

НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНІЙ СТАН ОСНОВОВ'ЯЗАЛЬНОГО ПОЛОТНА У РУЛОНІ

Досліджено характер зміни напружень у рулоні основов'язального полотна з використанням математичної моделі для двох режимів роботи механізму накатування полотна: при постійному зусиллі та при сталому моменті накатування полотна.

Ключові слова: основов'язальна машина, основов'язальне полотно, рулон полотна, напружено-деформований стан полотна.

V.V. CHAMAN, O.Y. OLIYNYK

Kyiv National University of Technologies and Design

TENSELY STRAINED CONDITION OF THE FABRIC, EVEN AT FORMATION BIG DIAMETER ROLLS, THAT IS ACTUAL FOR INCREASING PRODUCTIVITY OF MACHINE.

Tensely strained condition of warp-knitting fabric in the roll. Researched character of changing tenses in warp-knitting fabric roll by using mathematical model for two modes of working mechanism of rolling fabric: at permanent effort and at permanent moment of rolling fabric. Maximal value of rotating tenses working in first layer zone of fabric, then decreasing and equals zero on surface. With increasing last radius of fabrics roll maximal value of rotating and stable tenses also increasing as in permanent rolling effort, then in permanent moment of rolling fabric. That's why for this type of fabric, which made on warp-knitting machine type Kokett could be recommended projecting mechanisms, that providing rolling fabric in permanent moment, that ensure more qualitative indicator of

Keywords: warp-knitting machine, warp-knitting fabric, roll of fabric, tensely strained condition.

Процес накатування є завершальною або проміжною операцією в галузях легкої, текстильної, хімічної, паперової промисловості та ін. Широко розповсюдженим є накатування матеріалу в рулон. При цьому якість продукції, що накатується, значною мірою зумовлена напружено-деформованим станом, що виникає в його шарах. Існують два основних напрямки при проектуванні механізмів накатування трикотажного полотна у рулон, а саме: механізми, що забезпечують постійне зусилля накатування полотна; механізми, що забезпечують сталість моменту накатування полотна [1]. Створення нових ефективних механізмів накатування основов'язального полотна не можливе без дослідження та аналізу напружено-деформованого стану полотна у рулоні.

Об'єкт та методи дослідження

Об'єктом досліджень обрано процес накатування основов'язального полотна, а саме: напружено-деформований стан полотна, що виникає в його шарах при формуванні рулону в режимі постійного зусилля накатування та в режимі сталого моменту накатування. При вирішенні задач, поставлених у даній роботі, були використані сучасні методи теоретичних досліджень з використанням програми Matlab.

Постановка завдання

Завданням досліджень є наступне – застосовуючи існуючу математичну модель напружено-деформованого стану полотна у рулоні та використовуючи сучасні програмні засоби, дослідити характер змін напружень полотна при формуванні рулону на основов'язальній машині для режиму постійного зусилля накатування та для режиму сталого моменту накатування полотна.

Результати та їх обговорення

Як відомо, ряд досліджень присвячено вирішенню задачі накатування методом теорії пружності. Ґрунтовною працею в цьому напрямку слід вважати роботу Саусвелла Р.В. [2]. Для описання процесу формування намотувального виробу автором була прийнята модель послідовного надягання з натягом сукупності тонких замкнених циліндричних кілець та застосовано прийом пошарового підсумовування напружень.

В напрямку побудови неklasичних моделей напружено-деформованого стану матеріалу в рулоні слід відзначити роботи [3– 7]. Особливу увагу викликає робота [6], де досліджено напружено-деформований стан плівки, тканини та шкіри при різних режимах формування рулону.

