

УДК 621.935

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА КОНЦЕНТРАЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ В МЕЖЗУБОВЫХ ВПАДИНАХ ЛЕНТОЧНЫХ ПИЛ ПРИ ИЗГИБЕ

© Г.Ф. Прокофьев, д-р техн. наук, проф.

О.Л. Коваленко, асп.

С.А. Черепанов, асп.

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова,
наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: g.prokofjev@narfu.ru;
o.kovalenko@narfu.ru

В статье дано описание опытов по определению коэффициентов концентрации напряжений в межзубовых впадинах при изгибе делительной ленточной пилы, выполненных на экспериментальной установке в динамике и статике. Определен коэффициент чувствительности материала пилы. После проведения исследований по определению коэффициентов концентрации напряжений при растяжении пилы будет определен эквивалентный коэффициент концентрации напряжений, который можно использовать при расчете ленточных пил на прочность. Кроме того, определены пределы выносливости для материала образцов ленточных пил с зубьями и без зубьев при отнулевом цикле напряжений, что позволит в дальнейшем построить диаграмму предельных амплитуд. Таким образом, появится возможность найти предельные значения напряжений для любых асимметричных циклов нагружения ленточных пил. За рубежом ленточные дереворежущие пилы, как и отечественные пилы из стали 9ХФ, производят из холоднокатанной, закаленной и отпущенной стали. По своему химическому составу импортные пилы схожи с отечественными пилами, хотя легируются дополнительными элементами для улучшения их эксплуатационных свойств. Высокопрочные легированные стали также имеют высокую чувствительность к концентрации напряжений. Поэтому сделанные нами выводы справедливы и в отношении импортных ленточных пил. По результатам экспериментальных исследований установлено: разрушение ленточных пил носит усталостный характер; теоретический и действительный коэффициенты концентрации напряжений при симметричном изгибе в межзубовых впадинах ленточных пил 3405-0032 ГОСТ 6532-77 (сталь 9ХФ) составляют соответственно 1,27 и 1,23, для тех же условий коэффициент чувствительности материала – 0,85; для повышения долговечности ленточных пил необходимо изменить профиль впадин и затормозить развитие усталостной трещины (например, термопластическим способом); после определения коэффициентов концентрации напряжений при растяжении пилы следует определять эквивалентный коэффициент концентрации напряжений, который можно использовать при расчете ленточных пил на прочность.

Ключевые слова: коэффициент концентрации напряжений, ленточная пила, предел выносливости, усталостная прочность, чувствительность.

Многочисленными наблюдениями установлено что разрушение ленточных пил носит усталостный характер [6, 8–10], вызванный повторно-

переменными нагрузками на пилу при пилении. В процессе пиления ленточные пилы испытывают напряжения от изгиба на шкивах, натяжения, центробежных сил инерции, сил резания, вальцевания, наклона шкивов, а также температурные напряжения. При этом основными напряжениями в пиле являются напряжения изгиба и растяжения, составляющие более 80 % от всех суммарных напряжений в пиле в процессе работы [9].

В ленточных пилах межзубовые впадины являются концентраторами напряжений. Влияние концентрации напряжений на прочность пилы при совместных деформациях изгиба и растяжения оценивается эквивалентным коэффициентом концентрации напряжений [9]:

$$k_э = \frac{k_и\sigma_и + k_н\sigma_н}{\sigma_и + \sigma_н},$$

где $k_и, k_н$ – коэффициенты концентрации напряжений соответственно при изгибе и растяжении;

$\sigma_и, \sigma_н$ – напряжения соответственно от изгиба пилы на шкивах и натяжения пилы.

На экспериментальной установке [3] были проведены испытания ленточных пил на усталостную прочность при изгибе (рис. 1).



Рис. 1. Экспериментальная установка для исследования ленточных пил на усталостную прочность при изгибе

Цель эксперимента – определение пределов выносливости при изгибе ленточной пилы 3405-0032 ГОСТ 6532–77, изготовленной из стали 9ХФ, при симметричном и отнулевом циклах нагружения и коэффициентов концентрации напряжений в межзубовых впадинах ленточных пил при изгибе.



