

УДК 621.048.6.06

**МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО
СОСТОЯНИЯ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ
ЗУБЬЕВ ПИЛЬНЫХ ДИСКОВ
ХЛОПКОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ МАШИН ПРИ
АБРАЗИВОСТРУЙНОЙ ОБРАБОТКЕ**

Искандарова Н.К., докторант, Шин И.Г., д.т.н., проф.

*Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности,
г. Ташкент, Республика Узбекистан*

Ключевые слова: абразивоструйная обработка, пильный диск, микрорезание, заусенец, напряженное состояние, интенсивность напряжений, предел текучести, остаточные напряжения.

Реферат. В статье приведены материалы по моделированию напряженного состояния, возникающего при абразивоструйной обработке зубьев пильных дисков волокноотделительных машин (джинов). Данный вид обработки относится к одному из методов механической обработки деталей машин и характеризуется ударным воздействием абразивных частиц, способных осуществить микрорезание с отделочно-упрочняющим эффектом поверхностного слоя. Высокая эффективность достигнута применением нового синтетического абразивного материала – купершлака с высокими механическими и режущими свойствами, являющегося побочным продуктом производства меди. В процессе абразивоструйной обработки с помощью этих абразивов удаляются заусенцы с зубьев пильных дисков с труднодоступных мест (впадина зубьев), что способствует максимальному сохранению природных свойств хлопковых волокон, увеличивая их прядильные свойства.

Оценка напряженного состояния, возникающего при контакте абразивной частицы с обрабатываемой поверхностью металла, позволит через условие пластичности с помощью интенсивности напряжений аналитически определить важнейший показатель качества поверхностного слоя – технологические остаточные напряжения, имеющие основное влияние на долговечность деталей машин в условиях действия повторно-переменных нагрузок.

Максимальное сохранение природных свойств хлопкового волокна при первичной обработке хлопка является требованием ко всем технологическим процессам и переходам, определяющим ценность его как текстильного сырья при выработке качественной пряжи. Качество вырабатываемой пряжи, при прочих равных условиях, зависит существенно от механической повреждаемости волокон, которая, в свою очередь, зависит от кратности воздействий рабочих органов машин первичной обработки хлопка через состояние их металлических поверхностей.

Массовые механические повреждения волокон появляются в процессе волокноотделения (джинирования), и поэтому необходимо предусмотреть тщательную технологическую подготовку зубьев пильных дисков для джинов после их вырубki на специальном пилонасекательном станке, имеющем штамповую оснастку в виде пуансона и матрицы. Вырубка зубьев происходит в результате пластической деформации и последующего среза металла под действием сил, возникающих при ударе профильного пуансона по обрабатываемому материалу (сталь У8Г, 65Г), опирающемуся на матрицу. В результате такой механической операции, в сущности листовой штамповки, на сформированных зубьях образуются заусенцы по всему контуру зуба со стороны выхода пуансона в пределах передней и задней поверхностей, включая вершину и впадину зуба [1].

Заусенцы удаляются шлифованием абразивными кругами зернистостью 80...120 равномерно по всей окружности пильных дисков в пределах высоты зуба с двух боковых сторон (для джинных пил). В процессе плоского шлифования боковых поверхностей зубьев полностью удаляются заусенцы, образовавшиеся после вырубki, но образуются микровыступы с острыми кромками уже в перпендикулярном направлении, т. е. в плоскости боковых поверхностей зубьев. Для их удаления по техническому регламенту предусмотрена обработка пильных дисков, собранных на рабочем валу, в песочной ванне. В качестве абразивного материала на производстве (хлопкозаводах) используется кварцевый речной (800...2600 мкм) или карьерный песок (1250...3500 мкм), а также измельченная стружка из чугуна [2].

