

**Т. Л. КОВОРОТНИЙ**, асистент, НТУ «ХП»,  
**В. О. ЄВСТРАТОВ**, докт. техн. наук, проф., НТУ «ХП»,  
**Д. В. ОСТРИКОВ**, магістрант, НТУ «ХП».

## ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ГНУТИХ ПРОФІЛІВ ЗА КРИТЕРІЄМ ХВИЛЯСТОСТІ. ЧАСТИНА 1

Стаття присвячена аналізу формозміни тонкостінного гнутого профілю. Показано, що використання навіть спрощеної моделі процесу формозміни можна оптимізувати процес за критерієм хвилястості  $K_x$ . Показано, що таке спрощення, як лінійна залежність між кутом підгину та координатою  $y$ , яке прийняте в першій частині, не є коректним. Тому в подальшому буде проаналізовано процес, в якому кут підгину будемо визначати кубічною функцією.

**Ключові слова:** гнутий профіль, критерій хвилястості, крайка, полицка, міжклітьова відстань.

**Вступ.** Виготовлення гнутих профілів зі сталі отримало у вітчизняній промисловості широке розповсюдження. Освоєно та прийнято у виробництво багато різноманітних типорозмірів профілів, виготовляється велика їх номенклатура. Але сьогодні виникла необхідність у виготовленні гнутих профілів з алюмінієвих сплавів, що обумовлено розвитком будівництва та архітектури. Алюмінієві вікна та двері, ажурні перекриття, торгові павільйони та кіоски, алюмінієві радіатори, офісні перегородки, стелі, красиві дахи і багатофункціональні алюмінієві профілі – це тільки деякі невеличкі приклади застосування алюмінієвих профілів в сучасному будівництві та архітектурі.

Сьогодні естетичний вигляд багатьох будинків складається з вдалого дизайну та матеріалу, який ці задуми може втілити в життя. Висока відбивна здатність, бактерицидність, не магнітність, відсутність іскроутворення при ударі, порівняно низькі модулі пружності, значний коефіцієнт лінійного розширення, високі тепло- та електропровідність, добра демпфуюча здатність – ці характеристики стають вирішальними при виборі алюмінієвого профілю для тієї чи іншої конструкції. Завдяки своїм властивостям і розвитку технології оброблення металів тиском, механічного, термічного та хімічного оброблення, алюмінієвий сайдинг поступово стає витіснити сталеві профілі для облицювання.

**Мета досліджень, постановка проблеми.** Метою роботи є аналіз формоутворення тонкостінних гнутих профілів з алюмінієвих сплавів, побудова математичної моделі хвилястості, розробка рекомендацій з технології їхнього виробництва.

Виробництво з алюмінію та його сплавів тонкостінних профілів методами холодного вальцювання (профілювання) одержало широкий розвиток у ряді країн: Австрії, Канаді, Німеччині, Польщі, США, Росії, Франції, Японії.

Незважаючи на те, що тонкостінні профілі з алюмінію та його сплавів широко застосовуються за кордоном, у літературі немає рекомендацій з розроблення технології їхнього профілювання, бо відсутні математичні моделі та експериментальні дані щодо тонкостінних алюмінієвих профілів. За практичними рекомендаціями, для профілювання алюмінієвих сплавів потрібні менші кути підгинання та більші відстані між клітьями стана, але практика не дає конкретних рекомендацій, на скільки саме треба зменшити кути підгину або збільшити міжклітьові відстані. Експериментально встановлено, що кути підгину, які є нормальними для сталевих профілів, при виготовленні алюмінієвих сплавів виявляються завеликими, а тому в процесі профілювання алюмінієвих профілів (за технологією профілювання сталевих) виникає такий вид браку як хвилястість крайки профілю. Хвилястість – це вид невірального браку гнутих профілів, який проявляється у незворотному подовженні крайки профілю і обумовлюється її подовженням по відношенню