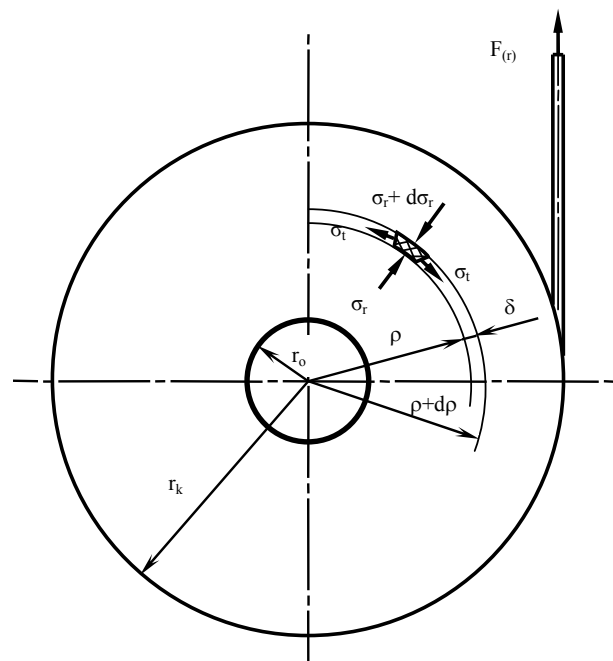


Рис. 1. Розрахункова схема напружено-деформованого стану полотна у рулоні

При моделюванні процесу накатування важливе значення має дослідження пружних властивостей полотна або матеріалу, що накатується у рулон. Для круглов'язального полотна, в цьому напрямку, можна відзначити роботи [8–9].

Враховуючи вищесказане, авторами проведено аналіз існуючих математичних моделей напружено-деформованого стану полотна у рулоні. Для визначення напружень та деформацій в шарах основов'язального полотна у рулоні розглянемо модель напружено-деформованого стану полотна у рулоні (рис. 1) та скористаємося відомими теоріями деформації тіл [10–12].

В умовах плоского напруженого стану, елементарний об'єм полотна, що накатується, знаходиться в рулоні під дією як розтягуючих колових (тангенційних) напружень σ_t , так і радіальних напружень σ_r , що виникають внаслідок взаємодії елементарного об'єму з оточуючими шарами полотна та поверхнею накатного валика.

В роботах [4–7] було проведено аналіз існуючих моделей напружено-деформованого стану виробів, що накатуються, та встановлено залежність радіальних σ_r та колових напружень σ_t по радіусу рулону r від питомого натягу матеріалу $F(r)$ у вигляді формул:

$$\sigma_r = \frac{(r^{2\beta} + a^{2\beta})}{r^{\beta+1}} \cdot \int_r^{r_k} \frac{F(\rho)\rho^\beta}{(\rho^{2\beta} + a^{2\beta})} d\rho; \quad (1)$$

$$\sigma_t = F(r) - \beta^2 \frac{1 + \beta v_{tr}}{\beta + v_{rt}} \cdot \frac{(r^{2\beta} - a^{2\beta})}{r^{\beta+1}} \cdot \int_r^{r_k} \frac{F(\rho)\rho^\beta}{(\rho^{2\beta} + a^{2\beta})} d\rho, \quad (2)$$

де $a^{2\beta} = r_0^{2\beta} (\beta - v_{tr}) / (\beta + v_{tr})$ – коефіцієнт;

r_k – кінцевий радіус рулону;

r_0 – радіус товарного валика;

r – поточний радіус рулону;

$\rho, d\rho$ – радіуси рулону та елементарного шару відповідно;

$F(\rho)$ – питомий натяг елементарного шару.

Для ортотропного тіла маємо наступне співвідношення:

$$v_{tr} E_r = v_{rt} E_t = \beta^2, \quad (3)$$

Визначення даних напружень в роботі [7] зводиться до обчислення інтегралу $\int_r^{r_k} \frac{F(\rho)\rho^\beta}{(\rho^{2\beta} + a^{2\beta})} d\rho$

чисельним методом з використанням формули Ньютона – Котеса.

Обчислення інтегралу здійснювалось авторами даної статті із застосуванням сучасних програмуючих засобів.

При накатуванні рулону полотна в режимі постійного натягу:

$$F(r) = F_0 = const, \quad (4)$$

Враховуючи умову (3) формули (1), (2) набувають вигляду [3]:

$$\sigma_r = F_0 \frac{(r^{2\beta} + a^{2\beta})}{r^{\beta+1}} \cdot \int_r^{r_k} \frac{F(\rho)\rho^\beta}{(\rho^{2\beta} + a^{2\beta})} d\rho; \quad (5)$$

$$\sigma_t = F_0 \left[-\beta^2 \frac{(1 + \beta v_{tr})}{(\beta + v_{rt})} \cdot \frac{(r^{2\beta} - a^{2\beta})}{r^{\beta+1}} \cdot \int_r^{r_k} \frac{\rho^\beta}{(\rho^{2\beta} + a^{2\beta})} d\rho \right]. \quad (6)$$

