

УДК 621.73

Євстратов В. О.
Коворотний Т. Л.**РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДИКИ ОТРИМАННЯ ЯКІСНИХ ПРОФІЛІВ
З АЛЮМІНІЄВОГО СПЛАВУ АМц**

В умовах переходу до ринкової економіки та скрутного становища в Україні з природними ресурсами та енергопостачанням стає особливо гострою проблема зниження енергетичної матеріалоемності промислової продукції та виведення її за цими економічними показниками на рівень, досягнутий в провідних промислово розвинутих країнах. В той час, коли машинобудівні гіганти знаходяться у дуже скрутному становищі, на допомогу великому машинобудуванню приходять невеличкі фірми та підприємства.

Більшість таких підприємств займається виготовленням гнутих профілів. Асортимент гнутих профілів, що виготовляються на Україні, різноманітний, але він майже весь виготовляється зі сталі. Все частіше в офісах, на підприємствах, фасади зовнішніх поверхонь будівель, стелі – облицьовуються сайдинговими панелями. Як матеріал для сайдинга починають широко використовувати корозійностійкі алюмінієві сплави з покриттям. Завдяки чудовим властивостям алюмінієвого сплаву, панелі мають малу вагу, корозійну стійкість, гарний естетичний вигляд. На жаль, ті профілі, які на теперішній час використовуються у будівництві, завозяться з-за кордону. Тому в Україні постала потреба у виготовленні гнутих профілів з алюмінієвих сплавів, які б змогли замінити імпортного постачальника, а також розширити асортимент гнутих профілів для малих підприємств.

На сьогоднішній день існує достатньо багато літератури, яка з різних боків висвітлює процес профілювання. Широко розкрито виготовлення гнутих профілів на профілезгинальних агрегатах, розглянуто багато технологічних процесів, детально представлено енергосиловий режим профілювання. Автори багатьох книжок (наприклад, [1, 2]) детально описують організацію профілезгинального виробництва, дають поради з проектування технологічних переходів, характеризують обладнання, що використовується у профілезгинальному виробництві. Однак, зовсім не висвітлено питання виготовлення профілів з алюмінієвих сплавів, проте саме ці профілі потребують уваги під час розроблення режимів профілювання.

Проведений огляд літературних джерел дозволяє стверджувати, що питання виготовлення гнутих профілів з алюмінієвих сплавів є актуальним. Це дозволяє казати про доцільність огляду виготовлення профілів з алюмінієвих сплавів.

Мета даної роботи є аналіз виготовлення профілів з алюмінієвих сплавів, пропозиції стосовно розв'язання головної проблеми тонкостінних профілів – хвилястості.

В процесі формування профілю має місце позаконтактна деформація. Ця обставина суттєво змінює особливості процесу деформування. Модель позаконтактної деформації на крайці профілю в літературі не описано. Тому немає математичної моделі, яка давала б змогу з'ясувати поведінку металу на крайці профілю.

Для визначення позаконтактної деформації було вирішено змодельовати процес профілювання швелеру, дослідити поведінку металу на крайці та обробити процес математично.

Хвилястість – це один з різновидів браку профілів. Вона виникає, якщо валки встановлені невірно, якщо кути підгину за прохід надто великі, міжцентрова відстань вибрана неправильно. Вона виникає, коли напруження розтягування, що діють у профілі в межах міжосьової відстані, перевищують межу плину металу і виходять за пружну область [1] (рис. 1).

Для одержання точних виробів з необхідними розмірами необхідне дотримання певних режимів. Для зручності розрахунку калібрування в промислових умовах, де не завжди є можливість глибоко вникати в теоретичний розрахунок і працювати з великими та трудомісткими формулами, дана робота буде складатися із двох допущень. Теоретичну модель першого наближення будуватимемо по спрощеній схемі. Це наближення дасть змогу виявити

основні параметри, що впливають на процес подовження на крайці профілю. Друге наближення, більше складне та побудоване з урахуванням всіх криволінійних ділянок, допомагає створити теоретичну модель, яка описує утворення хвилястості на крайці профілю.

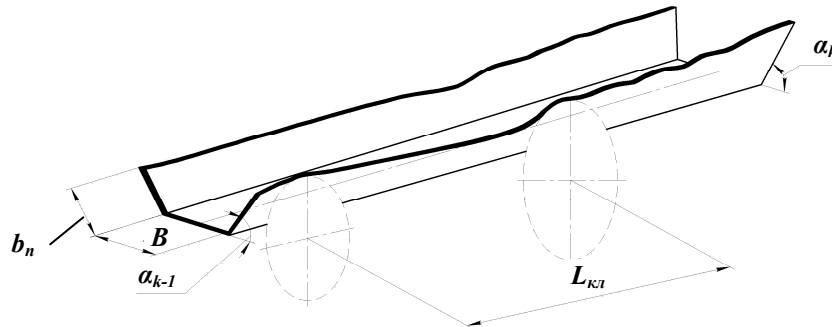


Рис. 1. Схема утворення хвилястості на крайці профілю

Перше наближення. Одним з найважливіших показників, що впливають на якість кінцевого виробу є подовження крайки профілю. У більшості випадків подовження виходить за межі критичного параметру, що призводить до утворення хвиль на крайці профілю. На рис. 2 у спрощеному вигляді показаний перший етап профілювання.

