УДК 677.052.71:539.3

ВЛИЯНИЕ ШЛИФОВКИ И ТВЁРДОСТИ ПОКРЫТИЯ НА ЗОНУ ЗАЖИМА НАЖИМНОГО ВАЛИКА

М.А. Алламов

Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности

М.А. Алламов: miralam3843678@gmail.com

Аннотация. Нажимные валики кольцевых прядильных машин периодически шлифуют, при этом вместе с диаметром уменьшается толщина резинового слоя на жёсткой втулке. Цель работы – количественно оценить влияние шлифовки и твёрдости покрытия на ширину зоны зажима и контактное давление. Контакт валика со стальным нижним цилиндром рассчитан численной моделью упругого слоя, сцепленного с жёстким основанием (Фурье-представление, дискретные элементы давления); приведены явный вид функции податливости, исследование сходимости и проверка по решениям Герца и тонкого слоя. Для покрытия J-463 (P = 150 Н) при уменьшении диаметра с 32 до 30 мм зона зажима сужается с 5,77 до 5,46 мм (–5,3 %), максимальное давление возрастает на 6,2 %; ≈ 80 % изменения обусловлено утонением слоя (для отпечатка на плоскости ≈ 70 %). Формула Герца занижает относительное изменение в ≈ 3,5 раза, но завышает абсолютную ширину на 15–19 %. При фиксированных диаметре и толщине увеличение твёрдости с 60 до 80 ед. Шор А сужает зону зажима с 5,79 до 3,93 мм; 1 ед. Шор А равносильна ≈ 0,65 мм диаметра. В полном факторном эксперименте 2^3 на машине Rieter G32 уменьшение толщины покрытия на 1 мм повысило CVm на 0,83 процентного пункта. Поэтому твёрдость новых покрытий необходимо контролировать дюрометром наравне с диаметром.

Ключевые слова: нажимной валик; шлифовка; твёрдость покрытия; зона зажима; контактное давление; упругий слой; Шор А; давление нагрузки

EFFECT OF GRINDING AND COT HARDNESS ON THE NIP ZONE OF A TOP ROLLER

Abstract. Top rollers of ring spinning machines are periodically ground, so the rubber layer on the rigid sleeve becomes thinner together with the roller diameter. The aim was to quantify the effect of grinding and cot hardness on the nip width and contact pressure. The contact with the steel bottom cylinder was solved with a numerical model of an elastic layer bonded to a rigid base (Fourier representation, discrete pressure elements); the explicit compliance function, a convergence study and checks against the Hertz and thin-layer solutions are given. For a J-463 cot at P = 150 N, reducing the diameter from 32 to 30 mm narrows the nip from 5.77 to 5.46 mm (−5.3 %) and raises the maximum pressure by 6.2 %; about 80 % of this change is due to layer thinning (about 70 % for a flat-plate imprint). The Hertz formula underestimates the relative change about 3.5-fold but overestimates the absolute width by 15–19 %. At fixed diameter and thickness, increasing the hardness from 60 to 80 Shore A narrows the nip from 5.79 to 3.93 mm; 1 Shore A is equivalent to about 0.65 mm of diameter. In a full factorial 2^3 experiment on a Rieter G32 machine, a 1 mm thinner cot increased CVm by 0.83 percentage points. Hence the hardness of new cots must be checked with a durometer along with the diameter.

Keywords: top roller; grinding; cot hardness; nip zone; contact pressure; elastic layer; Shore A; loading pressure.

CC BY 4.0 · https://www.robutpit.com/journal/article/10-effect-of-grinding-and-cot-hardness-on-the-nip-zone-of-a-top-roller/

Для цитирования: М.А. А. ВЛИЯНИЕ ШЛИФОВКИ И ТВЁРДОСТИ ПОКРЫТИЯ НА ЗОНУ ЗАЖИМА НАЖИМНОГО ВАЛИКА // ARGO — научный журнал. — 2026. — URL: https://www.robutpit.com/journal/article/10-effect-of-grinding-and-cot-hardness-on-the-nip-zone-of-a-top-roller/.

For citation: M.A., A. (2026). EFFECT OF GRINDING AND COT HARDNESS ON THE NIP ZONE OF A TOP ROLLER. ARGO Scientific Journal. https://www.robutpit.com/journal/article/10-effect-of-grinding-and-cot-hardness-on-the-nip-zone-of-a-top-roller/

Поступила: 24.11.2026 · Одобрена: 24.11.2026

© Авторы, 2026. Статья распространяется по лицензии CC BY 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Введение

В вытяжном приборе поток волокон контролируется в зоне зажима между нажимным валиком и нижним рифлёным цилиндром [1]. Влияние твёрдости покрытия на неровноту, пороки и ворсистость пряжи показано экспериментально, рекомендованы рациональные диапазоны твёрдости [2–5]. При эксплуатации покрытие периодически шлифуют; известен производственный опыт компенсации уменьшения диаметра повышением давления нагрузки [6]; изучены характер и причины износа покрытия и разработан расчёт износа пары рифлёный цилиндр – валик [7, 8]. Однако эти результаты не связаны с геометрией зоны зажима.

