

УДК: 677.057

EDN: [RSUNMR](https://www.edn.net/RSUNMR)

DOI: <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2022-2-4-0122-0130>


Контактные напряжения в двухвалковом модуле отжима кожи

К. Ю. Алибоев, Ш. И. Хуррамов

Ташкентский архитектурно-строительный институт, Ташкент, Узбекистан

Аннотация. В статье приведены результаты моделирования контактных напряжений в двухвалковом модуле отжима кожи. Получены модели распределения контактных напряжений по кривым контакта валков. Найдены выражения угла, определяющие точку максимума нормального напряжения и нейтрального угла в двухвалковом модуле. Выявлено, что точка максимума эпюр нормальных контактных напряжений смещена в сторону начала контакта валков и не совпадает с нейтральной точкой, которая в приводном валке находится на стороне входа слоя материала в зону контакта валков, а в свободном – на стороне выхода.

Ключевые слова: двухвалковый модуль, отжим кожи, нормальные напряжения, касательные напряжения, распределения контактных напряжений.

Для цитирования: Алибоев, К. Ю., & Хуррамов, Ш. И. (2022). Контактные напряжения в двухвалковом модуле отжима кожи. Современные инновации, системы и технологии - Modern Innovations, Systems and Technologies, 2(4), 0122–0130. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2022-2-4-0122-0130>

Contact stresses in a two-roll module squeezing leather

K. Yu. Aliboev, Sh. I. Khurramov

Tashkent Institute of Architecture and Civil Engineering, Tashkent, Republic of Uzbekistan

Abstract. The article presents the results of modeling contact stresses in a two-roll module squeezing leather. Models of distribution of contact stresses along the contact curves of rolls are obtained. An expression for the angle is found that determines the point of maximum normal stress and neutral angle in a two-roll module. It was revealed that the point of maximum diagrams of normal contact stresses towards the beginning of the contact of the rolls and does not coincide with the neutral point, which in the drive roll is located in the direction of the entry of the material layer into the contact zone of the rolls, and in the free - in the exit side.

Key words: two-roll module, squeezing of leather, normal stresses, shear stresses, contact stress distributions.

For citation: Aliboev K. Yu. & Khurramov Sh. I. (2022). Contact stresses in a two-roll module squeezing leather. Modern Innovations, Systems and Technologies, 2(4), 0122–0130. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2022-2-4-0122-0130>

ВВЕДЕНИЕ

Основным рабочим органом валковых машин для отжима кожевенного полуфабриката является пара рабочих валков с эластичным покрытием (сукном). Пара рабочих валков (валковая пара) и слой кожевенного полуфабриката после дубления (слой кожи) вместе создадут двухвалковый модуль отжима кожи.

В двухвалковом модуле отжима кожи наблюдается одновременное происхождение двух явлений – контактное взаимодействия и фильтрация влаги. В рамках теории валкового отжима кожи данные явления требуют совместного решения двух типа задач, к которым относятся контактные задачи и гидравлические задачи соответственно.

Центральной задачей теории контактного взаимодействия в двухвалковом модуле отжима кожи является моделирование законов распределения нормальных и касательных контактных напряжений.

Решения контактных задач в двухвалковом модуле кожи определяются в первую очередь деформационными свойствами кожи и свойствами покрытия валков, то есть процессом деформирования контактирующих тел двухвалкового модуля [1].

Согласно исследованию [2], деформационные свойства кожи (кожевенного полуфабриката после хромового дубления) при сжатии и восстановлении деформации описываются реологическими моделями Кельвина-Фойгта.

$$\sigma_j^* = E_j \varepsilon_i^* + \mu_j \frac{d\varepsilon_i^*}{dt}, \quad (1)$$

где $\sigma_j^*, \varepsilon_j^*, E_j, \mu_j$ – напряжения, деформация, модули упругости и вязкости кожи при сжатии ($j = 1$) и восстановлении деформации ($j = 2$).

Анализ литературы [3, 4] показал, что деформационные свойства материалов, таких как шерсть и техническое сукно, используемые для покрытия валков двухвалковых модулей отжима кожи, также описываются реологическими моделями Кельвина-Фойгта

$$\sigma_j = E_j \varepsilon_j + \mu_j \frac{d\varepsilon_j}{dt}, \quad (2)$$

где $\sigma_j, \varepsilon_j, E_j, \mu_j$, напряжения, деформация, модули упругости и вязкости покрытия валков при сжатии и восстановлении.