Данная отделочная операция зубьев пильных дисков в песочной ванне не дает удовлетворительных результатов из-за возросших требований к качеству волокна и низких режущих свойств кварцевого песка по сравнению с другими абразивными материалами. Особенно малоэффективна данная обработка для труднодоступного места во впадине зуба, являющегося проблемным участком и наносящим серьезные повреждения на волокне в виде надразов, срезов, что заметно ухудшает качество волокна (верхняя средняя длина, мм; удельная разрывная нагрузка, сН/текс; удлинение при разрыве, %).

Как известно из основ технологии машиностроения [3], шлифование сталей и сплавов, характеризующееся высокой тепловой напряженностью процесса, способствует формированию в тонком поверхностном слое изделий растягивающих остаточных напряжений. Эти напряжения отрицательно влияют на их долговечность в связи с резким уменьшением усталостной прочности и сопротивления развитию микротрещин при действии многоцикловых знакопеременных нагрузок, характерных для условий эксплуатации пильных дисков для джинов.

Высокая эффективность отделочной обработки зубьев пильных дисков хлопкоперерабатывающих машин [4,5] достигнута внедрением в производство абразивоструйной обработки нового абразивного синтетического материала – купершлака, являющегося продуктом отхода при производстве меди и состоящего из компонентов: FeO – 40...50 %; SiO₂ – 25...35 %, MgO – не менее 5 %, CuO – 6...10 %. Насыпная масса – 1,7 г/см³; основной размер гранул (0,8...2,5 мм) – 83,5 %, твердость по шкале Мооса – не менее 6,0; абразивная способность – 0,44.

Абразивоструйная обработка относится к одному из методов механической обработки, в частности, к шлифованию со свободным абразивом и отличается от традиционного шлифования, когда процесс резания осуществляется связанным (закрепленным) абразивным зерном, сцементированным определенной связкой в круг, брусок, головку и др. Процесс абразивоструйной обработки реализуется в виде свободных абразивных частиц, направляемых на обрабатываемую поверхность под некоторым углом α (углом атаки) под давлением p сжатого воздуха или в составе антикоррозионной жидкости (гидроабразивоструйная обработка).

Обработка со свободным абразивом отличается рядом особенностей: во-первых, разнообразная и неправильная геометрическая форма (многогранники) абразивных частиц и наличие у них округленных вершин с некоторым радиусом, создающим отрицательные передние углы γ резания (царапания); во-вторых, малые глубины и высокие скорости микрорезания; в-третьих, проявления специфических свойств отделочной абразивной частицы в связи с высокой твердостью, термоустойчивостью, хрупкостью, остротой, способностью разрушаться по плоскостям спайности и др.

Всякое абразивное зерно можно представить как режущий клин лезвийного инструмента, и поэтому следует различать переднюю поверхность, по которой сходит стружка при микрорезании и заднюю поверхность, контактирующую с обрабатываемой поверхностью. Абразивные частицы при абразивоструйной обработке вследствие многократного ударного воздействия и сопровождающего его процесс микрорезания подвергаются изнашиванию (притуплению) вершины режущего клина, что неизбежно приводит к образованию площадки (фаски) износа по его задней поверхности. Через данную площадку создается силовой контакт между абразивной частицей и металлической поверхностью, в результате чего в поверхностном слое детали формируется напряженное состояние под действием распределенной нагрузки, в частности, равномерно распределенной нагрузки, разложенной на две составляющие: нормальную q и касательную τ (рисунок 1).

Оценка напряженного состояния важна для аналитического определения технологических остаточных напряжений в тонком поверхностном слое деталей (пильных дисков хлопкоперерабатывающих машин), которые являются решающим фактором в повышении усталостной прочности. Увеличение долговечности пильных дисков, зубья которых испытывают многоцикловые переменные нагрузки при эксплуатации, при прочих равных условиях возможно формирование в их поверхностном слое сжимающих остаточных напряжений.

