

ДЕРЖАВНИЙ АЕРОКОСМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМ. М.С.ЖУКОВСЬКОГО
“ХАРКІВСЬКИЙ АВІАЦІЙНИЙ ІНСТИТУТ”

Юрченко Олександр Анатолійович

УДК 621.771. 63: 621.961. 2

РОЗРОБКА, ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ
ТЕХНОЛОГІЇ ВАЛКОВОГО ФОРМУВАННЯ ГНУТИХ ПРОФІЛІВ
З ПРОСІЧНО-ВИТЯЖНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ

Спеціальність 05.03.05 – Процеси та машини обробки тиском

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Харківському державному політехнічному університеті Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Євстратов Віталій Олексійович,
Харківський державний
політехнічний університет

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Борисевич Володимир Карпович,
Міжнародний науково-дослідний центр
нових технологій і матеріалів (м. Харків),
директор

кандидат технічних наук
Горницький Олександр Якович,
Науково-дослідний інститут технології
машинобудування (м. Харків),
завідувач відділу

Провідна установа: Східноукраїнський державний університет
Міністерства освіти і науки
України (м. Луганськ)

Захист відбудеться “6” жовтня 2000 р. о 14 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.062.04 у Державному аерокосмічному університеті ім. М.Є. Жуковського “Харківський авіаційний інститут” за адресою: **61070, Харків, вул. Чкалова, 17.**

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Державного аерокосмічного університету ім. М.Є. Жуковського “Харківський авіаційний інститут”.

Автореферат розісланий 5 вересня 2000 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 64.062.04
кандидат технічних наук, професор

Корнілов Г.Л.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Одним із пріоритетних напрямків виведення вітчизняної металопродукції на рівень матеріало- і енергоємності, досягнутий у розвинених країнах з ринковою економікою, є вдосконалення існуючих та створення нових технологій валкового формування – найбільш продуктивного й економічного способу виготовлення профілів з листового металу, які використовуються в багатьох типах металоконструкцій.

Застосування просічних гнутих профілів замість рифленої сталі, яка традиційно використовується для влаштування пішохідних настилів і сходів у промисловому будівництві, забезпечує значне поліпшення експлуатаційних властивостей конструкцій, підвищує їх надійність і безпечність. Однак випуск таких профілів обмежений через недоліки способів їх виробництва: штампування на універсальних пресах (основний спосіб) дороге й малопродуктивне, спеціалізовані поточні лінії з використанням пресів-автоматів вимагають значних початкових капіталовкладень, не забезпечуючи при цьому достатньої гнучкості технології.

Найбільш раціональним способом виробництва просічних профілів є валкове формування, яке, порівняно зі штампуванням, забезпечує підвищення продуктивності в 3...4 рази, можливість отримання великогабаритних профілів значно більшої (практично якої завгодно) довжини, істотне здешевлення продукції. Однак у науково-технічній та патентній літературі відсутні відомості щодо будь-якої апробованої промислової технології валкового формування просічних профілів із заготовки завтовшки понад 0,2 мм; немає також ні відомостей про теоретичний аналіз і експериментальні дослідження цього процесу, ні рекомендацій відносно його проектування. Цим зумовлюється необхідність проведення даної роботи і підтверджується її актуальність.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота проведена автором у рамках комплексної НДР за напрямком “Розробка високопродуктивних матеріало- та енергозберезувальних технологічних процесів обробки тиском, конструювання високотійких штампів, створення САПР в ОМТ”, яка виконувалась на кафедрі обробки металів тиском ХДПУ на госпдоговірній та держбюджетній основі. Дослідно-практична частина роботи виконана на устаткуванні Українського державного НДІ металів.

Мета і задачі дослідження. *Мета роботи* – розробка науково обгрунтованої технології валкового формування гнутих профілів з просічно-витяжними елементами, їх першочергового сортаменту, методик вибору необхідного профілезгинального обладнання і конструювання валкового інструменту.

Відповідно до цього в роботі були поставлені і вирішені такі *задачі*:

- розроблений першочерговий сортамент нового типу гнутих профілів з просічно-витяжними елементами (ПВЕ);
- теоретично досліджений процес формування ПВЕ;

- проведені в лабораторних і промислових умовах експериментальні дослідження напружено-деформованого стану металу та енергосилових параметрів процесу;
- узагальнені результати теоретичного аналізу й оцінена його точність;
- розроблена, випробувана та впроваджена технологія валкового формування профілів з ПВЕ;
- розроблені методичні рекомендації щодо реконструювання існуючих і створення нових спеціалізованих профілезгинальних агрегатів (ПЗА) для вироблення просічних профілів, конструювання валкового інструменту, а також практичні пропозиції стосовно промислового освоєння цього нового виду металопрокату;
- оцінена економічна ефективність впровадження результатів роботи.