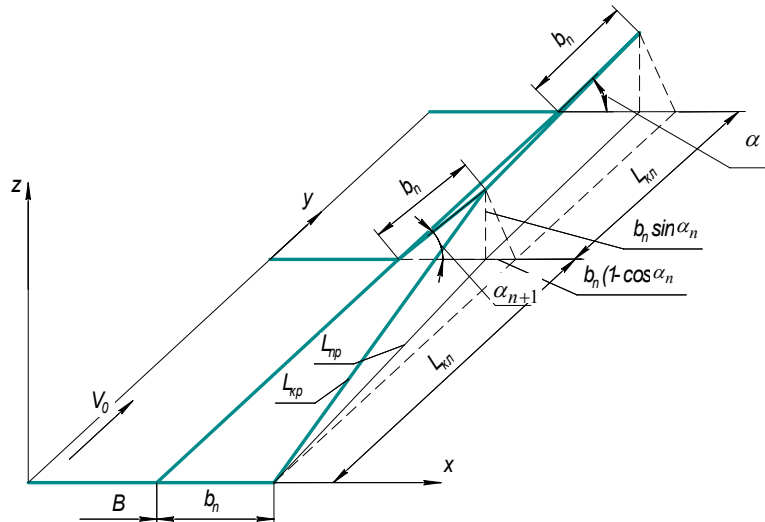


Рис. 2. Геометрична форма профілю в першому наближенні на першому та другому переході: B – ширина стінки профілю; b_n – ширина полиці профілю; $L_{кр}$ – довжина крайки профілю між двома сусідніми клітками; $L_{кл}$ – довжина міжцентрової відстані; L_{np} – довжина проекції на вісь y ; α – кут підгинання профілю; α_n – кут підгинання профілю в поточній клітці, α_{n+1} – кут підгинання профілю в наступній клітці

Із цього малюнка можна визначити довжину крайки, якщо в першому наближенні прийняти її прямолінійною. Це можна зробити за допомогою елементарного геометричного розрахунку:

$$L_{кр} = \sqrt{(L_{кл}^2 + b_n^2(1 - \cos \alpha)^2) + b_n^2 \sin^2 \alpha}.$$

Ця формула справедлива, якщо розглядати виготовлення профілю з рівної смуги, тобто в першій клітці ми маємо кут 0° , а на другій клітці кут α .

Якщо розглядати подальшу формозміну (рис. 3), то довжину крайки варто визначати по наступних залежностях:

$$\begin{aligned} L_{кр}^2 &= L_{np}^2 + (b_n \sin \alpha_{n+1} - b_n \sin \alpha_n)^2; \\ L_{np}^2 &= L_{кл}^2 + (b_n \cos \alpha_{n+1} - b_n \cos \alpha_n)^2; \\ L_{кр}^2 &= L_{кл}^2 + (b_n \cos \alpha_{n+1} - b_n \cos \alpha_n)^2 + (b_n \sin \alpha_{n+1} - b_n \sin \alpha_n)^2. \end{aligned}$$

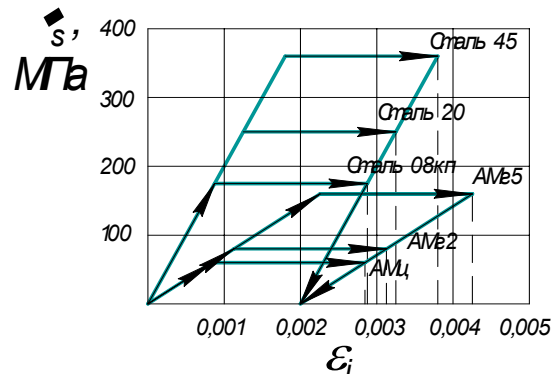


Рис. 3. Діаграма розтягування

Далі подивимось, наскільки зміниться довжина крайки. Для цього розділимо довжину $L_{кр}$ на ту довжину, що була б, якщо би профіль не згинався, тобто на відстань між клітьми $L_{кл}$:

$$\frac{L_{кр}}{L_{кл}} = \sqrt{1 + \left(\frac{b_n}{L_{кл}}\right)^2 \cdot (\cos \alpha_{n+1} - \cos \alpha_n)^2 + \left(\frac{b_n}{L_{кл}}\right)^2 \cdot (\sin \alpha_{n+1} - \sin \alpha_n)^2}. \quad (1)$$

