

3. ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЕРЕВОПЕРЕРАБОТКИ

УДК 621. 941: 216. 01
674. 054. 055

**А.В. Сергеевичев, В.И. Онегин, В.О. Кушнерев, В.В. Сергеевичев,
А.Е. Михайлова**

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ЗАТЫЛОВКИ КОНЦЕВЫХ ФРЕЗ НА ИХ РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ ДРЕВЕСИНЫ

Введение. Эффективная работа концевых фрез при обработке изделий из древесины возможна только при отсутствии больших значений упругих деформаций рабочей части. Выполнение этого условия достигается созданием в корпусе фрезы необходимого напряженного состояния за счет геометрических характеристик и режимов эксплуатации [Потапова, Виноградов, 2014; Любченко, 2002; Морозов, 1988]. Долговечность концевых напайных фрез с прямыми режущими кромками, оснащенных пластинками из твердого сплава, во многом зависит от соответствия концентрации переменных напряжений усталостным характеристикам материала корпуса фрезы, от износа зубьев и периода их стойкости и прочности крепления режущих пластин из твердого сплава. При изучении долговечности концевых фрез необходимо рассмотреть такие вопросы, как характер усилий, действующих на фрезу в процессе работы со стороны сил сопротивления резанию, поперечные колебания фрез и их упругие деформации в системе шпиндель–фреза, а также форма упругой линии при отжиге рабочей части фрезы, условия возникновения контакта между задними поверхностями и обрабатываемым материалом и возможность дополнительной затыловки фрез за счет профилирования рабочей части в продольном сечении [Верещагин, Мокрицкий, Верещагина, 2016; Зотов, 2005; Каменев, Сергеевичев, 2013].

Методика исследований. В связи с тем, что при работе фрез возникает неравномерный зазор по длине рабочей части между задними поверхностями и обрабатываемым материалом, естественным будет вывод о заты-

ловке фрез по кривой, обратно отображающей изогнутую ось фрезы, с поднутрением в сторону торца [Амалицкий, Амалицкий, 2005; Глебов, 2010]. Определим минимально допустимые перепады диаметра фрезерования D и диаметра корпуса фрезы d в нижней и верхней точках глубины обработки (рис. 1):

$$\frac{D-d}{2} = U_z + F + Y_{\max},$$

где D – диаметр фрезерования, мм; d – диаметр корпуса фрезы, мм; U_z – подача на зуб фрезы, мм; F – запас на упругое сжатие древесины, мм.

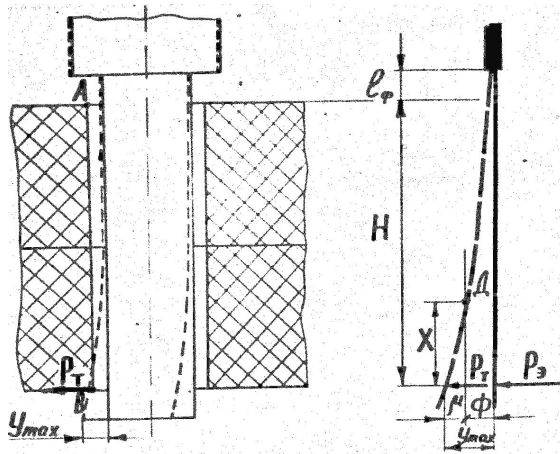


Рис. 1. Схема контакта задней поверхности фрезы с обрабатываемым материалом

Fig. 1. The scheme of contact piece of rear surface of mill to the processed material

Или

$$d = D - 2(U_z + F + Y_{\max}). \quad (1)$$

Здесь

$$Y_{\max} = Y_1 + Y_2 = \frac{P_{p \max}}{m} \cdot \frac{1}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\varepsilon^2 \omega^2}} + Y_2, \quad (2)$$

где Y_1 – перемещение системы шпindelь–фреза от действующих сил резания, мм; Y_2 – перемещение под действием неуравновешенной распреде-

ленной массы системы шпиндель–фреза и гироскопического момента, мм; $P_{p \max}$ – максимальная сила резания, Н; m – приведенная масса системы; ε – коэффициент демпфирования системы ($\varepsilon = 0,3$ Н·с/мм); ω_0 – собственные частоты системы шпиндель–фреза, с^{-1} ; ω – частота возмущающей силы, с^{-1} .

