

УДК 621.771.22.001.5.

Курандо Д. І.

**РОЗРАХУНОК ФОРМОЗМІНИ ТА ЕНЕРГОСИЛОВИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОКАТКИ
ОДНОГРЕБНЬОВИХ ПРОФІЛІВ**

Для вибору методу рішення задачі аналізу формозміни при прокатці сталі в одногребневих калібрах розглянемо найбільш розроблені теоретичні дослідження процесу прокатки. Великий внесок у розвиток теоретичних і практичних питань прокатного виробництва внесли радянські вчені А. П. Чекмарьов, І. Я. Тарновський, І. М. Павлов, А. І. Цілін, Ю. Д. Железнов, Н. В. Литовченко, В. С. Смирнов, Г. Я. Гун, М. М. Саф'ян, Ю. М. Алексеев, П. И. Полухін, К. Н. Шевченко, М. Г. Поляков, Б. А. Никифоров, В. Н. Видрін, Б. П. Бахтінов і ін.

Для рішення задач аналізу формозміни металу використовують методи наближеного рішення крайових задач, засновані на побудові мінімізуючих послідовностей. Застосування цих методів дозволяє більш точно описати напружено-деформований стан металу для прокатки з рівномірною деформацією по перетину [1–9]. Рішення ж задач з нерівномірною деформацією вимагає вибору складної координатної функції, і, відповідно, мінімізуючої послідовності з невеликим числом членів ряду. Таке наближення значно знижує точність визначення деформованого стану.

Останнім часом для рішення задач обробки металів тиском все більше застосування знаходить метод кінцевих елементів, що дозволяє апроксимувати будь-яку безперервну функцію дискретною моделлю, що будується на безлічі шматково-безперервних функцій, визначених на кінцевому числі підобластей [10–14].

Для рішення результуючої нелінійної системи рівнянь використовують метод ітерацій.

Метою роботи є розробка промислової технології виробництва одногребневих профілів.

Проведений аналіз теоретичних досліджень показав, що для вивчення формозміни металу нерівномірно-деформуємого розкату в одногребневом калібрі є доцільним застосування методу кінцевих елементів з використанням методик, розроблених в [15–16].

Прокатка штабової сталі у фасонному калібрі характеризується різним ступенем обтиснення приводними горизонтальними валками по товщині. Внаслідок нерівномірності деформації, а також конфігурації фасонного калібру, у ньому отримують фасонний штабовий підкат.

В основу рішення задачі покладений принцип мінімуму повної потенційної енергії системи:

$$V - W = \min, \quad (1)$$

що складається з енергії внутрішніх V (енергії деформації) і зовнішніх сил W .

Для рішення задачі застосовуємо метод кінцевих елементів. Для цього перетин вихідної заготовки покриваємо квадратними елементами у вигляді чотирикутних осередків з відомими координатами у вузлових точках. Після деформації елементи змінюють форму і розміри без розривів і зі збереженням об'ємів. Вирішуємо квазіоб'ємну задачу, тобто приймаємо, що витяжка металу по кожному елементу в напрямку прокатки після деформації однакова. Отже, відносне зменшення площі кожного елемента буде однакове і не залежить від вихідної площі елементів.

Переміщення будь-якої точки усередині i -го елемента можуть бути виражені через переміщення відповідних йому вузлів [6]:

$$\{f_i\}^n = [N]\{q\}^n, \quad (2)$$

де $\{f_i\}$ – вектор переміщень будь-якої точки i -го елемента; N – матриця форми, що зв'язує поточні координати з координатами вузлів; $\{q\}$ – вектор-стовпець кутових переміщень, який визначає вектор деформації елемента:

$$\{\varepsilon\}^n = [B]\{q\}^n, \quad (3)$$

і відповідний їй вектор напруг:

$$\{\sigma\}^n = [D]\{\varepsilon\}^n, \quad (4)$$

де $[B]$ – матриця, отримана шляхом диференціювання по просторових координатах матриці форми $[N]$; $[D]$ – матриця зв'язку напруг з деформаціями.

Діючі на систему розподілені зосереджені сили замінюються вузловими силами або еквівалентними. Таким чином, завдання зводиться до установки співвідношення сила-переміщення у кожній вузловій точці. Згідно [7, 8], математична постановка задачі полягає в мінімізації функціонала m , що заданий у вигляді:

$$\Phi = \Phi_1 + \lambda \cdot \Phi_2, \quad (5)$$

де Φ_1 – робота формозміни; Φ_2 – умова нестисливості; λ – коефіцієнт більший 1.

Функціонал Φ є узагальненою умовою рівноваги металу, що деформується, яке означає, що істинна формозміна металу відповідає мінімуму всієї роботи деформації.

$$\Phi_1 = \sum \varepsilon_{ij} \sigma_{ij} F_{0ij}, \quad (6)$$

де ε_{ij} , σ_{ij} – інтенсивність деформацій і напруг елемента з номером ij , що визначаються за відомими залежностями [18].