Об'єкт дослідження – широкий клас просічних профілів, використовуваних, зокрема, в будівництві, які до останнього часу виготовлялися лише малопродуктивними способами листового штампування.

Предмет дослідження – першочерговий сортамент просічних гнутих профілів; математичні моделі та лабораторно-промислові випробування процесів їх формоутворення; методики проектування технологічного процесу валкового формування; конструювання валкового інструменту.

Методи дослідження. Метод скінченних елементів використано для теоретичного аналізу процесу формоутворення просічно-витяжних елементів, метод вимірювання твердості та мікротвердості – для дослідження напруженого стану, метод фізичного моделювання – для визначення силового режиму та метод тензометрії – для вимірювання технологічних зусиль та крутних моментів.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що:

- вперше проведено експериментальне дослідження формозміни металу при формуванні просічно-витяжних елементів і вивчено розподіл деформацій, на основі чого стає можливим визначення граничної форми цих елементів;
- вперше виконано теоретичний аналіз, що висвітлив особливості формування осередку деформації та силовий режим процесу;
- створено новий алгоритм та програму розрахунків, що дало можливість визначити енергетичні та міцнісні характеристики обладнання, необхідного для виготовлення профілів з ПВЕ;
- на основі комплексу теоретичних і експериментальних досліджень вперше визначені технологічні параметри валкового формування цих профілів.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що:

- розробка першочергового сортаменту профілів з ПВЕ та технічних вимог до них дозволяє визначити профілі, які можуть бути виготовлені високопродуктивним способом валкового формування;
- універсальний алгоритм і комп'ютерна програма забезпечують визначення роботи, зусилля деформування та крутного моменту, необхідних для формування профілю;
- запропонована методика комплексних експериментальних досліджень дозволяє

визначати напружено-деформований стан металу й енергосилові параметри процесу валкового формування профілів з ПВЕ і на цій основі оцінювати можливість отримання тих чи інших профілів і вибрати обладнання, необхідне для їх виготовлення;

- створена методика конструювання просічного валкового інструменту, використання якої забезпечує його технологічність, працездатність та високу точність елементів, що формуються.

Результати досліджень та рекомендації щодо реконструкції технологічного обладнання для виробництва профілів з ПВЕ використані на ПЗА 1...4x50...300 Магнітогорського металургійного комбінату, де запроваджена технологія виробництва двох типів сходових сідців з ПВЕ протиковзання. Металургійним комбінатом "Запоріжсталь" прийнято до впровадження технологію виробництва пішохідних настилів, розроблену для стана 1...4x400...1500 цього комбінату. Результати роботи використані також при освоєнні на стані 1...4x50...300 ВАТ "Дніпропетровськметалопром" просічного профілю типу "палета" та на стані ВАТ "Південкольтметгазоочищення" при виробництві спеціального гнучого профілю для коронуючих електродів газоочищувальних споруд.

Особистий внесок здобувача складають:

- розробка математичної моделі процесу формозміни заготовки і комп'ютерних програм розрахунку геометрії отримуваних ПВЕ та енергосилових параметрів їх формування;

- постановка і проведення експериментів та аналіз їх результатів;

- розробка методики конструювання профілів з ПВЕ та основної частини їх сортаменту;

- розрахунок калібровки і проектування валків для виробництва профілів пішохідних настилів НПП-660, сходових сідців СЛП-170-1 та СЛП-200-1;

- розробка промислової технології виробництва вказаних профілів;

- участь у промисловому впровадженні розробленої технології.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати роботи повідомлені й обговорені на науково-технічній конференції "Проблеми розвитку наукоємних і маловідходних процесів обробки металів тиском", яка відбулася 24-26 лютого 1997 р. в м. Краматорську на базі Донбаської державної машинобудівної академії (ДДМА) і АТ "Новокраматорський машинобудівний завод"; на щорічних міжнародних науково-технічних конференціях МіcroCAD Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я (м.Харків, 1995-1997 рр.).

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано 7 друкованих робіт: дві статті в наукових журналах, п'ять статей у збірках наукових праць, - а також тези трьох доповідей на конференціях.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається з вступу, 5 розділів, висновків, додатків. Повний обсяг роботи 187 стор. Обсяг основного тексту 120 стор. Загальна

кількість ілюстрацій – 66 (з яких 60 розміщені на окремих сторінках), 6 таблиць, 12 додатків, список використаних літературних джерел із 104 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Вступ. Обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовані мета й задачі роботи, зроблено оцінку наукової новизни отриманих результатів та їх практичного значення, подано загальну характеристику роботи.