Залежність (1) показує, що подовження крайки залежатиме як мінімум від трьох основних параметрів: ширини полиці b_n , міжклітьової відстані $L_{кл}$ та кута підгинання α :

$$\frac{L_{кр}}{L_{кл}} = f(b_n, L_{кл}, \alpha). \quad (2)$$

Щоб з'ясувати, чому в процесі формування профілю з алюмінієвих сплавів часто виникає хвилястість, розглянемо діаграму розтягування. На рис. 4 показані діаграми розтягування двох матеріалів: сталі та алюмінію:

Зв'яжемо тепер діаграму розтягування та залежність (1). Діаграма розтягування показує, за яких умов певний метал піддається пружній деформації, а за яких – пластичній. Відносна деформація, після якої метал деформується необоротно, становить 0,2 % і позначається як $\sigma_{0,2}$. З цього витікає: якщо ми одержуємо співвідношення $\frac{L_{кр}}{L_{кл}} \leq 0,002$, то можна ствер-

джувати, що крайка залишиться рівною, на ній не утвориться хвиля.

Тепер перейдемо до другого наближення. В процесі формування профілю має місце позаконтактна деформація. Ця обставина суттєво змінює особливості процесу деформування. Для визначення позаконтактної деформації треба змоделювати процес та обробити його математично.

Перше наближення дало змогу виявити основні параметри: ширина полицки, міжклітьова відстань та кути підгинання, що будуть допомагати у побудові математичної моделі, яка має описати позаконтактну деформацію на крайці профілю. Для моделювання процесу виготовлення гнутого профілю спроектовано та виготовлено дослідний профілезгинальний стан. Він дозволяє сформувати профіль з підгинанням полицок від 0° до 30° та з можливістю змінювати міжосьову відстань між валами від 96 до 144 мм. На вали посаджені вальниці кочення, що дозволяє валам вільно обертатися у опорах. Перша кліть зроблена з гладкими роликками і працює вона як напрямна, та кліть, що задає стрічку в стан. Схему першої кліті показано на рис. 6.

Друга та третя кліть були зроблені формуючими. На них встановлювалися формуючі елементи з кутами підгину 15° та 30° . Також були зроблені ролики з кутами підгину 10° та 45° . Калібрування дозволило моделювати виготовлення швелера (див. рис. 1).

Для експерименту були заготовані стрічки з алюмінієвого сплаву АМц. Вони були зроблені шириною 70; 60; та 50 мм, що давало змогу дослідити, як впливає на процес профілювання ширина полицки. Ширину полицки брали 25, 20 та 15 мм відповідно. Довжина

стрічок – 220 мм та 300 мм. Це давало змогу дослідити, як впливає на процес міжклітьова відстань. Формуючі елементи з різними кутами підгину давали змогу дослідити, як впливають на процес профілювання кути підгинання.

Процес дослідження крайки полягав в наступному. На моделі стана прокатували стрічки. Потім, не розбираючи клітей, коли стрічка знаходилася поміж валків, розводили рідкий розчин алебастру, який заливали в швелер між роликками. Це дозволяло повторити та дослідити профіль у нерозвантаженому стані, а також після розвантаження профілю (рис. 5)

Алебастр допомагав скріпити верхні роликки кліті 2 та 3, які в подальшому (після того як обережно знімали верхні кліті, намагаючись не пошкодити заливки) служили гарною підставкою на великому інструментальному мікроскопі (ВІМ) (рис. 5), завдяки однаковим діаметрам середньої частини роликків.

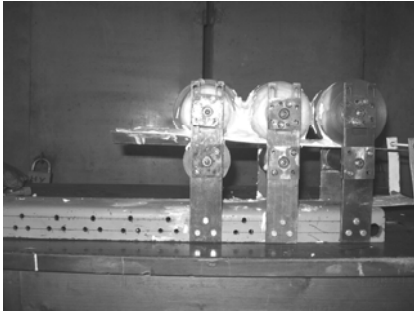


Рис. 4. Модель профілезгинального стану

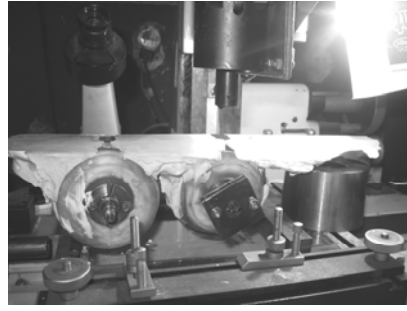


Рис. 5. Дослідження крайки профілю на великому інструментальному мікроскопі

На мікроскопі заміряли ширину між крайками на профілі спочатку на зливку у нерозвантаженому стані, а потім обміряли і сам профіль, після того, як його розвантажили. Результати заносили до таблиці і потім обробляли математично за допомогою методу найменших квадратів. Після оброблення отримували форму на крайці профілю (рис. 6).

