

взаимодействия резца с обрабатываемым материалом, а путем изменения конструкции дереворежущего инструмента.

Использование скоростей резания меньше 15 м/с возможно только при обеспечении достаточной инерционности привода резания, чтобы запастись требуемым запасом энергии для обеспечения постоянства скорости резания на дуге контакта, а также обеспечив длительную остроту режущих элементов, поскольку при низкой  $V_c$ , значительный вклад в изменение напряжений сжатия в материале вносит радиус затупления инструмента.

## Библиографический список

1. Гаранин, В. Н. Результаты экспериментальных исследований, определяющие влияние угла атаки на силу и мощность процесса открытого резания древесины / В. Н. Гаранин // Труды БГТУ. Сер II, Лесная и деревообраб. пром-сть. – 2008. – Вып. XV.

**Глебов И.Т.** (УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ) [GIT5@yandex.ru](mailto:GIT5@yandex.ru)

## **О СВЯЗИ ПЕРИОДА СТОЙКОСТИ СТЕЛЛИТИРОВАННЫХ ПИЛ С РЕЖИМОМ ПИЛЕНИЯ** *ABOUT COMMUNICATION OF THE PERIOD SAWS FIRMNESS OF WITH THE CUTTING MODE*

Статья написана в порядке постановки задачи и выводы по ней нуждаются в экспериментальной проверке.

Для пиления древесины в России используют пилы отечественного производства: рамные (ГОСТ 5524-75), ленточные (ГОСТ 6532-77 и ГОСТ 10670-77), круглые (ГОСТ 980-80). Пилы изготавливают из инструментальной легированной хромованадиевой стали 9ХФ. После термообработки пилы имеют твердость 41...47 НРСэ. Одним из показателей качества работы пил является период стойкости.

**Период стойкости** – это время резания новым или восстановленным режущим лезвийным инструментом от начала резания до отказа [1].

**Отказ** режущего инструмента – это событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния пилы, когда наступает ее неработоспособное состояние. Различают несколько параметрических отказов.

**Отказ по параметру “стойкость”** - это постепенный отказ режущего лезвийного инструмента при достижении им критерия затупления. При отказе становится невозможно обработать деталь с заданными параметрами шероховатости или недопустимо повышается уровень шума станка и расход электроэнергии. Обычно этот отказ наступает через 3,5...4,0 ч. работы пилы. Режущие кромки зубьев пил затупляются настолько, что шероховатость распиленных поверхностей и мощность на пиление превосходят нормативные значения. Пилы снимают со станка и направляют на переточку.

**Отказ по параметру “точность”** – постепенный отказ режущего лезвийного инструмента после достижения размером, формой или расположением обработанной

поверхности предела поля допуска. При отказе становится невозможно обработать деталь с заданными допусками размеров.

Для повышения периода стойкости зубья пил оснащают стеллитом. Стеллит марки ПР-ВЗК-Р (ГОСТ 21449 – 75 “Прутки для наплавки. Технические условия”) способен повысить износостойкость до 7 раз. Однако, производители ограничивают период стойкости рамных пил, например, только одной сменой (8 ч.), т.к. к этому моменту в междузубных впадинах зарождаются и развиваются усталостные микротрещины, которые надо немедленно удалить, а удаляют их при переточке пил [2].

Период стойкости стеллитированных рамных пил  $T = 8$  ч зафиксирован в производственных условиях при распиловке древесины сосны при некотором конкретном режиме пиления. Если режим пиления изменить, то изменятся и напряжения в междузубных впадинах, изменится и период стойкости пилы по параметру “зарождение усталостных микротрещин”. Таким образом, при оснащении пил износостойкими твердыми сплавами необходимо рассматривать еще период стойкости по параметру “*зарождение усталостных микротрещин*”. Параметрические отказы по параметрам “стойкость” и “точность” для стеллитированных пил становятся малозначительными, т.к. режущие кромки зубьев до отказа пилы остаются острыми.

**Усталость металла.** Усталостью называют разрушение металла пилы в результате многократного приложения к ее зубьям нагрузок, вызывающих напряжения по своей величине меньших предела прочности. При усталости в металле накапливаются повреждения, которые приводят к образованию трещин, их развитию и разрушению материала за указанное время.

Иногда термин, *усталость*, заменяют обратным понятием, *выносливость*, которая показывает, сколько циклов нагружений может выдержать металл без разрушений. Эта величина возрастает по мере снижения напряжения. Чем меньше напряжение, тем больше циклов нагружений выдерживает металл до разрушения. Кроме того, при напряжении ниже некоторой минимальной величины (*предела выносливости*) металл не разрушается от усталости. Наличие трещин, острых надрезов, рисок, грубая шероховатость поверхности вызывают снижение предела выносливости.

