

УДК 677.055

НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН КРУГЛОВ'ЯЗАЛЬНОГО ПОЛОТНА У РУЛОНІ

О.Ю. ОЛІЙНИК, Б.Ф. ПІПА, В.Г. ЗДОРЕНКО

Київський національний університет технологій та дизайну

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

Накатування є завершальною або проміжною операцією в різних 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. Існує 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 круглов'язального полотна не можливе без дослідження та аналізу напружено-деформованого стану полотна у рулоні.

Об'єкт та методи дослідження

Об'єктом досліджень є процес накатування круглов'язального полотна, а саме, напружено-деформований стан, що виникає в його шарах при формуванні рулону в двох режимах: постійне зусилля накатування; сталий момент накатування. При вирішенні задач, поставлених у даній роботі, були використані сучасні методи теоретичних досліджень з використанням програми Matlab.

Постановка завдання

Застосовуючи існуючу математичну модель напружено-деформованого стану полотна у рулоні та використовуючи сучасні програмні засоби, дослідити характер змін напружень полотна при формуванні рулону на круглов'язальній машині: для режиму постійного зусилля накатування та для режиму сталого моменту накатування полотна.

Результати та їх обговорення

Великий ряд досліджень присвячені 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 накатуємого матеріалу, слід відзначити роботи [3-7]. Особливу увагу викликає робота [6], де досліджено напружено-деформований стан плівки, тканини та шкіри при різних режимах формування рулону.

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

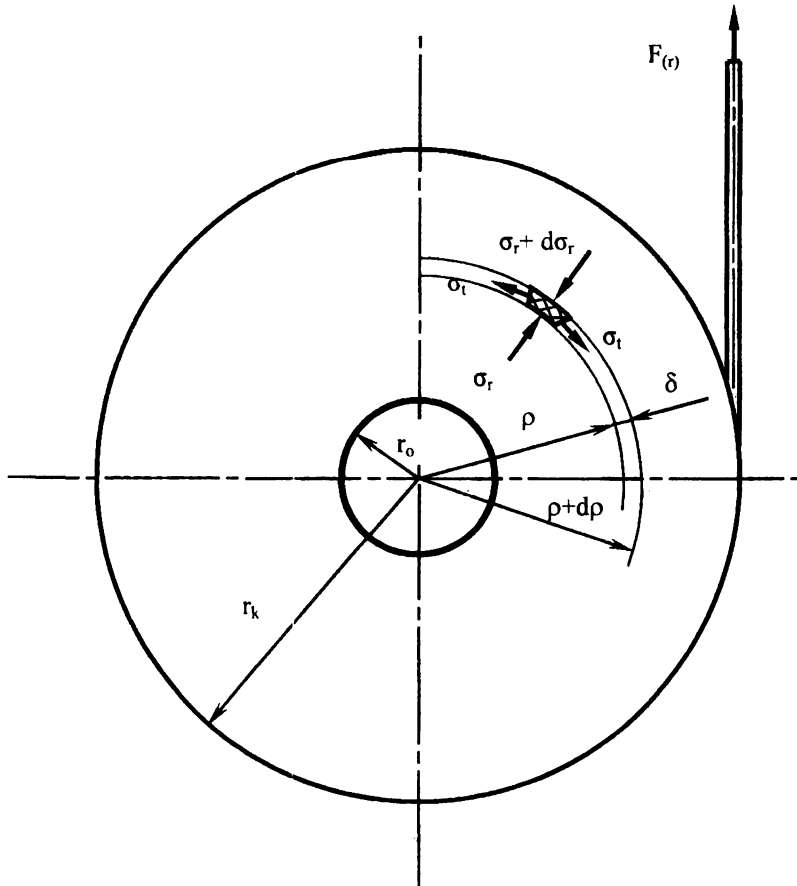


Рис.1. Розрахункова схема напружено-деформованого стану полотна у рулоні

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 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 намотувальних виробів, та встановлено залежність радіальних σ_r та колових напружень σ_t по радіусу рулону r від питомого натягу матеріалу $F(r)$ у вигляді формул:

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

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

де β – параметр анізотропії, що характеризує вплив трикотажного полотна на напружено-деформований стан рулону та знаходиться із умови : $\beta = \sqrt{E_t/E_r}$, (E_t – модуль пружності в тангенціальному напрямку; E_r – модуль пружності в радіальному напрямку рулону);

ν_{ir} – коефіцієнт Пуассона в напрямку повздовжньої осі матеріалу (характеризує розширення в напрямку r при стиску в напрямку t);

ν_{ri} – коефіцієнт Пуассона в напрямку, перпендикулярному до площини матеріалу (характеризує розширення в напрямку t при стиску в напрямку r);

$a^{2\beta} = r_o^{2\beta} (\beta - \nu_{ir}) / (\beta + \nu_{ir})$ – коефіцієнт; r_k – кінцевий радіус рулону; r_o – радіус товарного валика; r – поточний радіус рулону;

ρ та $\partial\rho$ – радіуси елементарного шару; $F(\rho)$ – питомий натяг елементарного шару.

