

когезионный вид отрыва. Это объясняется недостаточной когезией самого материала подложки. Результаты испытаний представлены в таблице.

Как видно из таблицы, при показателе точности $\leq 5\%$ число необходимых измерений n более чем в 3 раза меньше по сравнению с ГОСТ 27325—87. С увеличением скорости нагружения в 2 раза значения прочности повысились в среднем на $8,1\%$. Судя по величинам среднего квадратичного отклонения σ и коэффициента вариации v , степень точности метода с уменьшением скорости нагружения возрастает. Наблюдаемое при уменьшении скорости нагружения увеличение времени, затрачиваемого на проведение одного замера, компенсируется уменьшением общего числа проводимых измерений. Это приводит к уменьшению затрат времени на подготовку образцов к испытаниям и количества материалов.

Таким образом, оптимальные условия для исследований прочности адгезионных соединений: 1) испытания необходимо проводить при возможно меньших скоростях нагружения на штифт ($4 \dots 6$ Н/с); 2) площадь, воспринимающая нагрузку, должна находиться в пределах $12,57$ см².

Придерживаясь оптимальных условий проведения испытаний прочности адгезионных соединений, можно добиться значительного повышения точности данного метода за счет устранения влияния на результаты измерений посторонних факторов, возникающих в процессе нагружения адгезионного соединения, которые не имеют отношения к процессам образования адгезионного соединения, но заметно искажают результаты измерений.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Адгезия наполненных композиций на основе полиэтилена к стали / М. М. Калнинь, В. П. Карливан, Е. Я. Бабре, И. Г. Шпестере // Мех. полимеров.— 1966.— № 2.— С. 245—252. [2]. А. с. 1446543 СССР. Устройство для определения прочности сцепления, соединения / А. В. Федак, В. Ф. Качаи, Л. А. Сун-Чен-Ли.— Бюл. № 47 // Открытия. Изобретения.— 1988.— № 47.— С. 206. [3]. Басин В. Е. Адгезионная прочность.— М.: Химия, 1981.— С. 45—58. [4]. ГОСТ 27325—87. Детали и изделия из древесины и древесных материалов. Метод определения адгезии лакокрасочных покрытий.— М.: Госстандарт, 1987. [5]. Дерягин Б. В., Кротова Н. А., Смирнова В. П. Адгезия твердых тел.— М.: Наука, 1973.— С. 34—49. [6]. Зимон А. Д. Адгезия пленок и покрытий.— М.: Химия, 1977.— С. 95—96. [7]. Зотов А. А. Исследование влияния свойств поверхности древесных подложек на адгезию к ним защитно-декоративных покрытий: Дис... канд. техн. наук.— М.: МЛТИ, 1981.— 145 с. [8]. Ослоповский Б. А. Метод определения адгезии покрытий // Заводская лаборатория.— 1969.— Т. 35.— № 5.— С. 585—586. [9]. Проект госстандарта Союза ССР. Детали и изделия из древесины и древесных материалов. Метод определения адгезии лакокрасочных покрытий.— М.: Госком СССР по стандартам, 1986.— С. 17.

Поступила 20 июня 1989 г

УДК 674.053 : 621.93

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРЕБУЕМОЙ ПРОЧНОСТИ ПИЛ МНОГОПИЛЬНЫХ ЛЕНТОЧНОПИЛЬНЫХ СТАНКОВ

Г. Ф. ПРОКОФЬЕР

Архангельский лесотехнический институт

При создании многопильных ленточнопильных станков вероятность их остановки из-за выхода из строя одной из пил возрастает, поэтому необходимо ужесточить требования к прочности ленточных пил однопильных модулей.

Вероятность безотказной работы $P(t)$	0,9965	0,9850	0,9192	0,7580	0,700	0,5398	0,100
Квантиль U_p	2,700	2,200	2,170	1,400	1,400	0,800	0,200
Вероятность безотказной работы $P(t)$	0,9970	0,9861	0,9332	0,7881	0,800	0,6000	0,253
Квантиль U_p	2,800	2,300	2,300	1,600	0,842	0,6179	0,300
Вероятность безотказной работы $P(t)$	0,9974	0,9893	0,9452	0,8000	0,900	0,6500	0,385
Квантиль U_p	2,878	2,326	2,400	1,645	1,000	0,6554	0,400
Вероятность безотказной работы $P(t)$	0,9980	0,9900	0,9500	0,8159	1,036	0,6915	0,500
Квантиль U_p	2,900	2,400	2,409	1,700	1,100	0,7000	0,524
Вероятность безотказной работы $P(t)$	0,9981	0,9918	0,9600	0,8413	1,081	0,7257	0,600
Квантиль U_p	2,900	2,400	2,500	1,751	1,282	0,7500	0,674
Вероятность безотказной работы $P(t)$	0,9986	0,9920	0,9700	0,8643	1,100		
Квантиль U_p	3,090	2,500	2,576	1,881	1,200		
Вероятность безотказной работы $P(t)$	0,9995	0,9950	0,9772	0,8849	1,282		
Квантиль U_p	3,291	2,600	2,652	2,054	1,300		
Вероятность безотказной работы $P(t)$	0,9998	0,9953	0,9800	0,9000			
Квантиль U_p	3,500	2,652	0,9032				
Вероятность безотказной работы $P(t)$	0,9999	0,9960	0,9821				
Квантиль U_p	3,719						