Общепринято рассматривать усталостные свойства материала при знакопеременных напряжениях  $\pm\sigma$ . Величину знакопеременного напряжения  $\pm\sigma$  откладывают на графике по оси ординат и строят график в зависимости от логарифма числа  $n$  циклов нагружений, при котором произошло разрушение образца. Пример усталостной кривой для обычной стали показан на рисунке 1.

**Пиление рамными пилами.** Если пильная рамка с пилами работает с частотой вращения кривошипа  $n = 360$  мин<sup>-1</sup>, то число циклов нагружений каждого зуба рамной пилы за одну рабочую смену равно

$$n_{ц} = nTK_{п} = 360 \cdot 480 \cdot 0,92 = 158976 \approx 1,6 \cdot 10^5 \text{ циклов.}$$

За рабочий ход пилы на зубья действуют силы касательная и нормальная, а за холостой ход – силы скобления и отбоя. Это знакопеременные силы, вызывающие усталость металла. Постоянные по величине напряжения, возникающие при натяжении пил ( $\sigma \approx 80 \dots 120$  МПа) на усталость металла не влияют.



Рисунок 1 – Типовая усталостная кривая

Пусть к зубу пилы приложена касательная сила резания  $F_x$  (рис. 2), которая создает в основании зуба изгибающий момент, Н·мм:

$$M_u = F_x h = F_{y0} a b_{л} h. \quad (1)$$

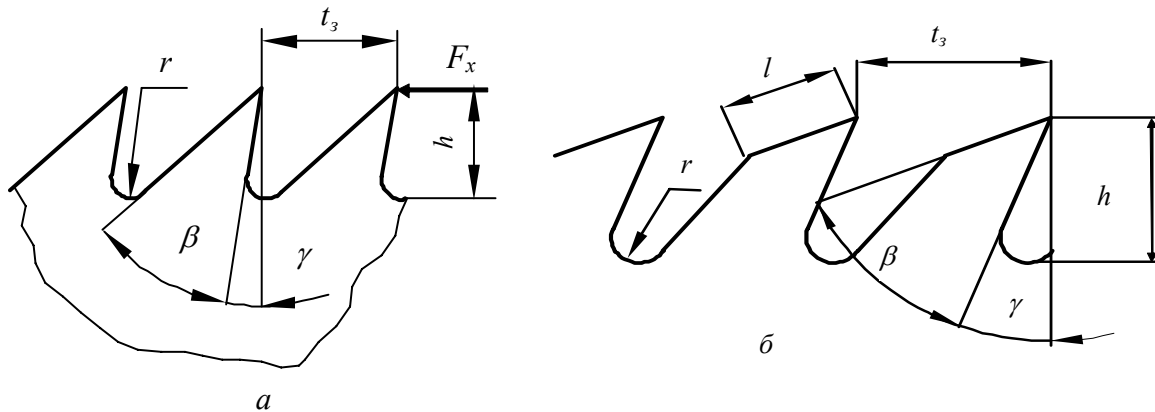


Рисунок 2 – Профили зубьев пил:

*а* – с прямолинейной задней гранью; *б* – с ломаной задней гранью

Момент сопротивления в основании зуба равен, мм<sup>3</sup>:

$$W = \frac{S t_3^2}{6},$$

где  $S$  – толщина пилы, мм;  $t_3$  – шаг зубьев пилы, мм.

В междузубной пазухе возникают напряжения, МПа:

$$\sigma_u = \frac{M_u}{W} = \frac{6 F_{y0} a b_{л} h}{S t_3^2}. \quad (2)$$

Предположим, что период стойкости стеллитированной рамной пилы  $T = 8 \text{ ч} = 480 \text{ мин}$  зафиксирован при следующем усредненном режиме пиления: порода древесины – сосна, древесина талая с влажностью  $W=30\%$ , ход пильной рамки  $H = 700 \text{ мм}$ , диаметр бревна в вершине  $d = 20 \text{ см}$ , частота вращения коленчатого вала  $n = 360 \text{ мин}^{-1}$ , число пил в поставе  $i = 6$ , центральная доска имеет толщину 50 мм. Посылка

$S_{2x}=45,7$  мм, подача на зуб, равная толщине срезаемого слоя  $a=S_z=2,1$  мм; шаг рамной пилы  $t_3=32$  мм, толщина пилы  $S=2$  мм, ширина пропила  $b=3,6$  мм, высота зуба  $h=22$  мм.

