

АНАЛИЗ ПРИЧИН ЛОКАЛЬНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ ЛЬНЯНОГО ВОЛОКНА В ЗОНЕ УДАРА ПРИ ТРЕПАНИИ*

С.В. БОЙКО

(Костромской государственной технологической университет,
Всероссийский научно-исследовательский институт по переработке лубяных культур)

Важнейшей задачей процесса трепания льна является получение максимального выхода длинноволокнистых фракций должного качества. Количество волокнистых отходов при этом должно быть наименьшее. И хотя их образование происходит в силу различных причин [1], при правильной организации процесса трепания к основным видам отходов можно отнести обрывы волокон из-за превышения допустимых напряжений при растяжении, а также обрывы вследствие локальных разрушений волокнистой пряжи в местах ее соприкосновения с кромками бил.

Детальное исследование причин образования волокнистых отходов вследствие превышения предела прочности при растяжении в условиях использования стандартной тресты выявило несостоятельность гипотезы такого механизма разрушения. Было экспериментально установлено, что прочность волокна на разрыв на порядок превышает возникающие в нем напряжения [2].

Таким образом, представляет практический интерес исследование особенностей локальных повреждений волокна в условиях его контакта с поверхностью кромки бил.

По результатам опубликованных работ, посвященных изучению механизма разрушения волокна, было выдвинуто несколько гипотез. Одна из них связана с формированием надрывов волокон, находящихся внутри волокнистых комплексов (слоя), вторая основана на превышении предельных удлинений находящегося вблизи поверхности кромки волокна в момент удара. Третья гипотеза связана с разрушением волокна при его износе.

Предыдущими исследователями анализ механизмов разрушения технических льняных волокон по первой гипотезе [3] проводился без учета влияния поперечного сжатия волокна на кромке, вследствие его инертности на общий характер явлений на участке. Поэтому полученные в работе [3] результаты не приемлемы для рассматриваемого нами случая.

Предложенный нами дискретный метод расчета кинематических и силовых параметров нагружения пряжи в процессе взаимодействия с билом, основанный на синтезе теории механики нити и удара [4], позволяет исследовать влияние физико-механических характеристик пряжи волокна на его кинематические и динамические параметры при трепании. Появилась также возможность оценить правомочность применения второй гипотезы в части определения причин разрушения волокна.

Исследовались закономерности изменения удлинения волокна ϵ в момент удара по нему билом в зависимости от радиуса рабочей кромки била r (1...6 мм), скорости движения била V (10...70 м/с), толщины обрабатываемого слоя Δ с учетом его поперечного сжатия на кромке вследствие инертности. При проведении расчетов в первом приближении приняли, что инерционное сопротивление волокна при ударе пропорционально толщине обрабатываемого слоя волокна.

Значения параметра Δ были приняты в относительных единицах (%). $\Delta=100\%$ соответствует стандартной толщине слоя 1...2 стебля. Распределение линейной плотности пряжи по ее длине соответствовало реальному [5].

* Работа выполнена под руководством проф., докт. техн. наук Е.Л. Пашина.

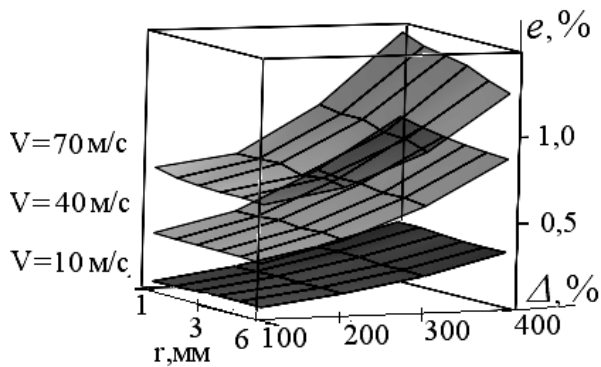


Рис. 1

Результаты моделирования представлены в виде графиков на рис.1 – зависимость относительного удлинения волокна в момент удара от радиуса рабочей кромки била, толщины слоя и скорости била.

Анализ результатов позволил установить, что при ударе величина относительного удлинения волокна, прилегающего к рабочей кромке била, значительно возрастает с увеличением толщины обрабатываемого слоя и скорости перемещения била. Существенной зависимости от радиуса рабочей кромки била не выявлено.

При обзоре литературы, посвященной исследованиям аналогичных трепанию процессов, отмечена работа [6]. В ней рассмотрена задача поперечного удара по гибкой нити телом заданной формы в предположении наличия сосредоточенных сил в точках излома нити в случае неупругого удара. Авторами сделан вывод, что продольная деформация нити приближенно пропорциональна первой степени скорости удара, первой степени времени и обратно пропорциональна радиусу ударяющего цилиндра.

