УДК 677.021

ОБОСНОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К ПЕРЕХОДНЫМ ПОВЕРХНОСТЯМ (КРОМКАМ) РАБОЧИХ ОРГАНОВ МАШИН ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ НАТУРАЛЬНЫХ ВОЛОКОН

Р.В. КОРАБЕЛЬНИКОВ, А.Р. КОРАБЕЛЬНИКОВ, Д.А. ЛЕБЕДЕВ

(Костромской государственный технологический университет)
E-mail: info@kstu.edu.ru

В статье рассматриваются вопросы оценки контактных взаимодействий с волокном при обосновании требований к кромкам рабочих органов машин для переработки натуральных волокон.

The questions of the estimation of contact interactions with a fiber at the substantiation of requirements to the edges of the machine's attachments for reprocessing of natural fibres are considered in the article.

Ключевые слова: волокно, контактное взаимодействие, напряжения, кромки рабочих органов, котонизация.

В процессе переработки натуральных волокон (хлопка, льна и других) такие процессы, как очистка, чесание, штапелирование и прочие, в силу своих особенностей накладывают определенные требования к переходным поверхностям (кромкам) рабочих органов. Это, в первую очередь, следует относить к таким рабочим органам, как зубья джинных и линтерных пил, пильчатая лента очистителей хлопка и льняного волокна, цельнометаллическая пильчатая лента чесальных машин и игольчатая гарнитура при чесании как хлопка, так и льняного волокна, а также к режущим кромкам ножей резательных машин, применяемых, например, для штапелирования.

В табл. 1 приведены некоторые данные о требованиях к кромкам рабочих органов машин, взаимодействующих с волокном. Так, большие требования предъявляются к состоянию джинных и линтерных пил. Если у джинных пил они должны быть притуплены, то у линтерных пил – наоборот.

Таблица 1

№ п/п	Технологическая операция	Хлопок		Лен	
		волокно	линт	трепаный	коротко-штапельный
1	Очистка сырца	-	-		
2	Джинирование и линтерование	-	+		
3	Очистка волокна в свободном состоянии	-	-	-	+
4	Очистка волокна в зажатом состоянии:				
	– захват	+	-	+	+
	– накалывание	-	-	+	+
	– скобление	-	-	+	+
	– расщепление	-	-	+	+
5	Чесание	+/-	-	+	+
6	Резка (штапелирование)	-	-	-	+

Примечание: (-) – рабочие кромки должны быть притуплены; (+) – рабочие кромки должны быть острыми.

Известно [1], что механическая поврежденность хлопковых волокон в зависимости от сорта волокна составляет от 15 до 40%. Причиной этого в большинстве случаев является неудовлетворительное состояние рабочих кромок зубьев пильчатых рабочих органов очистителей хлопка, джинных пил и волокноочистительных машин. При линтеровании семян в производстве линта зубьям пил необходимо придавать остроту кромок, так как процесс линтерования зависит от эффективности соскабливания короткого волокна (линта) с семян.

Требования к технологическим поверхностям рабочих органов хлопкоочистительных машин, в том числе и к кромкам, в какой-то мере обоснованы в работах [2] и [3].

Как следует из табл. 1, повышенные требования к остроте рабочих органов должны предъявляться для машин по переработке льняного волокна как при очистке, так и при чесании. Это в первую очередь определяется особенностью строения льняного волокна. Как отмечалось ранее [4], процесс расщепления льняных комплексов может происходить как в результате взаимодействия острия их с волокном, так и за счет различных воздействий, приводящих к деформациям сдвига, изгиба, кручения и др. [5].

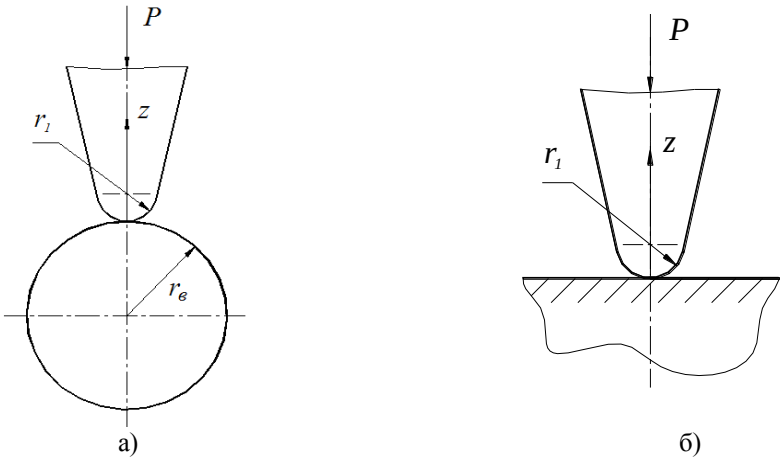
Эффективность этих процессов, особенно накалывания и скобления, зависит от состояния кромок гарнитуры, их острия. Для этих целей, как отмечалось в работах [5], [6], необходимы новые конструкции игл с переходными кромками на боковых поверхностях, что возможно у игл плоской и трехгранной формы.