Механические (и другие) системы с позиции надежности могут быть последовательными, параллельными и комбинированными. К последовательным относятся такие, в которых отказ одного из элементов приводит к отказу всей системы. Многопильные ленточнопильные станки представляют последовательную систему, хотя каждый однопильный модуль работает параллельно. Вероятность безотказной работы такой системы равна произведению вероятностей безотказной работы модулей

$$P(t) = P_1 P_2 \dots P_n = \prod_{i=1}^n P_i \quad (1)$$

Принимая надежность однопильных ленточнопильных модулей одинаковой, находим вероятность безотказной работы многопильного станка:

$$P(t) = P_1^n \quad (2)$$

Вероятность безотказной работы системы по критерию прочности P (называемую также вероятностью неразрушения) определяем как вероятность того, что действующие напряжения не превышают предельных.

Значения вероятностей безотказной работы при нормальном распределении в зависимости от квантилей определяем по таблице работы [3].

Квантиль нормального распределения [3]

$$u_p = - \frac{n-1}{\sqrt{n^2 v_{\sigma_{i-1}}^2 + v_{\sigma_a}^2}} \quad (3)$$

где

n — коэффициент запаса прочности;

$v_{\sigma_{i-1}} = \frac{S_{\sigma_{i-1}}}{\sigma_{i-1}}$ — коэффициент вариации предела выносливости материала ленточной пилы;

$S_{\sigma_{i-1}}$ — среднее квадратичное отклонение предела выносливости материала пилы, МПа;

σ_{i-1} — среднее значение предела выносливости материала, МПа;

$v_{\sigma_a} = \frac{S_{\sigma_a}}{\sigma_a}$ — коэффициент вариации амплитуды напряжений в пиле;

S_{σ_a} — среднее квадратичное отклонение амплитуды напряжений, МПа;

σ_a — среднее значение амплитуды напряжений в пиле, МПа.

Значения напряжений σ_{i-1} и σ_a (где $i = 1, 2, 3, \dots, n$) берем по результатам исследований, а средние вычисляем по формулам:

$$\bar{\sigma}_{-1} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \bar{\sigma}_{-1i}; \quad \sigma_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sigma_{ai}.$$

При отсутствии значений σ_{-1i} и σ_{ai} средние можно определить по предельным значениям

$$\bar{\sigma}_{-1} = \frac{\sigma_{-1 \max} + \sigma_{-1 \min}}{2}; \quad \bar{\sigma}_a = \frac{\sigma_{a \max} + \sigma_{a \min}}{2}.$$

Средние квадратичные отклонения находим по формулам

$$s_{\sigma_{-1}} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\sigma_{-1i} - \bar{\sigma}_{-1})^2}; \quad s_{\sigma_a} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\sigma_{ai} - \bar{\sigma}_a)^2}.$$

Если σ_{-1i} или σ_{ai} неизвестны, но известны предельные допустимые значения $[\sigma_{-1 \max}]$, $[\sigma_{-1 \min}]$, $[\sigma_{a \max}]$ и $[\sigma_{a \min}]$ (допуски), то:

$$s_{\sigma_{-1}} = \frac{[\sigma_{-1 \max}] - [\sigma_{-1 \min}]}{6}; \quad s_{\sigma_a} = \frac{[\sigma_{a \max}] - [\sigma_{a \min}]}{6}.$$

Коэффициент запаса прочности ленточных пил, зубья которых не оснащены твердым сплавом, определяем по формуле [2]:

$$n = \frac{1}{\frac{1}{\sigma_b} \left[\frac{k_3 \sigma_b}{\beta \sigma_{-1N}} \left(\frac{\sigma_H}{2} + \Delta \sigma_H \right) + \left(\frac{\sigma_H}{2} + \sigma_H \right) \right]}, \quad (4)$$

