

УДК 67.05

UDC 67.05

05.00.00 Технические науки

Technical sciences

**МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЛЕНТОЧНОЙ ПИЛЫ
НА ПРОЧНОСТЬ И УСИЛИЯ НАТЯЖЕНИЯ
ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ
РЕЗАНИЯ**

**CALCULATIONS FOR BAND SAWS FOR
STRENGTH AND TENSILE FORCE TO
ENSURE SUSTAINABLE CUTTING**

Литвинов Артем Евгеньевич

Litvinov Artem Evgenyevich

к.т.н., доцент

Cand.Tech.Sci., associate professor

SPIN-код: 9345-4185

RSCI SPIN-code: 9345-4185

Скопус author Id=36988041300

Scopus author ID: 36988041300

*Кубанский Государственный Технологический
Университет, Краснодар, Россия*

*Kuban State Technological University, Krasnodar,
Russia*

В статье представлена методика инженерного
расчета ленточной пилы на прочность и усилия
натяжения для обеспечения устойчивости резания

The article presents a method of engineering
calculation of the strength of band saws and belt force
to stabilize the cut

Ключевые слова: ЛЕНТОЧНОПИЛЬНЫЙ
СТАНОК, ПИЛА, НАПРАВЛЯЮЩИЕ, УСИЛИЕ
РЕЗАНИЯ, УСИЛИЕ НАТЯЖЕНИЯ

Keywords: BAND-SAW MACHINE, BAND SAW,
RAIL, CUTTING FORCE, TENSION FORCE

Для обеспечения экономичного использования ленточных пил необходимо, чтобы ресурс усталостной прочности ленты пилы превышал ресурс стойкости режущих зубьев. Ресурс долговечности ленты пилы, в основном, определяется размером и материалом ленты, диаметром дисков и усилием натяжения.

Для обеспечения устойчивости резания необходимо обеспечить предварительное натяжение ленточной пилы, исключающее проскальзывание приводного диска и обеспечивающее устойчивость ее работы.

С повышением силы предварительного натяжения увеличивается ее жесткость и возможность передачи большего крутящего момента и соответственно силы резания и, как следствие, повышается производительность. Верхний предел силы предварительного натяжения ограничивается прочностью ленты пилы.

В зоне охвата лентой приводного и натяжного дисков возникают напряжения изгиба. Данные напряжения пропорциональны толщине ленты b и обратно пропорциональны диаметру дисков D . Для конструктивных

расчетов ранее принималось отношение b/D равным $1/1000$, когда применялись ленточные пилы из углеродистых сталей. В настоящее время для резки металлов и сплавов применяются биметаллические пилы или пилы с зубьями из твердого сплава.[1,2]

Основой таких пил является лента из рессорно-пружинной стали с высокими прочностными характеристиками. Это позволило принимать более высокие напряжения, а вместе с тем и $b/D = 1/350 - 1/500$.

Диски меньшего диаметра также благоприятно влияют на нагрузку пильной рамы, уменьшают габаритные размеры станка.

Напряжение изгиба, как это будет показано последующим расчетом, составляют, как правило, наибольшую часть нагрузки. Ниже приводится методика расчета на данном примере.

Исходные данные:

- размер сечения ленточной пилы, $h \times b$, мм, $34 \times 1,1$;
- высота зуба h_z , мм, 4;
- материал ленты, Сталь 50ХФА;
- диаметр дисков, D , мм, 420;
- длина скручивания ленты, l , мм, 420;
- угол скручивания, φ , град., $75(1.3 \text{ град})$;
- сила резания, F_p , Н, 2760;
- скорость резания V_p , м/мин -65;
- усилие предварительного натяжения ветви ленты F_n , Н – 9900
($\sigma_n = 300 \text{ Н/мм}^2$)

На пилу действуют напряжения:

- а) от силы предварительного натяжения, σ_n , Н/мм^2 ;
- б) от силы резания, σ_p , Н/мм^2 ;
- в) от изгиба ленты на дисках, $\sigma_{и}$, Н/мм^2 ;
- г) от скручивания ленты, касательные напряжения, $\tau_{скр}$, Н/мм^2 .