Зону зажима обычно оценивают по формуле Герца [9, 10], которая не учитывает толщину слоя. Для валиков с эластичным покрытием в других отраслях разработаны модели контакта слоя на жёстком основании – аналитические [11], аппроксимационные [12] и конечно-элементные [13], в том числе для каландров текстильного производства [14]. При шлифовке нажимного валика втулка не изменяется, поэтому каждый 1 мм уменьшения диаметра уменьшает толщину резины на 0,5 мм; когда толщина слоя одного порядка с полушириной контакта, этот фактор становится существенным и может быть корректно учтён лишь в рамках модели слоя конечной толщины, а не классического решения Герца.

Цель работы – количественно оценить с помощью численной модели слоя влияние шлифовки (совместного уменьшения диаметра и толщины слоя) и твёрдости покрытия на ширину зоны зажима и контактное давление и разработать рекомендации по сохранению зоны зажима.

Материалы и методы

Объект исследования

Нажимной валик состоит из оси с подшипником скольжения, на который насажена втулка из алюминиевого сплава (толщина стенки z = 1 мм) с резиновым покрытием. Втулка на четыре порядка жёстче резины и принимается жёстким основанием (оценка – в разделе «Ограничения модели»). При шлифовке d и z не изменяются, а толщина резины уменьшается вместе с диаметром:

$$h = \frac{D - d}{2} - z, \qquad \Delta h = \frac{\Delta D}{2} \tag{1}$$

где D – диаметр валика; d – внутренний диаметр втулки. Модуль упругости покрытия определён по твёрдости по Шору А S по формуле Гента [15], МПа:

$$E = \frac{0,0981\ (56 + 7,62336\ S)}{0,137505\ (254 - 2,54\ S)} \tag{2}$$

Основные расчёты выполнены для покрытия J-463 (S = 63, E = 4,07 МПа, d = 19 мм, рабочая длина контакта L_k = 23,6 мм) при нагрузке P = 150 Н в диапазоне D = 29,5–32 мм. Влияние твёрдости исследовано для шести покрытий каталога.

Расчётная модель

Контакт валика со стальным нижним цилиндром (D_c = 27 мм) сводится к контакту жёсткого цилиндра приведённого радиуса $R^* = R_v R_c/(R_v + R_c)$ со слоем, где $R_v = D/2$, $R_c = D_c/2$; для контакта с плоскостью $R^* = R_v$. Для сравнения использовано решение Герца [9, 10]:

$$b_H = \sqrt{\frac{4qR^*(1-\nu^2)}{\pi E}}, \qquad p_H = \frac{2q}{\pi b_H}, \qquad q = \frac{P}{L_k} \tag{3}$$

В численной модели упругий слой толщиной h сцеплен с жёстким основанием ($u_x = u_z = 0$ при $z = 0$), на поверхности контакта принято условие сцепления ($u_x = 0$ при $z = h$), деформированное состояние – плоское, по координате x слой не ограничен. Фурье-образы осадки поверхности и давления связаны соотношением [10, 11]:

$$\widetilde{w}(k) = \frac{2(1-\nu^2)}{E\,|k|}\,\Lambda(|k|h,\nu)\,\widetilde{p}(k) \tag{4}$$

где Λ – безразмерная функция податливости слоя. Она находится из четырёх граничных условий для Фурье-образа функции напряжений Эйри $\varphi = (A + Bz)\,\mathrm{ch}\,kz + (C + Dz)\,\mathrm{sh}\,kz$ (линейная система 4 × 4); для несжимаемого материала (ν = 0,5) решение имеет явный вид:

$$\Lambda(t) = \frac{ch2t - 1 - 2t^2}{sh2t + 2t}, \qquad t = |k|h \tag{5}$$

При $t \to \infty$ $\Lambda \to 1$ (полупространство, решение Герца), при $t \to 0$ $\Lambda \approx t^3/6$, что даёт асимптотику тонкого сцепленного слоя $b_T = (45qR^*h^3/8E)^{1/5}$ [10]. Функция (5) регулярна при всех t, поэтому при ν = 0,5 и малых kh особенности не возникает. При $\nu \neq 0{,}5$ функция $\Lambda(|k|h, \nu)$ вычисляется численно из той же линейной системы 4 × 4 для каждого значения $|k|h$, а выражение (5) используется как контрольный предельный случай. Основные расчёты выполнены при ν = 0,4999; чувствительность результатов к ν приведена в табл. 1.