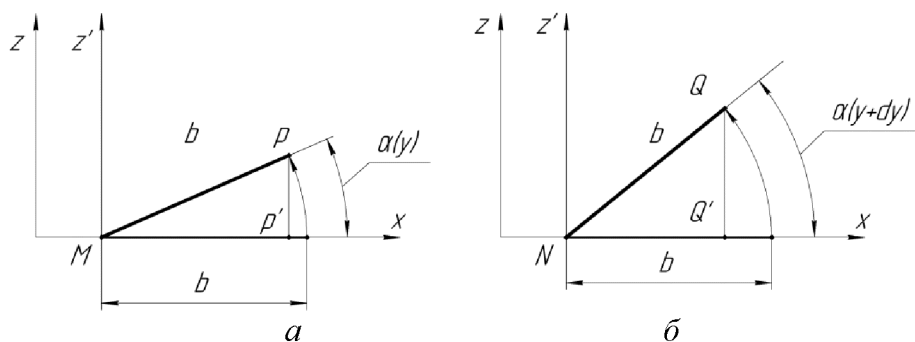


Рис. 2 – Переріз гнutoго профiлю площинами: а –  $y_1=y$ ; б –  $y_2=y+dy$  (б)

На рис. 3 показано переріз профiлю площиною  $z=0$ , а також проєкції елемента  $ds$  на цю площину. Крім того, показано положення  $ds$  за умови, що вертикальна площина, в якій лежить елемент крайки  $ds$ , повернута праворуч на  $90^\circ$  відносно проєкції  $ds$  на площину  $z=0$ .

Звідси легко знайти  $ds$  у такому вигляді:

$$ds = \sqrt{(dy)^2 + [b \times \cos \alpha(y) - b \times \cos \alpha(y + dy)]^2 + [b \times \sin \alpha(y + dy) - b \times \sin \alpha(y)]^2} \quad (1)$$

Отже, ми отримали математичну модель процесу виготовлення деталі без хвилястості, але тільки у першому наближенні.

$$K_x = ds/dy = F(y) \leq [K_x] \quad (2)$$

де  $ds$  розраховується по формулі (1).

Вже з цієї математичної моделі, яка є першим наближенням, можна отримати важливі висновки, які визначають вплив основних чинників на режим вальцювання профiлю.

Ширина полотна  $2B$  на вірогідність утворення хвилястості не впливає: вона може бути якою завгодно малою або великою.

Ширина полочки  $b$  впливає на вірогідність утворення хвилястості дуже сильно. Це видно з рис. 4, де показана залежність  $K_x$  від  $b$ , а також кута підгину  $\alpha$  та міжклітьової відстані  $L_{кл}$ .

Кут підгину  $\Delta\alpha$  на кожній клітці також впливає на вірогідність утворення хвилястості. Це видно з рис. 4, де показана залежність  $K_x$  від кута підгину  $\alpha$ , а також від ширини полочки  $b$  та міжклітьової відстані  $L_{кл}$ .

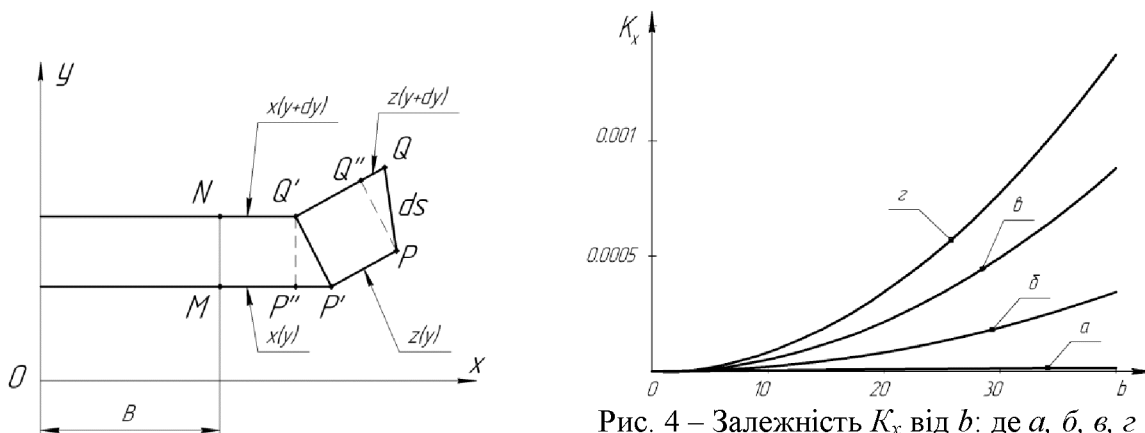


Рис. 3 – Переріз гнutoго профiлю площиною  $z=0$  та проєкції елемента  $ds$  на цю площину

Рис. 4 – Залежність  $K_x$  від  $b$ : де а, б, в, г графіки, де  $\alpha$  змінюється від  $15^\circ$  до  $30^\circ$  з кроком в  $5^\circ$ , а  $L_{кл}$  змінюється в залежності від  $\alpha$

Дуже важливим висновком з цієї моделі є висновок про те, що вірогідність утворення хвилястості є різною на кожній парі клітей. Це видно з рис. 5, де показана залежність  $K_x$  між різними номерами клітей.