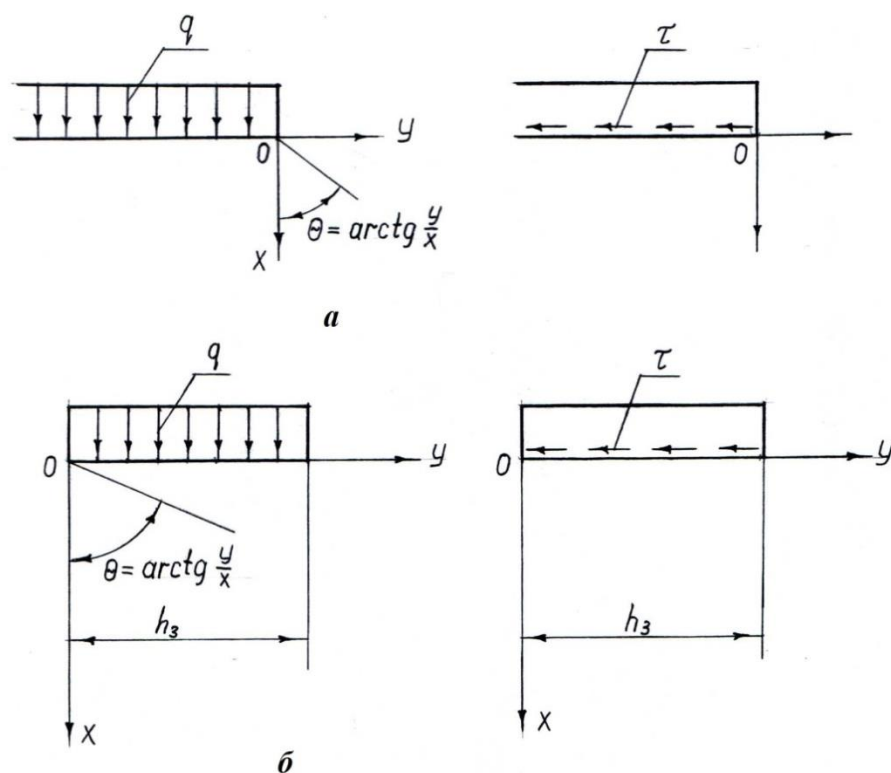


Рисунок 1 – Схема нагружения изделия равномерно распределенной нагрузкой для решения задачи теории упругости полуобратным методом: а – нагрузка простирается неограниченно влево по прямолинейному краю полубесконечной пластины; б – нагрузка, действующая на отрезке $0 \leq y \leq h_3$ прямолинейного края полубесконечной пластины

Анализ напряженного состояния, создаваемого в поверхностном слое зубьев пильных дисков при абразивоструйной обработке, выполнен на основе решения задачи о действии равномерно распределенной нагрузки. Для этого использовали функции напряжений вида [6]:

$$\varphi = A \cdot r^2 \cdot \Theta, \quad (1)$$

где A – постоянная; r , Θ – полярные координаты.

Соответствующие компоненты напряжений представляются в формуле:

$$\begin{aligned} \sigma_r &= \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2 \varphi}{\partial \Theta^2} = 2A\Theta; \\ \sigma_\Theta &= \frac{\partial^2 \varphi}{\partial r^2} = 2A\Theta; \quad \tau_{r\Theta} = -\frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial \Theta} \right) = -A \end{aligned} \quad (2)$$

Решение задачи в прямоугольной системе координат дается через нормальную q и касательную τ составляющие равномерно распределенной нагрузки на полубесконечную пластину, входящие в следующие функции напряжений:

$$\begin{aligned} \varphi &= -\frac{q}{2\pi} [(x^2 + y^2) \cdot \arctg \frac{y}{x} - xy]; \\ \varphi &= \frac{\tau}{\pi} \left[\frac{1}{2} \cdot y^2 \cdot \ln(x^2 + y^2) + xy \cdot \arctg \frac{y}{x} - y^2 \right], \end{aligned} \quad (3)$$

Дифференцируя функцию напряжений (3) согласно соотношениям

$$\sigma_x = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2}; \quad \sigma_y = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2}; \quad \tau_{xy} = -\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \cdot \partial y},$$