У **першому розділі** на основі аналізу науково-технічної та патентної літератури встановлено, що за останні 20 років як в Україні й Росії, так і в промислово розвинених країнах дальнього зарубіжжя значно зросла кількість технічних рішень, спрямованих на розширення області використання просічних профілів, у тому числі з ПВЕ, розробку нових конструктивних форм таких профілів, а також способів та пристроїв для їх виробництва. Однак в доступних джерелах немає даних про будь-яку апробовану промислову технологію отримання просічних профілів валковим формуванням, хоча саме воно є найбільш ефективним способом виробництва гнутих профілів взагалі. Немає також ні відомостей щодо теоретичного аналізу та експериментальних досліджень цього процесу, ні вказівок відносно його проектування. Описані спроби здійснення валкового формування просічних профілів з листа завтовшки понад 0,2 мм, однак промислову технологію не було реалізовано через жолоблення готових виробів, виникнення задирок у місцях просічок.

На основі аналізу стану питання показано, що для організації промислового виробництва профілів з ПВЕ валковим формуванням необхідно виконати комплекс теоретичних та експериментальних досліджень напружено-деформованого стану металу й енергосилових параметрів цього процесу, визначити оптимальну форму ПВЕ, їх раціональне розміщення на профілі, розробити та впровадити промислову технологію виготовлення цього нового виду металопрокату на існуючих і створюваних нових (спеціалізованих) ПЗА.

Другий розділ. Розроблено методику конструювання профілів з ПВЕ, яка передбачає виконання ряду вимог до їх технологічності з точки зору форми і розташування ПВЕ з урахуванням специфіки їх виготовлення валковим формуванням. Визначені також технічні вимоги, дотримання яких повинно забезпечити високу якість і конкурентоздатність просічних профілів.

З використанням цієї методики розроблений першочерговий сортамент профілів з ПВЕ, що включає чотири профілі сходових сходиць, два типо-розміри настилів перехідних площадок, настили підлоги промислових будов, будівельних лісів та профіль типу "палета" для сушильних рамок цегельних заводів. Основні типи пішохідних настилів і сходиць показані на рис. 1.

Усі профілі настилів і два профілі сходових сходиць уніфіковані за формою та взаємним розташуванням ПВЕ і можуть бути виготовлені з використанням одного комплекту просічно-витяжних валків, що значно знижує вартість освоєння їх

виробництва.

Рис. 1. Основні типи розроблених профілів
настилів і східців з ПВЕ

У **третьому розділі** подано результати теоретичного аналізу процесу формування ПВЕ.

З метою з'ясування характеру взаємодії інструмента й заготовки при валковому формуванні ПВЕ, а також прийняття та обґрунтування передумов і припущень, необхідних для створення адекватної математичної моделі цього процесу, проведено його кінематичний аналіз, який показав, що випередження заготовки пуансоном у точці його найбільшого заглиблення не перевищує 2,5%. Таке випередження не справляє істотного впливу на енергосилові параметри процесу і форму отримуваних ПВЕ. Це дозволило при математичному моделюванні розглядати процес валкового формування ПВЕ як штампування, тобто використовувати схему з вертикальним переміщенням інструмента.

В результаті аналізу відомих методів теоретичного дослідження процесів ОМТ встановлено, що в даному випадку найбільш раціонально використовувати для математичного моделювання метод скінченних елементів (МСЕ). Це дозволяє уникнути математичних труднощів, які виникають при вирішенні цієї задачі іншими методами, і

створити універсальний алгоритм, придатний для аналізу формування ПВЕ різноманітної форми.

Розроблено програму розрахунку на персональному комп'ютері (ПК) з використанням МСЕ геометричної форми отриманого ПВЕ, роботи і зусилля деформації, необхідних для його формування.

Постановка задачі полягає в тому, що потрібно знайти переміщення й деформації, виходячи з умови мінімуму повної енергії деформації Π і закону постійності об'єму в диференціальній формі:

$$\Pi = \iiint_V \sigma_s e_i dV - \iint_S F_i u_i dS ; \quad (1)$$

$$\frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z} = 0, \quad (2)$$

де σ_s – напруга текучості;

e_i – інтенсивність деформації;

F_i – зусилля деформування одного (i -го) СЕ;

u_x, u_y, u_z – компоненти переміщення цього СЕ;

u_i – його абсолютне переміщення;

S – площа поверхні осередку деформації;

V – об'єм осередку деформації.

Важливими передумовами є, крім того, неперервність функцій u_x, u_y, u_z і виконання граничних умов для них, а також умови сумісності деформацій.

Відомо, що при дотриманні перелічених умов може бути застосований варіаційний принцип, згідно з яким дійсне рішення відповідає мінімальному прирощенню енергії $\Delta\Pi$. Для такого рішення варіація енергії серед допустимих варіацій переміщень $\Delta\Pi=0$.