где

- σ_b — предел прочности материала пилы, МПа;
- $\sigma_H = \frac{s}{D} E$ — напряжение от изгиба пилы на шкивах или криволинейных направляющих, МПа;
- s — толщина пилы, мм;
- D — диаметр шкивов станка, или удвоенный радиус криволинейных направляющих, мм;
- E — модуль упругости материала пилы при растяжении, МПа (для стали 9ХФ $E \approx 2,15 \cdot 10^5$ МПа);
- $\Delta \sigma_H = \frac{\Delta L}{L} E$ — изменение напряжений от натяжения пилы, вызванное радиальным биением обода шкива, МПа;
- ΔL — удлинение (укорочение) пилы, равное величине радиального биения обода шкива, мм;
- L — расстояние между осями шкивов, мм;
- σ_H — напряжение от натяжения пилы, МПа;
- β — коэффициент, учитывающий влияние на прочность пилы качества обработки межзубовых впадин; он может иметь значения 0,5... 0,9;
- k_3 — эквивалентный коэффициент концентрации напряжений;
- σ_{-1N} — коэффициент ограниченной выносливости материала пилы, МПа.

Этот коэффициент можно определить по формуле [2]

$$\sigma_{-1N} = 1665 - 204 \lg \frac{120000tv}{L_n}. \quad (5)$$

Здесь t — время работы пилы между переточками, мин;
 v — скорость движения пилы (скорость резания), м/с;
 L_n — длина пилы, мм.

$$L_n = 2L + \pi D.$$

Для определения $v_{\sigma_{-1}}$ и v_{σ_a} необходимы специальные экспериментальные исследования. Ориентировочно можно принять $v_{\sigma_{-1}} = v_{\sigma_a} = 0,2$. Для бревнопильных ленточнопильных станков традиционной конструкции (с пильными шкивами) при характерных значениях $\sigma_B = 1500$ МПа, $k_3 = 1,6$, $t = 240$ мин, $L = 2000$ мм, $D = \approx 1500$ мм, $\sigma_H = 210$ МПа, $\sigma_{-1} = 120$ МПа, $\beta = 0,7$, $\Delta L = 0,4$ мм имеем $n = 1,37$.

Таким образом, квантиль нормального распределения

$$U_p = - \frac{n-1}{\sqrt{n^2 v_{\sigma_{-1}}^2 + v_{\sigma_a}^2}} = - \frac{0,37}{\sqrt{1,37^2 0,2^2 + 0,2^2}} = -1,09.$$

Вероятность безотказной (по условно прочности пилы) работы однопильного станка $P(t) = 0,86$. Для вероятности безотказной работы однопильного станка $P_s(t) > 0,92$ по таблице и формуле (3) получаем требуемый коэффициент запаса прочности $n \geq 1,5$. Это может быть достигнуто улучшением качества обработки межзубовых впадин (β), уменьшением концентрации напряжений в межзубовых впадинах (k_3), уменьшением бienia шкивов ($\Delta\sigma_a$), более частой заточкой зубьев (σ_{-1N}).

Для расчета коэффициента запаса прочности пилы, зубья которой оснащены твердым сплавом, в формуле (4) необходимо вместо σ_{-1N} взять σ_{-1} , так как при заточке твердосплавных пластинок межзубовые впадины не обрабатываются и дефектный слой не удаляется. Принимая σ_{-1} по работе [4] и используя принятые выше значения σ_B , k_3 , L , D , σ_H , σ_H , β и ΔL , получим по формуле (4) коэффициент запаса прочности $n = 1,15$. Отсюда по формуле (3) определяем квантиль нормального распределения и по таблице получаем вероятность безотказной работы, равную 0,69.

Следовательно, при оснащении зубьев пил пластинками из твердых сплавов вероятность безотказной работы ленточнопильного станка значительно снижается; стоимость пилы при этом возрастает в несколько раз, поэтому на серийных станках не применяют пилы, зубья которых оснащены пластинками из твердых сплавов.

Для многопильных ленточнопильных станков, сконструированных из однопильных модулей, вероятность безотказной работы уменьшается.

Если для однопильного модуля принять $P(t) = 0,92$, то для четырехпильного станка $P(t) = 0,72$. Такая надежность явно недостаточна. Для обеспечения надежности по прочности ленточных пил четырехпильного станка на уровне однопильного необходимо, чтобы вероятность безотказной работы однопильного модуля $P(t) = 0,98$, а $n \geq 1,9$.

Для достижения такого запаса прочности пил однопильных модулей при создании многопильных ленточнопильных станков зарубежные фирмы увеличивают диаметры шкивов (уменьшение σ_H), повышают точность изготовления шкивов и реакцию натяжного устройства (уменьшение $\Delta\sigma_a$), улучшают профиль зубьев (снижение k_3), подшлифовывают межзубовые впадины (увеличение β).