Из формулы (2) видно, что нами взят случай, когда процесс усиливает колебания системы шпиндель–фреза. Из условия $EJY = -P_p \frac{X^3}{6} + EJY_{\max}$ определим величину динамического прогиба Y в любой точке рабочей части фрезы:

$$Y = Y_{\max} - \frac{P_p X^3}{6EJ}.$$

Подставляя вместо X значение глубины обработки, определим прогиб Y_{\max} в любой точке по глубине обработки. В нижней точке он составит $Y_n = Y_{\max}$. В верхней точке глубины обработки

$$Y_v = Y_{\max} - \frac{P_p \left(1 - \frac{H}{2l}\right) H^3}{6EJ}, \quad (3)$$

где Y_v – динамический прогиб в верхней точке глубины обработки, мм; Y_{\max} – максимальный динамический прогиб, мм; P_p – сила резания, Н; H – глубина обработки, мм; l – длина фрезы с патроном до подшипниковой опоры, мм; E – модуль упругости, МПа; J – момент инерции фрезы, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$.

Подставляя выражения (3) и (2) в (1), определим нужные размеры диаметра фрезы в зависимости от глубины обработки. Расчетная форма рабочей фрезы близка к параболоидной (рис. 2). Для упрощения расчетов ее можно заменить конической с углом конуса:

$$\delta = \arctg \frac{d_A - d_B}{2H}, \quad (4)$$

где d_A – диаметр корпуса фрезы в точке A , мм; d_B – диаметр корпуса фрезы в точке B , мм.

В нашем случае угол конуса составит $0^\circ 35'$. Чтобы обрабатываемый паз получался прямым, а не коническим, пластинки из твердого сплава затачиваются параллельно оси вращения фрезы. При этом чтобы не происходило поломки пластинок в нижней точке B рабочей части фрезы, их величину выпуска Y и минимально допустимую толщину при стачивании e_0 необходимо рассчитывать [Лолодзе, 1987; Остафьев, 1989; Усачев, 1988;

Глебов, 2001; Зотов, 2010]. Простейший расчет прочности пластинки можно провести с использованием формул сопротивления материалов. Рассмотрим единичную ширину ($e = 1$ мм) резца возле точки B (рис. 3). На консольной части зуба фрезы приложена нагрузка $P_k = KU_z$. Ввиду малого влияния на прочность консоли нормальной составляющей P_n единичного усилия резания, которая действует как продольная сжимающая сила, ею пренебрегаем.

Из условия прочности при изгибе можно определить допускаемую толщину пластинки при известном изгибающем моменте и ее вылете из корпуса:

$$\sigma_u = \frac{M_u}{W} = \frac{a_n 12,5 U_z^{0,2} \left(Y - \frac{U_z}{2} \right)}{b e_0^2} \leq [\sigma_u], \quad (6)$$

где a_n – поправочный коэффициент на затупление и плотность, определяемый согласно формуле; $b = 1$ мм – единичная ширина резца; $Y = \frac{D - d_B}{2}$ – выпуск пластинки из корпуса в точке B .

Подставляя полученные данные в формулу (6), получим минимальную допустимую толщину пластинки твердого сплава:

$$e_0 \geq \sqrt{\frac{117 U_z^{0,2} (D - d_B - U_z)}{[\sigma_u]}}. \quad (7)$$

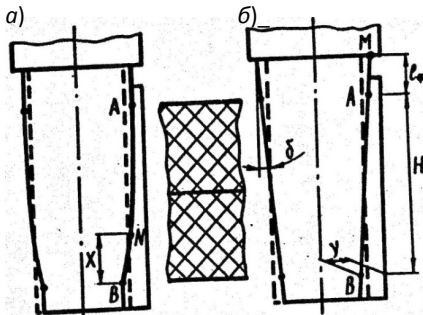


Рис. 2. Формы затыловки корпуса концевой фрезы: *a* – параболидная расчетная; *б* – коническая упрощенная

Fig. 2. Forms of backing of a trailer mill's case: *a* – paraboloidal settlement; *б* – conical simplified

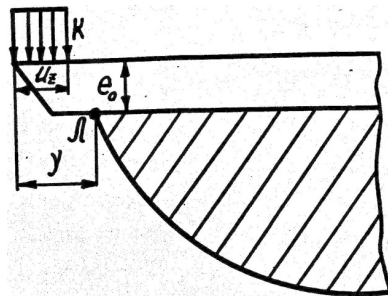


Рис. 3. Схема расчета прочности пластинки твердого сплава

Fig. 3. The scheme for calculating the strength of the hard alloy plate

Максимальный изгибающий момент будет действовать в точке Л:

$$M_u = -KU_z \left(Y - \frac{U_z}{2} \right). \quad (7)$$

При фрезеровании минимально допустимая толщина пластинки равна $e_0 = 0,33$ мм при $D = 16$ мм, $d_B = 14$ мм, $U_z = 0,4$ мм, $[\sigma_u]_{\text{ВК8}} = 1400$ МПа. Это всего лишь на 0,06 мм больше, чем при существовавшем цилиндрическом корпусе рабочей части. Зато если раньше были отрывы пластин твердого сплава из-за потери прочности паяного соединения при нагреве от трения затылка фрезы, то теперь такие отказы устранены за счет конической затыловки.