МЕТОДЫ

Анализ кожевенных валковых отжимных машин [5], показал, что двухвалковые модули отжима кожи в основном имеют симметричный вид.

Рассматриваем двухвалковый модуль отжима кожи, в котором валки с радиусами R имеют эластичное покрытие из сукна с толщиной H , толщина кожи равно δ_1 , расстояния между валками равно h , оба валка приводные (рис. 1).

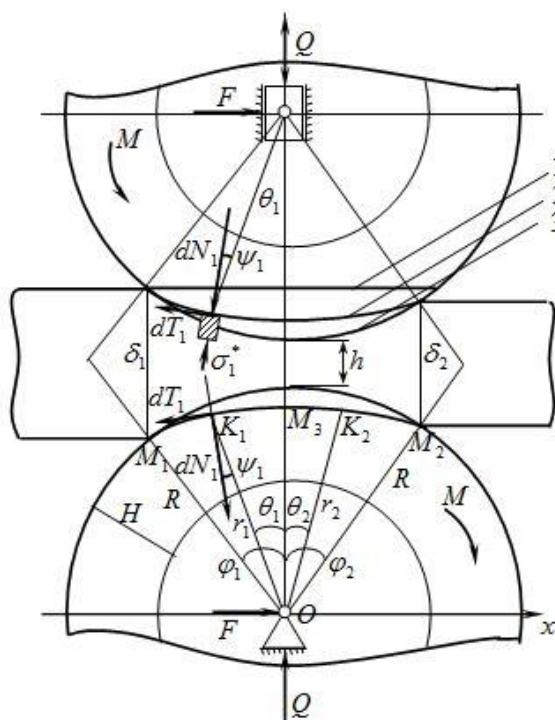


Рисунок 1. Схема взаимодействия в двухвалковом модуле отжима кожи
Figure 1. Scheme of interaction in a two-roll module for pressing the skin

Так как рассматриваемый двухвалковый модуль симметричный, будем исследовать контактное взаимодействие кожи с любым, например, с нижним валком.

Кривая контакта нижнего валка (кривая M_1M_2) состоит из двух зон M_1M_3 и M_3M_2 . В зоне M_1M_3 происходит сжатие кожи и покрытия валка, а M_3M_2 – восстановление деформации.

В разработке моделей распределения контактных напряжений основными факторами модели являются напряжения трения валков и формы кривых контакта валков, которые описываются следующими системами уравнений:

- модели формы кривых контакта валков [6]

$$\begin{cases} r_1 = \frac{R}{1+k_1\lambda_1} \left(1 + k_1\lambda_1 \frac{\cos \varphi_1}{\cos \theta_1} \right), & -\varphi_1 \leq \theta_1 \leq 0, \\ r_2 = \frac{R}{1+k_2\lambda_2} \left(1 + k_2\lambda_2 \frac{\cos \varphi_2}{\cos \theta_2} \right), & 0 \leq \theta_2 \leq \varphi_2, \end{cases} \quad (3)$$

где $k_1 = \frac{2H \cos \varphi_1}{\delta_1}$, $k_2 = \frac{2H \cos \varphi_2}{\delta_2}$. λ_1, λ_2 – показатель, определяющий соотношение скоростей деформирования покрытия валка и кожи при сжатии и восстановлении деформации;

- модели напряжений трения [1]

$$\begin{cases} t_1 = \operatorname{tg}(\theta_1 - \psi_1 + \xi)n_1, \\ t_2 = \operatorname{tg}(\theta_2 - \psi_2 + \xi)n_2, \end{cases} \quad (4)$$

где $\psi_j = \operatorname{arctg} \frac{r'_j}{r_j}$, $\xi = \operatorname{arctg} \frac{F}{Q}$, F – проекции горизонтальной реакции валка на ось Ox ,

Q – проекции силы давления прижимного устройства и сила тяжести валка на ось Oy .