Для указанных условий установлено, что средняя высота пропила  $t_{cp}=163$  мм, фиктивная сила резания  $p=7,2$  Н/мм, касательное давление срезаемого слоя на переднюю грань зуба пилы  $k=35$  МПа, удельное сопротивление опилок в пропиле  $\alpha_\Delta=0,22$  МПа. Величина затупления стеллитированных зубьев

$$\Delta_\rho = \gamma_\Delta t_{cp} nTK_u K_n / 1000 = 0,0004 \cdot 163 \cdot 360 \cdot 480 \cdot 0,9 \cdot 0,5 = 5,1 \text{ мкм.} \quad (3)$$

Коэффициент затупления режущих кромок

$$\alpha_\rho = 1 + (1 + 0,1 \frac{k}{p}) \frac{\Delta_\rho}{\rho_o + 50} = 1 + (1 + 0,1 \frac{35}{7,2}) \frac{5,1}{10 + 50} = 1,13. \quad (4)$$

Удельная сила резания при рамном пилении, МПа:

$$F_{y\partial} = a_n a_w a_\epsilon (\frac{\alpha_\rho p}{a} + k + \frac{\alpha_\Delta t_{cp}}{b}), \quad (5)$$

где  $a_n, a_w, a_\epsilon$  – поправочные коэффициенты на породу, влажность, встречное-попутное пиление (для круглых пил).

$$F_{y\partial} = 1 \cdot 0,93 \cdot 1 (\frac{1,13 \cdot 7,2}{2,1} + 35 + \frac{0,22 \cdot 163}{3,6}) = 45,4 \text{ МПа.}$$

По (2) находим допускаемое напряжение в междузубной пазухе

$$\sigma_u = \frac{6F_{y\partial} a b_\lambda h}{St_3^2} = \frac{6 \cdot 45,4 \cdot 2,1 \cdot 3,6 \cdot 22}{2 \cdot 32^2} = 22,1 \text{ МПа.}$$

Таким образом, для обеспечения наработки на отказ рамной пилы из стали 9ХФ  $T=480$  мин ( $1,6 \cdot 10^5$  циклов нагружения зубьев) необходимо, чтобы переменное напряжение в междузубной пазухе не превосходило  $[\sigma_{u3}]=221$  МПа.

По формуле (2) найдем допускаемое значение удельной силы резания для древесины березы, МПа:

$$F_{y\partial} = \frac{[\sigma_u] St_3^2}{6 a b_\lambda h}. \quad (6)$$

Из (5) найдем выражение

$$\alpha_\rho p = a (\frac{F_{y\partial}}{a_n a_w a_\epsilon} - k - \frac{\alpha_\Delta t_{cp}}{b}). \quad (7)$$

Или с учетом (6)

$$\alpha_\rho p = a (\frac{[\sigma_u] St_3^2}{6 a b_\lambda h a_n a_w a_\epsilon} - k - \frac{\alpha_\Delta t_{cp}}{b}) = \frac{[\sigma_u] St_3^2}{6 b_\lambda h a_n a_w a_\epsilon} - a (k + \frac{\alpha_\Delta t_{cp}}{b}).$$

Обозначим

$$C = \frac{[\sigma_u] St_3^2}{6 b_\lambda h a_n a_w a_\epsilon},$$

тогда найдем значение толщины срезаемого слоя  $a$ , мм, при срезании которого напряжения в междузубной впадине не превосходят  $[\sigma_{уз}] = 22,1$  МПа и обеспечивается  $1,6 \cdot 10^5$  циклов нагружения зубьев:

$$a = \frac{C - \alpha_{\rho} p}{k + \frac{\alpha_{\Delta} t_{cp}}{b}}. \quad (8)$$

Выполним расчет режима пиления стеллитированными рамными пилами.

**Пример 1.** Пусть на той же лесопильной раме распиливаются березовые бревна, ширина пропила  $b = 3,2$  мм. Тогда величину затупления на 1 м пути следует увеличить на 20%:  $\gamma_{\Delta} = 0,0004 \cdot 1,2 = 0,00048$  мкм/м.