Умова нестисливості або сталості обсягу кожного елемента при постійній витяжці відповідає виразу:

$$\Phi_2 = \sum (F_{0ij} - F_{dj})^2 = \min. \quad (7)$$

Задачу (7) вирішуємо методом покоординатного спуску, шляхом варіації координат внутрішніх вузлів кінцевих елементів і коефіцієнту λ при заданих граничних умовах. Для скорочення часу множник λ визначали шляхом підбору співвідношень числа ітерацій по (6) і (7). Ітерації виконуються методом Зейделя для кожних чотирьох суміжних опічок області (рис. 1).

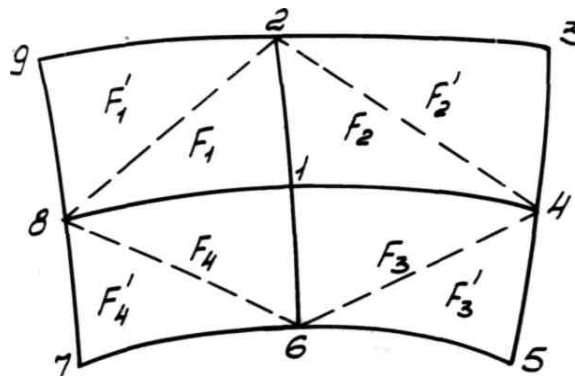


Рис. 1. Схема розташування точок суміжних осередків деформованої сітки

Координати вузлів визначаємо, виходячи з мінімуму (7), при цьому замінюємо об'єми на відповідні площі для кожних чотирьох суміжних елементів:

$$\Phi_2^1 = \sum_{i=1}^4 (F_i - F_{cp})^2 = \min. \quad (8)$$

Диференціюємо (8) по X_i і B_i , прирівнюємо похідні до нуля і відшукуємо їхні координати. Після перетворень отримуємо систему лінійних рівнянь відносно координат загального вузла чотирьох суміжних осередків.

Потім методом покоординатного спуску виконується визначення координати загального вузла для чотирьох суміжних осередків, виходячи з мінімуму Φ_1 .

При відшуванні мінімуму функціонала Φ на кожну ітерацію по Φ_2 виконувалось три ітерації по Φ . Збіжність процесу забезпечується десятикратним повторенням таких ітерацій. Такий метод рішення задачі дозволяє автоматично задовольняти вимогам нерозривності деформації.

На підставі викладеного була розроблена програма розрахунку, що дозволяє зробити розрахунок формозміни енергосилових параметрів прокатки одногребневих профілів. Приклад деформаційної картини представлено на рис. 4.

Для наочності були побудовані графіки розподілу витяжки і зусилля деформації по проходах для башмака із кроком 203 мм (рис. 2), для башмака із кроком 260 мм (рис. 3).

Аналіз отриманих графіків (рис. 2) показує, що максимальна витяжка відбувається у 10 проході при остаточному формуванні гребеня, зусилля деформації максимальне при початковому формуванні гребеня (5 проход) і при кінцевому формуванні (10 проход). Так само на графіку видно, що в реверсивних проходах, тобто 4 і 6, тому ж калібрі зусилля мінімальне.

На графіку (рис. 3) максимальна витяжка припадає на 10 проход, зусилля є максимальним у 2, 10 проходах.

Отримані значення зусилля деформації менше за припустимі у клітях стана 1000/850/630, тому реалізація технології отримання башмаків на даному стані може бути здійснена. Отримані значення витяжки і розширення мають бути використані при розробці калібрування.

