

частота вращения n , мин ⁻¹	0—500
радиус резания r , мм	200—400
резец сменный	с двумя режущими кромками
тахометр, тип	ТЭ
точность отсчета, об/мин	0,5
мощность привода резания N , кВт	1,0
плечо коромысла L , мм	1500
масса груза M_0 , кг	25
Механизм подачи	
независимая подача U , м/мин	0,08—20,0
мощность двигателя N_2 , кВт	0,3
синхронная подача U , м/мин	0,1—20,0
толчковая подача: посылка, мм/об	2,8—30
Габаритные размеры $D \times B \times H$, мм	1500x1400x600
Масса, кг	420
Установка изготовлена в металле и опробована.	

УДК 674.055.621

В.И. МИКУЛИНСКИЙ, канд.техн.наук (БТИ)

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЩЕПЫ И РЕЗЦОВ ПРИ РЕЗАНИИ СПИРАЛЬНЫМИ ФРЕЗАМИ

Применение спиральных фрез для переработки круглого леса на брусья и технологическую щепу в последние годы расширилось. Параметры щепы и резцов взаимосвязаны и изучены пока недостаточно, хотя имеют отношение к процессу резания и конструкции инструмента.

Поясним принцип формирования щепы и бруса (рис. 1). На рисунке показано перерабатываемое бревно диаметром D в трех проекциях, которое продвигается со скоростью подачи U (м/мин) между правой I и левой II фрезами с центром O и частотой вращения n (мин⁻¹). 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_1 и шириной меньшей пласти b_1 . При этом резцы на правой фрезе имеют прямую короткую кромку под углом φ_p а на левой — дугообразную с радиусом R_p и углом от 0 до φ_p . Угол среза торца щепы $\varphi_{щ}$ в общем случае не равен углу скоса короткой кромки резца φ_p . Длинная кромка формирует щепу по толщине $S_{щ}$, а короткая l_k по длине $l_{щ}$.

На горизонтальной проекции бревна показана форма поперечных сечений щепы на уровне AO , на фронтальной — на уровне входа резца в древесину $a + \frac{b_1}{2}$ и на профильной показана форма режущих кромок резцов. При срезании