получим компоненты тензора напряжений от действия равномерной нормальной нагрузки q :

$$\begin{aligned}\sigma'_x &= -\frac{q}{\pi} \left[\operatorname{arctg} \frac{y}{x} - \operatorname{arctg} \frac{y-h_3}{x} + \frac{xy}{x^2+y^2} - \frac{x(y-h_3)}{x^2+(y-h_3)^2} \right]; \\ \sigma'_y &= -\frac{q}{\pi} \left[\operatorname{arctg} \frac{y}{x} - \operatorname{arctg} \frac{y-h_3}{x} - \frac{xy}{x^2+y^2} + \frac{x(y-h_3)}{x^2+(y-h_3)^2} \right]; \\ \tau'_{xy} &= -\frac{q}{\pi} \left[\frac{y^2}{x^2+y^2} - \frac{(y-h_3)^2}{x^2+(y-h_3)^2} \right].\end{aligned}\quad (4)$$

Аналогичным образом, дифференцируя функцию напряжений, получим компоненты тензора напряжений от действия равномерной касательной нагрузки τ :

$$\begin{aligned}\sigma''_x &= \frac{\tau}{\pi} \left[\frac{y^2}{x^2+y^2} - \frac{(y-h_3)^2}{x^2+(y-h_3)^2} \right]; \\ \sigma''_y &= \frac{\tau}{\pi} \left[\ln \frac{x^2+(y-h_3)^2}{x^2+y^2} + \frac{y^2}{x^2+y^2} - \frac{(y-h_3)^2}{x^2+(y-h_3)^2} \right]; \\ \tau''_{xy} &= \frac{\tau}{\pi} \left[\operatorname{arctg} \frac{y}{x} - \operatorname{arctg} \frac{y-h_3}{x} - \frac{xy}{x^2+y^2} + \frac{x(y-h_3)}{x^2+(y-h_3)^2} \right].\end{aligned}\quad (5)$$

Используя принцип суперпозиции, определим суммарные напряжения в какой-либо точке полуплоскости от действия нормальной и касательной составляющих равномерно распределенных нагрузок:

$$\begin{aligned}\sigma_x &= \sigma'_x + \sigma''_x; \\ \sigma_y &= \sigma'_y + \sigma''_y; \\ \tau_{xy} &= \tau'_{xy} + \tau''_{xy},\end{aligned}\quad (6)$$

где x, y – координаты рассматриваемой точки в поверхностном слое (упругом полупространстве); h_3 – фаска износа по задней поверхности абразивного зерна.

По найденным значениям компонентов напряженного состояния σ_x, σ_y и τ_{xy} можно рассчитать важнейшую характеристику условия пластичности – интенсивность напряжений σ_i :

$$\sigma_i = \sqrt{\sigma_x^2 - \sigma_z \cdot \sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2}\quad (7)$$

которая должна быть $\sigma_i \geq \sigma_T$ для начала пластической деформации металла, где σ_T – предел текучести обрабатываемого материала. Для материала пыльного диска (сталь У8Г) предел текучести $\sigma_T = 550$ Н/мм², а значения интенсивности напряжений σ_i монотонно убывают с поверхности вглубь тонкого поверхностного слоя в пределах 0,01...0,08 мм от 1100 до 300 МПа. Такой уровень интенсивности напряжений, превышающих предел текучести материала до определенной глубины поверхностного слоя, формирует необратимые изменения и, как следствие, остаточные напряжения.

Список использованных источников:

1. Искандарова Н. К. Анализ режущей способности нового абразивного материала – купершлака для снятия заусенцев пыльного диска в процессе абразивоструйной обработки / Н. К. Искандарова, И. Г. Шин // Научно-технический журнал Машиностроение. – Андижан, 2022. – № 1. – С. 28–36.
2. Первичная переработка хлопка / под общ. ред. Э.З. Зикриёва. – Ташкент: Мехнат, 1999. – 398 с.
3. Маталин, А. А. Технология машиностроения. – Л.: Машиностроение, 1985. – 496 с.
4. Искандарова, Н. К. Повышение эффективности дженирования по качественным показателям волокна путем отделочной обработки зубьев пил новым абразивным материалом / Н. К. Искандарова, И. Г. Шин // «Universum: технические науки: Электрон. науч. журн.». – Москва : 2020. – № 9(78). – С. 49–54.