Застосована в роботі нова, нетрадиційна модифікація МСЕ дозволяє збільшити точність розрахунків при аналізі процесів з вільними межами – листового штампування, профілювання тощо. Це досягається зміною конструкції базисних функцій, які приймають неперервні значення у вузлах суміжних елементів, але для цих функцій зв'язок переміщень і деформацій, а також умова постійності об'єму є наближеними. Це знижує точність розрахунку на кожному окремому етапі, проте оскільки для кожної форми вільної межі потрібний тільки один етап розрахунку, зменшується накопичення погрішності при розрахунках, завдяки чому сумарна погрішність, як правило, значно менша, ніж при використанні класичного методу.

Припустимо, що на метал нанесено регулярну, наприклад прямокутну, сітку. Треба визначити її вигляд після деформації з урахуванням умов, перелічених при постановці задачі. Число елементів у сітці до і після деформації одне й те ж. При будь-якому переміщенні вузла сітки автоматично переміщуються й межі сусідніх елементів, тобто

розриви виключені. Таким чином, умова сумісності деформацій виконується. Умова постійності об'єму дотримується шляхом мінімізації квадратичного відхилення для кожних чотирьох суміжних елементів, що сходяться в спільній (вузловій) точці:

$$\Phi = (S_1 t_1 - \bar{V})^2 + (S_2 t_2 - \bar{V})^2 + (S_3 t_3 - \bar{V})^2 + (S_4 t_4 - \bar{V})^2 \rightarrow \min, \quad (3)$$

де \bar{V} – об'єм кожного елемента до деформації;

$S_1 - S_4$ – площі поверхні СЕ;

$t_1 - t_4$ – товщини СЕ.

При чисельній реалізації алгоритму на ПК на заданій області будуємо вихідну сітку СЕ. Після цього вводимо математичний опис поверхні використовуваного інструмента.

Площі елементів сітки на цьому етапі різні (рис. 2, *a*), а їх кількість може бути й далекою від необхідної для вирішення даної задачі. В процесі розрахунку кількість елементів сітки (тобто її частота) оптимізується.

a

б

Рис. 2. Сітки скінченних елементів:

a – неоптимізована, *б* – оптимізована

Задачу вирішуємо методом градієнтного спуску за декілька ітерацій. Кожна ітерація складається з двох етапів. На першому етапі для кожних чотирьох суміжних елементів мінімізується відхилення Φ . Обхід усіх внутрішніх точок області виконується три рази.

Другий етап – мінімізація роботи деформації для кожних чотирьох суміжних елементів:

$$\bar{A} = (\sigma_{s1} e_{i1} + \sigma_{s2} e_{i2} + \sigma_{s3} e_{i3} + \sigma_{s4} e_{i4}) \bar{V} \rightarrow \min, \quad (4)$$

де $e_{i1} - e_{i4}$ – інтенсивність деформацій у кожному з елементів;

$\sigma_{s1} - \sigma_{s4}$ – напруження текучості, що дорівнюють $\sigma_{0,2} + \alpha e_i$
(α – модуль зміцнення).

При мінімізації \bar{A} обхід усіх точок області робиться один раз. Потім виконується перший етап наступної ітерації, і т. д. Всього ітерацій має бути стільки (до 300), щоб порушення умови постійності об'єму були мінімальними, а зона їх затухання розповсюджувалася на можливо більші відстані. Вигляд сітки СЕ після її оптимізації показаний на рис. 2, б.

Зусилля деформації розраховували за формулою

$$P = A_{\min} / h_{\text{cp}}, \quad (5)$$

де $A_{\min} = \sum_1^k \bar{A}$ – мінімізована повна робота деформації, яка відповідає

розрахунковій сітці скінченних елементів;

h_{cp} – середня висота переміщення площадки прикладення зусилля:

$$h_{\text{cp}} = \sum y_i / k, \quad (6)$$

де $\sum y_i$ – сума координат в області ПВЕ;

k – число СЕ у цій же області.

Описана методика дозволяє розраховувати зусилля, необхідні для розтягування та гнуття. В осередку деформації при формуванні ПВЕ виконується також операція розділення. Її схема достатньо проста і дозволяє з необхідною точністю (що підтверджено експериментально) визначати зусилля розрізування за довідковими формулами. Крутний момент, необхідний для валкового формування ПВЕ, визначали з урахуванням повної роботи деформації A_{\min} згідно з залежністю

$$M_{\text{к р}} = \frac{19,5m \pi A_{\min}}{\omega t}, \quad (7)$$

де m – число ПВЕ в перерізі профілю;

ω – кутова швидкість обертання валків, 1/с;

t – час, необхідний для повного відформування елемента, с.

Потужність приводу обладнання визначали за формулою

$$N = \frac{v}{D_0} (M_{\text{к р}} + M_{\text{т1}} + M_{\text{т2}}), \quad (8)$$

де $M_{\text{т1}}$ – момент сил тертя в підшипниках валків, Н·м;

$M_{\text{т2}}$ – момент втрат у передачі, приведений до валу двигуна, Н·м;

v – швидкість валкового формування профілів з ПВЕ, м/с;

D_0 – основний діаметр валків, м.