Рис. 2. Измерительный комплекс для тарировки тензодатчиков

При определении напряжения изгиба в образцах ленточных пил методом тензометрирования в качестве измерительных датчиков применяли проволоочные тензорезисторы ПКБ-10-100. Градуировку датчиков производили на калибровочной балке равного сечения с использованием измерительного комплекса Zet-210, общий вид которого показан на рис. 2. Программное обеспечение для измерительного комплекса работает в операционной среде Windows XP. Для увеличения уровня сигнала датчиков использовали дифференциальный усилитель Zet-410.

Схема нагружения калибровочной балки представлена на рис. 3. Тензодатчики, наклеенные вдоль балки в пределах расстояния между опорами, испытывают деформацию чистого изгиба. Каждой величине прогиба балки соответствует определенный уровень сигнала датчика, выраженный в милливольтах.

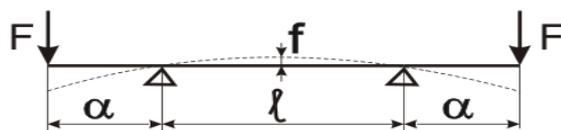


Рис. 3. Нагружение калибровочной балки

Напряжения изгиба на калибровочной балке определяли по формуле

$$\sigma_u = \frac{4Eh}{l^2} f,$$

где E – модуль упругости для стали, $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа;

h – толщина балки, $h = 6$ мм ;

l – расстояние между опорами, $l = 200$ мм (рис. 3);

f – прогиб балки, измеряемый индикатором часового типа.

По результатам градуировки тензодатчиков построен график, представленный на рис. 4.

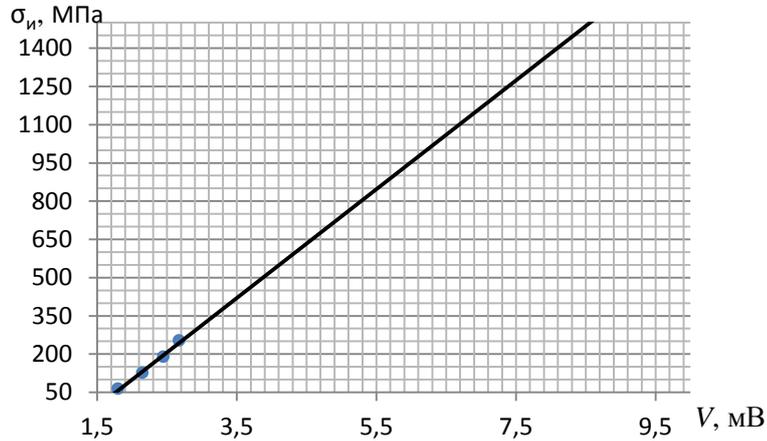


Рис. 4. График градуировки тензодатчиков

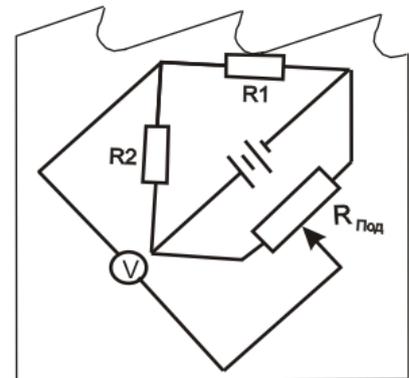
Для определения действующих напряжений при испытаниях была применена четвертьмостовая схема с использованием подстроечного резистора [5] (рис. 5). Датчики наклеивали с помощью бакелито-фенольного клея БФ-2 в непосредственной близости от межзубовой впадины и в середине полотна ленточной пилы (рис. б). Соотношение сигналов датчиков, расположенных в непосредственной близости от впадины и в середине полотна ленточной пилы, позволило определить теоретический коэффициент концентрации напряжений α_σ в межзубовых впадинах ленточных пил:

$$\alpha_\sigma = \frac{V_{\text{вп}}}{V} = \frac{3,8}{3} = 1,27,$$

где $V_{\text{вп}}$ – сигнал датчика в непосредственной близости от межзубовой впадины, мВ;

V – сигнал датчика в середине полотна ленточной пилы, мВ.