При создании ленточнопильного модуля с пилой, движущейся по криволинейным аэростатическим направляющим [1], высокая надежность пил обеспечивается за счет: увеличения радиуса криволинейных направляющих (уменьшение σ_H), при этом свободная длина пил не возрастает; уменьшения силы натяжения пилы (σ_H), так как имеется большой резерв по устойчивости пилы благодаря сокращению свободной длины пилы в несколько раз; исключения инерционности и бienia шкивов ($\Delta\sigma_a = 0$).

У ленточнопильного станка с криволинейными аэростатическими направляющими, описание которого приведено в работе [1], толщина пилы $s = 1,0$ мм, радиус криволинейных направляющих $R = 750$ мм, напряжения изгиба $\sigma_H = 140$ МПа, напряжения от натяжения пилы $\sigma_H = 80$ МПа, $\sigma_B = 1500$ МПа, $\sigma_{-1} = 430$ МПа, $\Delta s = 0$, $k_3 = 1,6$, $\beta = 0,8$.

Для ленточной пилы, зубья которой оснащены пластинками из твердого сплава, коэффициент запаса прочности $n = 2,35$. Вероятность безотказной работы однопильного модуля $P(t) = 0,99$ и многопильного станка, состоящего из четырех однопильных модулей, $P(t) = 0,96$.

Таким образом, при создании многопильных станков, сконструированных из однопильных модулей с пилами, движущимися по криволинейным аэростатическим направляющим, можно обеспечить не только

высокую точность пиломатериалов, но и высокую износостойкость зубьев пил и долговечность их полотен.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Прокофьев Г. Ф. Ленточнопильный станок с пилой, движущейся по криволинейным аэростатическим направляющим // *Деревообаб. пром-сть.*—1988.— № 10.— С. 4—5. [2]. Прокофьев Г. Ф. Пути повышения эффективности пиления древесины ленточными пилами.— М.: ВНИПИЭИлеспром, 1985.— 32 с. [3]. Решетов Д. Н., Иванов А. С., Фадеев В. З. Надежность машин.— М.: Высш. школа, 1988.— 238 с. [4]. Трубников И. И. Усталостное разрушение полотен ленточных пил // *Лесн. журн.*—1965.— № 6.— С. 91—93.— (Изв. высш. учеб. заведений).

Поступила 31 мая 1989 г.

УДК 674.093

АНАЛИТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ДРОБНОСТИ СОРТИРОВКИ ПИЛОВОЧНОГО СЫРЬЯ

В. С. ШАЛАЕВ.

Московский лесотехнический институт

Большую часть пиловочного сырья в нашей стране распиливают брусковым способом на обрезные пиломатериалы. В производственном процессе бревна сортируют в соответствии с традиционными правилами и условиями: в нашей стране — по четным диаметрам, в некоторых странах — через один сантиметр. При разработке плана раскройки поставы составляют по соответствующим размерно-качественным группам бревен, т. е. под размеры бревен.

Более эффективен иной подход, когда сортировку бревен осуществляют «под постав», т. е., исходя из размеров заданных сечений пиломатериалов и соответствующих поставов, подбирают-отсортировывают оптимальные размерно-качественные группы бревен.

Аналитический расчет дробности сортировки пиловочного сырья выглядит следующим образом.

Так как сортировку бревен осуществляют под размеры заданных пиломатериалов, то критерием оптимальности должен служить в первую очередь объемный выход.

Во всех случаях при определении выхода пиломатериалов пользуются известной формулой, включающей отношение объема получаемой продукции номинальных размеров к объему затраченного на ее выработку сырья. Объем сырья при расчете конкретной поставы определяют по таблицам объемов круглых лесоматериалов (ГОСТ 2708—75). Использование табличных значений объемов при расчете поставов для бревен различных, не обязательно четных, диаметров приводит к значительным погрешностям.

Для устранения погрешностей и упрощения реализации на ЭВМ аналитического способа расчета поставов можно воспользоваться одной из стереометрических формул определения объема бревна V_6 . Наиболее известные из них: формула Губера, рассматривающего бревно как усеченный конус вращения, и формула Смалиана, рассматривающего бревно как усеченный параболоид вращения второго порядка. Можно воспользоваться формулой [2], полученной по данным ГОСТ 2708—75:

$$V_6 = L(0,9225 - 0,0034L)(0,01d)^{2,0829 - 0,0234L}, \quad (1)$$

где V_6 — объем бревна, м³;
 L — длина бревна, м;
 d — диаметр бревна в его вершинном торце, см.