Область $|x| \le X = 1{,}3b_H$ разбивается на N = 300 элементов шириной $\Delta = X/N$ (≈ 0,014 мм) с постоянным давлением в пределах элемента. С учётом симметрии осадка в центре i-го элемента ($x_i = (i + ½)\Delta$) выражается через коэффициенты влияния:

$$g(s) = \frac{2(1-\nu^2)}{\pi E}\int_0^\infty \frac{\Lambda(kh)}{k}\cdot\frac{2\sin(k\Delta/2)}{k}\cos ks\,dk, \qquad A_{ij} = g(|i-j|\Delta) + g((i+j+1)\Delta) \tag{6}$$

$$\sum_{j\in I_c} A_{ij}\,p_j = \delta - \frac{x_i^2}{2R^*}, \quad i \in I_c; \qquad p_i = 0, \quad i \notin I_c; \qquad q = 2\Delta\sum_j p_j \tag{7}$$

где I_c – множество нагруженных элементов; δ – внедрение. При заданном δ система (7) решается итерациями по активному множеству: элементы с $p_j < 0$ исключаются из I_c, элементы, в которых слой проникал бы в индентор, добавляются, до неизменности I_c (3–6 итераций). Внедрение δ подбирается делением пополам до $|q_{расч}/q - 1| < 2\cdot10^{-5}$; граница b находится экстраполяцией p^2 по двум крайним активным элементам (у края $p \propto (b -$

$x)^{1/2}$). Интеграл $g(s)$ вычисляется численно (400 узлов логарифмической сетки при $kh \le 30$, далее постоянный шаг до $k = 80/\Delta$). Задача линейна, поэтому:

$$b = \Phi(\tfrac{q}{E};\ h, R^*), \qquad p_{\max} = \Psi(\tfrac{q}{E};\ h, R^*)E \tag{8}$$

Относительное влияние факторов сопоставлено через логарифмические чувствительности, а нагрузка, необходимая для сохранения зоны зажима, найдена из степенной аппроксимации $b \propto P^{n}$:

$$e_S = \tfrac{\partial \ln 2b}{\partial S}, \qquad e_D = \tfrac{\partial \ln 2b}{\partial D}, \qquad \Delta D_{\text{экв}} = \tfrac{e_S}{e_D}\,\Delta S \tag{9}$$

$$\tfrac{P_2}{P_1} = (\tfrac{b_1}{b_2})^{1/n} \tag{10}$$

Сходимость и проверка модели

Результаты проверок для базового случая (J-463, цилиндр, D = 30,4 мм, h = 4,7 мм, P = 150 Н) приведены в табл. 1. При N = 100–600 и расширении области до $2b_{\text{Н}}$ ширина $2b$ меняется не более чем на 0,2 %, $p_{\max}$ – менее чем на 0,01 %; в предельных случаях решение сходится к решениям Герца ($2b_{\text{Н}}$ = 6,530 мм, $p_{\text{Н}}$ = 1,239 МПа) и тонкого слоя. При ν = 0,49 ширина $2b$ больше на 1,1 %, а её изменение при шлифовке 32 → 30 мм составляет –5,1 % вместо –5,3 %, т. е. выводы к выбору ν нечувствительны. В последнем столбце табл. 1 приведено относительное отклонение 2b от базового варианта (N = 300, X = 1,3bH, ν = 0,4999); в строке «Тонкий слой» в этом столбце дано безразмерное отношение b/bT (не проценты). Отношение b/bT монотонно приближается к единице (0,71 → 0,87 при b/h = 1,6–4,7), т. е. асимптотика тонкого слоя достигается лишь при b/h ≫ 5, а в рабочем диапазоне b/h ≈ 0,5–0,9 ни одна из предельных формул неприменима.

Таблица 1 — Сходимость, проверка и чувствительность численной модели (J-463, цилиндр, P = 150 Н)

Проверка	**Параметр**	**$2b$, мм**	**$p_{\max}$, МПа**	**Отклонение $2b$, %**
Сетка ($X = 1{,}3b_{\text{Н}}$)	N = 100; 300; 600	5,520; 5,530; 5,526	1,486	–0,19; 0; –0,07
Размер области	$X = 2b_{\text{Н}}$, N = 450	5,529	1,486	–0,02
Толстый слой (к решению Герца)	$h/b_{\text{Н}}$ = 5; 10; 20	6,391; 6,488; 6,519	1,267; 1,246; 1,241	–2,14; –0,65; –0,18
Тонкий слой (отношение $b/b_{\text{Т}}$)	b/h = 1,6; 3,0; 4,7	3,242; 1,825; 1,120	–	0,71; 0,82; 0,87
Коэффициент Пуассона	ν = 0,49; 0,499; 0,5	5,593; 5,536; 5,529	–	+1,13; +0,10; –0,02

Экспериментальная часть

Отпечатки контакта (рис. 1) получены на стенде [16]: валик прижимается к пластине из оргстекла силой 78–157 Н (8–16 кг), отпечаток фотографируется через пластину, его площадь определяется по изображению цветовой сегментацией; ширина отпечатков в этих опытах не измерялась.