Рис. 5. Измерительная четвертьмостовая схема с подстроечным резистором (R1 – тензорезистор, испытывающий деформацию изгиба; R2 – тензорезистор для температурной компенсации; Rпод – подстроечный тензорезистор)



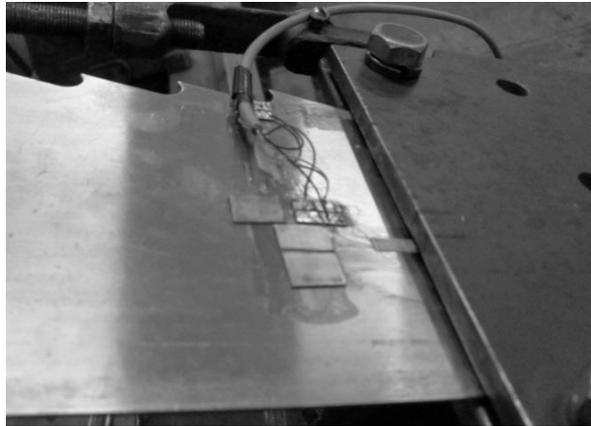


Рис. 6. Измерительная четвертьмостовая схема для определения напряжений, действующих в непосредственной близости от впадины и в середине полотна ленточной пилы при изгибе

Согласно ГОСТ 25.502–79, для построения семейства кривых усталости испытания целесообразно проводить на четырех – шести уровнях напряжения. Количество образцов в серии вычисляли по следующей формуле [1]:

$$n \geq 1,5 + \frac{Z_{1-\frac{\alpha}{2}}^2}{2\Delta_{\sigma}^2},$$

где $Z_{1-\frac{\alpha}{2}}$ – квантиль нормированного нормального распределения, принимаем

$$Z_{1-\frac{\alpha}{2}} = 1,96;$$

Δ_{σ} – предельная относительная ошибка при доверительной вероятности $P = 0,95$, принимаем $\Delta_{\sigma} = 0,5$.

Тогда

$$n \geq 1,5 + \frac{(1,96)^2}{2(0,5)^2} \geq 9,2.$$

Таким образом, для построения семейства кривых усталости и определения предела выносливости, соответствующих вероятности разрушения 50 %, испытанию были подвергнуты 10 одинаковых образцов на каждом из четырех уровней напряжения.

База испытаний для определения предела выносливости принималась равной 10^7 циклов нагружения [1].

Испытания образцов ленточных пил на усталостную прочность при изгибе на четырех уровнях напряжений проводили при следующих значениях:

для симметричного цикла нагружения – 300, 350, 400, 450 МПа;

для отнулевого цикла нагружения – 500, 550, 600, 650 МПа.

Указанные значения напряжений изгиба были выбраны с учетом результатов предварительных опытов и исходя из анализа литературных источников [6, 10].

Количество циклов нагружения до излома образца определяли с помощью датчика Холла [3].

Испытания проводили на образцах, имеющих следующие параметры: 1 – ленточная пила с зубьями 3405–0032 ГОСТ 6532–77 (сталь 9ХФ; толщина $S = 1,2$ мм, шаг зубьев $t = 30$ мм); 2 – полотно ленточной пилы без зубьев (сталь 9ХФ, ширина $H = 125$ мм, $S = 1,2$ мм).

Результаты испытаний образцов ленточных пил на усталостную прочность при изгибе при симметричном и отнулевом циклах нагружения приведены соответственно в табл. 1 и 2.