За розробленою методикою проаналізовано процес формування на дослідному стані 550 УкрНДІмету першого прийнятого до освоєння профілю просічного настилу НПП-660. Встановлено, що цей профіль може бути виготовлений також на ПЗА 1...4x400... 1500 “Запоріжсталі”.

У **четвертому розділі** наведено результати експериментальних досліджень напружено-деформованого стану металу в осередку деформації та енергосилових параметрів технологічного процесу.

Компоненти напружено-деформованого стану металу визначені з використанням одного із структурно-спадкових методів – методу вимірювання твердості, а для контролю коректності проведення експериментів і отримання більш повної інформації досліджено також стоншення металу в осередку деформації.

Встановлено залежність між твердістю HV , інтенсивностями деформацій e_i і напружень σ_i . Отримано градувальні графіки і побудовано номограму для визначення інтенсивності напружень σ_i . Експериментально отримано графік розподілу в осередку деформації твердості HV (рис. 3), а за допомогою номограми – також графіки розподілу інтенсивності деформацій e_i та напружень σ_i , за характером аналогічні вихідному графіку розподілу твердості: всі криві мають два екстремуми на ділянках сполучення дуг різних радіусів. Виміри стоншення металу в осередку деформації дали графік його розподілу такого ж вигляду, що свідчить про коректність постановки експериментів. Деформації не розповсюджуються за межі ПВЕ. Збільшення твердості на 20% у верхній частині елементів, відповідальній за забезпечення властивостей протиковзання, позитивно позначається на стійкості проти спрацювання та довговічності виробів.

Енергосилові параметри формування нових профілів вимірювали електротензометричним методом при освоєнні технології виробництва настилу НПП-660 на дослідно-промисловому стані 550 УкрНДІмету. Розроблено та проведено експерименти, які дозволили визначити зусилля і крутні моменти при формуванні профілю в цілому, окремих ПВЕ, а також відбортовок. Виміряно крутний момент тертя в підшипниках.

Побудовано графіки зміни зусиль деформування (рис. 4) та крутних моментів у процесі формування профілю. Графіки мають циклічний характер. В кожному циклі присутні три максимуми – вони відображують три характерні фази процесу, пов'язані з закінченням формування різного числа ПВЕ в поперечному перерізі профілю.

Розроблений і проведений модельний експеримент. Зусилля формування ПВЕ виміряні на лабораторному гідропресі з використанням спеціально сконструйованого оснащення та інструменту. Розбіжність результатів з отриманими при валковому формуванні не перевищує 5%. Цим підтверджується правомірність використання схеми з вертикальним переміщенням інструмента при математичному моделюванні процесу.

Проведено виміри зусиль деформування металу пуансонами різної форми, що дозволило визначити зусилля, витрачені на здійснення окремих складових процесу формотворення ПВЕ: розрізування, розтягування, гнуття.

Порівняння результатів теоретичних та експериментальних досліджень показало

Рис. 4 Графік зміни зусиль деформування
в залежності від кута повороту валків

достатній ступінь точності розробленої математичної моделі: розбіжність з експериментом не перевищує 12 - 14%. Збіг проміжних результатів розрахунку, в яких відображені дві складові процесу формотворення – розрізування та формування, з даними модельного експерименту свідчить про коректність теоретичного аналізу й закономірність отримання кінцевого результату.

П'ятий розділ. Розроблені методика проектування технологічного процесу та вимоги до технологічного обладнання; визначені основні принципи й напрямки реконструкції існуючих та створення нових ПЗА для виробництва просічних профілів. Сформульовані основні методичні положення розрахунку калібровки й конструювання валків для формування ПВЕ, виконання яких забезпечує високу точність елементів, що формуються, і максимальну стійкість інструменту проти спрацювання.

Сутність нової технології полягає в тому, що ПВЕ на заготовці 1 (рис. 5) формують за один прохід розташованими рівномірно або зі змінним кроком на колі основних діаметрів циліндричних елементів валків 2 і 3 пуансонами 4. Пуансони вільно або із кріпленням гвинтами вставляються в гнізда спеціальних дисків-сепараторів. Форма робочої частини пуансона визначається заданою формою ПВЕ. Однак слід уникати

використання поперечних різку-

Рис. 5 Схеми формування ПВЕ

чих кромки, щоб виключити можливість утворення задирок. Роль матриць виконують кільцеві проточки у спряженому валку. Набрані на робочий вал диски-сепаратори та дистанційні елементи з кільцевими матрицями, що розділяють їх, складають валок.