1) Напряжения в ленте, σ_H Н/мм², от силы предварительного натяжения:

$$\sigma_H = \frac{F_H}{(h - h_3)b} \quad (1)$$

Подставляя численные значения в выражение 1 получим:

$$\sigma_H = \frac{9900}{(34 - 4) \cdot 1.1} = 300 \text{ Н/мм}^2$$

2) Напряжение, σ_p , Н/мм², вызванное силой резания:

$$\sigma_p = \frac{F_p}{(h - h_3)b} = \frac{2760}{(34 - 4) \cdot 1.1} = 83.6 \text{ Н/мм}^2, \quad (2)$$

Подставляя численные значения в выражение 2 получим:

$$\sigma_p = \frac{2760}{(34 - 4) \cdot 1.1} = 83.6$$

3) Напряжение в ленте от изгиба, σ_u , Н/мм²;

$$\sigma_u = \frac{b}{D} \cdot E \quad (3)$$

где E- модуль упругости первого рода, $E = 2.3 \cdot 10^5$ Н/мм².

Подставляя численные значения в выражение 3 получим:

$$\sigma_u \frac{1.1}{425} \cdot 2.3 \cdot 10^5 = 595.3, \text{ Н/мм}^2$$

4) Касательные напряжения, τ_{\max} , Н/мм², в скручиваемой части ленты:

$$\tau_{\max} = \frac{b}{l} \cdot G \cdot \varphi \quad (4)$$

где G- модуль сдвига, $G = 81 \cdot 10^3$ Н/мм², $\varphi = 1.3$ рад.

Подставляя численные значения в выражение 4 получим:

$$\tau_{\max} = \frac{1.1}{420} \cdot 8.1 \cdot 10^4 \cdot 1.3 = 275.8 \text{ Н/мм}^2$$

Суммарное напряжение и его изменение во времени можно получить из отдельных напряжений. Речь идет о колебаниях между

напряжением натяжения σ_H , как минимального напряжения, и результирующим напряжением $\sigma_{\max 1}$, составленным из напряжения изгиба, натяжения и резания, а также результирующим напряжением $\sigma_{\max 2}$, составленным из напряжения натяжения, натяжением резания и касательного напряжения, как максимальными напряжениями. [3]

Суммарные напряжения в полотне пилы, $\sigma_{\max 1}$ и $\sigma_{\max 2}$, Н/мм²:

$$\sigma_{\max 1} = \sigma_H + \sigma_u + \sigma_P \quad (5)$$

Подставляя численные значения в выражение 5 получим:

$$\sigma_{\max 1} = 300 + 595,3 + 83,6 = 979 \text{ Н/мм}^2$$

$$\sigma_{\max 2} = \sqrt{(\sigma_H + \sigma_P)^2 + 3 \cdot \tau_{\max}^2} \quad (6)$$

Подставляя численные значения в выражение 6 получим:

$$\sigma_{\max 2} = \sqrt{(300 + 83,6)^2 + 3 \cdot 275,8^2} = 612,7 \text{ Н/мм}^2$$

Напряжения в ленте пилы и проявление напряжений во времени показаны на рис. 1 и 2.