Таблица 1
Количество циклов нагружения до излома образца при изгибе (симметричный цикл нагружения)

Номер опыта	Количество циклов при предельных значениях напряжений, МПа			
	450	400	350	300
1	137 600/137 882	310 459/35 0857	436 482/1 074 238	1 621 036/4 650 323
2	149 466/167 456	331 784/37 7 986	489 346/1 325 626	2 014 982/> 10^7
3	159 763/187 340	369 806/40 8903	539 572/1 567 894	2 234 517/> 10^7
4	168 498/198 786	369 933/46 5567	585 638/2 215 037	2 602 781/> 10^7
5	178 998/221 765	401 573/521 983	687 450/2 711 786	3 223 459/> 10^7
6	182 750/245 352	429 876/569 684	739 654/> 10^7	> 10^7 /> 10^7
7	205 781/250 455	467 345/59 3402	850 349/> 10^7	> 10^7 /> 10^7
8	231 456/278 324	486 760/622 987	864 435/> 10^7	> 10^7 /> 10^7
9	287 654/326 457	489 453/647 121	972 675/> 10^7	> 10^7 /> 10^7
10	318 200/378 765	523 221/687 234	1 029 349/> 10^7	> 10^7 /> 10^7
N_{cp}	202 016,6/239 258,2	418 021/524 572	719495,0/–	–
S	60 031,6/73 655,8	72 558,1/118 540,8	206297,5/–	–

Примечание. Здесь и далее, в табл. 2, в числителе – данные для пил с насеченными зубьями, в знаменателе – без них; N_{cp} – среднее арифметическое значение долговечности; S – среднее квадратическое отклонение.

Таблица 2
Количество циклов нагружения до излома образца при изгибе (отнулевой цикл нагружения)

Номер опыта	Предельные значения напряжений, МПа			
	650	600	550	500
1	313 937/38 8346	411 345/459 075	579 641/1 163 639	1 858 943/4 752 023
2	344 986/397 453	434 760/498 345	668 450/1 556 322	2 748 094/5 687 938
3	367 543/418 923	474 832/541 908	738 047/1 987 978	3 436 870/> 10^7
4	380 465/437 349	521 987/542 677	791 239/2 474 057	3 784 122/> 10^7
5	385 234/456 828	589 343/587 453	877 385/2 906 971	3 911 367/> 10^7
6	389 430/474 832	602 346/593 421	940 123/2 968 834	4 137 204/> 10^7
7	400 742/486 376	631 576/644 197	982 091/3 217 312	> 10^7 /> 10^7
8	415 098/492 678	652 345/644 982	98 4432/> 10^7	> 10^7 /> 10^7
9	430 962/503 453	677 202/697 641	1 102 973/> 10^7	> 10^7 /> 10^7
10	451 357/515 231	689 473/762 479	1 151 298/> 10^7	> 10^7 /> 10^7
N_{cp}	396 201,9/457 146,9	568 520,9/597217,8	851 598,0/–	–
S	32 569,6/44 842,5	101 412,5/92428,6	169707,5/–	–

По результатам испытаний построены кривые распределения долговечности образцов ленточных пил (рис. 7), где по оси абсцисс откладываем долговечность образцов N (число циклов нагружения), по оси ординат – вероятность их разрушения P (накопленные частоты), которую вычисляем по следующей формуле:

$$P = \frac{i - 0,5}{n} 100 \%,$$

где i – номер образца в вариационном ряду (см. табл. 1);
 n – число испытанных образцов, $n = 10$.