Критерій хвилястості визначимо у такому вигляді:

$$K_x = \frac{dL}{dy}$$

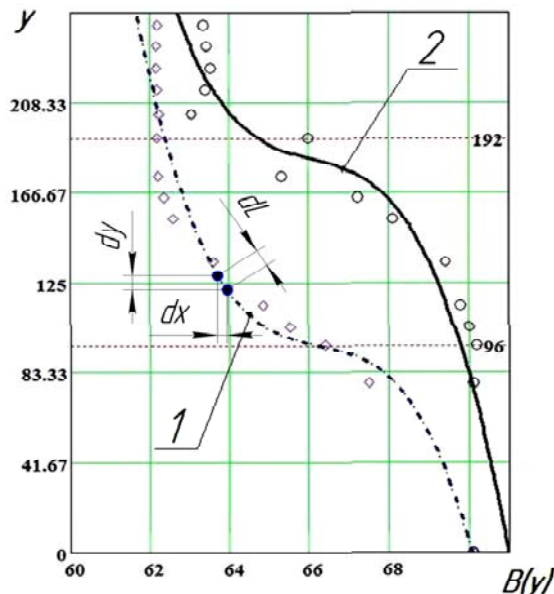


Рис. 6. Форма крайки, що обумовлена позаконтактною деформацією:

1 – у навантаженому стані (коли стрічка затиснута між валками); 2 – у розвантаженому стані (коли стрічка звільнена від дії валків); dl – горизонтальна проекція повного прирощення довжини крайки профілю; dx – прирощення по координаті x ; dy – прирощення по координаті y

Прирошення по довжині крайки визначимо по наступній залежності:

$$dL = \sqrt{dx^2 + dy^2 + dz^2}.$$

Координати x , y , z будь якої точки на крайці профілю визначаємо по наступних залежностях: $x = B(y)/2$; $z = b_n \cdot \cos(\beta_y)$; координату y – визначали шляхом обмірювання зливка і профілю на мікроскопі; $B(y)$ – це ширина профілю між крайками, яку визначали експериментально; значення dx , dy , dz – визначали як різницю між двома поряд розташованими точками; dy приймали рівним 2 мм. Профіль заміряли між трьома клітями, одна з яких мала кут підгину 0° , а дві інші 15° та 30° відповідно.

За допомогою стандартної програми побудували графік $K_x(y)$, який показано на рис. 7.

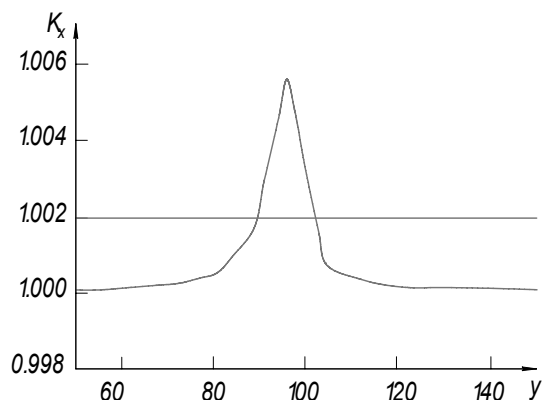


Рис. 7. Графік залежності критерію хвилястості K_x від координати y

Цілком очевидно: якщо $K_x < 0,002$, то можна стверджувати, що крайка залишиться рівною та неушкодженою; якщо ж $K_x \geq 0,002$, то є упевненість, що крайка перейде на міжвісьній відстані y пластичну межу і на ній з'явиться хвиля.

На графіку $K_x - y$ видно, де, на якій ділянці крайка профілю виходить за межу пружної деформації, умовне значення якої становить 0,002. На графіку ця межа показана штриховою вертикальною лінією.

ВИСНОВКИ

1. Хвилястість – це такий вид браку, який на зовнішній поверхні сайдингових профілів шкодить естетичному вигляду.
2. Запропоновано критерій хвилястості K_x .
3. Показана методика експериментального визначення хвилястості при позаконтактній деформації на крайці профілю.

ЛІТЕРАТУРА

1. Тришевский И. С. *Элементы теории профилирования* / И. С. Тришевский, Ю. Н. Алексеев, М. Е. Докторов. – Харьков : УкрНИИМет, 1970.
2. *Теория и технология производства экономичных гнутых профилей проката* : труды УкрНИИМет. – Харьков : УкрНИИМет. – 1970. – Вып. 15. – 524 с.

Євстратов В. О. – д-р техн. наук, проф. НТУ «ХП»;

Коворотний Т. Л. – викладач-стажист НТУ «ХП».

НТУ «ХП» – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків.

E-mail: omd@front.ru

omd.kpi.kharkov@mail.ru