Проблему жолоблення готового профілю вдається вирішити, виконуючи ПВЕ складеними з двох однакових частин, орієнтованих у протилежні боки відносно площини заготовки. Їх необхідно формувати одночасно. Отже, кожному пуансону на верхньому валку повинен протистояти такий же пуансон на нижньому валку, а обертання валків повинно бути синхронізоване.

Для формування листових просічних профілів, наприклад пішохідних настилів, можна використовувати одноклітьові прокатні стани. При освоєнні виробництва просічних профілів на багатоклітьовому ПЗА є можливість одержувати будь-які спеціальні профілі. На початку лінії формують ПВЕ, а в останніх 8-10 клітках здійснюють підгинання. Така технологічна схема дозволяє легко розширювати сортамент: при створенні нових профілів і калібровок використовують універсальний валковий інструмент для формування ПВЕ (найбільш дорогий), а заново розробляють і виготовляють тільки комплекти валків для отримання решти елементів профілю, наприклад – полок.

Розроблена стосовно до стану 1...4x400...1500 "Запоріжсталі" і прийнята комбінатом до впровадження без зауважень промисловою технологія виробництва профілю НПП-660.

Технологія виробництва сходових сідців СЛП-170-1 і СЛП-200-1, розроблена стосовно до технічних характеристик ПЗА 1...4x50...300, встановлених на ряді підприємств України й Росії, освоєна на такому агрегаті Магнітогорського металургійного комбінату. Принципово новий профіль "палета" для сушильних рамок цегляних заводів освоєно на ВАТ "Дніпропетровськметалопром".

Проаналізовано економічну ефективність запровадження результатів роботи. Показано, що переведення гнутих профілів, отримуваних штампуванням, на валкове формування забезпечує значний економічний ефект внаслідок значного зниження їх собівартості, що досягається завдяки зменшенню витрат металу, електроенергії і, особливо, збільшенню продуктивності процесу. На основі заводських калькуляцій доведена значно вища прибутковість виробництва просічних гнутих профілів у порівнянні з просічно-розтяжним листом.

ВИСНОВКИ

У дисертації наведене теоретичне узагальнення і нове вирішення наукової задачі створення принципово нової технології виготовлення широкого сортаменту просічних профілів, що виявляється в постановці і проведенні теоретичних і експериментальних досліджень та застосуванні їх результатів, які складають наукову базу проектування високоефективного промислового процесу валкового формування та його оснащення.

1. Аналіз науково-технічної і патентної літератури показав, що розроблювана тема є актуальною: просічні гнуті профілі мають ряд істотних переваг у порівнянні з виробами та конструкціями, що застосовуються традиційно, зокрема, для обладнання пішохідних настилів і сходів у промисловому будівництві, а розробка промислової технології виробництва цих профілів найбільш ефективним способом – валковим формуванням – дозволить зробити їх застосування економічно виправданим.

2. Розроблено першочерговий сортамент профілів з просічно-витяжними елементами (ПВЕ), технічні вимоги до цих профілів та вимоги до їх технологічності. Запропонована форма ПВЕ, що складаються з двох центральносиметричних частин, відформованих у протилежних напрямках від площини заготовки.

3. Проведено теоретичний аналіз процесу валкового формування ПВЕ із застосуванням методу скінченних елементів, що дозволило створити універсальний алгоритм, придатний для аналізу формування ПВЕ різноманітної форми. Розроблено програму визначення геометричної форми ПВЕ, а також розрахунку роботи, зусилля деформування, крутного моменту і потужності обладнання, що необхідні для формування профілю.

4. Проведені експериментальні дослідження напружено-деформованого стану металу в осередку деформації з використанням методу вимірювання твердості. Вони показали, що запропонована форма ПВЕ забезпечує відсутність жолоблення готового виробу, оскільки деформації взаємно врівноважуються і не розповсюджуються за межі зони формування ПВЕ.

5. Дослідження енергосилових параметрів формування профілю з ПВЕ, проведені під час освоєння профілю настилу НПП-660 на стані 550 УкрНДІмету, показали, що процес є циклічним. Визначено залежність зусиль та крутних моментів формування від кута повороту валків.

Розроблено та проведено модельний експеримент, який дозволив оцінити

технологічні зусилля, необхідні для здійснення окремих складових процесу формотворення ПВЕ: розрізування, розтягування, гнуття.

6. Порівняння результатів теоретичних та експериментальних досліджень дозволило зробити висновок про достатню точність отриманих аналітичних залежностей: похибки не виходять за межі 14%.

Збіг проміжних результатів розрахунку, що відображують дві складові процесу формозмінення – розрізування й формування – з даними модельного експерименту свідчить про коректність теоретичного аналізу й достовірність кінцевого результату.

7. Розроблено методику проектування технологічного процесу та вимоги до технологічного обладнання. Визначено основні принципи й напрямки реконструкції існуючих та створення нових профілезгинальних агрегатів для виробництва просічних профілів.