CC BY 4.0 · https://www.robutpit.com/journal/article/10-effect-of-grinding-and-cot-hardness-on-the-nip-zone-of-a-top-roller/

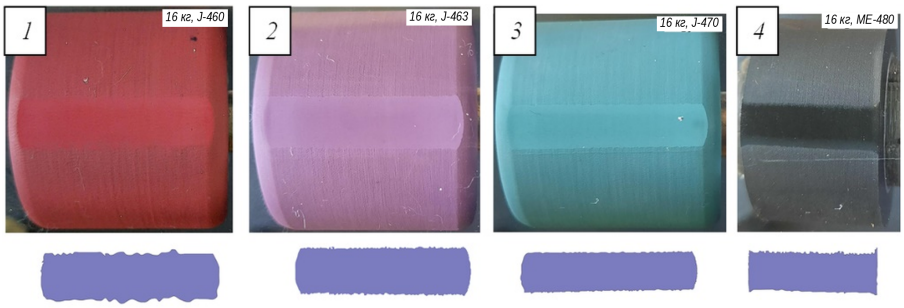

Рис. 1. Отпечатки контакта на пластине из оргстекла при нагрузке 16 кг (≈ 157 Н) [16]: 1 – J-460 (60 ед. Шор А); 2 – J-463 (63); 3 – J-470 (70); 4 – ME-480 (80); верхний ряд – фотографии отпечатков, нижний ряд – контур выделенного отпечатка

Связь параметров покрытия с качеством пряжи и ресурсом покрытия исследована полным факторным экспериментом 2^3 [17] на кольцепрядильной машине Rieter G32 (вытяжной прибор Ri-Q-Draft, пневматическая нагрузка нажимных валиков). Факторы: твёрдость покрытия H_A = 57 и 75 ед. Шор А (X_1), толщина h = 4,5 и 5,5 мм (X_2), нагрузка P = 120 и 160 Н (X_3). Вырабатывалась пряжа Ne 30 (19,7 текс) из одной партии хлопковой ровницы; валики всех вариантов устанавливались на 400 веретёнах одной машины. Отклики: Y_1 – коэффициент вариации массы пряжи CVm, %, определяемый на приборе Uster Tester; Y_2 – срок службы покрытия T до первой шлифовки, ч. Каждый опыт повторялся r = 5 раз; матрица планирования, средние значения и построчные дисперсии приведены в табл. 2.

Таблица 2 — Матрица планирования ПФЭ 2^3 и результаты опытов (r = 5)

№	X_1	X_2	X_3	H_A, ед. Шор А	h, мм	P, Н	CVm, %	s^2(CVm), %^{2}	T, ч	$s^2(T)$, ч^2
1	–	–	–	57	4,5	120	11,83	0,05	739	507
2	+	–	–	75	4,5	120	14,36	0,36	869	89
3	–	+	–	57	5,5	120	11,34	0,02	825	214
4	+	+	–	75	5,5	120	12,69	0,24	956	88
5	–	–	+	57	4,5	160	11,68	0,04	522	539
6	+	–	+	75	4,5	160	13,36	0,15	766	624
7	–	+	+	57	5,5	160	11,20	0,01	651	589
8	+	+	+	75	5,5	160	12,03	0,09	923	56

Дисперсии опытов однородны по критерию Кохрена (G = 0,382 и 0,231 < $G_{табл}$ = 0,391; α = 0,05); $S^2_{воспр}$ = 0,119 %^{2} и 338 ч^2, S_b = 0,055 % и 2,91 ч. При $t_{табл}$ = 2,037 (f = 32) в моделях оставлены значимые коэффициенты: для CVm t = 14,6 (X_1), 9,1 (X_2), 4,5 (X_3), 4,6 (X_1X_2), 3,2 (X_1X_3); для T t = 33,4 (X_1), 19,7 (X_2), 22,7 (X_3), 10,9 (X_1X_3), 4,9 (X_2X_3); исключены X_2X_3, $X_1X_2X_3$ для CVm (t = 0,83; 0,73) и X_1X_2, $X_1X_2X_3$ для T (t = 1,23; 1,16). Модели адекватны по критерию Фишера: F = 0,61 и 1,43 < $F_{табл}$ = 3,29 ($f_{ад}$ = 2, $f_{воспр}$ = 32); R^2 = 0,997 и 0,999, наибольшие остатки 0,09 % и 7 ч. Модели в кодированных переменных $X_1 = (H_A - 66)/9$, $X_2 = (h - 5)/0{,}5$, $X_3 = (P - 140)/20$:

$$\mathrm{CVm} = 12,31 + 0,798X_1 - 0,497X_2 - 0,244X_3 - 0,253X_1X_2 - 0,172X_1X_3,\ \% \quad (11)$$

$$T = 781,2 + 97,1X_1 + 57,3X_2 - 65,9X_3 + 31,8X_1X_3 + 14,1X_2X_3,\ \text{ч} \quad (12)$$