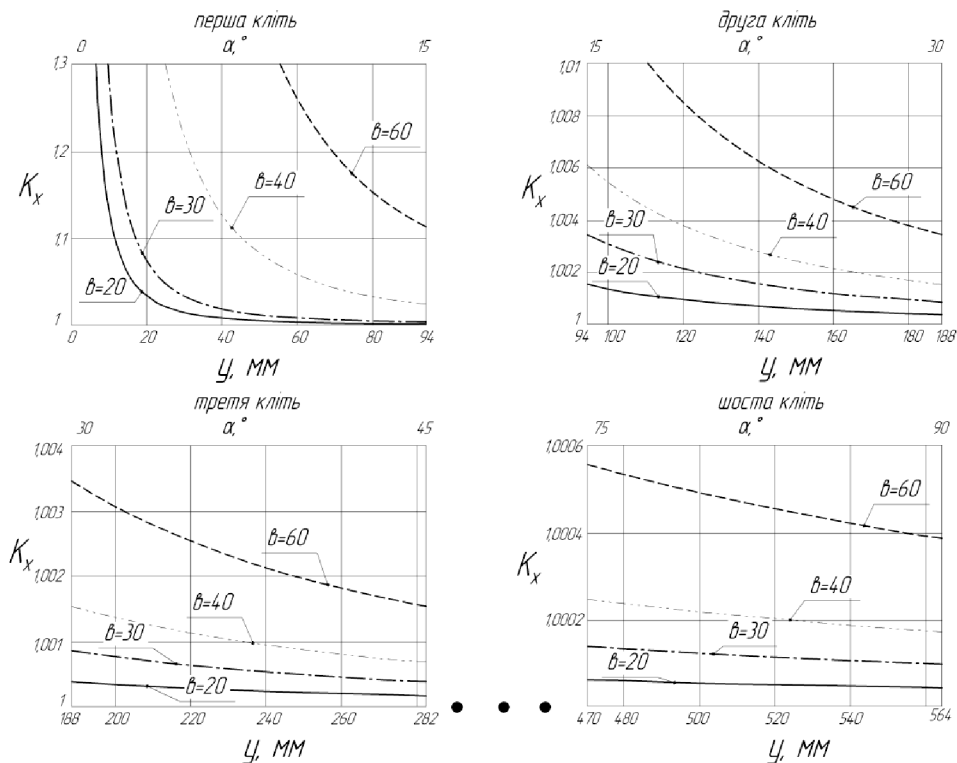


Рис. 5 – Залежність  $K_x$  від номера кліті

Як видно з цих графіків, запропонована модель не працює на початку процесу профілювання. Однак вона дуже добре показує, що імовірність виникнення хвилі є високою на перших клітях. Також значну роль відіграє ширина полицки: чим вона більша, тим і вірогідність виникнення хвилі більша.

Отже, перше наближення дає можливість оптимізувати процес формоутворення профілю за критерієм хвилястості  $K_x$ , а саме: на усіх клітях розраховувати кути підгину так, щоб задовольнити умову  $K_x \leq [K_x]$ .

Але прийняті спрощення не дозволяють отримати модель, яка б адекватно описувала дійсний процес формоутворення профілю. Як показали опубліковані дослідження різних авторів, позаконтактна деформація не дозволяє вважати, що кут підгину є лінійною функцією координати  $y$ .

Тому в наступній частині в моделі враховано залежність кута згину  $\alpha_k$  від координати  $y$ . Автори вважають, що поточний кут згину профілю  $\alpha_k$  є кубічною функцією координати  $y_k$ :

$$\alpha_k(y_k) = a_0 + a_1 y_k + a_2 y_k^2 + a_3 y_k^3 \quad (2)$$

Тут  $a_0 \dots a_3$  – невідомі параметри, які можна варіювати.

