромках есть соответствующие углы заострения  $\beta_k$  (сечение А-А) и  $\beta_d$  (сечение Б-Б). На нашем рисунке показана кромка  $bg$ , которая является линией пересечения передних граней резца  $gbv$  и  $gba$ , по которым сходит стружка – щепы. Наружная кромка  $ag$  образует с боковой кромкой резца угол  $\beta_1$ , который не участвует в резании. Между внутренней кромкой  $bg$  и наружной кромкой  $bd$  расположен угол заострения  $\beta_0$  (сечение В-В). Угол  $\beta_2$  расположен в сечении Г-Г. Задние грани резца  $abd$  и  $dbv$  скользят по обрабатываемой поверхности бревна в направлении вектора скорости резания  $V$ . Задние углы резания относительно малы ( $3-5^\circ$ ) и могут быть приняты равными нулю для упрощения аналитического определения углов. Между плоскостью В-В и задними гранями  $abd$  и  $dbv$  образуются вспомогательные углы  $x$  и  $y$ . В плоскости Б-Б расположен угол  $\varphi_1$ . Внутренняя кромка  $bg$  находится на передней грани  $gbv$  под углом  $\varphi_2$  к длинной режущей кромке  $bv$ . Конструктивные углы резца  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$ , угол среза торца щепы  $\varphi$ .

При помощи метода проекций углов на плоскость установим теперь связи между перечисленными углами [4].

$$\text{tg} \beta_k = \text{tg} \beta_1 \cos(90 - \varphi) = \frac{\text{tg} \beta_k}{\sin \varphi}. \quad (12)$$

$$\text{tg} \beta_2 = \frac{\text{tg} \beta_k}{\cos \varphi}. \quad (13)$$

$$\text{tg} \beta_0 = \frac{\text{tg} \beta_k}{\sin x}. \quad (14)$$

$$\text{Отсюда видно, что } \varphi + x + y = 180^\circ. \quad (15)$$

Определим вспомогательные углы из (14) и (15):

$$\text{tg} x = \frac{\text{tg} \beta_k \sin \varphi}{\text{tg} \beta_d - \cos \varphi \cdot \text{tg} \beta_k}. \quad (16)$$

$$\text{tg} y = \frac{\text{tg} \beta_d \sin \varphi}{\text{tg} \beta_k - \cos \varphi \cdot \text{tg} \beta_d}. \quad (17)$$

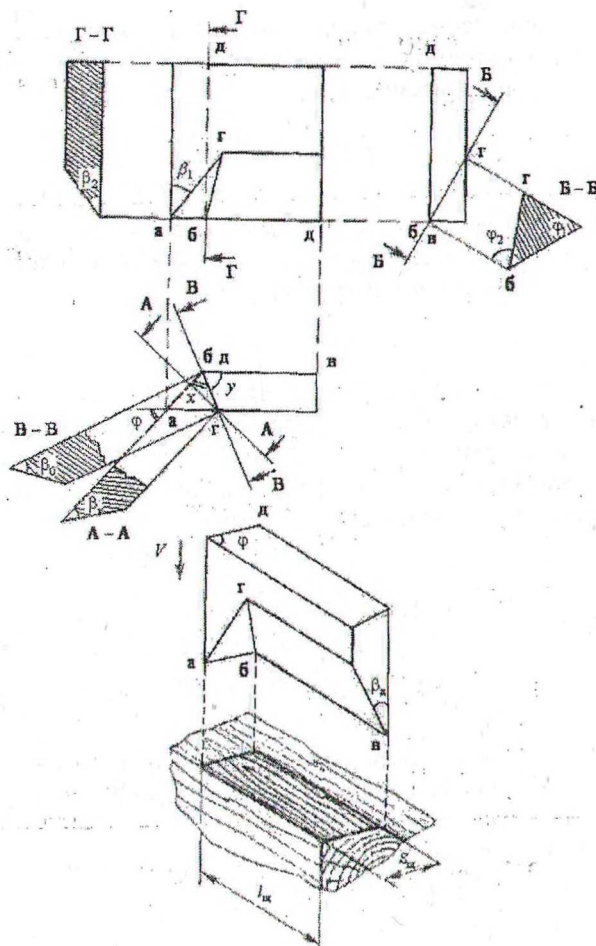


Рис. 2. Линейные и угловые параметры резца:  $ab$  – короткая режущая кромка;  $bv$  – длинная режущая кромка;  $\beta_k$  – угол заточки при кромке  $ab$ ;  $\beta_d$  – угол заточки при кромке  $bv$ ;  $\varphi$  – угол среза торца щепы;  $V$  – направление вектора скорости резания

Аналогично определяются и конструктивные углы из (13) и (14):

$$\text{tg} \varphi_1 = \frac{\text{tg} \varphi}{\sin \beta_d}. \quad (8)$$

$$\text{tg} \varphi_2 = \frac{\sin \varphi}{(\text{tg} \beta_k - \text{tg} \beta_d \cos \varphi) \cos \beta_d}. \quad (19)$$

Основными углами, характеризующими резец, являются угол заточки при короткой кромке  $\beta_k$ , угол заточки при длинной кромке  $\beta_d$  и угол среза торца щепы  $\varphi$ .