Аналогичным образом можно из (6) получить условие для минимально допустимого диаметра корпуса рабочей части в точке В:

$$d_B \geq \frac{[\sigma_u] e_0^2}{117U_z^{0,2}} + U_z - D. \quad (8)$$

При выполнении корпуса рабочей части фрезы коническим появляется возможность увеличить его диаметр возле хвостовика, т. е. в опасном сечении. Диаметр корпуса рабочей части фрезы в точке М у хвостовика определится как (рис. 4)

$$d_M = d_B + 2(H + l_\phi) \operatorname{tg} \delta,$$

где l_ϕ – свободная длина фрезы, мм.

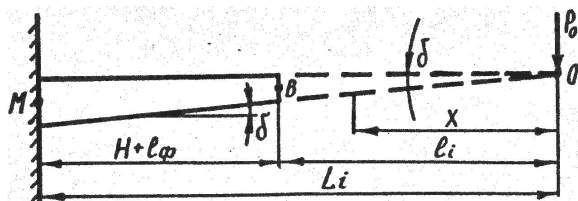


Рис. 4. Схема определения прогиба рабочей части фрезы
 Fig. 4. The scheme for determining the deflection of the mill's working part

В связи с тем, что из условий прочности фрез минимальный диаметр цилиндрического корпуса рабочей части фрезы определяют не по условиям затыловки в нижней точке В, а по некоторой точке N, лежащей на расстоянии X от точки В, то аналитическое определение увеличения диаметра

конического конуса в точке M представляет определенные трудности. На практике увеличение диаметра конического корпуса рабочей части фрезы хвостовика составляет 2–3% [Саволов, Николаев, Николаев, 2015; Санев, Каменев, Сергеевичев, 2018; Ким, 2004; Bachmann, Fischer, Habber, 1994].

Определим на примере полукруглого сечения, близкого к профилю однозубой фрезы, приращение статической прочности для условий фрезерования. В связи с тем, что вектор силы резания примерно ориентирован в сторону минимальной жесткости сечения, момент сопротивления изгибу определится как

$$W = 0,024d^3.$$

Отсюда повышение запаса прочности составит:

$$n = \frac{\sigma_{\text{шил}}}{\sigma_{\text{кон}}} = \frac{\frac{M_{\text{max}}}{W_{\text{ц}}}}{\frac{M_{\text{max}}}{W_{\text{к}}}} = \frac{W_{\text{к}}}{W_{\text{ц}}} = \frac{d_{\text{к}}^3}{d_{\text{ц}}^3} \approx 1,06 \div 1,1.$$

Результаты исследования. Таким образом, статическая прочность фрез за счет применения конического корпуса рабочей части увеличивается на 6–10%.

Определим изменение прогиба на конце рабочей части как изменение прогиба фрезы в точке B на примере полукруглого сечения. Согласно методике, разработанной в курсах сопротивления материалов [Тимошенко, Гудьер, 1985], усеченные тела равного сопротивления достигают полного контура, а нагрузку заменяют эквивалентной силой, приложенной к свободному концу балки. В нашем случае в соответствии с рис. 4 длина конуса составит:

$$L_i = \frac{r_M}{\text{tg } \delta},$$

где r_M – радиус корпуса фрезы в точке M , мм.

