

Научная статья

УДК 677.074.017

doi 10.34216/2587-6147-2021-3-53-37-40

Светлана Васильевна Букина¹

Татьяна Александровна Ситникова²

^{1,2}Костромской государственной университет, г. Кострома, Россия

¹tmbukina@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2137-7304>

²tatoshic27@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9859-4788>

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КРИТИЧЕСКОЙ СКОРОСТИ РЕЗАНИЯ МЕХАНИЗМА ФОРМИРОВАНИЯ И ОБРЕЗКИ ЛОЖНОЙ КРОМКИ ТКАЦКОГО РАПИРНОГО СТАНКА ФИРМЫ DORNIER

Аннотация. В настоящей работе сделана попытка разработки методики определения критической скорости резания нитей ложной кромки кромкообразующего механизма ткацкого рапирного станка фирмы Dornier. В предложенном способе расчета принят во внимание ударный характер протекания процесса резания при критической скорости, что позволяет учитывать взаимовлияние параметров рабочего процесса и более полно оценить механику данного процесса, в котором интенсивность силы резания и величина контактного напряжения принимают максимальное значение. В работе произведены расчеты критической скорости резания для некоторых основных типов используемых нитей и параметров лезвия ножа. Представленные результаты расчетов могут быть использованы для выбора рациональных конструктивных параметров лезвия ножа в зависимости от типа перерабатываемых нитей при проектировании и исследовании новых кромкообразующих механизмов на ткацких станках.

Ключевые слова: критическая скорость резания, параметры процесса резания, распространение напряжений, растягивающие силы, ткацкий рапирный станок, ложная кромка, нить

Для цитирования: Букина С. В., Ситникова Т. А. К вопросу определения критической скорости резания механизма формирования и обрезки ложной кромки ткацкого рапирного станка фирмы Dornier // Технологии и качество. 2021. № 3(53). С. 37–40. <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2021-3-53-37-40>.

Original article

Svitlana V. Bukina¹

Tatiana A. Sitnikova²

^{1,2}Kostroma State University, Kostroma, Russia

ON THE ISSUE OF DETERMINING THE CRITICAL CUTTING SPEED OF THE MECHANISM FOR FORMING AND TRIMMING THE FALSE EDGE OF THE DORNIER RAPIER LOOM

Abstract. In this paper, an attempt is made to develop a method for determining the critical cutting speed of the threads of the false edge of the edge-forming mechanism of the weaving rapier machine. The proposed calculation method takes into account the impact nature of the cutting process at a critical speed, which allows taking into account the mutual influence of the parameters of the working process and more fully assess the mechanics of this process, in which the intensity of the cutting force and the value of the contact stress take the maximum value. The paper calculates the critical cutting speed for some of the main types of threads used and the parameters of the knife blade. The presented calculation results can be used to select rational design parameters of the knife blade, depending on the type of processed threads, when designing and researching new edge-forming mechanisms on looms.

Keywords: critical cutting speed, cutting process parameters, stress propagation, tensile forces, rapier loom, false selvage, thread

For citation: Bukina S. V., Sitnikova T. A. On the issue of determining the critical cutting speed of the mechanism for forming and trimming the false edge of the Dornier rapier loom. Technologies & Quality. 2021. No 3(53). P. 37–40. (In Russ.) <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2021-3-53-37-40>.

Цель исследования заключается в выявлении взаимовлияния параметров процесса резания ложной кромки ткацкого рапирного станка фирмы Dornier при критической скорости, что позволяет более полно оценить механику процесса резания и выбрать оптимальные параметры лезвия при проектировании новых кромкообразующих механизмов на ткацких станках [1].

Постановка задачи. Надежность функционирования машин и оборудования является одной из важнейших характеристик их качества. В связи с увеличением нагрузочных и скоростных режимов технологического оборудования весьма актуальной становится задача получения не только высоких исходных прочностных характеристик, но и обеспечения их стабильности в процессе эксплуатации.

