

Тришевський О.І.

Бабаєв І.О.

Харківський національний
технічний університет
сільського господарства
імені П.Василенко,
м. Харків, Україна
E-mail: 3shev@ukr.net

ДО ПИТАННЯ УТВОРЕННЯ ХВИЛЯСТОСТІ
НА ПЛОСКИХ ЕЛЕМЕНТАХ ЛИСТОВИХ
ПРОФІЛЕЙ З ПОВЗДОВЖНИМИ ГОФРАМИ,
ЩО ПЕРІОДИЧНО ПОВТОРЮЮТЬСЯ

УДК 621.771.63

Проведені дослідження, що дозволили виявити причини виникнення хвилястості по плоским бічним елементам листових профілів з періодично повторюваними поздовжніми гофрами. Отриманий вираз, що описує умови відсутності втрати стійкості плоского бічного елемента таких профілів, що дозволяє проектувати технологічний процес без виникнення хвилястості по кромці. Проаналізовано вплив різних конструктивних і технологічних параметрів профілів і технології їх виробу на можливу втрату стійкості плоских бічних елементів профілів.

Ключові слова: *гнуті профілі, періодичні гофри, плоский бічний елемент, кромка профілю, залишкові напруження стиску, критичні напруження, втрата стійкості, хвилястість полки, геометричні параметри профілю.*

Вступ, актуальність і постановка проблеми. Одним з найбільш ефективних видів металопрокату, що широко використовується при виготовленні і ремонтах різних машин і механізмів, які застосовуються в сільському господарстві України є гнуті профілі. Виготовляються такі профілі високопродуктивним методом безперервної формозміни листової смуги в валках, що обертаються назустріч один одному і встановлених в клітках профілезгинального стану. Аналогічні профілі можуть виготовлятися і іншим, набагато менш продуктивним способом - формуванням в штампах на пресах.

Істотною відмінністю цих двох процесів, що значно ускладнює виготовлення якісних профілів шляхом профілювання, є те, що на відміну від штампування, де заготовка притиснута по всій площині штампа, при профілюванні зона контакту матеріалу з інструментом дуже мала і велика частина деформування смуги відбувається у позаконтактній зоні осередку деформації, розташованої перед осьовою площиною роз'єму валків.

При такій схемі формоутворення одним з найбільш поширених непереборних дефектів на готових профілях є хвилястість їх плоских бічних елементів, яка може виникати при певних поєднаннях розмірів формованих гофрів, їх розташуванні щодо крайок профілю і механічних властивостей використовуваної листової або рулонної заготовки.

Для правильного проектування технологічного процесу виробництва таких профілів необхідно з'ясувати - які саме технологічні і конструктивні фактори впливають на виникнення цього дефекту і як їх можна враховувати при розробці технології.

У зв'язку з цим, в даній роботі були проведені **теоретичні дослідження метою яких** було встановити причини виникнення хвилястості на профілях з поздовжніми періодично повторюваними гофрами жорсткості, аналітично вирішити задачу визначення пластичної втрати стійкості плоского бічного елемента цих профілів і на підставі цього отримати вирази, які враховують основні параметри профілів, а також механічні характеристики використовуваного для їх виготовлення матеріалу, що обумовлюють виникнення хвилястості на профілях.

Основні результати досліджень. В роботі [1] було виконано аналіз напружено-деформованого стану металу на плоскому бічному (прилеглому до поздовжній крайці листа) елементі профілів з поздовжніми періодично повторюваними гофрами.

Проведені дослідження дозволили виявити дві зони в осередку деформації (рис. 1). Першу – (l_{2n}) від перетину, в якому починається утяжка металу, до перетину, де поздовжня кривизна кромки змінює знак. Ця зона характеризується розтягуванням волокон профілю. Другу – (l_{3n}) від зазначеного перетину до осьової площини валків, яка характеризується укороченням розмірів кромки до початкових і виникненням, відповідно до теореми про розвантаження, залишкових напружень стиску $\sigma_{ост}$.