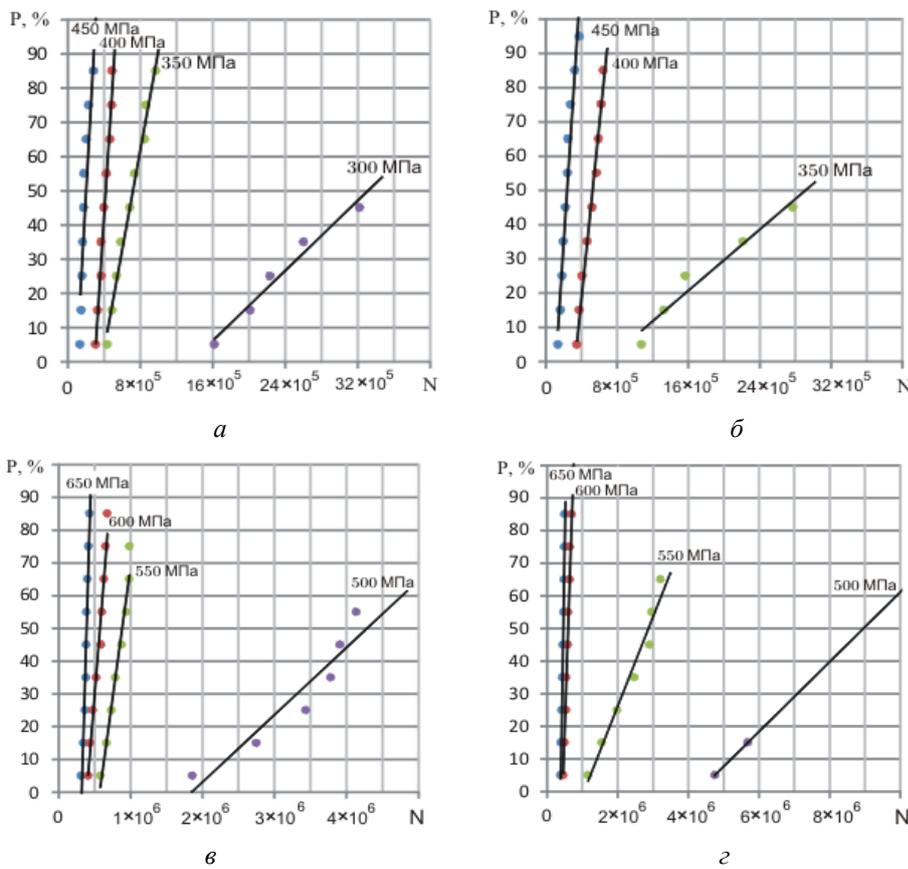


Рис. 7. Кривые распределения P долговечности полотен ленточных пил при симметричном ($a, б$) и отнулевом ($в, г$) циклах нагружения: $a, в$ – с зубьями; $б, г$ – без зубьев (Здесь и далее, на рис. 8, N – количество циклов нагружения)

По результатам испытаний построены кривые усталостной прочности σ_n образцов ленточных пил, соответствующие 50 %-й вероятности разрушения [1] при симметричном (рис. 8 a) и отнулевом циклах нагружения (рис. 8 $б$).

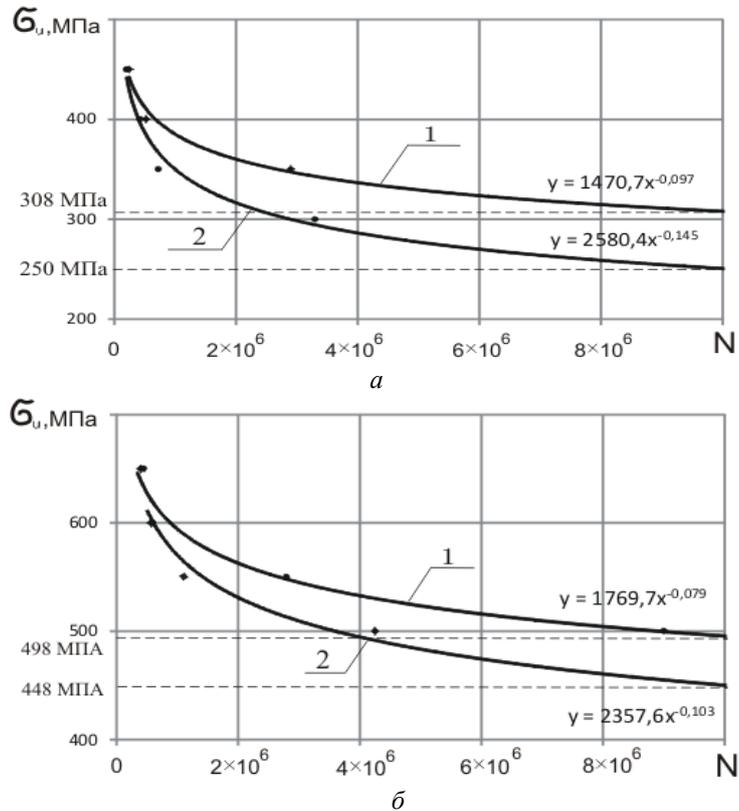


Рис. 8. Кривые усталостной прочности образцов ленточных пил при симметричном (а) и отнулевом (б) циклах нагружения, соответствующие 50 %-й вероятности разрушения: 1 – для полотен пил без зубьев; 2 – для пил 3405-0032 ГОСТ 6532–77 (сталь 9ХФ)