Розповсюдженими є також механізми накатування полотна, що працюють в режимі сталого моменту накатування. При цьому момент дорівнює добутку натягу полотна на поточний радіус рулону та є постійним за весь період накатування полотна:

$$T_H = F(r) \cdot r = const, \quad (7)$$

Тоді з урахуванням умови (7) формули (5), (6) набувають вигляду [3]:

$$\sigma_r = T_H \frac{(r^{2\beta} + a^{2\beta})}{r^{\beta+1}} \cdot \int_r^{r_k} \frac{F(\rho)\rho^\beta}{(\rho^{2\beta} + a^{2\beta})} d\rho; \quad (8)$$

$$\sigma_t = T_H \left[\frac{1}{r} - \beta^2 \frac{(1 + \beta v_{tr})}{(\beta + v_{rt})} \cdot \frac{(r^{2\beta} - a^{2\beta})}{r^{\beta+1}} \cdot \int_r^{r_k} \frac{\rho^\beta}{(\rho^{2\beta} + a^{2\beta})} d\rho \right]. \quad (9)$$

Для визначення параметрів напружено-деформованого стану основов'язального полотна була розроблена програма в Matlab. На прикладі полотна, що виготовляється на основов'язальній машині типу Кокетт, досліджено характер змін напружень полотна у рулоні, що накатується в режимі постійного зусилля накатування.

Вихідні дані для розрахунків [13]: тип полотна – трико-трико; заправка машини: xxxxxxxxxxxxxxxx; товщина полотна $\delta = 1,0$ мм; ширина рулону $l = 2000$ мм. Модулі пружності (експериментальні дані): $E_r=2,875$ МПа, $E_t=1,524$ МПа; коефіцієнт анізотропії $\beta = 0,73$; коефіцієнти Пуассона, згідно співвідношення (3): $\nu_{rr}=0,3497$, $\nu_{rt}=0,1854$; параметри рулону полотна: $r_o=40$ мм, $r_k=200$ мм; F - сила натягу полотна, $F = F_i z = 2 \cdot 2000 = 4000$ сН (F_i сила натягу однієї петлі, $F_i = 2$ сН [1]; z – кількість петель полотна, $z = 2000$ [13]).

Питомий натяг полотна знаходимо із відношення:

$$F(r) = \frac{F}{l\delta} \tag{10}$$

Результати визначення параметрів напружено-деформованого стану основов'язального полотна при накатуванні його у рулон в режимі постійного зусилля накатування представлені в табл. 1 та у вигляді графіків (рис. 2).

В табл. 1, 2 $N_0 = \sigma$ - напруження, зумовлене натягом полотна, $\sigma = 20000$ Па ($\sigma = \frac{F}{l \cdot \delta}$).

Табл. 1. Розподіл відносних радіальних та колових напружень по радіусу рулону при $F(r) = F_o = \text{const}$

R, м	σ_r/N_0	σ_t/N_0
0,040	2,7026	0,6158
0,050	2,0749	0,5375
0,060	1,6644	0,5311
0,070	1,3693	0,5540
0,080	1,1431	0,5890
0,090	0,9617	0,6288
0,100	0,8113	0,6697
0,110	0,6834	0,7100
0,120	0,5725	0,7489
0,130	0,4748	0,7861
0,140	0,3877	0,8214
0,150	0,3093	0,8549
0,160	0,2380	0,8866
0,170	0,1727	0,9166
0,180	0,1126	0,9450
0,190	0,0568	0,9719
0,200	0,0050	0,9975

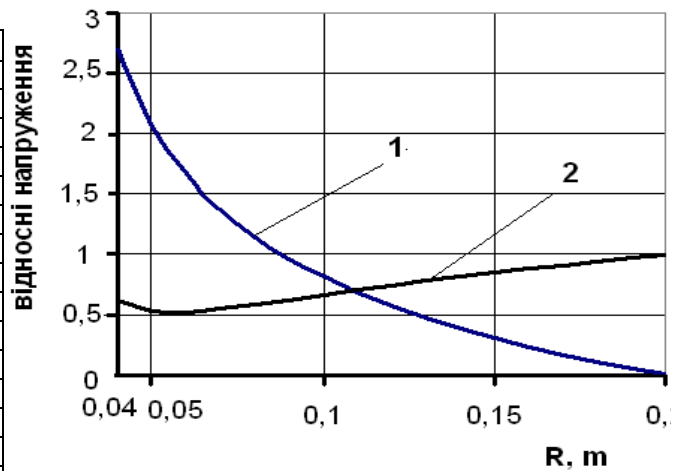


Рис. 2. Графік розподілу відносних напружень по радіусу рулону при $F(r) = F_o = \text{const}$: 1 – радіальні; 2 – колові