В зоне сжатия нижнего валка выделим элемент длиной dl_1 , направленный по линии $n-n$, по которой происходит деформация контактирующих тел. На выделенный элемент покрытия валка действуют со стороны слоя материала элементарные нормальная dN_1 и касательная dT_1 силы и реакция отсеченных частей покрытия валка.

Составляющие силы dN_1 и dT_1 по направлению $n-n$ уравниваются силой $\sigma_1 dl_1$ (рис. 1):

$$\sigma_1 dl_1 - dN_1 \cos 0^\circ - dT_1 \sin 0^\circ = 0$$

или

$$\sigma_1 = n_1, \quad (5)$$

где σ_1 – напряжение сжатия покрытия валка в направлении $n-n$, n_1 – нормальные напряжения, распределенные по зонам сжатия кривого контакта нижнего валка.

В каждой точке зоны сжатия выполняется условие

$$n_1 = \sigma_1'^*, \quad (6)$$

где $\sigma_1'^*$ – напряжения сжатия обрабатываемого материала в направлении $n-n$.

Известно [1], что

$$\varepsilon_1^* = A_1 \left(1 - \frac{\cos \varphi_1}{\cos \theta_1} \right), \quad A_1 = \frac{2R \sin \varphi_1}{(1 + \lambda_1) \delta_1 \sin \varphi_1}. \quad (7)$$

Отсюда имеем

$$\frac{d\varepsilon_1^*}{dt} = -A_1 \omega \frac{\cos \varphi_1}{\cos \theta_1} \operatorname{tg} \theta_1. \quad (8)$$

С учетом выражений (7) и (8) из формулы (2) находим

$$\sigma_1^* = A_1 \left(E_1 \left(1 - \frac{\cos \varphi_1}{\cos \theta_1} \right) - \mu_1 \omega \frac{\cos \varphi_1}{\cos \theta_1} \operatorname{tg} \theta_1 \right).$$

В этом равенстве σ_1^* отражает напряжение сжатия кожи в условиях статики. В самом деле, при контактном взаимодействии $\sigma_1'^*$ отражает напряжение сжатия кожи в реальном динамическом процессе: оно в начале зоны контакта равно нулю, затем увеличивается и достигает значения $\sigma_{\max}$ на линии центров.

Исходя из этого, имеем [2]

$$n_1 = B_1 \left((E_1 - \mu_1 \omega \operatorname{tg} \varphi_1) - \frac{\cos \varphi_1}{\cos \theta_1} (E_1 + \mu_1 \omega \operatorname{tg} \theta_1) \right), \quad (9)$$

$$\text{где } B_1 = \frac{\sigma_{\max}}{E_1 (1 - \cos \varphi_1) - \mu_1 \omega \operatorname{tg} \varphi_1}.$$

Закономерности распределения нормальных напряжений по зоне восстановления деформации кривого контакта нижнего валка определяем аналогично

$$n_2 = B_2 \left((E_2 + \mu_2 \omega \operatorname{tg} \varphi_2) - \frac{\cos \varphi_2}{\cos \theta_2} (E_2 + \mu_2 \omega \operatorname{tg} \theta_2) \right), \quad (10)$$

$$\text{где } B_2 = \frac{\sigma_{\max}}{E_2 (1 - \cos \varphi_2) - \mu_2 \omega \operatorname{tg} \varphi_2}.$$

Для определения закономерностей распределения касательных напряжений по контактным линиям валков используем систему (4).

Тогда имеем

$$t_1 = B_1 \left((E_1 - \mu_1 \omega \operatorname{tg} \varphi_1) - \frac{\cos \varphi_1}{\cos \theta_1} (E_1 + \mu_1 \omega \operatorname{tg} \theta_1) \right) \operatorname{tg}(\theta_1 - \psi_1 + \xi), \quad (11)$$

$$t_2 = B_2 \left((E_2 + \mu_2 \omega \operatorname{tg} \varphi_2) - \frac{\cos \varphi_2}{\cos \theta_2} (E_2 + \mu_2 \omega \operatorname{tg} \theta_2) \right) \operatorname{tg}(\theta_2 - \psi_2 + \xi). \quad (12)$$

РЕЗУЛЬТАТЫ

Таким образом, получены математические модели распределения контактных напряжений в двухвалковом модуле отжима кожи с двумя приводными валками:

- (9) и (10) - закономерности распределения нормальных напряжений;
- (11) и (12) - закономерности распределения касательных напряжений.

