

3. Макаревич С. С., Клубков А. А. Остаточные напряжения в двухслойной пластине фрезерного ножа с несимметричным поперечным сечением // Труды БГТУ. Серия II. Лесная и деревообрабатывающая промышленность. – 1994. Вып.2. С. 112-115.
4. Клубков А. А. Повышение износостойкости и прочности твёрдосплавного режущего инструмента для обработки древесных материалов фрезерованием: Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук: 05.21.05 / БГТУ. – Мн., 1997.

УДК 674.055:621.914.2

А. А. Клубков, к.т.н.;  
В. И. Гиль, инж.

### **ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МНОГОНОЖЕВОГО ФРЕЗЕРНОГО ИНСТРУМЕНТА В ДЕРЕВООБРАБОТКЕ**

The usage of the multi-knife planer head for woodworking has been studied.

Современные продольно-фрезерные станки для обработки древесины являются высокопроизводительным оборудованием. Производительность может быть повышена за счёт увеличения частоты вращения режущего инструмента, увеличения подачи на резец и числа режущих элементов (РЭ). Частота вращения режущего инструмента продольно-фрезерных и фрезерных станков находится в пределах 4500 – 9000 мин<sup>-1</sup>. Повышенные частоты вращения вызывают: рост уровня шума; повышенный износ подшипников; рост центробежных сил инерции; появление недопустимых частот и амплитуд колебаний и вибраций станка. Снижение точности и качества фрезерованной поверхности, нарастание числа циклов усталостного нагружения лезвия РЭ приводят к выкрашиванию материала режущей кромки. Цикличность процесса фрезерования оказывает существенное влияние на стойкость режущего инструмента.

Для повышения жесткости и снижения амплитуды колебаний быстровращающегося шпинделя с инструментом увеличивают диаметр поперечного сечения вала, увеличивают жесткость его опор, устанавливают дополнительную опору.

Основными причинами возникновения шума являются: быстровращающийся режущий инструмент; взаимодействие режущего инструмента с обрабатываемой заготовкой; неуравновешенность (дисба-

ланс) вращающихся деталей; аэродинамические процессы при эксгаустеризации стружки.

При работе фрезерного инструмента возникает шум аэродинамического происхождения. Причиной этого шума является объём движущегося воздуха с повышенным давлением, создаваемый при вращении выступающих ножей, и шум в результате срыва потоков воздуха с кромок ножей (вихрей). Характер спектра шума – непрерывный. При вращении фрезерного инструмента в момент прохождения ножей в зоне ограждений, прижимов, установочных накладок рабочих столов и т.п. возникает дополнительный шум. По частотному составу шум при резании – высокочастотный, наиболее вредный для слуха человека.

Суть альтернативы состоит в снижении частоты вращения шпинделя при одновременном увеличении числа режущих элементов. Для конкретных скоростей подач при условии обеспечения требуемого качества обработки величина "n-z" должна быть определенной. Для того чтобы рационально подобрать значения параметров z и n, необходимо, чтобы удовлетворялись следующие условия: обеспечение требуемого качества и производительности обработки; снижение уровня шума и допустимость его в пределах санитарных норм; оптимальный износ инструмента и оборудования; простота конструкции режущего инструмента и надежность в эксплуатации.

Фирмы Leitz [1], Leuco [2] и другие изготавливают фрезерные ножевые головки с числом режущих элементов 16 и более. Фирма Weinig [3] оснащает четырёхсторонние продольно-фрезерные станки фрезами с числом резцов 6, 8, 10, 12, 16, 20. Скорость подачи таких станков может составлять 200 м/мин, точность обработки 0,005 мм. Такие показатели достигаются за счёт точной установки резцов на окружности резания и динамической балансировки инструмента.

Из литературных источников известно, что эту сложную техническую задачу пытаются решать [4, 5]. В работе [1] приведена фреза с числом резцов 16, а в работе [2] z=36.

При цилиндрическом фрезеровании площадь поперечного сечения A среза, снимаемого одним резцом, есть величина переменная, изменяющаяся от нуля в момент врезания резца до A в момент выхода резца из контакта с заготовкой.

При работе цилиндрической фрезы с прямым резцом происходит рост силы на дуге контакта от 0 до  $F_{1max}$  и резкое снижение после выхода резца из контакта с заготовкой, затем процесс повторяется.