Для оценки влияния вариантов конструкции рабочих органов на эффективность процессов накалывания и последующего расщепления достаточно провести качественную оценку контактных взаимодействий их с перерабатываемым волокном.

Теоретических разработок контактных явлений твердых тел с натуральным волокном, кроме работ Р.З. Бурнашева нет, поэтому воспользуемся методикой, изложенной в работе [3]. В основе методики лежит теория Герца. Используя все допущения, принятые в этой работе, применим ее для качественных сравнений контактных условий.

Рассмотрим наиболее типовые схемы взаимодействия волокон с кромками рабочих органов.

В процессе котонизации льняного волокна важную роль играет процесс накалывания иглой льняных комплексов. Этот процесс может оцениваться величиной контактных напряжений, возникающих как при контакте цилиндрического тела с поверхностью в виде шара, так и при взаимодействии шаровой поверхности с плоскостью (например, при контакте с матрицей волокна). Кончик острия иглы как при заточке, так и при эксплуатации игл имеет форму, приближенную к сферической. На рис.1 показана схема взаимодействия, где P – сила, сжимающая поверхности тел; r_1 – радиус острия иглы; $r_в$ – радиус волокна.



а) б)

Рис. 1

Максимальные нормальные напряжения для этих случаев вычисляются по формулам [7], [8]:

– для схемы с эллиптической площадкой (рис. 1-а)

$$\sigma_{z\max} = \frac{1,5P}{\pi ab}; \qquad (1)$$

– для схемы с круговой площадкой (рис. 1-б)

$$\sigma_{z\max} = \frac{1,5P}{\pi a^2}, \qquad (2)$$

где a, b – размеры полуосей контакта, которые вычисляются по формулам:

$$a = n_a\left(\frac{3}{2}\frac{\eta}{\sum\rho}P\right)^{\frac{1}{3}}, \qquad (3)$$

$$b = n_b\left(\frac{3}{2}\frac{\eta}{\sum\rho}P\right)^{\frac{1}{3}}, \qquad (4)$$

где η – комплексная характеристика упругих свойств контактирующих материалов, определяемая как

$$\eta = \frac{1-\upsilon_1^2}{E_1} + \frac{1-\upsilon_2^2}{E_2}, \qquad (5)$$

где υ_1, υ_2 – коэффициенты Пуассона; E_1, E_2F – модули упругости материала волокна и иглы; $\sum\rho$ – сумма главных кривизн поверхностей соприкасающихся тел, $\rho = \frac{1}{r}$; n_a, n_b – коэффициенты, учитывающие кривизну поверхностей и определяемые по таблицам [8].

Для нашего случая контакта волокна с рабочим органом из стали, то есть при $E_2 >> E_1$, будем иметь:

$$\eta = \frac{1-\upsilon_1^2}{E_1}, \qquad (6)$$

а коэффициенты n_a и n_b могут быть приняты равными единице, так как согласно [8] $n_a = 1,01$; $n_b = 0,98$.

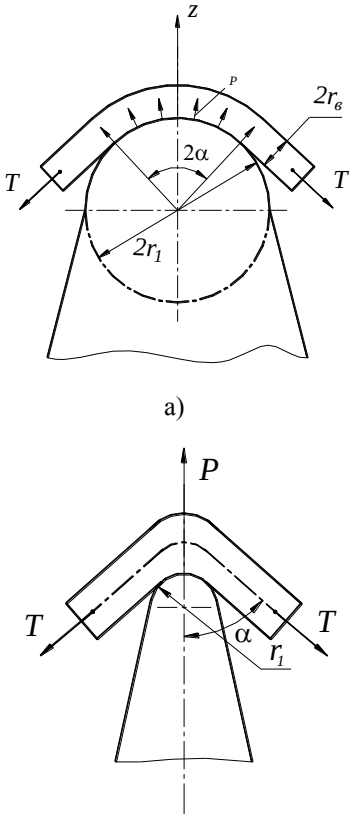


Рис. 2

При взаимодействии волокна с заостренной кромкой по схеме, представленной на рис. 2-а, где волокно огибает цилиндрическую поверхность кромки, наибольшее давление в зоне контакта будет:

$$q_0 = \sigma_{z\max} = \sqrt{\frac{T}{\pi\eta r_1 r_в}}. \qquad (7)$$

Для случая нагружения по схеме, изображенной на рис. 2-б, заостренная кромка, диск с волокном, будем иметь:

$$P = 2T\cos\alpha. \qquad (8)$$

Максимальное давление в зоне контакта будет:

$$q_0 = \sigma_{z\,max} = \frac{1{,}5P}{4{,}15\sqrt[\frac{3}{2}]{P\frac{D_1 D_в}{D_1 + D_в}\eta}} = \frac{3T\cos\alpha}{4{,}15\sqrt[\frac{3}{2}]{2T\cos\alpha\frac{D_1 D_в}{D_1 + D_в}\eta}}, \qquad (9)$$

где $D_1 = 2r_1$; $D_в = 2r_в$; α – угол огибания кромки.