**Висновок.** На базі прийнятих спрощень побудована математична модель процесу формоутворення гнутих профілів і запропоновано оптимізацію процесу за критерієм хвилястості.

Проте автори усвідомлюють, що прийняті спрощення не реалізуються в реальному процесі. Тому перше наближення використане виключно з методичної точки зору, хоча і воно дозволяє, хоч би якісно, визначити вплив основних чинників на вірогідність утворення хвилястості в процесі вальцювання профілів.

Друга частина роботи буде присвячена побудові математичної моделі процесу профілювання з урахуванням позаконтактної деформації полицки та переходом від полотна до полицки по певному радіусу  $R$ .

**Список литературы:** 1. Євстратов В.О., Коворотний Т. Л. Розроблення методики отримання якісних профілів з алюмінієвого сплаву АМц /Обработка материалов давлением. Сб. науч тр., №2 (21) – Краматорск: ДГМА, 2009. – с. 231-236, 2. Производство и применение гнутых профилей проката / Справочник под ред. И. С. Тришевского. – М.: Metallurgiya, 1975. – 536 С. 3. Гун Г.Я. Математическое моделирование процессов обработки металлов давлением. Учебное пособие для вузов. – М.: Metallurgiya, 1983. – 285 С.

Надійшла до редколегії 19.10.2012

УДК 621.73

**Оптимізація процесу виготовлення гнутих профілів за критерієм хвилястості. Частина 1.** / Коворотний Т. Л., Євстратов В. О., Остриков Д. В. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХП». – 2012. – №47(953). – С. 126–130. Бібліогр.: 3 назви.

Стаття посвящена аналізу формозмінення тонкостінного гнутого профіля. Показано, що використання навіть упрощеної моделі процесу формозмінення дозволяє оптимізувати процес по критерію волнистості  $K_x$ . Показано також, що таке упрощення, як лінійна залежність між кутом підгибки і координатою  $y$ , прийнята в першій частині, далеко не коректна. Тому в наступній частині буде проаналізована модель, в якій кут підгибки будемо визначати кубічною функцією.

**Ключевые слова:** гнутый профиль, критерий волнистости, кромка, полка, межклетьевое расстояние.

This article analyzes the forming of thin-walled curved profile. It is shown that the use of even a simplified model of the process gives the possibility to optimize the process of forming by waviness criterion  $K_x$ . We also show that this simplification (a linear relationship between the angle and hems coordinate  $y$ ), which was adopted in the first part, is not correct. Therefore, in the next part we will analyze a model in which the angle of hem will determine the cubic function.

**Keywords:** spun profile waviness criterion, edge, shelf, the distance between the stands..

УДК 621.477

**Ю. В. КОНОВАЛОВ**, докт. техн. наук, проф., ДонНТУ, Донецк;

**А. С. ХОХЛОВ**, аспирант, ДонНТУ, Донецк

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УСЛОВИЙ ПРОКАТКИ НА СТАНАХ СТЕККЕЛЯ

Сделан анализ методик расчета энергосиловых параметров прокатки, выбраны две основные методики, которые подходят для условий стана Стеккеля, это методика А.И. Целикова и методика М.Я. Бровмана. Разработана новая методика расчета силы прокатки для стана Стеккеля, которая включает в себя расчет температуры по новой предложенной формуле проверенной экспериментом в промышленных условиях. Выполнено моделирование процесса прокатки для разных исходных данных.

**Ключевые слова:** прокатка, методика, расчет, стан Стеккеля, сила прокатки, скорость прокатки, температура.

**Введение.** Технологический процесс на одноклетевом стане Стеккеля состоит из нескольких этапов [1]: нагрев (подогрев) металла; прокатка в реверсивной клети кварто; подогрев металла в печной моталке; прокатка; принудительное охлаждение; смотка в рулон.

Процесс прокатки полосы на стане Стеккеля является сложным объектом моделирования и требует разработки математических моделей и соответствующие им алгоритмы, которые описывают тепловое и напряженно-деформированное состояние полосы и позволяют выбрать рациональные схемы технологического процесса.

**Целью исследования** является разработка математической модели и соответствующего ей алгоритма расчета.

© Ю. В. Коновалов, А. С. Хохлов, 2012