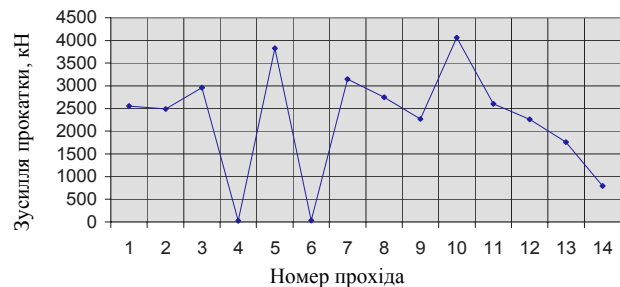


Рис. 2. Параметри прокатки профілю башмака із кроком 203 мм

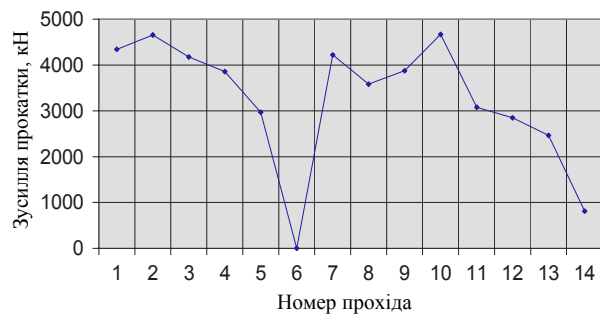


Рис. 3. Параметри прокатки профілю башмака із кроком 260 мм

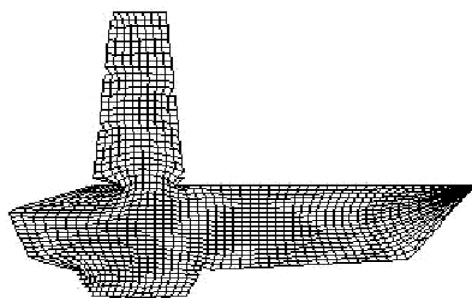


Рис. 4. Деформаційна картина у 7 проході

ВИСНОВКИ

1. На основі методу кінцевих елементів розроблені методика і програма розрахунку формозміни і енергосилових параметрів башмаків із кроком 203 мм і 260 мм.
2. Проведені розрахунки дозволили отримати деформаційну картину формозміни і основних параметрів прокатки.
3. Аналіз отриманих графіків показує, що максимальна витяжка відбувається у 10 проході при остаточному формуванні гребеня, зусилля деформації максимальне при початковому формуванні гребеня (5 проход) і при кінцевому формуванні (10 проход).
4. Отримані значення зусилля деформації нижче припустимих у клітках стану 1000/850/630, тому реалізація технології виготовлення башмаків на даному стані може бути здійснена. Отримані значення витяжки і розширення необхідно використовувати при розробці калібрування.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гунн Г. Я. Математическое моделирование процессов обработки металлов давлением / Г. Я. Гунн. – М. : Металлургия, 1983. – 351 с.
2. Алексеев Ю. Н. Вопросы пластического течения металла / Ю. Н. Алексеев. – Харьков : Харьков., гос. ун-т, 1958. – 188 с.
3. Алексеев Ю. Н. Введение в теорию обработки металлов давлением, прокаткой и резанием / Ю. Н. Алексеев. – Харьков : Харьков., гос. ун-т, 1968. – 108 с.
4. Шевченко К. Н. Основы математических методов в теории обработки металлов давлением / К. Н. Шевченко. – М. : Высшая школа, 1970. – 351 с.
5. Поздеев А. А. О применении метода Ритца в теории обработки металлов давлением / А. А. Поздеев, И. Я. Тарновский // Изв. вузов. Черная металлургия. – 1962. – Л II. – С. 67–76.
6. Хайкин Б. Е. К вопросу использования метода Ритца в вариационных задачах теории прокатки / Б. Е. Хайкин, И. Я. Тарновский // Сб. научных трудов Уральского политехнического института. – 1967. – № 8. – С. 4–7.
7. Готлиб Б. М. Определение напряжений и деформаций в теории обработки металлов давлением вариационным методом Треффтца / Б. М. Готлиб, И. Я. Тарновский // Сб. научных трудов Уральского политехнического института. – 1967. – № 162. – С. 19–22.
8. Канторович Л. В. Приближенные методы высшего анализа / Л. В. Канторович, В. И. Крылов. – М. : Физматгиз, 1962. – 578 с.
9. Черноусько Ф. Л. Метод локальных вариаций для численного решения вариационных задач / Ф. Л. Черноусько // Журнал вычислительной математики. – 1965. – № 4. – С. 749–760.
10. Полухин В. П. О применении метода локальных вариаций в задачах обработки металлов давлением. Сообщение I. / В. П. Полухин, Г. Я. Гун, Е. Р. Сигитов // Изв. вузов. Черная металлургия. – 1967. – № II. – С. 80–83.
11. Гунн Г. Я. Теоретические основы обработки металлов давлением / Г. Я. Гун. – М. : Металлургия, 1980. – 456 с.
12. Коцарь С. Л. Течение металла при асимметричной прокатке высоких полос / С. Л. Коцарь, Г. Л. Фейгин, В. И. Тарновский // Обработка металлов давлением. – Свердловск : Уральск., политехн. ин-т, 1976. – Вып. 6. – С. 55–59.
13. Коцарь С. Л. Вывод вариационного уравнения для процесса прокатки с прилипанием / С. Л. Коцарь, В. И. Тарновский, Г. Л. Фейгин // Обработка металлов давлением. – Свердловск : Уральск., политехн. ин-т, 1977. – Вып. 4. – С. 37–40.
14. Тарновский В. И. Определение поля скоростей при прокатке на обжимных станах методом Л. В. Канторовича / В. И. Тарновский, С. Л. Коцарь, Г. Л. Фейгин // Обработка металлов давлением. – Свердловск : Уральск., политех. ин-т, 1977. – Вып. 4. – С. 49–52.
15. Зенкевич О. В. Метод конечных элементов в технике : пер. с англ / О. В. Зенкевич. – М. : Мир, 1975. – 542 с.
16. Хайкин Б. Е. Вариационно-разностной метод решения задач ОМД / Б. Е. Хайкин, В. Г. Глазунов // Изв. вузов. Черная металлургия. – 1979. – Л I. – С. 34–39.

Курандо Д. І. – аспірант НТУ «ХП».

НТУ «ХП» – Національний технічний університет «Харківський Політехнічний Інститут», м. Харків.

E-mail: agnostic85@list.ru