В зависимости от способа воздействия рабочего органа на материал различают три способа разрезания: пуансоном, лезвием и режком. При разрезании лезвием материал разрушается в основном под действием давления вершины двухгранного угла рабочей части ножа, называемой лезвием. Рабочий процесс разрезания материала лезвием состоит из двух этапов: предварительного уплотнения и собственно резания [2]. Процесс резания может быть осуществлен за счет как статического, так и динамического воздействия ножа на материал. Но поскольку нити ложной кромки оказывают незначительное сопротивление изгибу, то резание при статическом действии силы возможно лишь очень острым режущим инструментом, поэтому резание происходит при динамическом действии ножа, а основной характеристикой процесса резания становится скорость. Кроме того, безопорное резание осуществляется при отсут-

ствии противорезающей части. Из-за изменения и резкого увеличения скоростей как рабочих органов, так и других звеньев механизмов возникают существенные сбои в технологическом процессе, а критические скорости и ускорения ведомых звеньев машин и механизмов могут играть существенную роль при их анализе кинематики и динамики. Исследования, посвященные вопросам износостойкости и режущей способности ножниц механизма кромкообразования, изложены нами в работах [3, с. 134–142; 4, с. 159–168]. Кроме того, в работе [3, с. 134–142] приведены значения линейных и угловых скоростей работы кромочного механизма высокоскоростного ткацкого станка фирмы Dornier, которые не превышают 0,8 м/с. Исследования, посвященные вопросам динамического изучения отдельных механизмов, изложены в работах [5, с. 47–49; 6, с. 65–67]. Известно [7, 8], что для достижения устойчивости работы механизмов на высокоскоростном оборудовании требуется вычисление ряда зависимостей, характеризующих механику установившегося движения машинного агрегата, обеспечивающих нормальные условия течения технологического процесса, с требуемыми скоростями, не превышающими допустимой нормы.

В настоящей работе предлагается методика определения критической скорости резания кромочных нитей. На рисунке схематично изображена встреча лезвия 1 с нитью 2 в пространстве (рис. а). Выделим в зоне резания бесконечно малый элемент в форме кубика с шириной Δx , равной толщине лезвия ножа, и рассмотрим распространение напряжений в нем, показанные на рис. б.

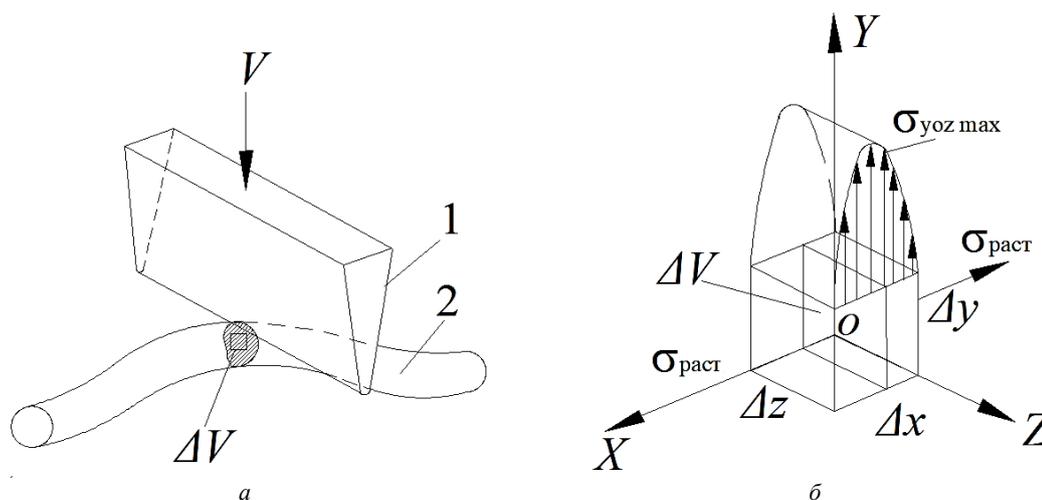


Рис. Схема для определения критической скорости резания кромочных нитей:
а – взаимодействие лезвия ножа 1 с нитью 2; б – распространение напряжений в элементе ΔV

Сам процесс разрезания представляет собой последовательность упругих и пластических деформаций, которые завершаются разрушением материала. Для материалов, подчиненных закону Гука (каким является растяжимая нить), деформация нити прямо пропорциональна нагрузке. Тогда можно принять, что распределение деформации нити в плоскости YOZ соответствует форме кромки лезвия. В плоскости YOZ интенсивность силы резания и величина контактного напряжения принимают максимальные значения. Выразим эти величины через σ_{YOZmax} , что позволяет найти требуемую критическую скорость резания нити для заданных условий резания.