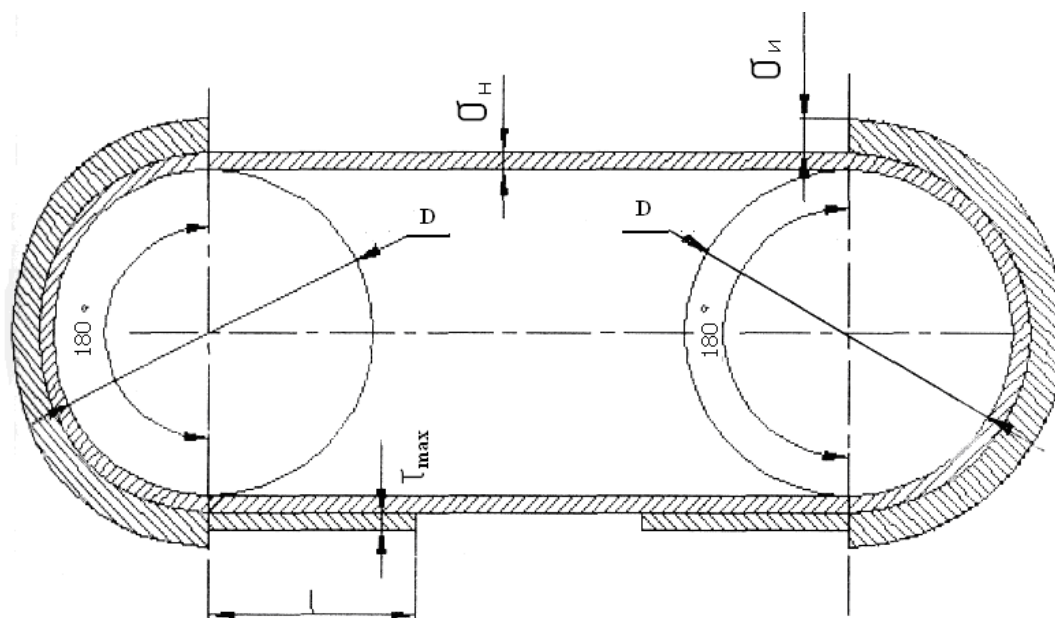


Рисунок 1. Напряжения в ленте пилы

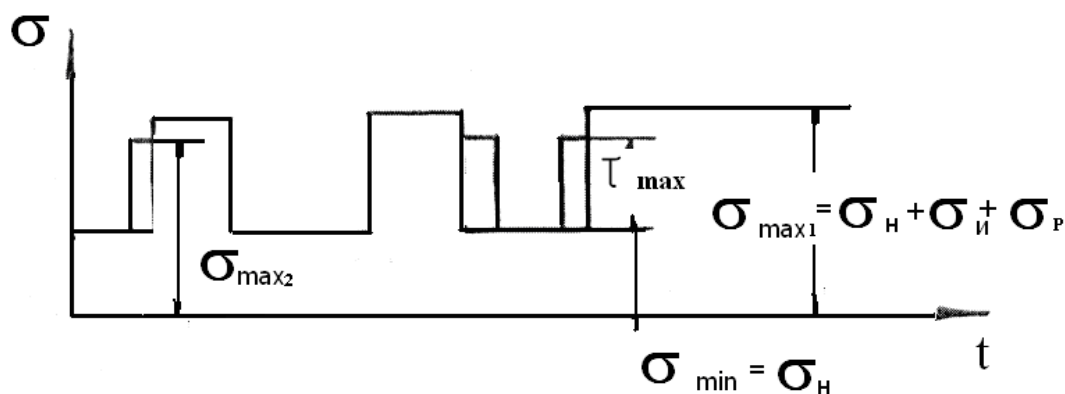


Рисунок 2. Проявление напряжений в теле пилы во времени

Условие обеспечения прочности ленты пилы в статическом состоянии (лента установлена на диски и натянута)

$$\sigma_{\max} \leq \frac{\sigma_t}{h_t} \quad (7)$$

где $\sigma_{\max} = \sigma_n + \sigma_u$

h_t -запас по пределу текучести, принимаемый равным 1.2

$$\sigma_{\max} = 300 + 595.3 = 895.3 \text{ Н/мм}^2$$

Тогда

$$895.3 \leq 1300/1.2$$

$$895.3 \leq 1083$$

Условие выполняется.