Табл. 2. Розподіл відносних радіальних та колових напружень по радіусу рулону при $T = \text{const}$

R, м	σ_r/N_0	σ_t/N_0
0,040	1,2018	0,8292
0,050	1,0380	0,7686
0,060	0,9142	0,7424
0,070	0,8128	0,7352
0,080	0,7251	0,7393
0,090	0,6466	0,7504
0,100	0,5745	0,7661
0,110	0,5072	0,7847
0,120	0,4435	0,8055
0,130	0,3826	0,8276
0,140	0,3241	0,8507
0,150	0,2674	0,8745
0,160	0,2125	0,8988
0,170	0,1589	0,9233
0,180	0,1065	0,9479
0,190	0,0553	0,9727
0,200	0,0050	0,9975

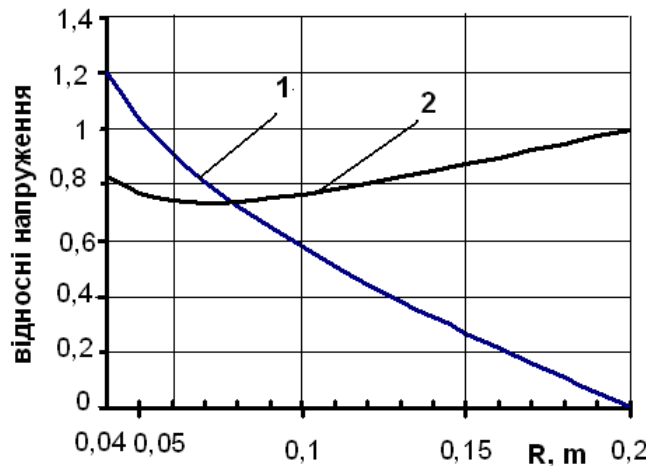


Рис. 3. Графік розподілу відносних напружень по радіусу рулону при $T = \text{const}$: 1 – радіальні; 2 – колові

Авторами був досліджений також напружено-деформований стан основов'язального полотна при накатуванні його у рулон в режимі сталого моменту накатування.

При цьому величина моменту знаходилась із умови:

$$T = \frac{F d}{2} = \frac{40 \cdot 400}{2} = 8000 \text{ Нмм},$$

де d – максимальний діаметр рулону полотна, $d = 400$ мм.

Результати визначення параметрів напружено-деформованого стану основов'язального полотна при накатуванні його у рулон в режимі постійного моменту накатування представлені в табл. 2 та у вигляді графіків (рис. 3).

Висновки

Аналізуючи результати досліджень, можна зробити наступні висновки:

- максимальна величина відносних радіальних напружень діє в зоні першого шару полотна (на товарному валику), поступово зменшується та дорівнює нулю в верхньому шарі;
- при збільшенні кінцевого радіусу рулону полотна величина максимальних радіальних та колових відносних напружень збільшується як в режимі постійного зусилля накатування, так і в режимі сталого моменту накатування;
- величина максимальних відносних радіальних напружень в режимі постійного зусилля накатування значно більше, ніж в режимі сталого моменту накатування;
- ступінь нерівномірності колових напружень в рулоні полотна, при однакових кінцевих радіусах рулону, менше при накатуванні в режимі сталого моменту.

Таким чином, для даного типу полотна, виготовленого на основов'язальній машині типу Кокетт, можна рекомендувати проектування механізмів, що здійснюють накатування полотна в режимі сталого моменту, при якому забезпечуються більш якісні показники напружено-деформованого стану полотна, навіть при формуванні рулонів великих діаметрів, що є актуальним для підвищення продуктивності машини.