Допустим, что кромка лезвия в плоскости XOY описывается кривой $y = f(x)$. Тогда после некоторых преобразований для σ_{YOZmax} можно написать

$$\begin{aligned} \sigma_{YOZmax} &= \sigma_{YOZcp} \frac{y_{max}}{y_{cp}} = \\ &= \sigma_{YOZcp} \frac{\Delta x}{\Delta x y_{cp} + 2 \int_0^{\frac{\Delta x}{2}} f(x) dx} \end{aligned} \quad (1)$$

От воздействия σ_{YOZmax} в направлении оси X возникают напряжения $\sigma_{раст.max}$. Раздвоение кубика в плоскости YOZ возможно как от действия σ_{YOZmax} , так и от $\sigma_{раст.max}$.

Так как при критической скорости опорного резания нитей вдоль длины нитей не должны возникать какие-либо растягивающие силы, то условия разделения кубика, отвечающие этому требованию, могут быть описаны выражением

$$m_{\Delta} a > 2 F_{YOZ} \sigma_{раст.max} \quad (2)$$

где m_{Δ} – масса рассматриваемого элемента;
 a – ускорение распространения напряженно-состояния по всему объекту элемента разрезанной нити;
 F_{YOZ} – площадь поперечного сечения этого элемента;
 $\sigma_{раст.max}$ – напряжение растяжения по оси X,

$$\sigma_{раст.max} = \mu \sigma_{раст.max} \quad (3)$$

где μ – коэффициент Пуассона.

В формуле (2) неизвестным является ускорение a , для определения которого сделаны следующие допущения: масса m_{Δ} бесконечно

мала в сравнении с массой ножа; скорость ножа после резания с достаточной точностью равна его скорости до начала резания, т. е.

$$a = \frac{V}{t} \quad (4)$$

где V – скорость ножа, м/с;
 t – продолжительность соударения ножа с нитью в период резания, в течение которого распространяется напряженное состояние элемента по всему объему.

Время t можно определить, используя теорию удара. При встрече нити с ножом (см. рис. а) начинается сжатие бесконечно малого его элемента, непосредственно примыкающего к зоне контакта. Это сжатие передается следующему элементу и так далее, т. е. этот процесс постепенно развивается во времени. В технике такие процессы известны как волновые явления при ударе. Скорость распространения ударных волн во много раз больше скорости соударяемых тел. Таким образом можно сделать вывод, что масса m_{Δ} будет приобретать необходимое ускорение за период распространения ударной волны по поперечному сечению нити.

Тогда период распространения ударной волны можно определить из выражения

$$t = \frac{\Delta y}{\sqrt{\frac{E}{\gamma} g}} \quad (5)$$

где Δy – высота элемента, м;
 E – модуль упругости материала, Н/м²;
 g – ускорение свободного падения, м/с²;
 γ – удельная сила тяжести волокна, Н·с²·м⁻².

После подстановки значений a и $\sigma_{раст.max}$ в уравнение (2) получим формулу для определения минимального значения критической скорости резания $V_{кр}$:

$$V_{кр} > 2 \Delta y \cdot \frac{\sigma_{разр} [\Delta x y_{cp} + 2 \int_0^{\frac{\Delta x}{2}} f(x) dx]}{\Delta x^2 y_{cp} \sqrt{\frac{\gamma E}{g}}} \quad (6)$$

Определим критическую скорость резания по формуле (6) для некоторых основных типов исследуемых нитей и параметров ножа: $\Delta x = 0,01 \cdot 10^{-3}$ м и $f(x) = 0,5x^2$.

Необходимые при расчете данные и полученные результаты приведены в таблице.

ВЫВОДЫ

1. Получена зависимость для определения критической скорости резания для некоторых основных типов исследуемых нитей.

2. Результаты расчетов показывают, что величина критической скорости резания для различных типов нитей существенно отличается.

3. Теоретические значения критической скорости резания нитей значительно выше скорости резания нитей на современных станках, вследствие чего разрезание нитей сопровождается возникновением растягивающих сил вдоль длины нити.