У скручиваемых ленточных пил дополнительно возникает давление на плоскость боковых сторон направляющих. Момент скручивания должен восприниматься этими боковыми сторонами направляющих. При этом следует различать давление на плоскость и опрокидывающее давление. Они повышают действующие на этом месте касательные напряжения и напряжение растяжения и тем самым влияют на долговечность пилы. Путем конструктивных решений, например, закруглением направляющих или установкой роликов с большим радиусом, можно существенно снизить давление на плоскость боковых сторон направляющих[3,4]

Расчет ленточной пилы на долговечность и усилия натяжения для обеспечения устойчивости процесса резания

Лента пилы в процессе работы испытывает переменные напряжения во времени, ее ресурс до появления трещин и разрыва из-за усталости материала ленты пилы зависит от величин данных напряжений и числа циклов нагружения.

1) Определим предел выносливости материала ленты σ_r при базовом числе циклов нагружений $N_6=10^7$

$$\sigma_r = (1 + ctg\beta) \cdot \frac{\sigma_T \cdot \sigma_{-1}}{\sigma_T + \sigma_{-1} ctg\beta} \quad (8)$$

где σ_{-1} - 750 Н/мм²;

σ_T - 1300 Н/мм²;

$$ctg\beta = \frac{1+r}{1-r} \quad (9)$$

r – коэффициент, учитывающий колебания напряжений равен:

$$r = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max_1}} \quad (10)$$

При $\sigma_{\min}=300$ Н/мм² и $\sigma_{\max_1}=979$ Н/мм² получим:

$$r = \frac{300}{979} = 0.31$$

Тогда:

$$ctg\beta = \frac{1+0.31}{1-0.31} = 1.9$$

Подставив численные значения в формулу 8 получим:

$$\sigma_r = (1+1.9) \cdot \frac{1300 \cdot 750}{1300 + 750 \cdot 1.9} = 1037,6 \text{ Н/мм}^2;$$

График нагружения представлен на рисунке 3.

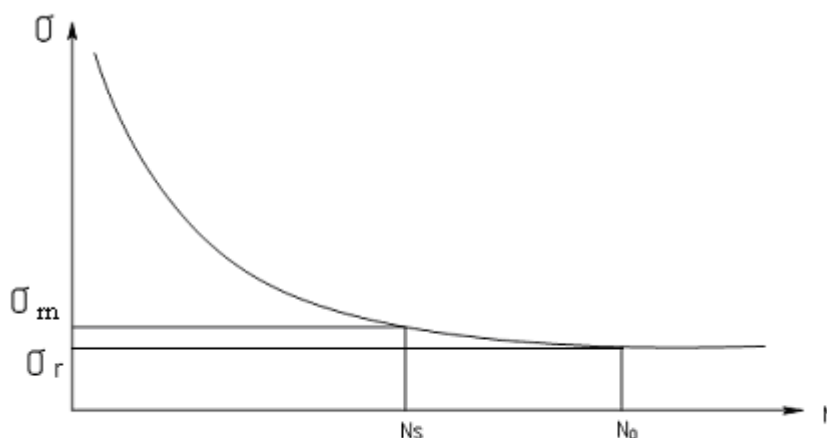


Рисунок 3. График нагружения

2) Находим число циклов нагружений из расчета ограниченного срока службы пилы до разрушения:

$$N=2\Pi \tag{11}$$

где Π – число пробегов за T часов, равное:

$$\Pi = 60T \frac{v}{L} \tag{12}$$

где T - срок службы пилы, 45 ч; L - длина пилы, 4.5 м; v - скорость пилы, 65 м/мин;

Тогда:

$$\Pi = 60 \cdot 45 \frac{65}{4.5} = 39000$$

Следовательно, число циклов нагружений равно:

$$N=78000$$

3) Определим коэффициент эквивалентности напряжений с учетом ограниченного срока службы:

$$k_s = \sqrt[m]{\frac{N_0}{N}} \tag{13}$$

где $m=6$;

