

резания стойкость резцов фрез обоих типов одинакова. При большой глубине резания практически (графы 5, 8, 10) фрезы, работающие по методу деления подачи, имеют даже некоторое преимущество. При больших подачах преимущества фрез, работающих по методу деления припуска, не вызывают сомнений.

Предлагаемая методика позволяет проанализировать эффективность применения торцового фрезерования и для обработки деталей при  $B < D$ . Для случаев, представленных на рис. 2, а и б, предлагаем следующие уравнения:

$$\eta_1 = \frac{90 U_z B}{\pi R b \arccos \frac{R-b}{R-a}} ; \quad \eta_1 = \frac{90 U_z B}{\pi R b \arccos \frac{R-B}{R}}$$

Анализ этих уравнений свидетельствует о значительно меньшей эффективности процесса торцового фрезерования узких деталей (с позиций стойкости инструмента). По мнению авторов, главной областью применения торцовых фрез следует считать такие процессы, как калибрование древесностружечных плит. Оно чаще всего осуществляется блоком фрез, каждая из которых обрабатывает на поверхности плиты свою полосу. Для полной обработки плиты фрезы устанавливаются с перекрытием, что можно обеспечить установкой фрез в шахматном порядке или линейно с синхронным приводом. Расстояние между центрами фрез  $A$  делается меньшим, чем диаметр фрез. Для этого случая уравнение определения коэффициента полезного использования лезвия примет следующий вид:

$$\eta_1 = \frac{U_z A}{\pi D \cos \arcsin \frac{U_z}{2R} (b_1 + b_2)}$$

Очевидно, чем больше перекрытие, тем больше будут изнашиваться лезвия инструмента.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В у л ь ф А.М. Резание металлов. — Л.: Машиностроение, 1973. — 496 с.

УДК 674.05

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

#### АНАЛИЗ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СТОЙКОСТИ ДЛЯ ИНСТРУМЕНТОВ, ОСНАЩЕННЫХ РЕЗЦАМИ С "ОБНОВЛЯЮЩИМСЯ ЛЕЗВИЕМ"

Как показали наши исследования [1] и работы других авторов [2], упомянутая технология увеличивает стойкость инструмента в 1,5–3 раза. Значительные резервы стойкости заложены в способах резания, которые могут

быть объединены под общим названием "резание резцами с обновляющимся лезвием". К таким видам резания относятся: резание круглыми вращающимися резцами, коническое фрезерование, фрезерование осциллирующей цилиндрической фрезой. Ведется поиск новых методов резания, в которых используется принцип "обновления лезвия".

Один из этих методов — резание круглыми самовращающимися и приводными резцами — резко увеличивает износостойкость инструмента. Однако проведенные нами лабораторные и производственные испытания торцовых фрез с круглыми самовращающимися резцами (КСР) показали, что при калибровании ДСтП износостойкость КСР, хотя и выше, чем у традиционных инструментов (торцовых и цилиндрических фрез), но все же далека от тех значений, которые получены в работах металлостов [3]. Необходимо отметить, что существующие положения не учитывают особенностей кинематики резания КСР, которые имеют негативный характер. Вследствие криволинейности режущего диска на обработанной поверхности образуется кинематическая волна глубиной  $h_B$ . Она накладывает определенное ограничение на подачу

$$h_B = \sin \alpha \left[ r - \sqrt{r^2 - \left( \frac{U_z}{2 \cos \lambda} \right)^2} \right], \quad (1)$$

где  $\alpha$  — главный задний угол;  $\lambda$  — угол поворота лезвия в плане;  $r$  — радиус реза.

Как видно из формулы (1), в результате криволинейности режущего лезвия для достижения высокого качества обработанной поверхности необходимо уменьшать подачу, а следовательно, и производительность. Вместе с тем есть ряд технологических процессов, где КСР могут быть использованы. К таким процессам относится калибрование полноформатных ДСтП на автоматических линиях, имеющих, как правило, невысокую скорость подачи, а также обработка кромок облицованных плит. Проанализируем кинематику этого вида резания с позиций стойкости инструмента согласно методике, изложенной в [4]. Коэффициент использования длины лезвия для КСР определим по формуле (рис. 1, а)

$$\eta_1 = \frac{90 U_z B}{\pi^2 R r \left( \frac{\psi_2}{2} + \psi_1 \right)}, \quad (2)$$