Результаты и обсуждение

Влияние шлифовки

Зависимости от диаметра приведены на рис. 2. При D = 32 мм h = 5,5 мм, при D = 30 мм – 4,5 мм. При уменьшении диаметра с 32 до 30 мм зона зажима с нижним цилиндром сужается с 5,77 до 5,46 мм (–5,3 %), отпечаток на плоскости – с 7,78 до 7,19 мм (–7,6 %); максимальное давление возрастает соответственно на 6,2 и 9,3 %.

Для разделения вклада радиуса и толщины слоя выполнен расчёт при неизменной толщине h = 4,7 мм (кривые 2 и 4). В этом случае при уменьшении диаметра 32 → 30 мм зона зажима с цилиндром сужается лишь на 1,1 %, отпечаток на плоскости – на 2,2 %. Следовательно, утонение слоя обусловливает ≈ 80 % изменения ширины зоны зажима с цилиндром и ≈ 70 % изменения ширины отпечатка на плоскости. Формула Герца (3), не учитывающая толщину, даёт для контакта с цилиндром относительное изменение ширины всего –1,5 %, т. е. занижает его в ≈ 3,5 раза; при этом абсолютную ширину зоны зажима она завышает на 15–19 % (6,61 и 6,51 мм против 5,77 и 5,46 мм), а ширину отпечатка на плоскости – на 24–36 % (табл. 3).

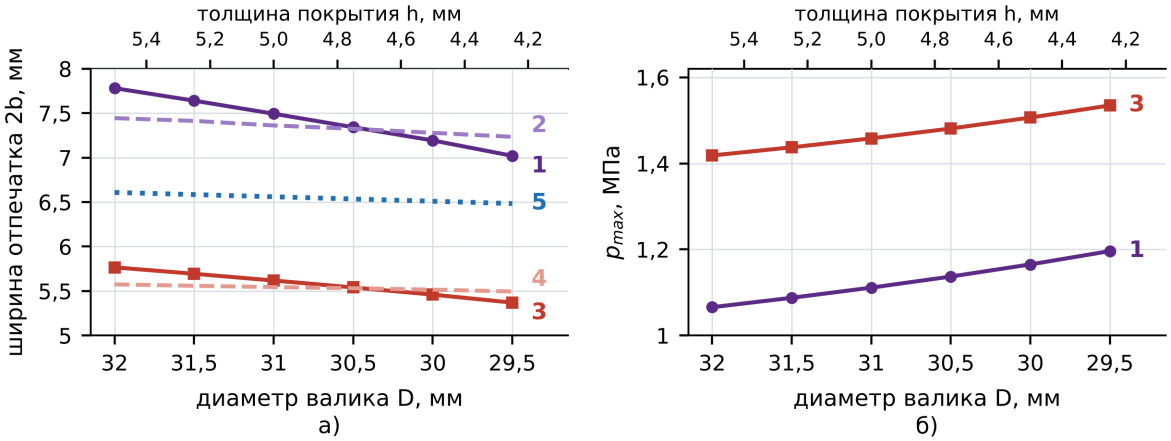

Рис. 2. Влияние уменьшения диаметра валика при шлифовке на ширину отпечатка (а) и максимальное контактное давление (б) (численная модель слоя, J-463, P = 150 Н, d = 19 мм, z = 1 мм): 1 – контакт с плоскостью при толщине h = (D – 19)/2 – 1 (верхняя ось); 2 – контакт с плоскостью при неизменной h = 4,7 мм (изменяется только радиус); 3 – контакт со стальным нижним цилиндром (D_c = 27 мм) при h = (D – 19)/2 – 1; 4 – то же при h = 4,7 мм; 5 – решение Герца (3) для контакта с цилиндром; на графике (б) приведены только кривые 1 и 3

Компенсация нагрузкой

Показатель n в (10) определён по девяти расчётным точкам в диапазоне P = 50–250 Н для контакта с цилиндром: при D = 30; 30,4 и 32 мм n = 0,398; 0,401 и 0,416 ($R^2 \geq 0,999$, наибольшее отклонение аппроксимации ≤ 1 %); в рабочем диапазоне 100–200 Н n = 0,388–0,406 (отклонение ≤ 0,22 %). При n = 0,40 по (10) для сохранения зоны зажима после шлифовки 32 → 30 мм нагрузку нужно увеличить на ≈ 15 % (при n = 0,39–0,42 – на 14–15 %).