Соответственно:

$$\kappa_3 = \sqrt[6]{\frac{10^7}{7.8 \cdot 10^4}} = 2.24;$$

4) Определим предел выносливости в условиях ограниченного срока службы σ_m Н/мм²,

$$\sigma_m = \kappa_3 \sigma_r \tag{14}$$

$$\sigma_m = 2.24 \cdot 1037.6 = 2324.2 \text{ Н / мм}^2$$

5) Определим напряжение, допускаемое в рабочей ветви в условиях ограниченного срока службы за вычетом перенапряжений, вызываемых огибанием дисков $[\sigma]_0$, Н/мм²:

$$[\sigma]_0 = \frac{\sigma_m}{\kappa_k |n|} - \sigma_u \tag{15}$$

где κ_k - коэффициент концентрации напряжений, равный 1.4; $|n|$ - коэффициент запаса прочности, равный 1.6;

Соответственно:

$$[\sigma]_0 = \frac{2324.2}{1.4 \cdot 1.6} - 595.3 = 442.2;$$

6) Определяем усилие натяжения рабочей ветви пилы $F_{p.в.}$

$$F_{p.в.} = [\sigma]_0 \cdot s \tag{16}$$

где s – площадь сечения ленты пилы за вычетом высоты зубьев, равная 33 мм²

Тогда $F_{p.в.} = 442.2 \cdot 33 = 14592.6$

7) Находим усилие натяжения холостой ветви $F_{x.в.}$, Н:

$$F_{x.в.} = \frac{F_{p.в.}}{l^{f\alpha}} \tag{17}$$

где f - коэффициент трения; α - угол охвата приводного диска в радианах, равный 3.14;

Соответственно:

$$F_{x.в.} = \frac{14592.2}{2.72^{0.15 \cdot 3.14}} = 9120$$

8) Определяем допускаемое окружное усилие P_0 :

$$P_0 = F_{p.g.} - F_{x.g.} \quad (18)$$

Подставляя численные значения получим:

$$P_0 = 14592,6 - 9120 = 5472 \text{ Н.}$$

Устойчивость процесса резания обеспечивается, т.к.

$$P_0 > F_p$$

$$5472 > 2760$$

Таким образом используя данную методику расчета возможно установить расчетные значения усилия натяжения, обеспечивающие устойчивость процесса резания для широкой номенклатуры ленточных пил. На основании данного расчета с достаточно высокой точностью возможно спрогнозировать стойкостные параметры пилы и использовать результаты в реальных производственных условиях[5]

Список литературы

1. Litvinov A.E. Cutting by means of band saws/ Litvinov A.E. Kornienko V.G., Suhonosov N.I // Russian engineering research 2011 г. №1 с.59-61
2. Литвинов А.Е. Исследование процесса резания на ленточнопильных станках/ Литвинов А.Е. Корниенко В.Г. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) №9(91)2013 г.
3. Литвинов А.Е. Износ и производительность, как основные факторы, влияющие на процесс резания на ленточнопильных станках // Современные проблемы науки и образования № 6, 2013 г. С. 42
4. Кудинов В.А. Динамика металлорежущих станков. – М.: Машиностроение, 1967. – 394 с.
5. Litvinov A.E. Theoretical Study of the Process of Noise Formation on Band Saws // World Applied Sciences Journal № 27 (12) 2013 г. с. 1566-1573

References

1. Litvinov A.E. Cutting by means of band saws/ Litvinov A.E. Kornienko V.G., Suhonosov N.I // Russian engineering research 2011 g. №1 s.59-61
2. Litvinov A.E. Issledovanie processa rezanija na lentochнопil'nyh stankah/ Litvinov A.E. Kornienko V.G. // Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) №9(91)2013 g.
3. Litvinov A.E. Iznos i proizvoditel'nost', kak osnovnye faktory, vlijajushhie na process rezanija na lentochнопil'nyh stankah // Sovremennye problemy nauki i obrazovanija № 6, 2013 g. S. 42

4. Kudinov V.A. Dinamika metallovezhushhih stankov. – M.: Mashinostroenie, 1967. – 394 s.
5. Litvinov A.E. Theoretical Study of the Process of Noise Formation on Band Saws // World Applied Sciences Journal № 27 (12) 2013 g. s. 1566-1573