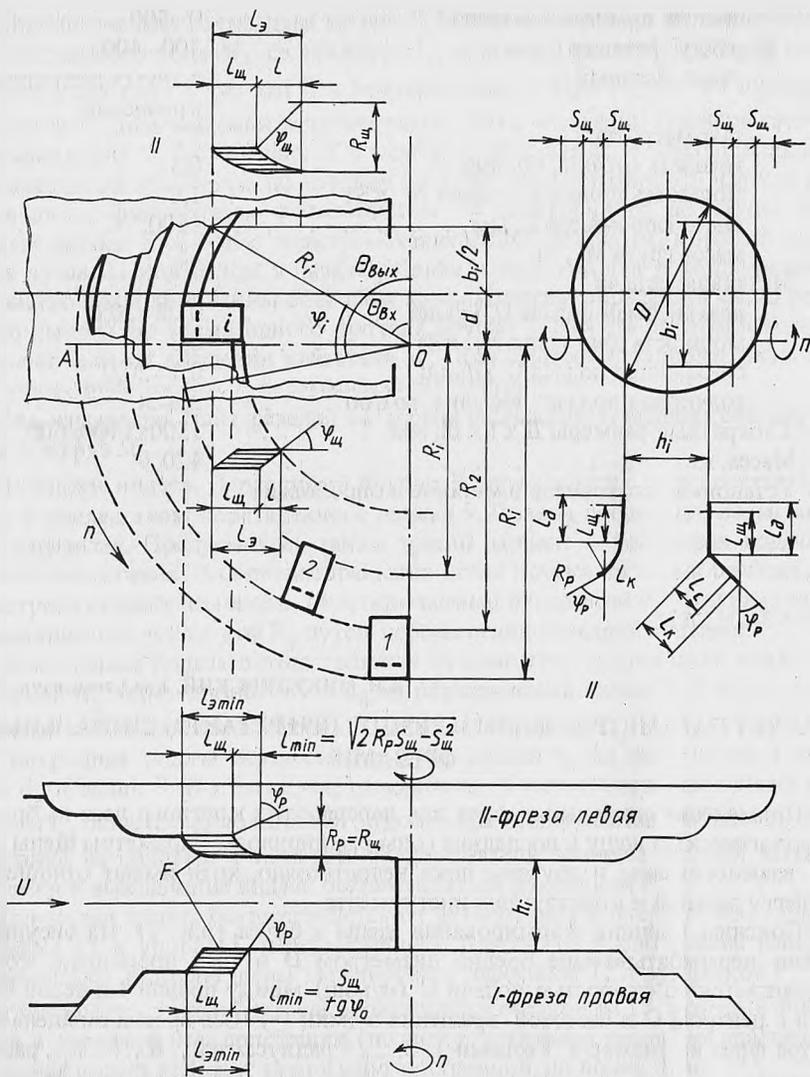


Рис. 1. Схема формирования щепы и бруса

слой древесины разрушается на отдельные щепки неопределенной ширины, но с постоянной площадью поперечного сечения F .

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

$$l_{щ} = \frac{1000 U}{z n}, \quad (1)$$

где U/n — отношение скорости подачи к частоте вращения инструмента; z — число штук резцов, приходящееся на один срезаемый слой.

Длина щепы, как следует из (1), не зависит от формы резцов. Если число резцов $z = 2$ шт. (две спирали или 2 резца на один слой), то длина щепы уменьшится в два раза. Это дает возможность соответственно увеличить производительность инструмента.

Длина длинной кромки резца

$$l_d = l_{щ} + 2,0 \text{ мм.} \quad (2)$$

Увеличение на 2,0 мм делается для компенсации возможной неточности расположения резцов по радиусам R_1, R_2, \dots, R_i .

Длина элемента щепы $l_э$ представляет собой длину щепы плюс длина скошенной части щепы. Рассмотрим это отдельно для случаев I и II.

I — для прямой короткой кромки:

$$l_э = l_{щ} + l = l_{щ} + \sqrt{R_i^2 - \left(a + \frac{b_i}{2}\right)^2} - \sqrt{\left(R_i - \frac{S_{щ}}{\operatorname{tg} \varphi_p}\right)^2} - \dots \rightarrow$$

$$\rightarrow \dots - \left(a + \frac{b_i}{2}\right)^2, \quad (3)$$

где l — длина скошенной части щепы, мм; φ_p — угол скоса прямой короткой кромки резца, град.

$$1. l_{э \max} \text{ будет при } a + \frac{b_i}{2} = R_i - \frac{S_{щ}}{\operatorname{tg} \varphi_p}$$

$$l_{э \max} = l_{щ} + \sqrt{R_i^2 - \left(R_i - \frac{S_{щ}}{\operatorname{tg} \varphi_p}\right)^2}$$

$$2. l_{э \min} \text{ будет при } a + \frac{b_i}{2} = 0$$

$$l_{э \min} = l_{щ} + \frac{S_{щ}}{\operatorname{tg} \varphi_p}$$

Из (3) 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

$\frac{l_{э \max}}{l_{э \min}}$ достигнет двух.

Длина среза торца щепы:

$$l_c = \frac{S_{щ}}{\sin \varphi_{щ}} \quad (4)$$

Длина прямой короткой кромки реза

$$l_k = l_c + 2,0. \quad (5)$$

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

$$L = l_{щ} + l_c. \quad (6)$$

Угол среза торца щепы:

$$\operatorname{tg} \varphi_{щ} = \frac{S_{щ}}{l} = \frac{S_{щ}}{\sqrt{R_i^2 - \left(a + \frac{b_i}{2}\right)^2} - \sqrt{\left(R_i - \frac{S_{щ}}{\operatorname{tg} \varphi_p}\right) - \left(a + \frac{b_i}{2}\right)^2}}. \quad (7)$$

1. $\operatorname{tg} \varphi_{щ \max}$ будет при $l_{\min} = \frac{S_{щ}}{\operatorname{tg} \varphi_p}$

$$\operatorname{tg} \varphi_{щ \max} = \operatorname{tg} \varphi_p, \text{ т.е. } \varphi_{щ \max} = \varphi_p.$$

2. $\operatorname{tg} \varphi_{щ \min}$ будет при $l_{\max} = \sqrt{R_i^2 - \left(R_i - \frac{S_{щ}}{\operatorname{tg} \varphi_p}\right)^2}$

$$\operatorname{tg} \varphi_{щ} = \frac{S_{щ}}{l_{\max}}$$

Угол среза торца щепы $\varphi_{щ}$ меньше угла скоса короткой кромки реза φ_p . Они равны между собой только при $a + \frac{b_i}{2} = 0$. Отношение $\frac{\operatorname{tg} \varphi_{щ \max}}{\operatorname{tg} \varphi_{щ \min}}$ достигает четырех. Известно, что качество щепы во многом определяется качеством торцового среза, а условия резания зависят от угла перерезания $\varphi_{щ}$.