При пневматической нагрузке сила, действующая на валик, принята пропорциональной давлению в шланге, $P = k \cdot p_{ш}$ (коэффициент k требует калибровки нагрузочных рыча-

гов). Тогда повышение давления с 2,3 до 2,4 бар увеличивает силу на 0,1/2,3 = 4,3 %, а ширину зоны зажима – на $1{,}043^{0{,}40} - 1 = 1{,}7$ %. Поскольку при шлифовке 32 → 30 мм зона зажима сужается на 5,3 %, т. е. на ≈ 2,65 % на 1 мм диаметра, такое повышение давления компенсирует уменьшение диаметра на 1,7/2,65 ≈ 0,65 мм, что согласуется с производственной рекомендацией повышать давление нагрузки при малых диаметрах [6]. Совпадение этой величины с эквивалентом 1 ед. Шор А ($\Delta D_{экв} \approx 0{,}65$ мм, см. ниже) случайно: величины получены из разных соотношений.

Влияние твёрдости покрытия

Результаты для покрытий каталога приведены в табл. 3. С ростом твёрдости от 60 до 80 ед. Шор А зона зажима с цилиндром сужается с 5,82 до 3,32 мм, однако эти покрытия различаются также диаметром (27,4–30,4 мм) и толщиной слоя (3,20–4,83 мм), поэтому указанное изменение отражает совместное влияние трёх факторов. Изолированный эффект твёрдости получен расчётом при фиксированных D = 30,4 мм и h = 4,7 мм (последний столбец табл. 3): увеличение твёрдости с 60 до 80 ед. Шор А сужает зону зажима с 5,79 до 3,93 мм (–32 %), а максимальное давление возрастает с 1,42 до 2,07 МПа (эти значения pmax относятся к расчёту при фиксированных D = 30,4 мм и h = 4,7 мм и поэтому отличаются от столбца pmax,ц табл. 3, где использованы паспортные D и h каждого покрытия). Для всех покрытий b/h = 0,68–0,86, т. е. контакт находится в переходной области между режимами полупространства и тонкого слоя.

Таблица 3 — Результаты расчёта для покрытий каталога (численная модель, P = 150 Н)

Покрытие	S, ед. Шор А	E, МПа	D, мм	h, мм	$2b_{пл}$, мм	$2b_{ц}$, мм	$p_{max,ц}$, МПа	$2b_{Н,пл}$, мм	b/h	$2b_{ц}^{*}$, мм
J-460	60	3,61	30,4	4,83	7,70	5,82	1,41	10,12	0,80	5,79
J-463	63	4,07	30,4	4,70	7,32	5,53	1,49	9,52	0,78	5,53
J-466	66	4,62	28,4	3,70	6,33	4,90	1,67	8,59	0,86	5,26
J-470	70	5,52	28,4	3,70	5,98	4,59	1,79	7,90	0,81	4,90
J-476	73	6,37	28,4	3,70	5,69	4,35	1,89	7,36	0,77	4,62
ME-480	80	9,35	27,4	3,20	4,36	3,32	2,01	5,40	0,68	3,93

Примечание. $2b_{пл}$ – ширина отпечатка на плоскости; $2b_{ц}$ – ширина зоны зажима со стальным цилиндром ($D_{с}$ = 27 мм); $p_{max,ц}$ – максимальное давление в зоне зажима; $2b_{Н,пл}$ – ширина отпечатка на плоскости по Герцу; b/h – безразмерное отношение для контакта с плоскостью; $2b_{ц}^{*}$ – ширина зоны зажима при фиксированных D = 30,4 мм и h = 4,7 мм (изолированный эффект твёрдости).

Отпечатки при одинаковой нагрузке (рис. 1) качественно согласуются с расчётом: с ростом твёрдости они сужаются [16]. Количественная проверка по ширине не проводилась (регистрировалась только площадь). Сопоставление площадей из тех же опытов с расчётом (D = 32 мм, h = 5,5 мм) показало, что измеренные площади на 4–40 % меньше расчётных, по-видимому из-за потери краевых зон с низким давлением при цветовой сегментации; таким образом, имеющиеся опытные данные подтверждают расчёт только качественно, а количественная валидация модели по ширине зоны зажима в настоящей

CC BY 4.0 · https://www.robutpit.com/journal/article/10-effect-of-grinding-and-cot-hardness-on-the-nip-zone-of-a-top-roller/

работе не выполнена; прямая проверка по центральной ширине отпечатка, учёт рифлей, вязкоупругости и посадки втулки – задачи дальнейшей работы.