В работе приведены фотографии скоростной киносъемки поперечного удара по резиновому жгуту диаметром 8 мм клином и цилиндром диаметром 70 мм со сравнительно небольшой скоростью и со скоростью 50 м/с.

Эта же задача решена при использовании предлагаемой нами модели ударного взаимодействия нити и твердого тела [4].

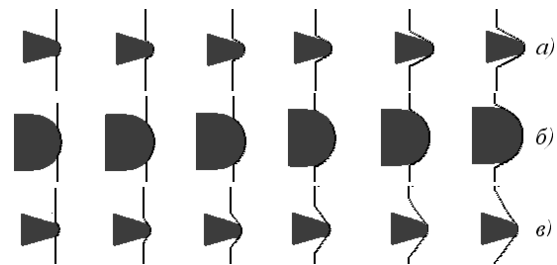


Рис. 2

В результате моделирования получена картина положений жгута, представленная на рис. 2 (взаиморасположение нити и била в процессе удара: а) скорость удара клином 50 м/с; б) скорость удара цилиндром 50 м/с; в) скорость удара клином 10 м/с). Было констатировано хорошее совпадение с результатами, опубликованными в работе [6, с. 84].

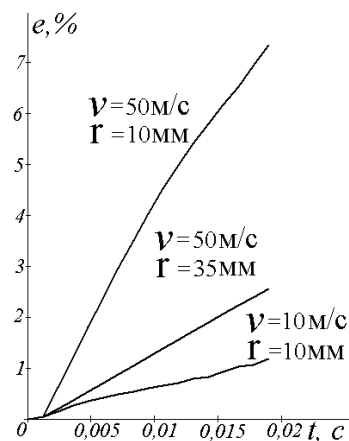


Рис. 3

Так же были получены представленные на рис. 3 зависимости от времени относительной деформации жгута для случаев удара клином и цилиндром различных радиусов с различными скоростями. Их анализ позволяет заключить, что деформация: $e \approx \frac{vt}{\Gamma}$, где v – скорость удара; t – время; Γ – радиус цилиндра. Этот вывод согласуется с результатами, приведенными в [6].

Таким образом, для нити из материалов с небольшим модулем упругости (например, резины) формула $e \approx \frac{vt}{\Gamma}$ справедлива, а для нити из материалов с большим модулем упругости (например, льна) – ею пользоваться нельзя.

Это объясняется тем, что скорость распространения деформаций зависит от модуля упругости материала. Указанная формула справедлива, если скорость движения "точки излома" (термин авторов работы [6]) нити при ударе больше скорости распространения деформаций (скорости звука). Как известно, скорости звука тем больше, чем больше модуль упругости материала E : $a = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$, где ρ – плотность материала.

Численные эксперименты показали, что при скоростях удара до 50 м/с существенное влияние радиуса ударяющего тела на деформацию нити имеет место только в случаях, если модуль упругости материала нити $E \leq 10^6$ Па. Так как для льна модуль упругости материала $10^8 \dots 10^{10}$ Па [7], [8], а при обработке трепанием рабочая скорость была не превышает 15 м/с, то радиус рабочей кромки била на деформацию растяжения волокна при ударе влияния не оказывает. В таких условиях, по нашим расчетам, величина относительного удлинения волокна в момент удара не превышает 0,5% (рис.1). Допустимое же удлинение льняного волокна 2...3% [8].

Следовательно, волокно повреждается не вследствие превышения допускаемых напряжений растяжения, а по иной причине. Такой вывод исключает возможность использования второй гипотезы разрушения волокна, основанной на превышении предельных удлинений находящегося вблизи поверхности кромки волокна в момент удара.

Изыскание иных возможных и соответствующих существованию процесса механизмов разрушения позволило сложиться мнению о правомерности третьей гипотезы о причине разрушения волокна – его износе. Характерные признаки износа наблюдаются на контактирующей с волокном поверхности бильной планки [9].

Контактирующие поверхности (бильная планка и заостренное волокно) под воздействием сил трения могут разрушаться различным образом. Одним из видов износа является абразивный износ. Как известно, под термином "абразивный износ"

подразумевается разрушение под воздействием твердых частиц (в нашем случае – костры). Однако эти твердые частицы могут производить совершенно разное механическое действие, начиная от микрорезания и кончая упругим деформированием материала. Все зависит от формы твердых мелких частиц, степени их закрепленности, действующей нагрузки [10].

С учетом этого констатируем, что при контактировании жесткой костринки с пластически деформируемой волокнистой прядью костринка, выполняя роль абразива, будет внедряться в волокнистое пластическое полупространство. Критерием перехода от пластического оттеснения к резанию является отношение глубины внедрения истирающего тела (костринки) к его характерному размеру [10]. При увеличении удельного давления и соответственно глубины внедрения костринки процесс оттеснения волокна будет переходить в процесс резания.

Представим костринку неровностью, имеющей в сечении равнобедренный треугольник с углом при основании θ .