Анализ полученных математических моделей и их графиков (рисунки 2 и 3) показывает, что закономерности распределения контактных напряжений по контактным линиям валков зависят от коэффициентов трения слоя материала о поверхность контакта

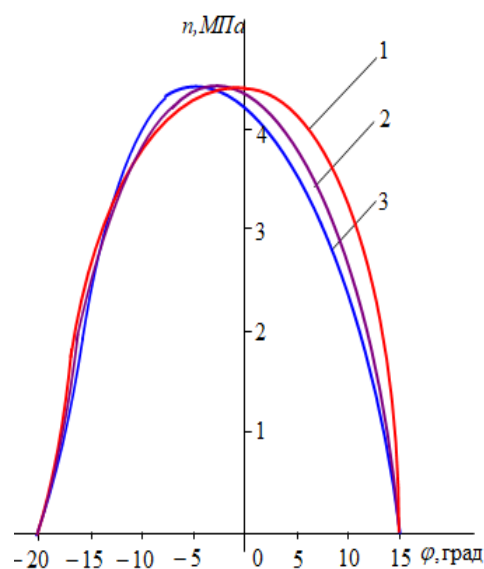


Рисунок 2. Графики распределения нормальных напряжений:

$$1 - \frac{\mu}{E} = 0; \quad 2 - \frac{\mu}{E} = 0.03; \quad 3 - \frac{\mu}{E} = 0.06.$$

Figure 2. Plots of distribution of normal stresses

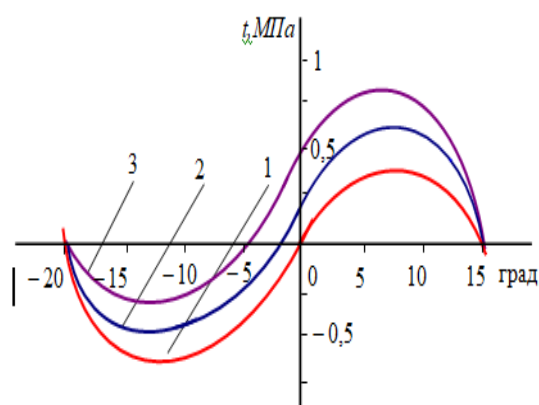


Рисунок 3. Графики распределения касательных напряжений:

$$1 - \frac{F}{Q} = 0; \quad 2 - \frac{F}{Q} = 0.05.5; \quad 3 - \frac{F}{Q} = 0.1.$$

Figure 3. Graphs of shear stress distribution

валков, геометрических, кинематических и деформационных параметров контактирующих тел, а также от сил, действующих на опоры валков.

В эпюре распределения контактных напряжений по контактной линии вала особые значения имеют две точки, лежащие на этой кривой. Первая – точка, в которой нормальное напряжение равно максимуму, то есть точка максимума нормального напряжения. Вторая – точка, в которой касательное напряжение равно нулю, то есть нейтральная точка.

Установлено [1,6], что точка максимума нормального напряжения находится на стороне входа кожи в зону контакта вала близко к линии центров.

Пусть точка максимума нормального напряжения, распределенная по кривой контакта нижнего вала, определяется углом $(-\varphi_6)$.

Тогда по условию максимума функции находим

$$\varphi_6 = \frac{\mu_1 \omega}{E_1}. \quad (13)$$

В нейтральном угле $(-\varphi_5)$ касательная напряжения равняется нулю [6].

Из формулы (12) следует, что $\operatorname{tg}(-\varphi_5 - \psi_1(-(\varphi_{15}) + \xi)) = 0$.