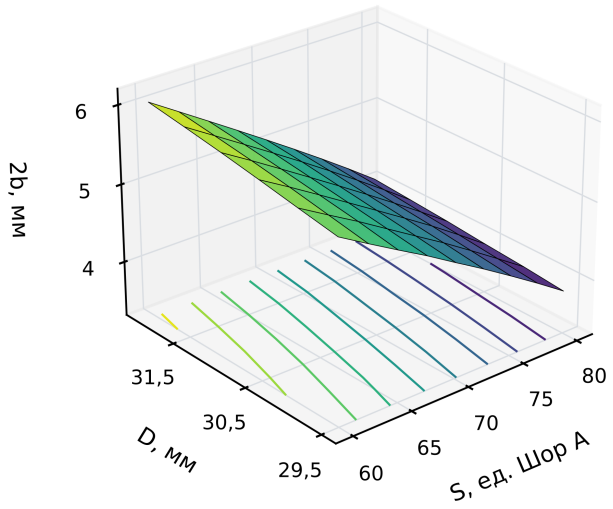

Рис. 3. Ширина зоны зажима с нижним цилиндром 2b в зависимости от твёрдости покрытия S и диаметра валика D (численная модель, P = 150 Н, d = 19 мм, z = 1 мм, h = (D – 19)/2 – 1): поверхность – расчётные значения на сетке 9 × 6 узлов; линии на основании – изолинии 2b от 4,0 мм (справа) до 6,0 мм (слева) с шагом 0,25 мм

Совместное влияние твёрдости и диаметра показано на рис. 3. В окрестности D = 31 мм и 65 ед. Шор А e_S = –0,017 ед.$^{-1}$ и e_D = 0,026 мм$^{-1}$, т. е. согласно (9) изменение твёрдости на 1 ед. влияет на зону зажима так же, как изменение диаметра на ≈ 0,65 мм; разброс твёрдости в партии ±2 ед. Шор А равносилен изменению диаметра на ±1,3 мм.

Связь с неровнотой пряжи и ресурсом покрытия

Модели (11), (12) согласуются с расчётом по направлению влияния: рост твёрдости и уменьшение толщины сужают зону зажима и повышают CVm. Для покрытия 63 ед. Шор А (P = 140 Н) уменьшение толщины с 5,5 до 4,5 мм (шлифовка 32 → 30 мм) повышает CVm на 0,83 процентного пункта (п. п.) и сокращает срок до первой шлифовки на 115 ч (≈ 14 %). Повышение нагрузки со 140 до 160 Н (h = 4,5 мм) снижает CVm на 0,19 п. п., но сокращает срок ещё на 91 ч. Следовательно, повышение нагрузки после шлифовки восстанавливает зону зажима, но за счёт ресурса покрытия.

Ограничения модели

Результаты получены при следующих допущениях: 1) нижний цилиндр рифлёный, а в модели гладкий (D_c = 27 мм), т. е. рассчитанная ширина относится к огибающей рифлей; 2) плоская деформация: при L_k/b ≈ 8,5 краевые эффекты и неравномерность q по длине не учитываются (из полной длины покрытия L исключены два закругления кромок радиусом Re: $L_k = L - 2R_e$); 3) линейная упругость при δ/h ≈ 11 % (δ = 0,53 мм), без вязкоупругости и релаксации; 4) полное сцепление на поверхности (при скольжении 2b больше на 1,6 %); 5) жёсткая втулка: радиальное сжатие стенки $p_{max}z/E_{ал}$ ≈ 1,49·1/70 000 ≈ 2·10^{-5} мм (≈ 0,004 % δ), что справедливо при плотной посадке втулки на подшипник; для свободного кольца с z = 1 мм овализация составила бы ≈ 0,16 мм, поэтому влияние зазора в посадке требует проверки.

CC BY 4.0 · https://www.robutpit.com/journal/article/10-effect-of-grinding-and-cot-hardness-on-the-nip-zone-of-a-top-roller/

Выводы

1. По численной модели слоя (гладкий нижний цилиндр, плоская деформация, линейная упругость; см. раздел «Ограничения модели») при шлифовке 32 → 30 мм зона зажима с нижним цилиндром сужается на 5,3 % (с 5,77 до 5,46 мм), максимальное давление возрастает на 6,2 %; ≈ 80 % изменения ширины зоны зажима обусловлено утонением слоя (для отпечатка на плоскости ≈ 70 %). Формула Герца занижает относительное изменение ширины в ≈ 3,5 раза, хотя абсолютную ширину завышает на 15–19 %.

2. Для сохранения зоны зажима после шлифовки 32 → 30 мм нагрузку нужно увеличить на ≈ 15 % (n = 0,39–0,42 при 50–250 Н). В эксперименте 2^3 на машине G32 уменьшение толщины покрытия на 1 мм повысило CVm на 0,83 п. п. и сократило срок до первой шлифовки на ≈ 14 %; повышение нагрузки снижает CVm, но сокращает ресурс.

3. При фиксированных D = 30,4 мм и h = 4,7 мм увеличение твёрдости с 60 до 80 ед. Шор А сужает зону зажима с 5,79 до 3,93 мм (–32 %); изменение твёрдости на 1 ед. равносильно изменению диаметра на ≈ 0,65 мм, поэтому при входном контроле твёрдость покрытия следует проверять дюрометром наряду с диаметром.