Для ортотропного тіла маємо наступне співвідношення:

$$\nu_{ir} E_r = \nu_{ri} E_t = \beta^2, \tag{3}$$

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 із застосуванням сучасних програмуючих засобів.

Коли накатування рулону полотна здійснюється при постійному натягу накатування, то:

$$F(r) = F_o = const, \tag{4}$$

Враховуючи умову (8) формули (6), (7) набувають вигляду [4-5]:

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

$$\sigma_t = F_o \left[1 - \beta^2 \frac{(1 + \beta\nu_{ir})}{(\beta + \nu_{ri})} \cdot \frac{(r^{2\beta} - a^{2\beta})}{r^{\beta+1}} \cdot \int_r^{r_k} \frac{\rho^\beta}{(\rho^{2\beta} + a^{2\beta})} d\rho \right] \tag{6}$$

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:

$$T_H = F(r) \cdot r = const, \tag{7}$$

Тоді з урахуванням умови (7) формули (5), (6) набувають вигляду [4-5]:

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

$$\sigma_t = T_H \left[\frac{1}{r} - \beta^2 \frac{(1 + \beta\nu_{ir})}{(\beta + \nu_{ri})} \cdot \frac{(r^{2\beta} - a^{2\beta})}{r^{\beta+1}} \cdot \int_r^{r_k} \frac{\rho^{\beta-1}}{(\rho^{2\beta} + a^{2\beta})} d\rho \right] \tag{9}$$

Для визначення параметрів напружено-деформованого стану круглов'язального полотна була розроблена програма в Matlab. На прикладі полотна, що виробляється на круглов'язальній машині типу КО, досліджено характер змін напружень полотна у рулоні, що накатується в режимі постійного зусилля (рис.2).

Вихідні дані для розрахунків: тип полотна – кулірне покривне; заправка машини [13]: ґрунтова нитка – бавовна 18,5x1 текс, покривна нитка – віскоза 22,2 текс, товщиною $\delta=1,28$ мм та шириною рулону $l = 610$ мм. Модулі пружності (експериментальні данні) [8,9]: $E_r=2,875$ МПа та $E_t=1,524$ МПа; тоді коефіцієнт анізотропії $\beta=0,73$; коефіцієнти Пуассона, згідно співвідношення (3): $\nu_{ir} 0,3497$, $\nu_{ri}=0,1854$;. Параметри рулону полотна: $r_o=25$ мм та $r_k=150$ мм (варіант I), $r_k=200$ мм (варіант II), $r_k=250$ мм (варіант

III). При загальному зусиллі накатування $F_H = 36,72 \text{ Н}$ [14], тоді питомий натяг полотна знаходимо як відношення: $F(r) = F_H / l \cdot \delta$.

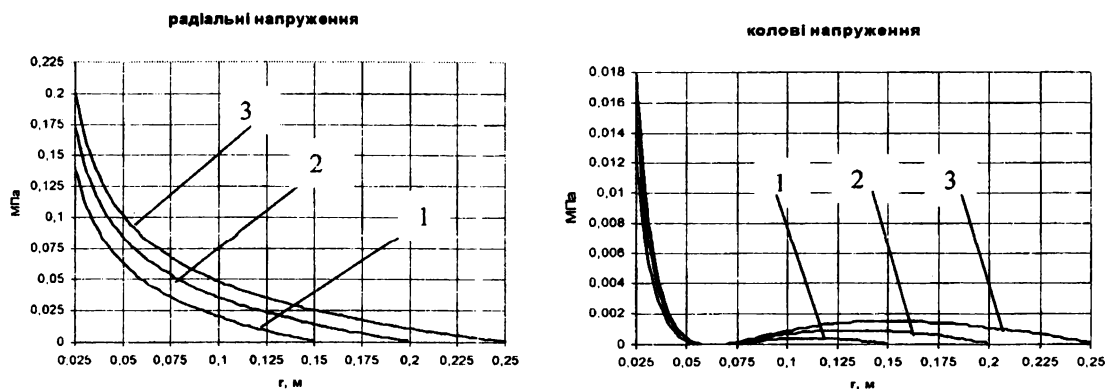


Рис.2. Розподіл радіальних та колових напружень по радіусу рулону при $F(r) = F_i = \text{const}$:
1 – при $r_k = 150 \text{ мм}$; 2 – при $r_k = 200 \text{ мм}$; 3 – при $r_k = 250 \text{ мм}$

Також досліджено характер змін напружень аналогічного полотна у рулоні, що накатується в режимі сталого моменту накатування (рис.3), з врахуванням величини моменту накатування полотна T_H [15]:

$$T_H = F_{\min} \cdot r_k = F_i \cdot Z \cdot r_k; \tag{14}$$

де F_{\min} – мінімальне зусилля накатки полотна; F_i – мінімальне зусилля накатки полотна, що діє на один петельний стовпчик трикотажу в кінці накатки рулону; Z – кількість петельних стовпчиків полотна (кількість голок голкового циліндра машини).