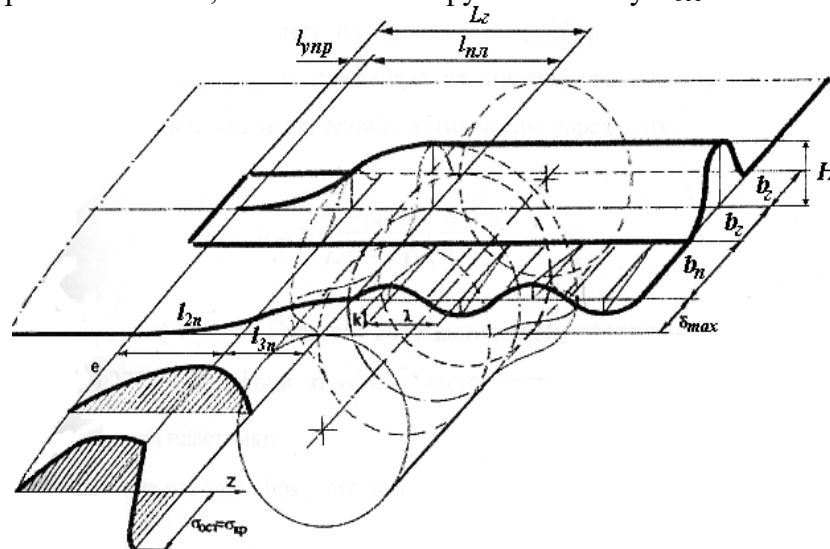


Рис. 1 – Схема виникнення втрати стійкості плоского бічного елемента при формуванні профілів з поздовжніми гофрами

Ці напруження, що є причиною пластичної втрати стійкості плоского бічного елемента профілів з періодичними гофрами, при апроксимації залежності $\sigma - e$ ступеневою функцією можуть бути визначені через активну складову поздовжньої деформації e_2 другої зони виразом:

$$\sigma_{зал} = Ke_2^m, \quad (1)$$

де K, m – коефіцієнти статечної функції.

Величина активної складової деформації e_2 , що відповідає максимальному значенню залишкових напружень (1), визначалася відповідно до теореми про розвантаження А.А.Льюшіна

$$e_{2max} = e_{1max} - e_{упр}, \quad (2)$$

де e_{1max} – максимальна деформація розтягування; $e_{упр}$ – фіктивна пружна деформація, рівна:

$$e_{пруж} = \frac{Ke_{1max}^m}{E}, \quad (3)$$

де E – модуль пружності.

З урахуванням (3), вираз (2) має вигляд:

$$e_{2max} = e_{1max} - \frac{Ke_{1max}^m}{E}. \quad (4)$$

Для аналітичного розв'язання задачі визначення умов пластичної втрати стійкості плоского бічного елемента використовувалися результати досліджень стійкості пластинок при різних схемах навантаження та граничних умов, засновані на енергетичному критерії. Розглядаючи плоский бічний елемент профілю, як довгу платівку, що знаходиться під дією рівномірно розподіленого навантаження, пружно закладену на стороні, що примикає до гофру [2], величину критичних напружень стиснення можна визначити:

$$\sigma_{кр} = \frac{\pi^2 E \sqrt{\tau}}{12(1-\nu)^2} \left(\frac{S}{b_n} \right)^2 k_{уст}, \quad (5)$$

де $\nu = 0,5$ – коефіцієнт Пуассона для пластичної деформації; $k_{ст} = 1,277$ – коефіцієнт стійкості, що враховує вид закріплення по контуру довгої пластинки; S – товщина профілю; b_n – ширина плоского бічного елемента профілю; τ – наведений модуль істинної кривої зміцнення:

$$\tau = \frac{Km}{Ee_{2\max}^{1-m}} \quad (6)$$

З огляду на те, що умовою відсутності втрати стійкості є не перевищення залишковими напруженнями стиску величини критичних

$$\sigma_{ост} \leq \sigma_{кр}, \quad (7)$$

величина максимальної активної складової поздовжньої деформації другої зони, при якій відсутнє хвилеутворення, визначається виразом:

$$e_{2\max} \leq \left\{ \left[\frac{\pi^2}{12(1-\nu)^2} \right]^2 \left(\frac{S}{b_n} \right)^4 k_{уст}^2 \frac{mE}{K} \right\}^{\frac{1}{m+1}} \quad (8)$$

