

Література

1. Кисликов, В. Ф., Лущик, В. В. Будова й експлуатація автомобілів : підручник. – 5-те вид. – К.: Либідь, 2005. – 400 с.: іл.
2. Ремонт машин та обладнання: Підручник / О.І. Сідашенко та ін.; за ред. проф. О.І. Сідашенка, О.А. Науменка. Підручник: (Затверджено МОН України як підручник для студентів ВНЗ, які навчаються за напрямом підготовки «Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва» від 21.06.10 № 1/11 – 545) – К.: Агроосвіта, 2014. – 665 с

УДК 621.771.63

ВИЗНАЧЕННЯ НАПРУЖЕНЬ В ОСЕРЕДКУ ДЕФОРМАЦІЇ ПРИ ФОРМУВАННІ У ВАЛКАХ ПОВЗДОВЖНІХ ЗАМКНУТИХ ГОФРІВ

Абдула А. Г. здобувач; Тришевський О. І. д.т.н., професор

Державний біотехнологічний університет

Апроксимуючи поліномом 8-го ступеня розподіл стоншення по ширині гофра, методом найменших квадратів розв'язували отримані методами теорії пластичності рівняння рівноваги і замінювали в отриманих рівняннях похідні на кінцеві різниці. При цьому отримали систему нормальних рівнянь для визначення середнього напруження в точках осередку деформації. Складено програму і виконано розрахунок напруженого стану під час формування профілю обшивки піввагонів з поздовжніми періодичними гофрами зі сталі 09Г2.

Для визначення тиску металу на валки необхідно знати напруження, що виникають у процесі формування в кожній точці ділянки контакту заготовки, що формується, з поверхнею інструменту для формування, у цьому випадку, з валками.

У дослідженні для визначення напружень було застосовано такий метод розрахунку. Раніше отримана крива розподілу потоншення на відформованому гофрі була апроксимована поліномом 8-го ступеня:

$$f(x) = -0,174 + 177,796x - 1241,264x^2 + 3719,531x^3 - 5916,201x^4 + 5396,816x^5 - 2834,682x^6 - 796,479x^7 - 92,604x^8, \quad (1)$$

З цього виразу на основі залежностей теорії пластичності знаходили поле швидкостей переміщень:

$$v_y = -f(x) \frac{2y}{s_0}; \quad v_x = \frac{2}{s_0} \int f(x) dx, \quad (2)$$

а також поле швидкостей деформацій та інтенсивність швидкостей деформацій у всіх точках осередку деформації (напружено-деформований стан при цьому вважали плоским):

$$\varepsilon_{xx} = \frac{\partial v_x}{\partial x}; \quad \varepsilon_{yy} = \frac{\partial v_y}{\partial y}; \quad \varepsilon_{xy} = \frac{\partial v_x}{\partial y} + \frac{\partial v_y}{\partial x}; \quad \varepsilon_i = \frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{\varepsilon_{xx}^2 + \frac{1}{4} \varepsilon_{xy}^2} \quad (3)$$

Враховуючи залежності [1]:

$$\sigma_{xx} = \sigma + 2\mu_i \varepsilon_{xx}; \quad \sigma_{yy} = \sigma + 2\mu_i \varepsilon_{yy}, \quad (4)$$

отримаємо такі рівняння рівноваги:

$$\frac{\partial \sigma}{\partial x} = -\mu_i \left(\frac{\partial^2 v_y}{\partial x^2} \right) - 2 \frac{\partial \mu_i}{\partial x} \frac{\partial v_x}{\partial x} - \frac{\partial \mu_i}{\partial y}; \quad \frac{\partial \sigma}{\partial y} = -\mu_i \left(\frac{\partial^2 v_y}{\partial x^2} \right) - 2 \frac{\partial \mu_i}{\partial y} \frac{\partial v_y}{\partial y} - \frac{\partial \mu_i}{\partial x} \frac{\partial v_y}{\partial x}. \quad (5)$$