Длина мнимой части определится как:

$$l_i = \frac{r_B}{\text{tg } \delta}.$$

Наибольший изгибающий момент от эквивалентной силы P_0 составит

$$M_{\text{max}} = P_0 L_i.$$

Для определения прогибов воспользуемся графоаналитическим методом, полагая, что балка имеет постоянную жесткость, а ее ординаты эпюры изгибающих моментов преобразованы умножением на отношение

$J(M)/J(X)$. Ординаты-эпюры станут равными, а ее площадь станет прямоугольной. Согласно графоаналитическому методу прогиб конического корпуса рабочей части фрезы в точке B определится как

$$f_{B_c} = \frac{M_{f_B}}{EJ(M)} = -\frac{P_0 L_i (H + l_\phi)^2}{20,11 r_M^4} = \frac{P_0 L_i (H l_\phi)^2}{0,22 r_M^3}.$$

В случае цилиндрического корпуса рабочей части прогиб в точке B составит:

$$f_{B_c} = \frac{P_0}{20,11 r_M^4} \left(\frac{(H + l_\phi)^3}{3} - L_i (H + l_\phi)^2 \right) = \frac{P_0 (H + l_\phi)^2}{0,66 r_M^4} (H + l_\phi - 3L_i).$$

Выразив с помощью угла конуса δ значения всех длин через диаметры, получим отношение прогиба конического корпуса к цилиндрическому:

$$\frac{f_{B_c}}{f_{B_u}} = \frac{3r_u^4}{2r_M^4 + r_M^3 r_B}. \quad (9)$$

Для параметров конического корпуса, определенных по формулам (1)–(4), отношение прогибов составит:

$$\frac{f_{B_c}}{f_{B_u}} = 0,94 \div 0,97.$$

Выводы.

1. На основании проведенного исследования можно заключить, что прогиб на конце рабочей части за счет увеличения диаметра корпуса у хвостовика уменьшился на 3–6%.

2. Применение при затыловке фрез совместного профилирования в поперечной и продольной плоскостях позволяет устранить их нагрев от действия вредных сил трения по задним поверхностям и повысить прочность и жесткость корпуса.

Библиографический список

Амалицкий В.В., Амалицкий В.В. Оборудование отрасли. М.: ГОУ МГУЛ, 2005. 560 с.

Верещагин В.Ю., Мокрицкий Б.Я., Верещагина А.С. Анализ результатов испытаний составных концевых фрез // Ученые записки Комсомольского на

Амуре государственного технологического университета. 2016. Т. 1, № 3 (27). С. 53–56.

Глебов И.Т. Дереворежущий инструмент. Екатеринбург: УГЛТУ, 2001. 197 с.

Глебов И.Т. Резание древесины. СПб.: Лань, 2010. 256 с.

Зотов Г.А. Дереворежущий инструмент. Конструкция и эксплуатация. СПб.: Лань, 2010. 384 с.

Зотов Г.А. Станочный дереворежущий инструмент. М., 2005. 307 с.

Каменев Б.Б., Сергеевичев А.В. Дереворежущие инструменты. СПб.: СПбГЛТУ, 2013. 330 с.

Ким А.Б. Анализ геометрических параметров сборных концевых фрез со сменными многогранными пластинами // Прогрессивные технологии и экономика в машиностроении: тр. II Всерос. науч.-практ. конференции, 2004. С. 84–88.

Лоладзе Т.Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента. М.: Машиностроение, 1987. 320 с.

Любченко В.И. Резание древесины и древесных материалов: учебник для вузов. М.: МГУЛ, 2002. 450 с.

Морозов В.Г. Дереворежущий инструмент. Справочник. М.: Лесн. пром-сть, 1988. 332 с.

Остафьев В.А. Расчет динамической прочности режущего инструмента. М.: Машиностроение, 1989. 168 с.

Потапова М.С., Виноградов Д.В. Обзор фрез с криволинейной режущей кромкой // Наука и образование. Научное издание Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана. 2014. № 11. С. 21–33.

Саволов А.В., Николаев Д.Ю., Николаев А.Ю. Исследование влияния дисбаланса инструментальных наладок на выходные показатели фрезерования // Вестник Иркутского государственного технологического университета. 2015. № 7 (102). С. 81–91.

Санев В.И., Каменев Б.Б., Сергеевичев А.В. Резание древесины и древесных материалов. СПб.: Лань, 2018. 456 с.

Тимошенко С.П., Гудьер Д. Теория упругости. М.: Наука, 1985. 575 с.

Усачев П.А., Пархоменко С.Г. Повышение износостойкости и прочности режущих инструментов. Киев: Техника, 1988. 156 с.

Bachmann G., Fischer R., Habber W. Holzbearbeitung. Leipzig: Fachbunchvert, 1994. 500 p.

References

Amalitsky V. V., Amalitsky V. V. Inventory of branch. *Oborudovanie otrasli*, Moscow: GOU MGUL, 2005. 560 p. (In Russ.)

Vereshchagin V.Yu., Mokrickij B.Ya., Vereshchagina A.S. Analiz rezul'tatov ispytaniy sostavnyh koncevyhfrez [Analysis of composite end mill test results].