где  $B$  — ширина обрабатываемой детали;  $R$  — радиус вращения вершины реза вокруг оси фрезы;  $\psi_1$  — центральный угол участка лезвия, формирующего обработанную поверхность, который определяется по формуле

$$\psi_1 = 2 \arcsin \frac{U_z}{2R \cos \lambda}; \quad (3)$$

$\psi_2$  — центральный угол участка лезвия, дополняющий  $\psi_1$  до полного угла контакта  $\psi$  (рис. 1) и определяемый по формуле

$$\psi_2 = \arccos \frac{r \cos 0,5 \psi_1 - \frac{t}{\sin \alpha}}{r}. \quad (4)$$

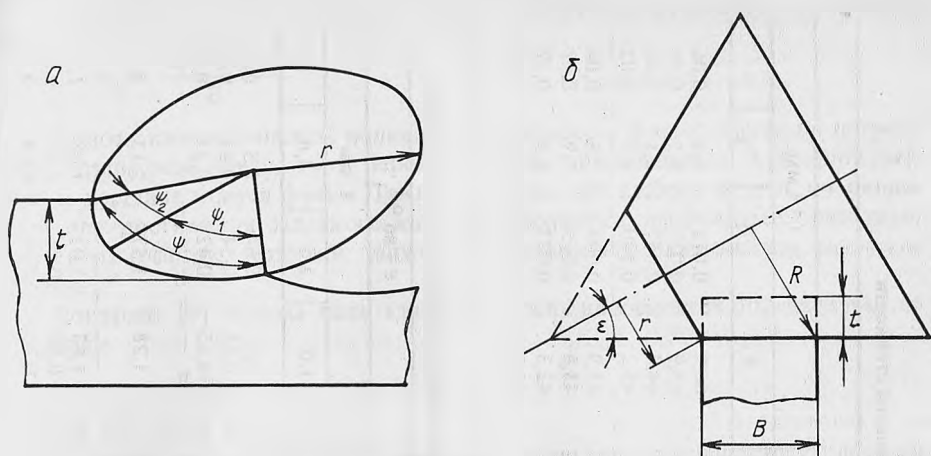


Рис. 1. Схема взаимодействия круглого резца (а) и конической фрезы (б) с обрабатываемой деталью

Однако в силу специфических особенностей этого вида резания коэффициента  $\eta_1$  недостаточно для того, чтобы судить об относительной износостойкости инструмента этого типа.

Дополнительно к нему вводится второй показатель — коэффициент запаса длины лезвия

$$\eta_2 = \frac{L}{l} = \frac{360}{\psi_1 + \psi_2}$$

где  $L$  — вся длина лезвия, участвующего в процессе резания;  $l$  — длина части лезвия, которая находится в контакте с обрабатываемым материалом в данный момент.

Характеристикой кинематики процесса резания будет произведение коэффициентов  $\eta_1$  и  $\eta_2$ . Назовем эту характеристику коэффициентом относительной кинематической стойкости:

$$\eta_1 = \eta_1 \eta_2.$$

Коэффициенты  $\eta_1$ ,  $\eta_2$ ,  $\eta$  представлены в табл. 1.

Из таблицы видно, что при оптимальном выборе угловых параметров для КСР коэффициент  $\eta$  увеличивается в 2–3 раза по сравнению с обычным торцовым фрезерованием, для которого максимальное значение  $\eta_{\max} \approx 0,318$ .

Еще одним примером относительно нового и поэтому малоиспользуемого инструмента с "обновляющимся лезвием", а следовательно, и большим коэффициентом запаса длины лезвия является коническая фреза (рис. 1, б).

Длина режущей кромки при коническом фрезеровании равна

$$L = B + t \operatorname{tg} \epsilon,$$

где  $B$  — ширина обрабатываемой детали;  $t$  — припуск на обработку;  $\epsilon$  — половина вершинного угла конуса фрезы.