Ця система невизначена, оскільки в ній кількість рівнянь більша за кількість невідомих. Рішення шукаємо за методом найменших квадратів, мінімізуючи суму квадратів абсолютних нев'язок. Замінюючи в рівняннях похідні на кінцеві різниці та складаючи систему нормальних рівнянь, отримуємо для визначення середнього напруження в довільній точці осередку деформації (i, j) таку ітераційну формулу:

$$\sigma[i, j] = \frac{1}{4} \{ [i, j + 1] + \sigma[i, j - 1] + \sigma[i + 1, j] + \sigma[i - 1, j] - F[i, j + 1]\Delta x + F[i, j - 1]\Delta x - F_1[i + 1, j]\Delta y + F_1[i - 1, j]\Delta y \} \quad (6)$$

Для верхньої межі осередку деформації ітераційна формула набуває вигляду:

$$\sigma[i, j] = \frac{1}{3} \{ \sigma[i, j + 1] + \sigma[i, j - 1] + \sigma[i - 1, j] - F[i, j + 1]\Delta x + F[i, j - 1]\Delta x + F_1[i - 1, j]\Delta y \} \quad (7)$$

Для бічних меж було задано такий закон зміни:

$$\sigma[i, j] = \frac{\sigma_s^{(i-1)}}{m}. \quad (8)$$

Було складено програму і виконано розрахунок напруженого стану під час формування профілю обшивки піввагонів із поздовжніми періодичними гофрами зі сталі 09Г2 ($\sigma_s=0,024515\text{МПа}$ (25кГ/мм^2), $B=218\text{ мм}$, $s_0=4\text{ мм}$) (Рис. 1), для якого експериментально визначали криву потоншення. Було визначено значення σ , σ_{xx} , σ_{yy} , τ_{xy} , рівномірно розподілені по ширині осередку деформації B , яке було розділено на 16 рівних ділянок.

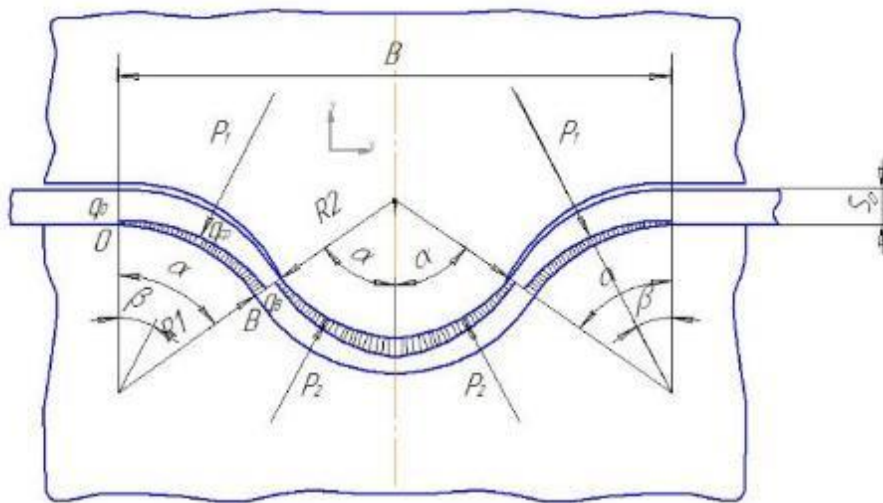


Рис. 1 Схема осередку деформації під час формування поздовжніх періодично повторюваних гофрів

Таблиця 1 Розподіл середнього нормального напруження σ по осередку деформації

	50,4	39,7	32,1	27,4	24,2	21,1	18,8	17,4
	51,4	39,4	31,0	26,1	22,7	19,7	17,4	16,1
S	52,9	38,2	28,5	23,1	19,7	16,9	14,8	13,6
	53,8	34,8	23,6	18,1	15,1	12,7	10,9	9,9
	50,7	26,3	15,0	10,6	8,6	7,1	5,9	5,3
	31,4	7,5	1,5	0,5	0,4	0,4	0,2	0,04
	17,4	18,8	21,1	24,2	27,4	32,1	39,7	50,4
	16,1	17,4	19,7	22,7	26,1	31,0	39,4	51,4
S	13,6	14,8	16,9	19,7	23,1	28,5	38,2	52,9
	9,9	10,9	12,7	15,1	18,1	23,6	34,8	53,8
	5,3	5,9	7,1	8,6	10,6	15,0	26,3	50,7
	0,04	0,2	0,4	0,4	0,5	1,5	7,5	31,4