Uchenye zapiski Komsomol'skogo na Amuregosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta, 2016, T.1, is. 3 (27), pp. 53–56. (In Russ.)

Glebov I.T. Woodcutting tools. Derevozshushchij instrument. Yekaterinburg: USFTU, 2001. 197 p. (In Russ.)

Glebov I.T. Cutting of wood. Rezaniedrevesiny. SPb.: Lan', 2010. 256 p. (In Russ.)

Zotov G.A. Woodcutting tools. Construction and operation Derevozshushchij instrument. Konstrukciya i ekspluatatsiya. SPb.: Lan', 2010. 384 p. (In Russ.)

Zotov G.A. Machine tools for woodcutting. Stanochnyj derevozshushchij instrument. Moscow, 2005. 307 p. (In Russ.)

Kamenev B. B., Sergeevichev A. V. Woodcutting tools. Derevozshushchie instrument. SPb.:SPbGLTU, 2013. 330 p. (In Russ.)

Kim A.B. Analiz geometricheskikh parametrov sbornyh koncevyhfrez so smennymi mnogogrannymi plastinami [Analysis of the geometric parameters of prefabricated end mills with interchangeable polyhedral plates] *Progressivnye tekhnologii i ekonomika v mashinostroenii: tr. II Vserossiyskoj nauchno-prakticheskoy konferencii*, 2004, pp. 84–88. (In Russ.)

Loladze T.N. Strength and wear resistance of the cutting tool. Prochnost' i iznosostojkost' rezhushchego instrumenta. Moscow, 1987, 320 p. (In Russ.)

Morozov V.G. Wood cutting tool. Directory. Derevozshushchij instrument. Spravochnik. Moscow, 1988, 332 p. (In Russ.)

Ostafyev V.A. Calculation of the dynamic strength of the cutting tool. Raschet dinamicheskoy prochnosti rezhushchego instrumenta. Moscow, 1989, 168 p. (In Russ.)

Potapova M.S., Vinogradov D.V. Obzorfrez s krivolineynoy rezhushchey kromkoy [Overview of curved cutters] *Nauka i obrazovanie. Nauchnoe izdanie Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universitetaimeni N.E. Baumana*, 2014, is. 11, pp. 21–33. (In Russ.)

Savolov A.V., Nikolaev D.Yu., Nikolaev A.Yu. Issledovaniye vliyaniya disbalansa instrumental'nykh naladok na vykhodnyye pokazateli frezerovaniya [Study of the influence of the imbalance of tool settings on the output indicators of milling] *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta*. 2015, is. 7(102), pp. 81–91. (In Russ.)

Saney V.I., Kamenev B.B., Sergeevichev A.V. Cutting wood and wood materials. Rezaniye drevesiny i drevesnykh materialov. SPb.: Lan', 2018. 456 p. (In Russ.)

Timoshenko S.P., Goodyear D. Theory of Elasticity. Teoriya uprugosti. Moscow, 1985. 575 p. (In Russ.)

Usachev P.A., Parkhomenko S.G. Increased wear and tear of cutting tools. Povysheniye iznosostoykosti i prochnosti rezhushchikh instrumentov. Kiev, 1988. 156 p. (In Russ.)

Bachmann G., Fischer R., Habber W. Holzbearbeitung. Leipzig: Fachbunchvert, 1994. 500 p.

Материал поступил в редакцию 07.10.2019

Сергеевичев А.В., Онегин В.И., Кушнерев В.О., Сергеевичев В.В., Михайлова А.Е. Анализ влияния затыловки концевых фрез на их работоспособность при механической обработке древесины // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2020. Вып. 230. С. 152–163. DOI: 10.21266/2079-4304.2020.230.152-163

Долговечность концевых фрез при работе определяется несущей способностью рабочей части корпуса и износостойкостью зубьев. Под несущей способностью рабочей части понимается ее способность воспринимать возникающие нагрузки от сил резания и обеспечивать жесткость и прочность фрез. Необходимая прочность концевых фрез определяется их конструктивными параметрами и условиями работы. При фрезеровании концевыми фрезами с глубиной более одного диаметра под воздействием сил сопротивления резанию происходит отжим фрезы, усугубляющийся наличием радиального люфта шпинделя в подшипниках. При этом возникают вредные силы трения вследствие контакта задних поверхностей с обрабатываемым материалом. Возникающий от трения нагрев фрез приводит к снижению их прочности. Одним из важнейших параметров концевых фрез является затыловка задних поверхностей. Существующие способы затыловки концевых фрез не полностью удовлетворяют требованиям эффективной работы. Данный отрицательный момент связан с тем, что концевая фреза – консольная система, поэтому затыловка посредством равномерного поднутрения задних поверхностей по всей длине не удовлетворяет требованиям уравнивания изогнутой оси балки под действием изгибающего момента. Вредные силы трения задних поверхностей фрез об обрабатываемый материал можно устранить при затыловке путем совместного профилирования рабочей части в поперечной и продольной плоскостях. При этом прочность фрез увеличивается на 7–10%, а жесткость на 3–6%. На практике совместную затыловку в поперечной и продольной плоскостях можно осуществить путем изготовления корпусов с конической рабочей частью.