Проведем анализ полученных зависимостей.

1)  $\beta_k = \beta_d$ . Это условие, когда углы заточки при короткой и длинной режущих кромках равны.

2)  $y = 90^\circ$ . Это отражает условие, которое показывает преобладание поперечного резания, и стружка свободно сходит по передней грани длинной режущей кромки.

Из уравнения (17) следует, что

$$\text{tg} \beta_k = \cos \varphi \cdot \text{tg} \beta_d, \quad (20)$$

т. е.  $\beta_k = \beta_d$ . С уменьшением угла  $\varphi$  ближе по величине становятся  $\beta_k$  и  $\beta_d$ . Подставив (20) в (19), получим

$$\operatorname{tg}\varphi_2 = \frac{\sin\varphi}{(\cos\varphi \cdot \operatorname{tg}\beta_d - \operatorname{tg}\beta_d \cos\varphi) \cos\beta_d} \quad (21)$$

Следовательно,  $\varphi_2 = 90^\circ$ .

Из (15) получим  $x = 90 - \varphi$ , что после подстановки в (16) дает

$$\operatorname{tg}x = \frac{\operatorname{tg}\beta_d - \cos\varphi \cdot \operatorname{tg}\beta_k}{\operatorname{tg}\beta_k \sin\varphi} \quad (22)$$

Аналогичным образом из (14) получим

$$\operatorname{tg}\beta_0 = \frac{\operatorname{tg}\beta_k}{\cos\varphi} = \operatorname{tg}\beta_2 \quad (23)$$

3)  $x = 90^\circ$ . Это отражает условие, когда стружка, срезанная под углом  $\varphi$  к волокнам, будет сходиться по передней грани короткой кромки.

Из (14) имеем  $\beta_0 = \beta_k$ ; из (16)  $\operatorname{tg}\beta_d = \cos\varphi \cdot \operatorname{tg}\beta_k$ , т. е.  $\beta_k > \beta_d$ .

4) При уменьшении угла скоса торца щепы  $\varphi$ , при равных прочих условиях, углы  $\beta_1, \varphi_2$  увеличиваются, а углы  $\beta_2, \beta_0$  уменьшаются.

**Заключение.** Анализируя полученные теоретическим путем аналитические зависимости, можно сделать соответствующие выводы. Углы заострения резца  $\beta_k$  и  $\beta_d$  нельзя изменять независимо друг от друга, т. к. они взаимозависимы. Короткая и длинная режущие кромки являются стружкообразующими. Режущие возможности резца и качество щепы будут выше при уменьшении углов заточки  $\beta_k$

и  $\beta_d$ . Ограничивающим фактором будет стойкость резца. Практически  $\beta_d = \beta_k = 40^\circ$ . Углы резания при короткой и длинной режущих кромках будут больше на 2–3 градуса за счет задних углов. При уменьшении угла среза торца щепы до  $30^\circ$  углы  $\beta_k$  и  $\beta_d$  приблизительно равны по величине.

Как видим, полученные аналитические зависимости устанавливают связь между толщиной  $S_{щ}$ , длиной  $l_{щ}$  щепы и угловыми параметрами элементов резца. Эти основные параметры влияют на силовые показатели процесса резания, качество получаемой щепы и бруса, дают возможность связать параметры резца с параметрами технологической щепы, бревна, бруса, а также являются исходными при проектировании спиральных фрез, фрезерно-брусующих станков – основной расчета режимов резания на данном типе оборудования, подготовки и последующего проведения экспериментальных исследований.

#### Литература

1. Механическая технология древесины / Под ред. Н. А. Батина. – Мн.: Вышэйшая школа, 1979. – Вып. 9. – 164 с.
2. Механическая технология древесины / Под ред. Н. А. Батина. – Мн.: Вышэйшая школа, 1985. – Вып. 9. – 144 с.
3. Микулинский В. И. О проекции углов на плоскость. – В кн.: Вопросы резания, надежности и долговечности дереворежущих инструментов и машин. – Л.: ЛТА, 1983.
4. Станки и инструменты деревообрабатывающих производств: Межвуз. сб. науч. тр. – Л.: ЛТА, 1986. – 136 с.