Кривые усталостной прочности в обоих случаях не имеют горизонтального участка. Это свойство характерно для кривых усталости деталей из высокопрочных сталей [4]. Представленные кривые усталостной прочности получены в результате аппроксимации зависимости к степенной функции с помощью программы Microsoft Excel 2010. Ординаты пересечения кривой усталости и абсциссы $N = 10^7$ циклов нагружения дают значения предела выносливости.

Таким образом, по результатам экспериментальных исследований определены следующие пределы выносливости при изгибе:

$\sigma_{-1} = 308$ МПа – для полотен ленточных пил без зубьев (сталь 9ХФ; толщина $S = 1,2$ мм);

$\sigma_{-1л/л} = 250$ МПа – для ленточных пил с зубьями 3405-0032 ГОСТ 6532–77 (сталь 9ХФ; толщина $S = 1,2$ мм; шаг зубьев $t = 30$ мм);

$\sigma_0 = 498$ МПа – для полотен ленточных пил без зубьев (сталь 9ХФ; толщина $S = 1,2$ мм);

$\sigma_{0л/п} = 448$ МПа – для ленточных пил с зубьями 3405-0032 ГОСТ 6532–77 (сталь 9ХФ; толщина $S = 1,2$ мм; шаг зубьев $t = 30$ мм).

Полученные значения пределов выносливости ленточных пил 3405-0032 ГОСТ 6532–77 (сталь 9ХФ) и полотен ленточных без зубьев (сталь 9ХФ) при симметричном цикле нагружения меньше пределов выносливости для стали 9ХФ, полученных другими исследователями [6, 10]. Это объясняется влиянием масштабного фактора, поскольку испытания проводились непосредственно с ленточными пилами, а не с уменьшенными лабораторными образцами.

Действительный коэффициент концентрации напряжений при симметричном изгибе ленточной пилы

$$k_{и} = \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_{-1л/п}} = \frac{308}{250} = 1,23.$$

Для определения эквивалентного коэффициента концентрации напряжений $k_{э}$ необходимо также определить напряжения в зоне межзубовых впадин от натяжения ленточных пил.

Ряд авторов приводят различные коэффициенты концентрации напряжений, так как условия, при которых они определены, и методы определения различны. Например, в работе [2] рассмотрено определение коэффициента концентрации напряжений у зубьев пил со следующими параметрами: ширина пилы $b = 85$ мм; толщина пилы $S = 1$ мм; шаг зубьев $t = 40$ мм; высота зубьев $h_3 = 10$ мм; радиус межзубовых впадин $r = 4$ мм. В результате исследований получены коэффициенты концентрации напряжений при растяжении $k_{н} = 1,58$ и изгибе $k_{и} = 1,21$. В работе [6] в результате усталостных испытаний определен коэффициент концентрации напряжений в межзубовых впадинах при изгибе $k_{и} = 1,24$ для следующих параметров зубьев пил: $r = 4$ мм; $t = 50$ мм; $h_3 = 10$ мм.

Значения теоретического α_{σ} и действительного $k_{и}$ коэффициентов концентрации напряжений, полученные в данной работе, отличаются. Это обусловлено чувствительностью металла к концентрации напряжений и характеризуется соответствующим коэффициентом чувствительности [4]:

$$q = \frac{k_{и} - 1}{\alpha_{\sigma} - 1}.$$

Подставив найденные значения $k_{и}$ и α_{σ} в эту формулу, получим $q = 0,85$. Данный результат подтверждает высокую чувствительность стали 9ХФ к концентрации напряжений.

За рубежом ленточные дереворежущие пилы производят из холоднокатанной, закаленной и отпущенной стали, как и отечественные пилы из стали 9ХФ. По своему химическому составу импортные пилы схожи с отечественными пилами, хотя легируются дополнительными элементами для улучшения их эксплуатационных свойств. Высокопрочные легированные стали также имеют высокую чувствительность к концентрации напряжений [9]. Поэтому выводы, сделанные в статье, справедливы и в отношении импортных ленточных пил.