II — для дугообразной короткой кромки:
длина элемента щепы

$$\checkmark l_3 = l_{щ} + \checkmark l = l_{щ} + \sqrt{R_i^2 - \left(a + \frac{b_i}{2}\right)^2} - \sqrt{\left(R_i - \sqrt{2R_p S_{щ} - S_{щ}^2}\right)^2 - \left(a + \frac{b_i}{2}\right)^2}, \quad (8)$$

где R_p — радиус дуги короткой кромки реза.

1. $l_{3 \max}$ будет при $a + \frac{b_i}{2} = R_i - \sqrt{2R_p S_{щ} - S_{щ}^2}$

$$\checkmark l_{3 \max} = l_{щ} + \sqrt{R_i^2 - \left(R_i - \sqrt{2R_p S_{щ} - S_{щ}^2}\right)^2}.$$

$$2. \quad l_{\ominus \min} \text{ будет при } a + \frac{b_1}{2} = 0$$

$$l_{\ominus \min} = l_{\text{щ}} + \sqrt{2R_p S_{\text{щ}} - S_{\text{щ}}^2}$$

Отношение $\frac{l_{\ominus \max}}{l_{\ominus \min}}$ достигает двух. В целом длина элемента при дугообразной

короткой кромке больше, чем при прямой короткой кромке. Радиус дуги короткой кромки резца R_p меньше, чем радиус среза торца щепы $R_{\text{щ}}$.

Радиус дуги торца щепы

$$R_{\text{щ}} = \frac{S_{\text{щ}}^2 + \check{l}^2}{2S_{\text{щ}}} \quad (9)$$

$$1. \quad R_{\text{щ} \max} \text{ будет при } \check{l}^2 = R_1^2 - (R_1 - \sqrt{2R_p S_{\text{щ}} - S_{\text{щ}}^2})^2,$$

$$2. \quad R_{\text{щ} \min} \text{ будет при } \check{l}^2 = 2R_p S_{\text{щ}} - S_{\text{щ}}^2, \text{ т.е. } R_{\text{щ}} = R_p.$$

Отношение $\frac{R_{\text{щ} \max}}{R_{\text{щ} \min}}$ достигнет пятнадцати.

Максимальный угол среза торца щепы

$$\text{tg } \check{\varphi}_{\text{щ}} = \frac{\check{l}}{R_p - S_{\text{щ}}} \quad (10)$$

1. $R_{\text{щ} \max}$ будет при $R_p = S_{\text{щ}}$, т.е. $\varphi_{\text{щ}} = 90^\circ$ независимо от других параметров. Это неблагоприятный угол перерезания волокон древесины, которого надо избегать.

$$2. \quad \check{\varphi}_{\text{щ} \max} \text{ будет при } \check{l}_{\min} = \sqrt{2R_p S_{\text{щ}} - S_{\text{щ}}^2}$$

$$3. \quad \check{\varphi}_{\text{щ} \min} \text{ будет при } \check{l}_{\max} = \sqrt{R_1^2 - (R_1 - \sqrt{2R_p S_{\text{щ}} - S_{\text{щ}}^2})^2}$$

$$\text{и } R_p = R_{\text{щ}}.$$

Угол перерезания волокон при дугообразной кромке изменяется от нуля в точке сопряжения длинной и короткой кромок до некоторого значения $\check{\varphi}_{\text{щ}}$, которое зависит от соотношения радиуса дуги и толщины щепы.

Длина короткой дугообразной кромки

$$\check{l}_k = 0,0175 R_p \varphi_{\text{щ}} + 2,0 \text{ мм.} \quad (11)$$

Длина контура среза щепы

$$\check{L} = l_{\text{щ}} + \check{l}_k \quad (12)$$

Длина длинной кромки такая же, как и у резца с прямой короткой кромкой.