Если, например, фреза вращается с частотой  $n=3000 \text{ мин}^{-1}$ , а угол контакта равен  $1/20$  длины окружности, то время работы ножа на дуге резания составит  $0,001 \text{ с}$ .

Таким образом, колебание силы резания происходит через каждые  $0,001 \text{ с}$ .

Резкое изменение силы резания, повторяющееся через малые промежутки времени, приводит к неравномерной работе станка и является характерной особенностью работы фрезерного инструмента.

Сила, действующая на зуб фрезы, может быть определена по формуле

$$F_{1\text{зуб}} = \frac{\pi D}{1z} F.$$

Считается, что фрезерование происходит равномерно, если на дуге контакта находится не менее двух резцов.

Уменьшение силы  $F_{1\text{зуб}}$  (возмущающая сила) улучшает качество обработки, т.к. при этом уменьшается вибрация заготовки. Поэтому при механических подачах для увеличения производительности и улучшения качества обработки целесообразно применять многоножевые валы и фрезы.

Увеличение частоты вращения фрезы уменьшает усилие резания, а следовательно, и усилие подачи. При этом уменьшается также возмущающая сила и качество обработки улучшается. Пределом для увеличения частоты вращения является динамическая неуравновешенность фрезерного инструмента. Поэтому для станков с механической подачей следует комбинировать увеличение числа ножей и частоты вращения режущего инструмента.

Дадим анализ влияния числа резцов с учётом динамики и кинематики процесса цилиндрического фрезерования. На основе теории резания [3] касательную силу резания  $F$  для толщины стружки  $e > 0,1 \text{ мм}$  определяем по формуле

$$F = (a_p F_0 b + \bar{k} b S_z \sin \theta) \frac{1}{t}. \quad (1)$$

Путём преобразования формулы (1) из работы [6] получим формулу для расчёта средней касательной силы резания с учётом основных параметров режимов резания:

$$F = b \left( 1 + \frac{0,2\varepsilon \ell n T}{1000 \rho_0} \right) (2,1 + 0,046 \psi) + k \frac{1000 v_s}{z n} \sqrt{\frac{h}{D}} \frac{z \sqrt{h D}}{\pi D}. \quad (2)$$

При одинаковых условиях работы для фрез с числом зубьев  $z_1$  и  $z_2$  будем иметь:

$$h_1 = h_2 = \text{const}; \quad \psi_1 = \psi_2 = \theta; \quad \delta_1 = \delta_2; \quad T_1 = T_2 = \text{const}; \quad D_1 = D_2; \quad l_1 = l_2.$$

Заменим в формуле [2] отдельные постоянные слагаемые постоянными значениями  $a_i$ :

$$\frac{b l}{\pi D} (2,1 + 0,046 \psi) = a_1;$$

$$\frac{0,2\varepsilon \ell^2 T b}{\pi D 1000 \rho_0} (2,1 + 0,046 \psi) = a_2;$$

$$b(0,28 + 0,006 \psi) \delta - (7,6 + 0,2 \psi) \frac{\ell}{\pi D} = a_3;$$

$$(0,09 + 0,002 \psi) b l = a_4.$$

Подставим эти замены в формулу (2) и получим:

$$F = z(a_1 + a_3 e_{cp}) + z n(a_2 + a_4 e_{cp}).$$

Значение касательной силы для фрезы с числом зубьев  $z_1$

$$F_1 = z_1(a_1 + a_3 e_{1cp}) + z_1 n_1(a_2 + a_4 e_{1cp}).$$

Для фрезы с числом зубьев  $z_2$

$$F_2 = z_2(a_1 + a_3 e_{2cp}) + z_2 n_2(a_2 + a_4 e_{2cp}).$$

Для конкретных скоростей подачи при условии обеспечения требуемого качества обработки величина "n·z" должна быть вполне определённой величиной, т.е.  $n z = \text{const}$ , или для одинаковой скорости подачи:

$$e_{1cp} = S_{1z} \sqrt{\frac{h_1}{D_1}} = \frac{1000 v_s}{n_1 z_1} \sqrt{\frac{h_1}{D_1}};$$

$$e_{2cp} = S_{2z} \sqrt{\frac{h_2}{D_2}} = \frac{1000v_s}{n_2 z_2} \sqrt{\frac{h_2}{D_2}}, \text{ тогда } e_{1cp} = e_{2cp}, \text{ отсюда}$$

$$F_2 - F_1 = (a_1 + a_3 e_{1cp})(z_1 - z_2), \text{ при } z_2 = 2z_1 \text{ получаем}$$

$$(F_2 - F_1) = (a_1 + a_3 e_{cp})(2z_1 - z_1) = (a_1 + a_3 e_{cp})z_1.$$

Средняя касательная сила резания для второй фрезы будет больше.