Т а б л и ц а 1. Значение кинематического коэффициента относительной стойкости

| r, мм | U <sub>z</sub> , мм | ψ <sub>1</sub> , град | α = 15°  |                |                |      |          |                |                |      |          |                |                |      |
|-------|---------------------|-----------------------|----------|----------------|----------------|------|----------|----------------|----------------|------|----------|----------------|----------------|------|
|       |                     |                       | t = 1 мм |                |                |      | t = 2 мм |                |                |      | t = 4 мм |                |                |      |
|       |                     |                       | ψ        | η <sub>1</sub> | η <sub>2</sub> | η    | ψ        | η <sub>1</sub> | η <sub>2</sub> | η    | ψ        | η <sub>1</sub> | η <sub>2</sub> | η    |
| 25    | 1                   | 1,5                   | 31,2     | 0,056          | 11,5           | 0,64 | 42,8     | 0,016          | 8,4            | 0,13 | 66,7     | 0,011          | 5,4            | 0,06 |
|       | 2                   | 3,3                   | 30,6     | 0,063          | 11,8           | 0,74 | 42,0     | 0,032          | 8,6            | 0,27 | 65,9     | 0,021          | 5,5            | 0,11 |
|       | 4                   | 6,3                   | 29,3     | 0,082          | 12,3           | 1,01 | 43,1     | 0,059          | 8,4            | 0,49 | 44,4     | 0,057          | 8,1            | 0,46 |
| 50    | 8                   | 13,0                  | 26,5     | 0,148          | 13,6           | 2,01 | 40,1     | 0,110          | 9,0            | 0,99 | 45,2     | 0,100          | 8,2            | 0,82 |
|       | 1                   | 0,8                   | 22,2     | 0,016          | 16,2           | 0,26 | 31,8     | 0,011          | 11,3           | 0,12 | 45,9     | 0,008          | 7,8            | 0,06 |
|       | 2                   | 1,5                   | 21,9     | 0,031          | 16,4           | 0,51 | 31,5     | 0,022          | 11,4           | 0,25 | 45,6     | 0,015          | 7,9            | 0,12 |
| 8     | 4                   | 3,3                   | 20,9     | 0,060          | 17,2           | 1,03 | 30,5     | 0,043          | 11,8           | 0,51 | 42,3     | 0,032          | 8,5            | 0,27 |
|       | 6,5                 | 19,8                  | 0,110    | 18,2           | 2,00           | 29,8 | 0,080    | 12,1           | 0,97           | 42,0 | 0,060    | 8,6            | 0,51           |      |

Т а б л и ц а 2. Расчетные значения коэффициентов относительной кинематической стойкости при коническом фрезеровании

| R <sub>zmax</sub> , МКМ | η <sub>1</sub> | ε = 60°             |       |      |       |      |       |                     |      |      |       |      |      | ε = 70°             |      |      |       |  |  | ε = 80° |  |  |
|-------------------------|----------------|---------------------|-------|------|-------|------|-------|---------------------|------|------|-------|------|------|---------------------|------|------|-------|--|--|---------|--|--|
|                         |                | U <sub>z</sub> , мм |       |      | t, мм |      |       | U <sub>z</sub> , мм |      |      | t, мм |      |      | U <sub>z</sub> , мм |      |      | t, мм |  |  |         |  |  |
|                         |                | 1,0                 | 2,0   | 4,0  | 8,0   | 1,0  | 2,0   | 4,0                 | 8,0  | 1,0  | 2,0   | 4,0  | 8,0  | 1,0                 | 2,0  | 4,0  | 8,0   |  |  |         |  |  |
| 100                     | η <sub>1</sub> | 11,0                | 0,57  | 0,45 | 0,34  | 0,25 | 13,25 | 0,65                | 0,5  | 0,39 | 0,29  | 18,6 | 0,8  | 0,64                | 0,5  | 0,3  |       |  |  |         |  |  |
| 60                      |                | 8,5                 | 0,48  | 0,36 | 0,27  | 0,20 | 10,25 | 0,54                | 0,42 | 0,33 | 0,23  | 14,4 | 0,68 | 0,54                | 0,41 | 0,31 |       |  |  |         |  |  |
| 32                      |                | 6,2                 | 0,37  | 0,28 | 0,21  | 0,15 | 7,50  | 0,43                | 0,33 | 0,24 | 0,17  | 10,5 | 0,55 | 0,42                | 0,32 | 0,24 |       |  |  |         |  |  |
| 100                     | η <sub>1</sub> | 11,0                | 13,25 |      |       | 18,6 |       |                     | 1,27 |      |       | 2,10 |      |                     | 1,28 |      |       |  |  |         |  |  |
| 60                      |                | 8,5                 | 10,25 |      |       | 14,4 |       |                     | 1,55 |      |       | 14,4 |      |                     | 1,57 |      |       |  |  |         |  |  |
| 32                      |                | 6,2                 | 7,50  |      |       | 10,5 |       |                     | 1,03 |      |       | 10,5 |      |                     | 1,01 |      |       |  |  |         |  |  |
| 100                     | η              | 11,0                | 0,62  | 0,52 | 0,45  | 0,42 | 13,25 | 0,74                | 0,64 | 0,60 | 0,61  | 18,6 | 1,03 | 1,01                | 1,08 | 1,25 |       |  |  |         |  |  |
| 60                      |                | 8,5                 | 0,52  | 0,43 | 0,36  | 0,34 | 10,25 | 0,62                | 0,51 | 0,50 | 0,49  | 14,4 | 0,88 | 0,85                | 0,83 | 0,01 |       |  |  |         |  |  |
| 32                      |                | 6,2                 | 0,41  | 0,33 | 0,28  | 0,26 | 7,50  | 0,49                | 0,42 | 0,37 | 0,37  | 10,5 | 0,70 | 0,66                | 0,68 | 0,77 |       |  |  |         |  |  |