8. На підставі виконаних теоретичних та експериментальних досліджень розроблена, випробувана та впроваджена на промислових підприємствах України й Росії високопродуктивна технологія валкового формування гнутих профілів з ПВЕ. Випробування проведено на дослідно-промисловому стані 550 УкрНДІмету, виробництво сходових сідців освоєно на Магнітогорському металургійному комбінаті, профілю “палета” для сушильних рамок цегельних заводів – на ВАТ “Дніпропетровськметалопром”. Технологія виробництва профілів пішохідних настилів прийнята до впровадження на металургійному комбінаті "Запоріжсталь".

9. Проаналізовано економічну ефективність запровадження результатів роботи. На основі заводських калькуляцій показано, що виготовлення просічних гнутих профілів валковим формуванням завдяки економії металу, електроенергії і вищій продуктивності процесу забезпечує виробництву значно більшу прибутковість у порівнянні з виготовленням штампованих виробів аналогічного призначення.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ

1. Юрченко А.А., Белкин Е.Л., Курандо Е.С. Теоретический анализ процесса валковой формовки профилей с просечно-вытяжными поверхностями противоскольжения // Производство сортовых и гнутых профилей проката: Отрасл. сб. науч. тр. - Харьков: УкрНИИмет, 1996. - С. 119-127.

2. Юрченко А.А. Экспериментальные исследования процесса формовки элементов противоскольжения методом замера утонений // Там же.- С. 127-129.

3. Юрченко А.А., Янчинский А.П. Новые типы просечных профилей и технология их производства // Вестник науки и техники; Вып. 1. - Харьков, 1997.- С. 6-9.

4. Юрченко А.А. Разработка и исследование процесса валковой формовки профилей с просечно-вытяжными элементами// Сб. тр. международной науч.-техн. конференции Microcad-97. Ч. 5. - Харьков: ХГПУ, 1997. - С. 218-222.

5. Юрченко А.А. Новая технология валковой формовки гнутых профилей с просечно-вытяжными элементами // Вестник Харьковского государственного политехнического университета; Вып. 27. - Харьков:ХГПУ, 1998. - С. 135-141.

6. Юрченко А.А. Разработка новых типов просечных профилей и технологии их производства для комбината "Запорожсталь" // Металл и литье Украины. - 1999. - № 1,2. - С. 40-42.

7. Юрченко А.А. Экспериментальные исследования энергосиловых параметров процесса валковой формовки гнутых профилей с просечно-вытяжными элементами // Вестник Харьковского государственного политехнического университета; Вып. 67. - Харьков: ХГПУ, 2000. - С. 20-25.

АНОТАЦІЯ

Юрченко О. А. Розробка, дослідження та впровадження технології валкового формування гнутих профілів з просічно-витяжними елементами.

Дисертація у вигляді рукопису на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.05 – “Процеси і машини обробки тиском”. – Державний аерокосмічний університет ім. М.Є.Жуковського “Харківський авіаційний інститут”. – Харків, 2000.

Обґрунтована можливість валкового формування профілів з просічно-витяжними елементами (ПВЕ).

Розроблена методика теоретичного аналізу цього процесу методом скінченних елементів. Створена і застосована програма для ПК, яка дозволяє визначати геометричну форму осередку деформації та енергосилові параметри процесу. Проведені комплексні експериментальні дослідження процесу. Енергопараметри визначали методом тензометрії, напружено-деформований стан – методами вимірювання твердості та стоншення. Розбіжність результатів теоретичних і експериментальних досліджень не перевищує 14%. Сформульовані основні принципи конструювання просічного валкового інструменту, дотримання яких забезпечує його максимальну стійкість проти спрацювання та високу точність формування; запропоновано рекомендації щодо реконструкції існуючого і створення спеціалізованого профілезгинального обладнання для виробництва просічних профілів. Розроблені першочерговий сортамент нових профілів та промислова технологія їх виробництва, яка впроваджена на ряді підприємств України й Росії. Показана висока економічна ефективність вироблення та застосування цього нового виду металопродукції.

Ключові слова: валкове формування, гнуті профілі з просічно-витяжними елементами, аналіз, метод скінченних елементів, напружено-деформований стан, енергосилові параметри, сортамент, профілезгинальне обладнання, промислова технологія, економічна ефективність.

АННОТАЦІЯ

Юрченко А.А. Разработка, исследование и внедрение технологии валковой формовки гнутых профилей с просечно-вытяжными элементами.

Диссертация в виде рукописи на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.03.05 – “Процессы и машины обработки давлением”. Государственный аэрокосмический университет им. Н.Е.Жуковского “Харьковский авиационный институт”. – Харьков, 2000.