5. Шин, И. Г. Повышение эффективности волокноотделительной машины абразивоструйной обработкой зубьев дисков пильного диска / И. Г. Шин, З. А. Шодмонкулов, Н. К. Искандарова, Б. М. Касимов // Вестник машиностроения. – Москва : 2021, № 10. – С. 66–69.
6. Тимошенко, С. П. Теория упругости / С. П. Тимошенко, Дж. Гудьер – М : Наука, 1979. – 560 с.

УДК 677.074.1

НОВЫЕ ТКАНИ ДЛЯ АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

Левакова Н.М., к.т.н., Сафонов П.Е., к.т.н., Силина Т.В.

ООО «ТЕКС-ЦЕНТР»,

г. Москва, Российская Федерация

Ключевые слова: аэрокосмическая промышленность, синтетические нити, сепарационные и армирующие ткани.

Реферат. На фоне разнообразия сфер применения все текстильные материалы для аэрокосмической промышленности должны отвечать требованию минимизации поверхностной плотности, что способствует снижению расхода топлива, увеличению длительности полета при существенной экономии денежных средств. В рамках реализуемого проекта разработаны облегченные структуры сепарационных и армирующих тканей для экранно-вакуумной теплоизоляции космических аппаратов. Для изготовления тканей облегченных структур с поверхностной плотностью от 3 до 25 г/м² предложено использовать комплексные или монопнити на основе полиэфира, полиимида или арамида, при этом разработаны технологические параметры изготовления тканей с минимальной поверхностной плотностью на челночных и рапирных станках.

Аэрокосмическая отрасль является одной из наиболее динамично развивающихся отраслей, для нормального функционирования и развития которой требуется целый спектр новых материалов, в том числе на текстильной основе, с заданными эксплуатационными свойствами.

Разработка новых и совершенствование существующих структур технических тканей с заданными эксплуатационными свойствами, находящихся применение в различных элементах, узлах и конструкциях аэрокосмической техники начинается с выбора волокнистого состава будущей ткани.

На данный момент для создания тканей технического и специального назначения нашли применение высокопрочные, высокомодульные, огне- и термостойкие комплексные синтетические нити, например пара- и метараamidные, полиимидные, фторсодержащие нити, нити из жидкокристаллических полимеров, а также нити из сверхвысокомолекулярного полиэтилена и другие нити, обладающие целым рядом уникальных свойств, таких как высокие значения модуля упругости и удельной прочности при растяжении, способность сохранять механические характеристики в широком диапазоне температур, химическая стойкость и т. д. [1, 2, 3].

При этом свойства ткани определяются не просто свойствами нитей, из которых она изготовлена, но и параметрами ее строения (переплетением, степенью фиксации и изгиба нитей в ткани, и т.д.), а также условиями механических процессов текстильной переработки нитей (натяжение и деформация нитей при формировании ткани) [4, 5].

Сотрудниками компании ООО «ТЕКС-ЦЕНТР» под конкретные требования Заказчиков разработана целая серия тканей, нашедших применение в аэрокосмической промышленности:

- ткани для спасательных парашютных систем;
- ткани для внешней оболочки космических скафандров и других специальных костюмов;
- армирующие и сепарационные для экранно-вакуумной теплоизоляции (ЭВТИ) космических аппаратов (КА);
- армирующие ткани для газодержащих оболочек;
- ткани для самосмазывающихся подшипников авиационной техники;
- ткани для звукопоглощающих конструкций авиационных двигателей;
- ткани для обтяжки крыльев и хвостового оперения легкомоторных самолетов.