Как известно, для повышения долговечности ленточных пил существуют различные способы торможения развития усталостной трещины. Авторами статьи получен патент на термопластический способ торможения развития усталостной трещины [7].

Выводы

1. Результаты, выполненных испытаний подтверждают, что разрушение ленточных пил носит усталостный характер.

2. Теоретический и действительный коэффициенты концентрации напряжений при симметричном изгибе в межзубовых впадинах ленточных пил 3405-0032 ГОСТ 6532–77 (сталь 9ХФ) составляют $\alpha_k = 1,27$, $k_{эф} = 1,23$; коэффициент чувствительности материала ленточных пил для тех же условий $q = 0,85$.

3. Для повышения долговечности ленточных пил необходимы меры конструктивного и технологического характера:

изменение профиля впадин;

торможение развития усталостной трещины, например, термопластическим способом.

4. После проведения исследований по определению коэффициентов концентрации напряжений при растяжении пилы следует определять эквивалентный коэффициент концентрации напряжений, который можно использовать при расчете ленточных пил на прочность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 25.502–79 Методы механических испытаний металлов. Методы испытаний на усталость. Введ. 30-10-1979. М.: Изд-во стандартов, 1980. 12 с.
2. Добрынин Е.Д. Концентрация напряжений в полотнах ленточных пил от насечки зубьев // Деревообраб. пром-сть. 1962. № 4. С. 10–11.
3. Коваленко О.Л. Экспериментальная установка для исследования усталостной прочности ленточных // Наука – северному региону: сб. науч. тр. / АГТУ. Архангельск, 2002. С. 110–112.
4. Когаев В.П., Дроздов Ю.Н. Прочность и износостойкость деталей машин: учеб. пособие. М.: Высш. шк., 1991. 319 с.
5. Логинов В.Н. Электрические измерения механических величин. М.: Энергия, 1970. 80 с.
6. Мальшев Ю.В. Влияние некоторых факторов на долговечность полотен ленточных делительных пил. Л.: ЛТА, 1974. 10 с.
7. Пат. 2395388 РФ, МПК В 27 В 33/00. Способ торможения распространения трещины в ленточной пиле / Прокофьев Г.Ф., Иванкин И.И., Коваленко О.Л. № 2009115975/03; заявл. 27.04.2009; опубл. 27.04.2010, Бюл. № 21.
8. Прокофьев Г.Ф. Определение требуемой прочности пил многопильных ленточнопильных станков // Лесн. журн. 1989. № 6. С. 81–85. (Изв. высш. учеб. заведений).
9. Прокофьев Г.Ф. Интенсификация пиления древесины рамными и ленточными пилами. М.: Лесн. пром-сть, 1990. 240 с.

10. Швамм Л.Г. Исследование и разработка методов повышения долговечности ленточных пил для распиловки древесины: автореф. ... канд. техн. наук. Л.: ЛТА, 1982. 20 с.

Поступила 26.05.14

UDC 621.935

Test of Bulging Stress Concentration Factors in the Band Saw Notches

G.F. Prokof'ev, Doctor of Engineering, Professor

O.L. Kovalenko, Postgraduate Student

С.А. Черепанов, аспирант

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russia; e-mail: g.prokofjev@narfu.ru, e-mail: o.kovalenko@narfu.ru

The article gives the description of the tests of bulging stress concentration factors in the band saw notches. Animation and static tests were carried out at the pilot plant. As a result the sensibility factor of the saw material is identified. After the tests defining the concentration saw tensile stress factors the equivalent stress concentration coefficient for band saw stress calculation can be determined. The endurance limit of the material patterns of the band saws with the sawteeth and without the sawteeth at the zero-to-tension stress cycle is also defined. It will allow constructing a limiting amplitude scheme. Thus, it will be possible to define the limit stress values for any asymmetric depth cycles of band saws. Abroad the wood-milling band saws are made from hard-rolled tampered steel, as well as domestic saws of steel 9ХФ. The tapping specification of foreign saws is similar to domestic saws, though they are alloyed by additional elements to improve their operational properties. High-impact alloyed steels are also highly sensitive to the stress concentration. Therefore, the conclusions made in the article are also valid in relation to the foreign band saws. According to the results of the experimental studies we have drawn the following conclusions:

1. The results of performed tests confirm that the destruction of band saws is of fatigue nature.
2. The theoretical and actual coefficients of stress concentration at symmetric bending in the notches of the band saws 3405-0032 GOST 6532-77 steel 9ХФ are respectively: $\alpha_k = 1.27$, $\kappa_{\phi} = 1.23$. The sensibility factor of the band saws material for the same conditions is also determined: $q = 0.85$.
3. To increase the band saws life the following meaningful and technological measures are necessary:
 - to edit a notch profile;
 - to slow the process of the fatigue cracks development, for example, by the thermo-softening method [10].
4. After the research of the stress concentration factors of the tensile saw the equivalent stress concentration coefficient should be defined. This coefficient can be used at the band saws stress calculation.

Keywords: stress concentration factor, band saw, endurance limit, endurance strength, sensitivity.

REFERENCES

1. GOST 25.502-79. *Metody mekhanicheskikh ispytaniy metallov. Metody ispytaniy na ustalost'* [State Standart 25.502-79. Methods of Mechanical Tests of Metals. Methods of Fatigue Tests]. Moscow, 1980.
2. Dobrynin E.D. Kонтсентрати́я напры́зheniy v polotnakh lentochnykh pil ot nasechki zub'ev [Dependence of Stress Concentration in the Band Saw Blades on Notches Sawteeth]. *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'*, 1962, no. 4, pp. 10-11.
3. Kovalenko O.L. Eksperimental'naya ustanovka dlya issledovaniya ustalostnoy prochnosti lentochnykh pil [Pilot Plant for the Research of Band Saws Endurance Strength]. *Nauka - severnomu regionu; Sb. nauch. tr.* [Proc. Science to the Northern Region]. Arkhangelsk, 2002, pp. 110-112.
4. Kogaev V.P. *Prochnost' i iznosostoykost' detaley mashin: ucheb. posobie dlya mashinostr. spets. vuzov* [Strength and Endurance of Machine Elements]. Ed. by V.P. Kogaev, Yu.N. Drozdov. Moscow, 1991. 319 p.
5. Loginov V.N. *Elektricheskie izmereniya mekhanicheskikh velichin* [Electric Measurements of Mechanical Quantities]. Moscow, 1970. 80 p.
6. Malyshev Yu.V. *Vliyaniye nekotorykh faktorov na dolgovechnost' poloten lentochnykh delitel'nykh pil* [Influence of Some Factors on the Band Saw and Resawing Machine Blades Life]. Leningrad, 1974. 10 p.
7. Prokof'ev G.F., Ivankin I.I., Kovalenko O.L. *Sposob tormozheniya rasprostraneniya treshchiny v lentochnoy pile* [The Way to Slow Down the Crack Extension in a Band Saw]. Patent RF, no. 2395388, 2009.
8. Prokof'ev G.F. Opredeleniye trebuyemy prochnosti pil mnogopil'nykh lentochnopil'nykh stankov [Required Strength Definition of Saws of Multifunctional Band Sawing Machines]. *Lesnoy zhurnal*, 1989, no. 6, pp. 81-85.
9. Prokof'ev G.F. *Intensifikatsiya pileniya drevesiny ramnymi i lentochnymi pilami* [Intensification of Wood Sawing by Frame Saws and Band Saws]. Moscow, 1990. 240 p.
10. Shvamm L.G. *Issledovaniye i razrabotka metodov povysheniya dolgovechnosti lentochnykh pil dlya raspilovki drevesiny: avtoref. dis... kand. tehn. nauk.* [Research and Development of Enhancing Methods of Band Saws Life for Wood Sawing: Cand. Tech. Sci. Diss. Abs.]. Leningrad, 1982. 20 p.

Received on May 26, 2014