Отсюда имеем

$$\varphi_5 = \frac{\varphi_1^2 (1 + k_1 \lambda_1 \cos \varphi_1)}{\varphi_1^2} \cdot \frac{F}{Q}. \quad (14)$$

ВЫВОДЫ

Таким образом, в работе получены модели закономерностей распределения контактных напряжений по кривым контакта валков. На основе анализа графиков контактных напряжений, построенным по полученным моделям (рисунки 2 и 3), выявлено, что:

- нормальные контактные напряжения изменяются от нуля в начале и в конце зоны контакта валков до максимума в точке, лежащей влево от линии центров (в сторону начала контакта валков, а точка максимума эпюр нормальных контактных напряжений не совпадает с нейтральной точкой;
- касательные контактные напряжения меняют свои знаки в нейтральной точке, которая в приводном валке находится на стороне входа слоя материала в зону контакта валков;

- величина $C = \frac{F}{Q}$ оказывает значительное влияние на эпюру распределения касательных напряжений. Чем больше C , тем левее в приводном валке от линии центров находится нейтральная точка. Увеличение C приводит к увеличению положительных касательных напряжений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Sh.R. Khurramov, A. Abdukarimov, F.S. Khalturayev, F.Z. Kurbanova. Modeling of friction stress in twin roll modules. Journal of Physics: Conference Series. 2021; 1789: 012008.
- [2] Курбанова Ф.З. Исследование контактного взаимодействия в валковых парах для совершенствования процессов механической обработки листовых материалов: Дис... канд. техн. наук. – Ташкент, 2022. – 133 с.
- [3] Колычев М.В., Кокушин Н.Н. Исследование деформационных свойств прессовых сукон бумагоделательных машин. Целлюлоза. Бумага. Картон. 2015; 6: 68-72.
- [4] Маринин А.Н., Фомин Ю.Г., Свиридов И.Х. Оценка деформации эластичного покрытия наборного вала. Известия ВУЗов. Технология текстильной промышленности. 2010; 7 (328): 118-121.
- [5] Бурмистров А.Г. Машины и аппараты производства кож и меха. М.: Колос С. 2006. 384.
- [6] Хуррамов Ш.Р. К теории контактного взаимодействия в двухвалковых модулях. Известия вузов. Технология легкой промышленности. 2019; 3: 5-9.

REFERENCES

- [1] Sh.R. Khurramov, A. Abdukarimov, F.S. Khalturayev, F.Z. Kurbanova. Modeling of friction stress in twin roll modules. Journal of Physics: Conference Series. 2021; 1789: 012008.
- [2] Kurbanova F.Z. Issledovanie kontaktnogo vzaimodejstviya v valkovykh parah dlya sovershenstvovaniya processov mekhanicheskoy obrabltki listovykh materialov: Dis... kand. tekhn. nauk. – Tashkent, 2022. – 133 s.
- [3] Kolychev M.V., Kokushin N.N. Issledovanie deformacionnyh svojstv pressovyh sukon bumagodelatel'nyh mashin. Cellyuloza. Bumaga. Karton. 2015; 6: 68-72.
- [4] Marinin A.N., Fomin YU.G., Sviridov I.H. Ocenka deformacii elastichnogo pokrytiya nabornogo vala. Izvestiya VUZov. Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti. 2010; 7 (328): 118-121.

- [5] Burmistrov A.G. Mashiny i apparaty proizvodstva kozh i mekha. M.: Kolos S. 2006. 384.
[6] Hurramov SH.R. K teorii kontaktnogo vzaimodejstviya v dvuhvalkovykh modulyah. Izvestiya vuzov. Tekhnologiya legkoj promyshlennosti. 2019; 3: 5-9.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Алибоев Кахрамон Юсупович,
преподаватель, Ташкентский архитектурно-
строительный институт,
Ташкент, Республика Узбекистан
e-mail: qaxramon.aliboyev@mail.ru

Kakhramon Yu. Aliboev, teacher, Tashkent
Institute of Architecture and Civil Engineering,
Tashkent, Republic of Uzbekistan
e-mail: qaxramon.aliboyev@mail.ru

Хуррамов Шухрат Исакович,
преподаватель, Ташкентский университет
прикладных наук,
Ташкент, Республика Узбекистан
e-mail: khurramov86sh@gmail.com

Shukhrat I. Khurramov, teacher, Tashkent
University of Applied Sciences, Tashkent,
Republic of Uzbekistan
e-mail: khurramov86sh@gmail.com

*Статья поступила в редакцию 03.11.2022; одобрена после рецензирования 19.11.2022; принята
к публикации 18.11.2022.*

*The article was submitted 03.11.2022; approved after reviewing 17.11.2022; accepted for publication
19.11.2022.*