Тогда

$$\eta_2 = \frac{B + t \operatorname{tg} \epsilon}{B}$$

Высота кинематической волны при коническом фрезеровании по ширине обрабатываемой поверхности переменна. Она увеличивается при приближении к вершине конуса фрезы. Таким образом, при выборе подачи, необходимой для достижения заданного качества обработки, необходимо ориентироваться на участок, который должен обрабатываться наименьшим радиусом фрезы.

Согласно [5] высота волн кинематических неровностей определяется по формуле

$$h_B = \frac{U_z^2}{8\rho},$$

где  $\rho$  — радиус кривизны гиперболы, который по теории конических сечений определим по формуле  $\rho = S \operatorname{tg} \epsilon$ . Здесь  $S$  — расстояние от вершины конуса до точки, в которой определяется высота кинематической волны.

Исходя из изложенного,  $\rho = \frac{r}{\cos \epsilon}$ . Определив  $U_z$  для данного процесса по  $h_{B \max}$ , найдем  $\eta_1$  для точки, соответствующей радиусу вращения  $R$  (рис. 2),

$$\eta_1 = \frac{U_z \cdot 180}{\pi R \left( \arccos \frac{R-t}{R} + \arcsin \frac{U_z}{2R} \right)}$$

В результате

$$\eta = \eta_1 \eta_2 = \frac{180 U_z (B + t \operatorname{tg} \epsilon)}{\pi R B \left( \arccos \frac{R-t}{R} + \arcsin \frac{U_z}{2R} \right)}$$

Математическая обработка формул (табл. 2) показывает, что наряду с улучшением качества обрабатываемой поверхности для конических фрез характерно также значительное увеличение износостойкости (особенно эти качества проявляются у фрез с большим углом конусности). Это позволяет рассчитывать на более широкое их использование в деревообработке.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Моисеев А.В. Износостойкость дереворежущего инструмента. — М.: Лесн. пром-сть, 1981. — 115 с.
2. Горюшкин А.Г. Увеличение износостойкости дереворежущего инструмента из стали Р18 методом азотирования. — В кн.: Механическая технология древесины. Минск.: Выш. шк., 1973, вып. 3, с. 103–106.
3. Коновалов Е.Г., Сидоренко В.А., Соусь А.В. Прогрессивные схемы ротационного резания металлов. — Минск: Наука и техника, 1972. — 270 с.
4. Анализ процесса резания с позиций стойкости инструмента (на примере торцевого фрезерования) / А.В. Моисеев, С.И. Карпович, В.А. Столяр, А.С. Дименштейн. — Настоящий сборник, с. 111–115.
5. Кряжев Н.А. Фрезерование древесины. — М.: Лесн. пром-сть, 1979. — 198 с.