Ключевые слова: концевые фрезы, механическая обработка древесины, повышение прочности и жесткости фрезерного инструмента.

Sergeevichev A.V., Onegin V.I., Kushnerev V.O., Sergeevichev V.V., Mikhailova A.E. The analysis of the influence of the end mills backing to their operation in mechanical treatment of wood. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehniceskoy Akademii*, 2020, is. 230, pp. 152–163 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2020.230.152-163

The durability of end mills during operation is determined by the bearing capacity of the working part of the housing and the wear resistance of the teeth. The bearing capacity of the working part is understood to be its ability to absorb the arising loads from cutting forces and to provide rigidity and strength of mills. The required strength of

end mills is determined by their design parameters and working conditions. When milling with end mills with a depth of more than one diameter, under the influence of resistance to cutting, the mill is pressed, which is aggravated by the presence of radial play of the spindle in the bearings. In this case, harmful frictional forces arise due to contact of the rear surfaces with the processed material. The friction heating resulting from friction leads to a decrease in their strength. One of the most important parameters of end mills is the backing of the rear surfaces. Existing methods of backing end mills do not fully satisfy the requirements of efficient operation. This negative point is because the end mill is a cantilever system, so the backing due to uniform undercutting of the rear surfaces along the entire length does not satisfy the requirements of the equation of the curved axis of the beam under the action of bending moment. The harmful friction forces of the rear surfaces of the milling cutters on the material to be processed can be eliminated when backing by jointly profiling the working part in the transverse and longitudinal planes. At the same time, the strength of the cutters increases by 7-10%, and the rigidity – by 3-6%. In practice, joint backing in the transverse and longitudinal planes can be accomplished by manufacturing housings with a conical working part.

Key words: end mills, machining of wood, increasing the strength and rigidity of the milling tool.

СЕРГЕЕВИЧЕВ Александр Владимирович – заведующий кафедрой прикладной механики и инженерной графики Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, доктор технических наук, профессор.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: 910sav@gmail.com

SERGEVICHEV Alexander V. – DSc (Technical), Professor, Head of the Department of Applied Mechanics and Technical Graphics, St.Petersburg State Forest Technical University.

194021. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: 910sav@gmail.com

ОНЕГИН Владимир Иванович – профессор кафедры технологии материалов, конструкций и сооружений из древесины Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, доктор технических наук.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: onegin.ltu@mail.ru

ONEGIN Vladimir I. – DSc (Technical), Professor, Professor of the Department of Technology of Materials, Structures and Constructions from Wood, St.Petersburg State Forest Technical University.

194021. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: onegin.ltu@mail.ru

КУШНЕРЕВ Виктор Олегович – доцент кафедры прикладной механики и инженерной графики Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, кандидат технических наук.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: maisan2007@inbox.ru

KUSHNEREV Victor O. – PHD (Technical), Docent of the Department of Applied Mechanics and Technical Graphics, St.Petersburg State Forest Technical University.

194021. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: maisan2007@inbox.ru

СЕРГЕЕВИЧЕВ Владимир Васильевич – профессор кафедры прикладной механики и инженерной графики Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, доктор технических наук.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: alexander910@yandex.ru

SERGEVICHEV Vladimir V. – DSc (Technical), Professor of the Department of Applied Mechanics and Technical Graphics, St.Petersburg State Forest Technical University.

194021. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: alexander910@yandex.ru

МИХАЙЛОВА Анна Евгеньевна – старший преподаватель кафедры экономики, учета и анализа хозяйственной деятельности Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, кандидат технических наук.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: mikhailovaee@ya.ru

MIKHAILOVA Anna E. – PHD (Technical), Senior Lecturer of the Department of Economics, Accounting and Business Analysis, St.Petersburg State Forest Technical University.

194021. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: mikhailovaee@ya.ru