$$\text{Но } z_1 n_1 = z_2 n_2 \text{ и } 2z_1 = z_2.$$

Частота вращения фрезы с большим числом зубьев в два раза меньше частоты вращения фрезы с меньшим числом зубьев.

Мощность резания для первой фрезы

$$N_1 = \frac{F_1 v_1}{1000}; N_2 = \frac{F_2 v_2}{1000} \text{ или } N_1 = \frac{F_1}{1000} \pi D n_1; N_2 = \frac{F_2}{1000} \pi D n_2,$$

где  $v_1$  и  $v_2$  – соответственно окружные скорости первой и второй фрезы.

$$N_2 - N_1 = F_2 n_2 - F_1 n_1; N_2 - N_1 = F_2 \frac{\pi D}{1000} n_2 - F_1 \frac{\pi D}{1000} n_1.$$

Проведя преобразования, получим:

$$N_2 - N_1 = \frac{\pi D}{1000} n_2 z_2 (a_2 + a_4 e_{cp})(n_2 - n_1), \text{ но } n_1 = 2n_2.$$

Мощность резания будет меньше при фрезеровании с большим числом резцов.

Определяем стойкость фрезерного инструмента при фрезеровании многоножевой фрезой.

$$S = \frac{L\ell}{S_z z} = \frac{L\ell n}{1000v_s}.$$

$$\text{Отсюда } S_1 = \frac{L_1 \ell_1 n_1}{1000v_{s_1}}; S_2 = \frac{L_2 \ell_2 n_2}{1000v_{s_2}};$$

$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{L_1 \ell_1 n_1 1000 v_{s_2}}{L_2 \ell_2 n_2 1000 v_{s_1}} = \frac{L_1 \ell_1 n_1 v_{s_2}}{L_2 \ell_2 n_2 v_{s_1}},$$

где  $L$  – количество обработанных деталей в погонных метрах за период стойкости инструмента, м;  $\ell$  – длина дуги контакта, мм;  $S_z$  – подача на резец, мм;  $v_i$  – скорость подачи, м/мин;  $z$  – число резцов фрезы, шт.

Для одинакового материала резцов 1 и 2  $L_1 = L_2$ ;  $\ell_1 = \ell_2$ .

Для одинаковой производительности  $u_1 = u_2$ .

Для одинаковой шероховатости  $n_1 z_1 = n_2 z_2$ ,  $\frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1}$ ,

$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{n_1}{n_2} = 2, S_1 = 2S_2.$$

Следовательно, стойкость второй фрезы будет в два раза больше, чем первой.

#### Выводы.

В результате аналитического обзора и теоретического исследования обоснована возможность снижения частоты вращения инструмента за счёт увеличения числа режущих ножей сборной фрезы.

Снижение частоты вращения фрезы до  $n = 1000 - 1500 \text{ мин}^{-1}$  при одновременном увеличении числа ножей до  $z = 12$  обеспечит снижение уровня шума холостого и рабочего хода, повысит суммарную стойкость многоножевых фрез.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Каталог инструмента фирмы LEUCO.
2. Каталог инструмента фирмы LEITZ.
3. Каталог инструмента фирмы WEINIG.
4. Вандерер К. М., Зотов Г. А. Специальный дереворежущий инструмент. Учебное пособие для техникумов. – М.: Лесная промышленность, 1983.
5. Волков И. М. Совершенствование многоножевых дереворежущих фрез и режимов их эксплуатации. Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук: 05.06.02 / Московский лесотехнический институт, 1984.
6. Бершадский А. Л., Цветкова Н. И. Резание древесины. – Мн.: Высшая школа, 1975.