Література

1. Гарбарук В.Н. Проектирование трикотажных машин Гарбарук В.Н. – Л. : Машиностроение, 1980. – 472 с.
2. Саусвелл Р.В. Введение в теорию упругости / Саусвелл Р.В. – Пер с англ. – М. : 1948 – 550 с.
3. Пискунов В.Г. Обобщенная неклассическая модель напряженно-деформированного состояния в задачах статки, динамики и контакта слоистых плит и оболочек / В.Г. Пискунов, В.К. Присяжнюк, А.В. Сипетов // Механика композиционных материалов. – 2003. – Т. 39. – № 2, – С. 205– 222.
4. Артеменко Л.Ф. Совершенствование устройств для рулонирования изделий легкой промышленности : автореф. дис. канд. техн. наук : 05.19.09 / Артеменко Л.Ф. – К. : ГАЛПУ, 1996 – 27 с.
5. Кириченко Ю.О. Математична модель напружено-деформованого стану рулонованого матеріалу / Ю.О. Кириченко // Вісник КНУТД. – 2004. – № 3. – С. 56– 60.
6. Кострицький В.В. Дослідження напружено-деформованого стану рулонованого матеріалу / В.В. Кострицький, Ю.В. Кириченко, Л.Ф. Артеменко // Вісник КНУТД. – 2004. – № 5. – С. 12– 16.
7. Кириченко Ю.О. Удосконалення пристроїв з програмним керуванням для рулонування матеріалів легкої промисловості : автореф. дис. канд. техн. наук : 05.05.10 / Кириченко Ю.О. – К. : КНУТД, 2006 – 22 с.
8. Семкин С.В. Разработка устройств равномерной оттяжки круглого трикотажного полотна. Автореф. дис. канд. техн. наук : 05.02.13 / К. : КТИЛП, 1988 – 22 с.
9. Пипа В.Б. Разработка механизмов накатки полотна кругловязальных машин с постоянным усилием накатки : автореф. дис. канд. техн. наук : 05.02.13 / Пипа В.Б. – К. : ГАЛПУ, 1992 – 24 с.
10. Савин Г.Н. Механика деформируемых тел / Савин Г.Н. – К. : Наукова думка, 1976 – 465 с.
11. Тимошенко С.П. Теория упругости / С.П. Тимошенко, Дж. Гудьер. – М. : Наука, 1979 – 560 с.
12. Лехницкий С.Г. Теория анизотропии анизотропного тела / Лехницкий С.Г. – М. : ГИТТЛ, 1950 – 299 с.
13. Каценеленбоген А.М. Машины и технология основязального производства / А.М. Каценеленбоген, О.Д. Галанина. – М. : Легкая индустрия, 1966, 430 с.

References

1. Garbaruk V.N. Proektirovanie trikotajnyh mashyn. Leningrad. Mashynostroenie. 1980. 472 p.
2. Sausvell R.V. Vvedenie v teoriyu uprugosti. M. 1948. 550 p.
3. Piskunov V.G., Prisyajnyuk V.K., Siptov A.V. Obobshchennaya neklassicheskaya model napryajenno-deformirovanogo sostoyaniya v zadachah statiki, dinamiki i kontakta sloistykh плит i obolochek. 2003. Volume 39. № 2. P. 205– 222.
4. Artemenko L.F. Sovershenstvovanie ustroystv dlya rulonirovaniya izdeliy legkoy promyshlennosti. 1996. 27 p.
5. Kirichenko Y.O. Matematychna model napryajenno-deformirovanogo sostoyaniya rulonirovanogo materiala. 2004. № 3. P. 56– 60.
6. Kostryckiy V.V., Kirichenko Y.O., Artemenko L.F. Issledovaniye napryajenno-deformirovanogo sostoyaniya rulonirovanogo materiala. 2004. № 5. P. 12– 16.
7. Kirichenko Y.O. Udoskonalennya prystroiv z programnym keruvanniam dlya rulonuvannya materialiv legkoi promyslovosti. 2006. 22 p.
8. Semkin S.V. Razrabotka ustroystv ravnomernoy ottyajki kruglogo trikotajnoho polotna. 1988. 22 p.
9. Pipa B.F. Razrabotka mehanizmov nakatki polotna kruglovyazalnih mashin s postoyannim usiliem nakatki. 1992. 24 p.
10. Savin G.N. Mehanika deformiruemykh tel. 1976. 465 p.
11. Timoshenko S.P., Gudher J. Teoriya uprugosti. 1979. 560 p.
12. Lehnitskiy S.G. anizotropii anizotropnoho tela. 1950. 299 p.
13. Kacenenelbogen A.M., Galanina O.D. Mashiny i tehnologiya osnovyazalnogo proizvodstva. 1966. 430 p.

Рецензія/Peer review : 9.3.2013 р. Надрукована/Printed : 7.4.2013 р.

Рецензент: д.т.н., проф. кафедри інженерної механіки
Київського національного університету технологій та дизайну Пипа Б.Ф.