Таблица

Параметры исследуемых нитей

Тип исследуемой нити	Механические показатели исследуемой нити				
	напряжение разрыва $\sigma_{\text{разр.}}$, Н/мм ²	модуль упругости E , Н/мм ²	удельный вес γ , Н/мм ³	условный диаметр нити d , мм	критическая скорость резания $V_{\text{рез.}}$, м/с
Хлопок	360	5250	$(1,50 \dots 1,58) \cdot 10^{-5}$	0,0133...0,0105	24...31
Шерсть	180	1800	$(1,30 \dots 1,32) \cdot 10^{-5}$	0,0416...0,0208	49,5...99,0
Шелк	460	485	$(1,33 \dots 1,34) \cdot 10^{-5}$	0,0543...0,0303	96,0...177,0
Лен	600	19500	$1,5 \cdot 10^{-5}$	0,0188...0,0118	23,4...33,0

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Приводные системы ткацких станков / под ред. И. А. Мартынова. М.: Легпромиздат, 1991. 272 с.
2. Основы теории резания лезвием // Нехожеными тропами. URL: <http://nehozhenoe.ru/2011/02/12/osnovy-teorii-rezaniya-lezviem> (дата обращения: 02.02.2021).
3. Гусев В. А., Букина С. В., Дубинкин К. В. К вопросу исследования износостойкости ножниц механизма кромкообразования ткацкого рапирного станка фирмы Dornier // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2011. № 5(334). С. 134–142.
4. Букина С. В., Сысоева Е. К. Динамическое исследование рычажного механизма кромкообразования ткацкого рапирного станка фирмы Dornier для испытания режущей способности механизма // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2015. № 5(358). С. 159–168.
5. Букина С. В. Динамическое проектирование рычажного механизма кромкообразования ткацкого станка фирмы Dornier с учетом статической характеристики электродвигателя // Вестник Костромского государственного технологического университета. 2015. № 1(34). С. 47–49.
6. Кузина Т. А., Болотный А. П. Влияние динамики испытательной машины на процесс разрушения нити при нерегулярных нагрузках // Вестник Костромского государственного технологического университета. 2005. № 11. С. 65–67.
7. Пановко Я. Г. Основы прикладной теории колебаний и удара. Изд. 5-е. М.: Либрком, 2010. 272 с.
8. Коловский М. З. Динамика машин. Л.: Машиностроение, 1989. 263 с.

REFERENCES

1. Drive systems of looms. Martynov I. A. (ed.). Moscow, Legpromizdat, 1991. 272 p. (In Russ.)
2. *Osnovy teorii rezaniya lezviem* [Fundamentals of the theory of cutting with a blade]. URL: <http://nehozhenoe.ru/2011/02/12/osnovy-teorii-rezaniya-lezviem> (Accessed 01.06.2021).
3. Gusev V. A., Bukina S. V., Dubinkin K. V. On the issue of studying the wear resistance of scissors of the edge-forming mechanism of the Dornier loom. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti* [Textile Industry Technology (Series Proceedings of Higher Educational Institutions)]. 2011;5(334):134–142. (In Russ.)
4. Bukina S. V., Sysoeva E. K. Dynamic study of the lever mechanism of edge formation of the Dornier loom for testing the cutting ability of the mechanism. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti* [Textile Industry Technology (Series Proceedings of Higher Educational Institutions)]. 2015;5(358):159–168. (In Russ.)
5. Bukina S. V. Dynamic design of the lever mechanism of edge formation of the Dornier loom with consideration of the static characteristics of the electric motor. *Vestnik Kostromskogo gosudarstvennogo technologicheskogo universiteta* [Bulletin of the Kostroma State Technological University]. 2015;1(34):47–49. (In Russ.)
6. Kuzina T. A., Bolotny A. P. Influence of the dynamics of the testing machine on the process of thread destruction under irregular loads. *Vestnik Kostromskogo gosudarstvennogo technologicheskogo universiteta* [Bulletin of the Kostroma State Technological University]. 2005;11:65–67. (In Russ.)
7. Panovko Ya. G. Fundamentals of the applied theory of vibrations and shock. Ed. 5-e. Moscow, Librkom. 2010. 272 p.
8. Kolovsky M. Z. Dynamics of machines. Leningrad: Mashinostroenie Publ., 1989. 263 p.

Статья поступила в редакцию 18.06.2021
Принята к публикации 18.08.2021