Таблиця 2 Розподіл напружень σ_{xx} в зоні формовки повздожніх гофрів

	32,2	21,5	13,9	9,3	6,0	3,0	0,6	-0,8
	33,3	21,2	12,8	7,9	4,5	1,6	-0,8	-2,1
S	34,7	20,0	10,3	4,9	1,6	-1,3	-3,4	-4,6
	35,6	16,6	5,4	-0,09	-3,1	-5,5	-7,3	-8,3
	32,6	8,2	-3,2	-7,6	-9,6	-11,1	-12,3	-12,9
	13,2	-10,6	-16,7	-17,7	-17,7	-17,8	-18,0	-18,1
	-0,8	0,6	3,0	6,0	9,3	13,9	21,5	32,2
	-2,1	-0,8	1,6	4,5	7,9	12,8	21,2	33,3
S	-4,6	-3,4	-1,3	1,6	4,9	10,3	20,0	34,7
	-8,3	-7,3	-5,5	-3,1	-0,09	5,4	16,6	35,6
	-12,9	-12,-18,0	-11,1	-9,6-17,7	-7,6	-3,2	8,2	32,6
	-18,1		-17,8		-17,7	-16,7	-10,6	13,2

Таблиця 3 Розподіл напружень σ_{yy} по по осередку деформації

	68,6	57,9	50,2	45,6	42,3	39,3	36,9	35,6
	69,6	57,6	49,2	44,3	40,9	37,9	35,6	34,3
S	71,1	56,4	46,7	41,3	37,9	35,1	33,0	31,8
	72,0	53,0	41,8	36,3	33,3	30,9	29,1	28,1
	68,9	44,5	33,2	28,8	26,8	25,3	24,1	23,4
	49,6	25,7	19,7	18,7	18,7	18,5	18,4	18,2
	35,6	36,9	39,3	42,3	45,6	50,2	57,9	68,6
	34,3	35,6	37,9	40,9	44,3	49,2	57,6	69,6
S	31,8	33,0	35,1	37,9	41,3	46,7	56,4	71,1
	28,1	29,1	30,9	33,3	36,3	41,8	53,0	72,0
	23,4	24,1	25,3	26,8	28,8	33,2	44,5	68,9
	18,2	18,4	18,5	18,7	18,7	19,7	25,7	49,6

Таблиця 4 Розподіл дотичних напружень τ_{xy} в зоні формовки поздовжніх гофрів

	0,04	-0,2	-0,2	-0,09	-0,01	0,01	-0,004
	0,04	-0,2	-0,2	-0,08	-0,01	0,01	-0,003
S	0,03	-0,2	-0,2	-0,07	-0,009	0,009	-0,003
	0,03	-0,2	-0,1	-0,06	-0,007	0,007	-0,002
	0,02	-0,1	-0,1	-0,05	-0,006	0,006	-0,002
	0,02	-0,09	-0,08	-0,04	-0,004	0,004	-
	0,004	-0,001	0,01	0,09	0,2	0,2	-0,04
	0,003	-0,001	0,01	0,08	0,2	0,2	-0,04
S	0,003	-0,009	0,009	0,07	0,2	0,2	-0,03
	-0,002	-0,007	0,007	0,06	0,1	0,2	-0,03
	-0,002	-0,006	0,006	0,05	0,1	0,1	-0,02
	0,001	-0,004	0,004	0,04	0,08	0,09	-0,02

Висновок

Шляхом апроксимації кривої розподілу стоншення по ширині замкнутого гофра поліномом 8-го ступеня та використовуючи отримані методами теорії пластичності рівняння рівноваги, в яких похідні замінювали кінцевими різницями, була отримана система нормальних рівнянь для визначення середнього напруження в точках осередку деформації.

Числове визначення розподілу напружень по ширині замкнутого гофра було зроблене для профілю обшивки піввагонів з поздовжніми періодичними гофрами зі сталі 09Г2 за допомогою спеціально розробленої розрахункової програми.

Отримані дані можуть бути використані для визначення нормальних тисків під час формоутворення у валках поздовжніх гофрів, що періодично повторюються.

Список використаних джерел

1. Alekseev Yu.N. Voprosyi plasticheskogo techeniya metallov. Harkov, izd-vo HGU, 1958.