С некоторым приближением можно полагать, что интенсивность износа при микрорезании при единичном воздействии:

$$I_h = \frac{\operatorname{tg} \theta}{2(\eta + 1)} \frac{N}{HB},$$

где η – коэффициент, учитывающий шероховатость истирающей поверхности (например, для гладкой поверхности $\eta = 3$, для напильника $\eta = 2$); N – удельное давление; HB – твердость волокна [10].

Определить численное значение интенсивности износа волокна при микрорезании не представляется возможным вследствие того, что неизвестна величина твердости волокна. Однако можно констатировать тот факт, что рост удельного давления N однозначно увеличивает износ волокнистой пряди.

При использовании предлагаемой нами в настоящей работе модели ударного взаимодействия волокна и твердого тела было исследовано влияние на величину удельного давления на волокно со стороны

била в момент удара скорости била, радиуса кромки била и толщины обрабатываемого слоя.

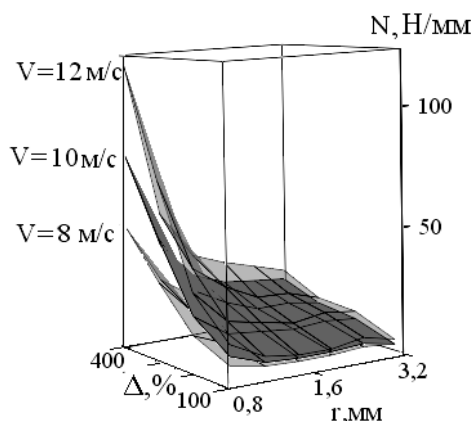


Рис. 4

Результаты исследований представлены на рис. 4 – зависимость удельного давления на волокно в момент удара от радиуса рабочей кромки била, толщины слоя и скорости била.

Анализ результатов расчета позволил установить, что удельное давление растет с увеличением скорости движения била, толщины обрабатываемого слоя и с уменьшением радиуса рабочей кромки била. При скорости движения 8...12 м/с (соответствует частоте вращения 200...300 об/мин трепальных барабанов радиусом 0,37 м) рост удельного давления предопределен уменьшением радиуса закругления рабочей кромки била и увеличением толщины слоя материала. Сочетание большой скорости перемещения била, малого радиуса закругления его рабочей кромки и толщины обрабатываемого слоя более 1...2 стебля может привести к значительному разрушению волокна в результате микрорезания.

Таким образом, анализ возможных причин разрушения волокна в зоне удара позволил установить, что в данном случае превалирующее значение имеет микрорезание волокна костью. Интенсивность разрушения волокна вследствие его износа возрастает с увеличением заостренности волокна и ростом удельного давления на кромку била.

ВЫВОДЫ

1. Сравнительный анализ причин локальных повреждений льняного волокна при трепании вблизи зоны его зажима выявил, что указанные повреждения в основном происходят в результате абразивного износа обрабатываемого материала.

2. Интенсивность разрушения возрастает с увеличением заостренности волокна, ростом толщины обрабатываемого волокнистого слоя, скорости перемещения била и уменьшением радиуса закругления его рабочей кромки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лапшин А.Б., Пашин Е.Л. Развитие теории процесса трепания льна: Монография. – Кострома: КГТУ, 2004.
2. Пашин Е.Л. О причинах образования отходов при трепании льна. Деп. рукоп. Деп. в ГНТБ Украины № 1769-Ук95, 10.07.95. 33с.
3. Разин С.Н., Пашин Е.Л. Теоретические основы совершенствования механической модификации льна: Монография. – Кострома: КГТУ, 2005.
4. Моделирование взаимодействия волокна с прямолинейно движущимся билем в процессе трепания льна. Бойко С.В., Гришин А.Г., Волков Д.А. Деп. рукоп. Деп. в ВИНТИ, №607 –В2007, 08.06.07. 15с.
5. Исследование свойств недотрепаного волокна и их изменение в процессе его обработки. Бойко С.В., Пашин Е.Л. Деп. рукоп. Деп. в ВИНТИ № 1424-В2006, 20.11.06. 49с.
6. Рахматуллин Х.А., Демьянов Ю.А. Прочность при интенсивных кратковременных нагрузках. – М.:Физ.-мат.лит.,1961.
7. Крагельский И.В. Физико-механические свойства лубяного сырья. – М.: Гизлегпром, 1939.
8. Ипатов А.М. Теоретические основы механической обработки стеблей лубяных культур. – М.: Легпромбытиздат, 1989.
9. Матвеев И.А. Экспериментальное исследование долговечности бильных планок трепальных машин первичной обработки льна: Дис...канд. техн. наук. – Кострома, 1972.
10. Крагельский И.В. Трение и износ. – М.: Машиностроение, 1968.

Рекомендована кафедрой теоретической механики и сопротивления материалов. Поступила 20.03.08.