Установим некоторые другие параметры щепы и резца, одинаковые для вариантов I и II.

Площадь поперечного сечения щепы

$$F = S_{щ} l_{щ} . \quad (13)$$

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

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

$$V = FB_i . \quad (14)$$

Наибольший объем древесины срезают резец, формирующий брус. Формула (14) удобна при определении удельной работы резания K , Дж/см³, при резании одним резцом бруска. Изменяя сечение за счет толщины или длины щепы, можно выяснить их раздельное влияние.

При определении мощности на резание удобно пользоваться

$$N = KO = K \left(\frac{\pi D^2 \arctg \frac{\sqrt{D^2 - h_i^2}}{h_i}}{360} - \frac{\sqrt{D^2 - h_i^2} h_i}{2} \right) \frac{100 U}{60} , \quad (15)$$

где O — объем щепы (см³), срезаемый в секунду с двух сторон бревна; h_i — ширина пласти, см; D — средний диаметр бревна, см; U — скорость подачи, м/мин.

Угол входа i -го резца в древесину (кромки $l_{д}$ и $l_{к}$ полностью вступают в работу)

$$\cos \theta_{вх} = \frac{a + b_i / 2}{R_i} . \quad (16)$$

Угол выхода i -го резца из древесины (кромка $l_{к}$ заканчивает торцовый срез)

$$\cos \theta_{вых} = 180 - \left(\arccos \frac{\frac{b_i}{2} - d}{R_i} \right) \quad (17)$$

Угол контакта i -го резца с древесиной

$$\varphi_i = \theta_{вых} - \theta_{вх} . \quad (18)$$

Длина дуги контакта (резца с древесиной)

$$l_i = 0,0175 R_i \varphi_i . \quad (19)$$

В заключение отметим, что полученные аналитические зависимости (1) — (19) устанавливают связь между толщиной $S_{щ}$ и длиной $l_{щ}$ щепы и углом перерезания волокон древесины $\varphi_{щ}$. Эти основные параметры щепы влияют на

производительность процесса резания и качество щепы и бруса; дают возможность численно связать параметры резца с параметрами щепы, бревна, бруса, т.е. факторы инструментальные с технологическими; являются исходными при проектировании спиральных фрез, фрезерно-брусующих станков, а также расчета режимов резания.

УДК 674.05

А.В. МОИСЕЕВ, д-р техн.наук,
С.И. КАРПОВИЧ, канд.техн.наук,
В.А. СТОЛЯР,
А.С. ДИМЕНШТЕЙН (БТИ)

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ С ПОЗИЦИЙ СТОЙКОСТИ ИНСТРУМЕНТА (НА ПРИМЕРЕ ТОРЦОВОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ)

В различных схемах резания лезвие инструмента используется далеко неравноценно. Наиболее эффективно оно работает при лущении, строгании шпона, циклевании. В этих случаях инструмент в процессе резания непрерывно выполняет "полезную" работу формирования поверхности. В таких случаях, как цилиндрическое и торцовое фрезерование, только относительно небольшую часть пути резания инструмент проходит, формируя поверхность. Как правило, значительно большую часть пути резания инструмент проходит в контакте с обрабатываемым материалом, диспергируя его в стружку и не формируя обработанной поверхности. Очевидно, что вывод уравнений, определяющих отношение полезного пути резания, на протяжении которого инструмент формирует обработанную поверхность, ко всему пути резания, проходимому инструментом за определенное время, позволит проанализировать эффективность заданного процесса резания, наметить пути ее повышения.

Эффективность процесса резания с позиций стойкости оценивается коэффициентом полезного использования длины лезвия η_1 :

$$\eta_1 = \frac{F_{\text{обр}}}{F_{\text{рез}}}, \quad (1)$$

где $F_{\text{обр}}$ — площадь обработанной поверхности, которая формируется в единицу времени; $F_{\text{рез}}$ — площадь резания, некоторая воображаемая (фиктивная) поверхность, которая численно равна произведению пути резания l , пройденного в единицу времени, на длину лезвия, участвовавшего в резании, b :

$$F_{\text{рез}} = lb.$$

Так, например, при лущении $F_{\text{обр}}$ (площадь шпона, полученного за один оборот чурака)

$$F_{\text{обр}} = \pi DB,$$

где D — диаметр чурака; B — его длина.