Список литературы

1. Klein, W. The Rieter Manual of Spinning. Vol. 4. Ring Spinning / W. Klein. – Winterthur : Rieter Machine Works Ltd., 2016. – ISBN 978-3-9523173-4-1.

2. Effect of ring machine front roller rubber cot hardness on properties of coarser yarn / A. A. Rehman, M. Zeshan, M. Neaz [et al.] // MATEC Web of Conferences. – 2017. – Vol. 130. – Art. 02003. – DOI 10.1051/matecconf/201713002003.

3. Prediction of the impact of ring spinning machine front roller rubber cot shore hardness on spun yarn quality parameters / E. Ferede, T. Tesfaye, M. Ayele [et al.] // Textile & Leather Review. – 2024. – Vol. 7. – DOI 10.31881/TLR.2023.157.

4. Prioritising yarn quality via varying top roller hardness: a fuzzy application / S. Raian, J. Hossen, S. K. Saha [et al.] // Textile & Leather Review. – 2024. – Vol. 7. – P. 854–871. – DOI 10.31881/TLR.2024.068.

5. Erşahin, H. İ. The effect of the ring spinning machine top drafting roller hardness and the fiber blend ratio on the quality of yarn / H. İ. Erşahin, Y. Korkmaz // Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi. – 2022. – Vol. 5, No. 3. – P. 1274–1281.

6. W/giyorgis, T. Z. An investigation on the effect of top roller cot grinding and its pressure on yarn quality / T. Z. W/giyorgis, T. B. Teklemedhin // International Journal of Innovative Science and Research Technology. – 2018. – Vol. 3, Iss. 7. – ISSN 2456-2165.

7. Алламов, М. А. Характер износа нажимного валика вытяжного прибора прядильной машины / М. А. Алламов, С. Х. Бабаджанов // Развитие науки и технологий. – 2022. – № 3. – С. 261–265.

8. Бабаджанов, С. Х. Расчет на износ пары рифцилиндра и нажимного валика / С. Х. Бабаджанов, М. А. Алламов // Universum: технические науки. – 2022. – № 11 (104), ч. 4. – С. 5–8.

9. Hertz, H. Über die Berührung fester elastischer Körper / H. Hertz // Journal für die reine und angewandte Mathematik. – 1882. – Bd. 92. – S. 156–171.

CC BY 4.0 · https://www.robutpit.com/journal/article/10-effect-of-grinding-and-cot-hardness-on-the-nip-zone-of-a-top-roller/

10. Johnson, K. L. Contact Mechanics / K. L. Johnson. – Cambridge : Cambridge University Press, 1985. – 452 p.

11. Meijers, P. The contact problem of a rigid cylinder on an elastic layer / P. Meijers // Applied Scientific Research. – 1968. – Vol. 18, No. 1. – P. 353–383. – DOI 10.1007/BF00382359.

12. Austrell, P.-E. Two-dimensional elastic contact model for rubber covered rollers / P.-E. Austrell, A. K. Olsson // Plastics, Rubber and Composites. – 2013. – Vol. 42, No. 7. – P. 269–275. – DOI 10.1179/1743289812Y.0000000017.

13. Sorvari, J. Feeding in rolling contact of layered printing cylinders / J. Sorvari, M. Parola // International Journal of Mechanical Sciences. – 2014. – Vol. 88. – P. 82–92. – DOI 10.1016/j.ijmecsci.2014.07.008.

14. Gupta, N. Analysis of nip mechanics model for rolling calender used in textile industry / N. Gupta, N. Kanth // Journal of the Serbian Society for Computational Mechanics. – 2018. – Vol. 12, No. 2. – P. 39–52. – DOI 10.24874/jsscm.2018.12.02.03.

15. Gent, A. N. On the relation between indentation hardness and Young's modulus / A. N. Gent // Rubber Chemistry and Technology. – 1958. – Vol. 31, No. 4. – P. 896–906. – DOI 10.5254/1.3542351.

16. Бабаджанов, С. Х. Метод определения зависимости величины площадки контакта рифцилиндра с нажимным валиком на вытяжных приборах машин прядильного производства / С. Х. Бабаджанов, П. М. Бутовский, М. А. Алламов // Будущее науки – 2021 : материалы Международной молодежной научной конференции. Т. 6. – Курск : ЮЗГУ, 2021. – С. 199–201.

17. Montgomery, D. C. Design and Analysis of Experiments / D. C. Montgomery. – 9th ed. – Hoboken : Wiley, 2017.

CC BY 4.0 · https://www.robutpit.com/journal/article/10-effect-of-grinding-and-cot-hardness-on-the-nip-zone-of-a-top-roller/