Беручи до уваги, що величина максимальної поздовжньої деформації розтягування в першій зоні $e_{1\max}$ з урахуванням [3], [4] визначається виразом:

$$e_{1\max} = \sqrt{1 + \frac{l_n^2}{r_2^2 - l_n^2} - 1}, \quad (9)$$

де r_2 – радіус кола, апроксимуючої конфігурацію бічної кромки профілю першої зони осередка деформації (рис.1) [3], умова відсутності втрати стійкості плоского бічного елемента листових профілів з періодичними поздовжніми гофрами, що дозволяє проектувати технологічний процес без виникнення хвилястості по країці (7) з урахуванням (1-4, 8 і 9) має вигляд:

$$\frac{2\delta_{\max}^2}{(L_2 - l_{ynp})^2 - \delta_{\max}^2} - \frac{K}{E} \left[\frac{2\delta_{\max}^2}{(L_2 - l_{ynp})^2 - \delta_{\max}^2} \right]^2 \leq \left\{ \left[\frac{\pi^2}{12(1-\nu)^2} \right]^2 \left(\frac{S}{b_n} \right)^4 k_{уст}^2 \frac{mE}{K} \right\}^{\frac{1}{m+1}} \quad (10)$$

З аналізу виразу (10) випливає, що зі збільшенням довжини осередку деформації гофра L_2 , товщини формованого металу S , міцностних властивостей металу, які характеризуються коефіцієнтами K і m , наявністю відбортів, що збільшують значення коефіцієнта стійкості $k_{ст}$, а також зі зменшенням максимальної утяжки δ_{\max} , ширини плоского бокового елемента b_n і протяжності пружної зони осередка деформації гофра $l_{пр}$ схильність плоского бічного елемента до хвилеутворення зменшується.

Висновки. Таким чином, на підставі досліджень стійкості плоских бічних елементів листових профілів з періодично повторюваними гофрами жорсткості, виконаних з урахуванням аналізу їх напружено-деформованого стану, встановлені причини і отримано аналітичний розв'язок задачі визначення пластичної втрати стійкості плоского бічного елемента профілів з поздовжніми гофрами. Отримані вирази враховують основні параметри профілів, а також механічні характеристики використовуваного для їх виготовлення матеріалу, що дозволяє проектувати технологічний процес без виникнення хвилястості по країці.

Література:

1. Тришевский О.И. Анализ причин пластической потери устойчивости плоского бокового элемента листовых профилей с продольными периодически повторяющимися гофрами. // Труды 4-й международной научно-практической конференции «Перспективное развитие науки, техники и технологий». – Курск. – 2014. – С.1-9.
2. Тимошенко С.П. Устойчивость стержней, пластин и оболочек. – М.: Наука, 1971. – 349 с.
3. Тришевский О.И., Вершинин В.Ф. К определению длины очага деформации и утяжки плоского бокового элемента при производстве профилей высокой жёсткости с продольными гофрами. // Гнутые профили проката. Вып. 7. – Харьков: Изд. УкрНИИМЕТ. – 1979. – С.14 – 22.
4. Гун Г.Я., Полухин П.И., Прудковский Б.Л. Пластическое формоизменение металлов. – М.: Металлургия, 1968. – 416 с.

Summary

O. Trishevskiy, I. Babaev On the problem of the formation of waviness on flat elements of sheet profiles with longitudinal periodically repeating corrugations

Studies have been carried out that made it possible to identify the causes of the waviness of flat lateral elements of sheet profiles with periodically repeated longitudinal corrugations. An expression is obtained that describes the conditions for the lack of stability of a flat lateral element of such profiles, which allows to design a technological process without the formation of waviness along the edge. The influence of various geometric parameters and technological parameters of profiles and technology on the possible loss of stability of flat lateral elements of profiles is analyzed.

Keywords: bent profiles, periodic corrugations, flat lateral element, profile edge, residual compressive stresses, critical stresses, loss of stability, shelf waviness, profile geometric parameters.

References

1. Trishevskij O.I. Analiz prichin plasticheskoj poteri ustojchivosti ploskogo bo-kovogo ehlementa listovyh profilej s prodol'nymi periodicheski povtoryayushchi-misya goframi. // Trudy 4-j mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Perspektivnoe razvitie nauki, tekhniki i tekhnologij». – Kursk. – 2014. – S.1-9.
2. Timoshenko S.P. Ustojchivost' stержnej, plastin i obolochek. – М.: Nauka, 1971. – 349 s.
3. Trishevskij O.I., Vershinin V.F. K opredeleniyu dliny ochaga deformacii i utyazhki ploskogo bokovogo ehlementa pri proizvodstve profilej vysokoj zhyostko-sti s prodol'nymi goframi. // Gnutye profili prokata. Vyp. 7. – Har'kov: Izd. UkrNIIMET. – 1979. – S.14 – 22.
4. Gun G.YA., Poluhin P.I., Prudkovskij B.L. Plasticheskoe formoizmenenie metal-lov. – М.: Metallurgiya, 1968. – 416 s.