Работа посвящена актуальной проблеме разработки технологии производства гнутых профилей с просечно-вытяжными элементами (ПВЭ) для строительства наиболее эффективным способом – валковой формовкой, которая обеспечивает, по сравнению со штамповкой, повышение производительности в 3...4 раза, возможность получения крупногабаритных профилей значительно большей (практически любой) длины, существенное удешевление продукции. Предпринимавшиеся ранее попытки осуществить этот процесс не были успешными, так как не удавалось предотвращать коробление готовых изделий и появление задиров и заусенцев в местах просечек.

В работе впервые установлены технические требования к просечным профилям и требования к их технологичности, отражающие специфику их получения способом валковой формовки. Разработан первоочередной сортамент новых профилей, который включает до десяти настилов и лестничных ступеней различных типов, а также профиль типа “палета” для сушильных рамок кирпичных заводов. Предложена форма ПВЭ, состоящих из двух центральносимметричных частей, отформованных в противоположные стороны относительно плоскости заготовки.

Разработана научная база проектирования процесса валковой формовки профилей с ПВЭ: методики теоретического анализа и комплексных экспериментальных исследований, позволяющие определять энергосиловые параметры процесса и напряженно-деформированное состояние металла профиля.

Для теоретического анализа был применен метод конечных элементов, благодаря чему удалось избежать математических трудностей, возникающих при решении этой задачи другими методами, и, что особенно важно, создать универсальный алгоритм, пригодный для анализа формовки ПВЭ различной формы. Разработана компьютерная программа, позволяющая определять геометрическую форму получаемого ПВЭ, а также рассчитывать работу, усилие деформации, крутящий момент при формовке профиля с ПВЭ и необходимую мощность привода оборудования.

Экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния металла в очаге деформации, проведенные с использованием метода измерения твердости, показали, что благодаря предложенной форме ПВЭ деформации взаимно уравновешиваются и не распространяются за пределы элемента.

Исследованиями энергосиловых параметров формовки профиля с ПВЭ методом тензометрии определены зависимости усилий и моментов формовки от угла поворота валков. Разработан и проведен модельный эксперимент, позволивший оценить технологические усилия, необходимые для осуществления отдельных составляющих

процесса формообразования ПВЭ: разрезки, растяжения, гибки. Методика модельного эксперимента и изготовленная оснастка могут быть использованы при разработке новых просечных профилей для определения возможности и энергосиловых параметров их формовки.

Сопоставление результатов теоретических и экспериментальных исследований показало достаточную степень точности полученных аналитических зависимостей: расхождение не превышает 14 %.

Сформулированы рекомендации по выбору существующего и проектированию специализированного технологического оборудования для производства просечных профилей. Предложена методика конструирования просечного валкового инструмента, применение которой обеспечивает его максимальную износостойкость и высокую точность формовки.

Разработана промышленная технология производства профилей с ПВЭ. Для формовки листовых просечных профилей, например, пешеходных настилов, можно использовать одноклетевые прокатные станы. На многоклетевом профилегибочном агрегате могут быть получены любые специальные профили. Технологический процесс стабилен, коробление и задиры полностью исключены.

Новая технология освоена на ряде предприятий Украины и России. На основании заводских калькуляций показано, что изготовление просечных гнутых профилей валковой формовкой благодаря экономии металла, электроэнергии и более высокой производительности процесса обеспечивает значительно большую прибыль по сравнению с изготовлением штампованных изделий аналогичного назначения.

Ключевые слова: валковая формовка, гнутые профили с просечно-тяжными элементами, анализ, метод конечных элементов, напряженно-деформированное состояние, энергосиловые параметры, сортамент, профилегибочное оборудование, промышленная технология, экономическая эффективность.

SUMMARY

Yurchenko A. Elaboration, investigation and introduction of the technology of cold roll forming sections with cut-drawn elements. – Manuscript.

Thesis on the competition for scientific degree of candidate of engineering sciences on speciality 05.03.05 – “Processes and machines of mechanical working”. – State Aerospace University “KhAI”. – Kharkiv, 2000.

The possibility of roll forming sections with cut-drawn elements has been substantiated. Methods of theoretical analysis of this process using the finite elements method have been elaborated. A computer programme has been worked out which makes it possible to determine the geometrical form of the plastic area and the power parameters of the process. A combined experimental research into process has been conducted. The power parameters were determined by strainmeters, while stressed-and-strain state – by measuring hardness and thinning. The distinction between the results of the theoretical and experimental investigations

is not more than 14%. The basic principles of designing cut-roll tools ensuring maximum wear-resistance of these tools and high precision of forming have been formulated. A primary series of new sections and the technology of their manufacturing have been worked out. The technology has been introduced at a number of Ukrainian and Russian works. High efficiency of new kind of metal production has been proved.

Key words: cold roll forming, sections with cut-drawn elements, analysis, method of finite elements, stressed-and-strain state, power parameters, cold roll forming equipment, industrial technology, economic efficiency.