Для оценки максимальных давлений в зоне контакта и влияния на них величины заостренности кромки произведем расчет давлений при следующих параметрах: P=1,0 кгс; D_1=0,01÷1,0 мм; $D_в$=0,02 мм; υ_1=0,3; $E_1 = 0{,}4 \cdot 10^2 \frac{кгс}{мм^2}$.

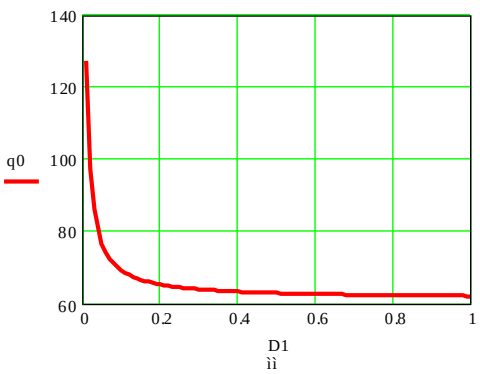


Рис. 3

На графике (рис. 3 – зависимость контактных давлений от размера кромки) показана такая зависимость. Острота кромок является важнейшим параметром, влияющим на напряжение в зоне контакта. Это напряжение существенно усиливается при перемещении волокна по кромке.

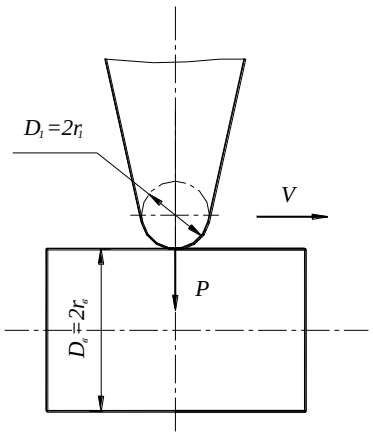


Рис. 4

Для случая взаимодействия кромки с волокном при скоблении (рис. 4) максимальное напряжение в зоне контакта может быть определено по следующей формуле [8]:

$$q_0 = \sigma_{z\,max} = 188{,}48 n_\sigma P^{\frac{1}{3}} \left(\frac{r_1 + r_в}{r_1 r_в}\right)^{\frac{2}{3}}, \qquad (10)$$

где

$$n_\sigma = f(\Omega); \qquad (11)$$

$$\Omega = \frac{r_1 - r_в}{r_1 + r_в}. \qquad (12)$$

Согласно расчетам для нашего случая $n_\sigma = 0{,}98$.

В случае смещения контакта вдоль волокна появляется трение. Эквивалентное напряжение в волокне согласно [5] будет:

$$\sigma_{экв} = q_0 \left[(1 - 2\upsilon_1)^2 + 4\mu^2\right]^{\frac{1}{2}}, \qquad (13)$$

где μ – коэффициент трения кромки о волокно.

Возникающие при взаимодействии кромок игл с волокном напряжения приведут к расслоению комплексов в случае превышения ими предела текучести склеивающего материала между элементарными волокнами.

Таким образом, предложена методика оценки контактных напряжений при взаимодействии кромок рабочих органов с волокном, которые необходимо учитывать при формировании требований к переходным поверхностям (кромкам) рабочих органов машин для очистки натуральных волокон.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Мирошниченко Г.И.* Основы проектирования машин первичной обработки хлопка. – М.: Машиностроение, 1972.

2. *Махкамов Р.Г.* Основы процесса взаимодействия поверхностей твердых тел с волокнистой массой. – Ташкент: ФАН, 1979.

3. *Бурнашев Р.З.* Теоретические основы технологии очистки хлопка-сырца: Дис.… докт. техн. наук. – Ташкент, 1983.

4. *Корабельников А.Р., Вихарев С.Н., Корабельников Р.В.* // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2008, № 3. С.24…26.

5. *Корабельников А.Р., Вихарев С.Н., Корабельников Р.В.* // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2008, № 5. С.31…33.

6. *Вихарев С.Н.* Совершенствование оборудования и методов получения и очистки короткоштапельного льняного волокна: Дис.… канд. техн. наук. – Кострома, 2008.

7. Справочник машиностроителя (в шести томах) / Под ред. С.В. Серенсена. – Т. 3. – М., 1969.

8. Методические указания. Надежность в технике. Методы испытаний на контактную усталость. Изд-во стандартов. – М. 1974.

Рекомендована кафедрой теории механизмов и машин, деталей машин и проектирования технологических машин. Поступила 04.06.10.