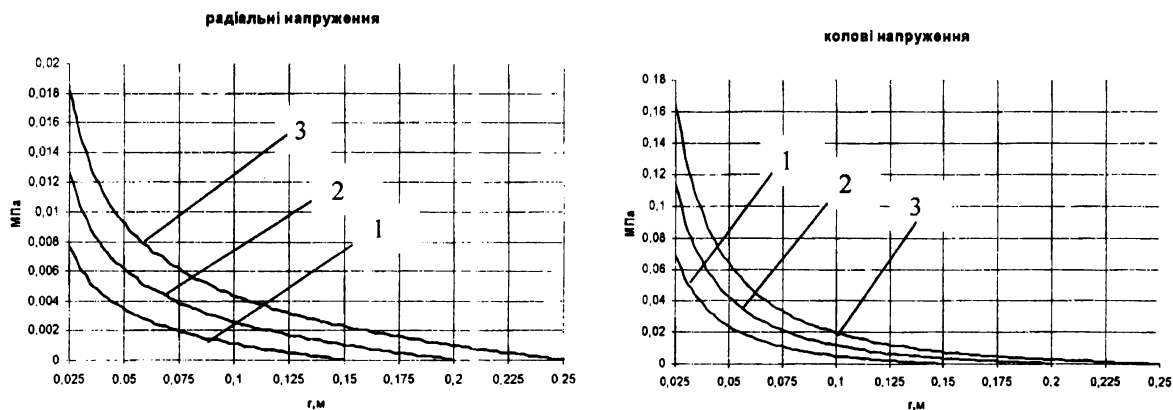


Рис.3. Розподіл радіальних та колових напружень по радіусу рулону при $T_H = F(r) \cdot r = \text{const}$:
1 – при $r_k = 150 \text{ мм}$; 2 – при $r_k = 200 \text{ мм}$; 3 – при $r_k = 250 \text{ мм}$

Висновки

Аналізуючи результати проведених розрахунків, можна зробити такі висновки:

- максимальні радіальні напруження зосереджені на першому шарі рулону полотна та збільшуються при збільшенні радіусу, зусилля чи моменту накатування полотна;
- при роботі в режимі постійного натягу мають більші значення радіальні напруження;

- при роботі в режимі сталого моменту мають більші значення колові, ніж радіальні напруження;
- отриманні данні можна використати при рішенні практичних задач по вибору оптимальних режимів накатування круглов'язального полотна у рулон та при розробці нових більш ефективних типів круглов'язальних машин.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гарбарук В.Н. Проектирование трикотажных машин. – Л.: Машиностроение, 1980. – 472 с.
2. Саусвелл Р.В. Введение в теорию упругости. Пер с англ. М.: 1948 – 550с.
3. Пискунов В.Г., Присяжнюк В.К., Сипетов А.В. Обобщенная неклассическая модель напряженно-деформированного состояния в задачах статики, динамики и контакта слоистых плит и оболочек// Механика композиционных материалов. Т.39., №2, 2003 – с. 205-222.
4. Артеменко Л.Ф., Кострицький В.В. Математичне моделювання процесів рулоунання виробів легкої промисловості // Наукові праці Ювілейної наукової конференції ім. 65-річчя заснування ДАЛПУ. 1995 – 4с.
5. Кириченко Ю.О. Математична модель напружено-деформованого стану рулонованого матеріалу. //Вісник КНУТД. –2004. –№ 3. –с.56 – 60.
6. Кострицький В.В., Кириченко Ю.В., Артеменко Л.Ф. Дослідження напружено-деформованого стану рулонованого матеріалу.//Вісник КНУТД. – 2004. – № 5. – с.12 – 16.
7. Кириченко Ю.О. Удосконалення пристроїв з програмним керуванням для рулоунання матеріалів легкої промисловості. Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.05.10 /К.: КНУТД, 2006 – 22с.
8. Семкин С.В. Разработка устройств равномерной оттяжки круглого трикотажного полотна. Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.02.13 /К.: КТИЛП, 1988 – 22с.
9. Пипа В.Б. Разработка механизмов накатки полотна кругловязальных машин с постоянным усилием накатки. Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.02.13 /К.: ГАЛПУ, 1992 – 24с.
10. Савин Г.Н. Механика деформируемых тел. – К. : Наукова думка, 1976 – 465с.
11. Тимошенко С.П., Гудьер Дж. Теория упругости. – М.: Наука, 1979 –560с.
12. Лехницкий С.Г. Теория упругости анизотропного тела. – М.: ГИТТЛ, 1950 – 299с.
13. Машины кругловязальные типа КО-2. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. – Черновцы. 1992 – 86 с.
14. Пипа Б.Ф., Куніна О.Ю. Вибір робочих параметрів приводу механізму відтяжки полотна круглов'язальних машин типу КО //Вісник КНУТД. -2005. - № 4 (24). – с.7-10.
15. Пипа Б.Ф., Федоров Ю.Д., Олійник О.Ю. Механізм накатки полотна круглов'язальної машини з постійним моментом накатки та вибір його параметрів //Вісник ХНУ. – 2006, - № 2. Т.1, – С.32-36.

Надійшла 30.06.2010