Величина затупления зубьев пилы

$$\Delta_{\rho} = \gamma_{\Delta} t_{cp} nTK_u K_n / 1000 = 0,00048 \cdot 163 \cdot 360 \cdot 480 \cdot 0,9 \cdot 0,5 / 1000 = 6,1 \text{ мкм.}$$

Коэффициент затупления режущих кромок

$$\alpha_{\rho} = 1 + (1 + 0,1 \frac{k}{p}) \frac{\Delta_{\rho}}{\rho_o + 50} = 1 + (1 + 0,1 \frac{35}{7,2}) \frac{6,1}{10 + 50} = 1,2.$$

$$C = \frac{22,1 \cdot 2 \cdot 32^2}{6 \cdot 3,2 \cdot 22 \cdot 1,25 \cdot 0,96 \cdot 1} = 92,17 \text{ Н/мм,}$$

$$a = \frac{92,17 - 1,2 \cdot 7,2}{35 + \frac{0,22 \cdot 163}{3,2}} = 1,82 \text{ мм.}$$

Таким образом, если при пиления древесины сосны толщина срезаемого слоя и подача на зуб  $a = S_z = 2,1$  мм, то при пиления березы при прочих равных условиях  $a = S_z = 1,82$  мм, что обеспечивает получение периода стойкости по параметру “**зарождение усталостных микротрещин**”  $T = 480$  мин.

**Пример 2.** По условию предыдущего примера на лесопильной раме распиливается древесина березы пилой  $S = 2,2$  мм, с шагом зубьев  $t_3 = 22$  мм, высотой зубьев  $h = 15$  мм, высота пропила  $t = 120$  мм.

Определить подачу на зуб по параметру “**зарождение усталостных микротрещин**”.

Результаты расчета:

$$\alpha_{\rho} = 1,1; C = 70,29; a = S_z = 1,44 \text{ мм.}$$

**Пиление ленточными пилами.** Рассмотрим условия пиления на станке с диаметром шкивов  $D = 1250$  мм, расстоянием между осями шкивов  $L = 2000$  мм, окружной скоростью вращения шкивов  $V = 40$  м/с, скоростью подачи на станке  $V_s = 30$  м/мин, высоте пропила  $t = 250$  мм. Пила: толщина  $S = 1$  мм, шаг зубьев  $t_3 = 50$  мм, высота зуба  $h = 13$  мм, ширина пропила  $b = 2,0$  мм.

Для этих условий найдены значения фиктивной силы резания  $p = 7,2$  Н/мм, касательное давление на переднюю грань зуба  $k = 36,6$  МПа, сопротивление трению пилы в пропиле  $\alpha_{\Delta} = 0,2$  МПа, коэффициент затупления  $\alpha_{\rho} = 1,15$ .

Величину подачи на зуб  $S_z$ , равную толщине срезаемого слоя  $a$ , при пилении ленточными пилами находят из выражения

$$S_z = \frac{V_s t_3}{60V} = \frac{30 \cdot 50}{60 \cdot 40} = 0,625 \text{ мм.}$$

Удельная сила резания при пилении по уравнению (5):

$$F_{y\partial} = 1 \cdot 0,93 \cdot 1 \left( \frac{1,15 \cdot 7,2}{0,625} + 36,6 + \frac{0,2 \cdot 250}{2} \right) = 69,6 \text{ МПа.}$$

Находим допускаемое напряжение в междузубной пазухе, возникающее от действия сил резания

$$\sigma_u = \frac{6F_{y\partial} a b_l h}{S t_3^2} = \frac{6 \cdot 69,6 \cdot 0,625 \cdot 2 \cdot 13}{1 \cdot 50^2} = 2,71 \text{ МПа.}$$

Таким образом, переменные напряжения, возникающие в междузубных пазухах ленточных пил от сил резания, в 10 раз меньше, чем в рамных пилах. Есть основание полагать, что эти напряжения ниже предела усталости металла и на зарождение и развитие усталостных трещин не влияют. Причина образования микротрещин кроется в другом, скорее всего в перегибе ленты на шкивах.

Пила из хромованадиевой стали 9ХФ имеет предел прочности  $\sigma_b = 700 \dots 800$  МПа. При коэффициенте запаса прочности  $K = 2$  напряжения, возникающие от растяжения пилы, составляют  $\sigma_p = 150 \dots 200$  МПа, напряжения от изгиба на шкивах  $\sigma_u = 200$  МПа.

**Заключение.** При работе рамных пил в междузубных пазухах зарождаются и развиваются усталостные микротрещины, процесс развития которых зависит от режима пиления. При расчете режимов рамного пиления древесины стеллитированными пилами значение подачи на зуб следует находить с учетом параметрического отказа по зарождению усталостных микротрещин. Другие параметрические требования по параметрам “стойкость” и “точность” для стеллитированных рамных пил становятся малозначительными, т.к. режущие кромки зубьев до отказа пилы остаются острыми.

## Библиографический список

1. Глебов, И.Т. Расчет режимов резания древесины [Текст] И.Т. Глебов; Екатеринбург: УГЛТУ, 2005. 156 с.
2. Федоров, Н.А. Рамные пилы: производство и эксплуатация [Текст] Н.А. Федоров, В.Г. Лукин; <http://www.instrumentnn.ru>.