

УДК 621.771:539.4

О.О. Бейгул, М.М. Корнійчук, Г.Л. Лепетова
**ОПТИМІЗАЦІЯ ЗАКРИТОЇ СТАНИНИ РОБОЧОЇ КЛІТІ
ПРОКАТНОГО СТАНА ЗА КРИТЕРІЄМ МІНІМАЛЬНОЇ
МЕТАЛОМІСТКОСТІ**

Анотація. Розроблена математична модель оптимізації статично невизначимої закритої станини робочої кліті прокатного стану за критерієм мінімальної металомісткості.

Вступ. Станини робочих клітей є найбільш відповідальними деталями прокатних станів. У них монтуються валки стану, які деформують метал при прокатці, а також інші пристрої та механізми, які забезпечують необхідну точність прокатки, продуктивність стану. Весь тиск метала на валки, який виникає при прокатці, сприймається станинами. Тому при конструюванні та виготовленні станин особливу увагу приділяють їх міцності та жорсткості [3].

Робоча кліть будь-якого стану має дві станини, розташовані по краях валків. Станини за конструктивними особливостями бувають закритого і відкритого типу.

Станина закритого типу являє собою литу масивну, жорстку раму, що має у нижній частині спеціальні приливи, якими вона встановлюється на плитовину і кріпиться до неї болтами. Станини такого типу, як більш міцні та жорсткі, застосовуються у робочих клітях блюмінгів, слябінгів та в тонколистових станах гарячої та холодної прокатки.

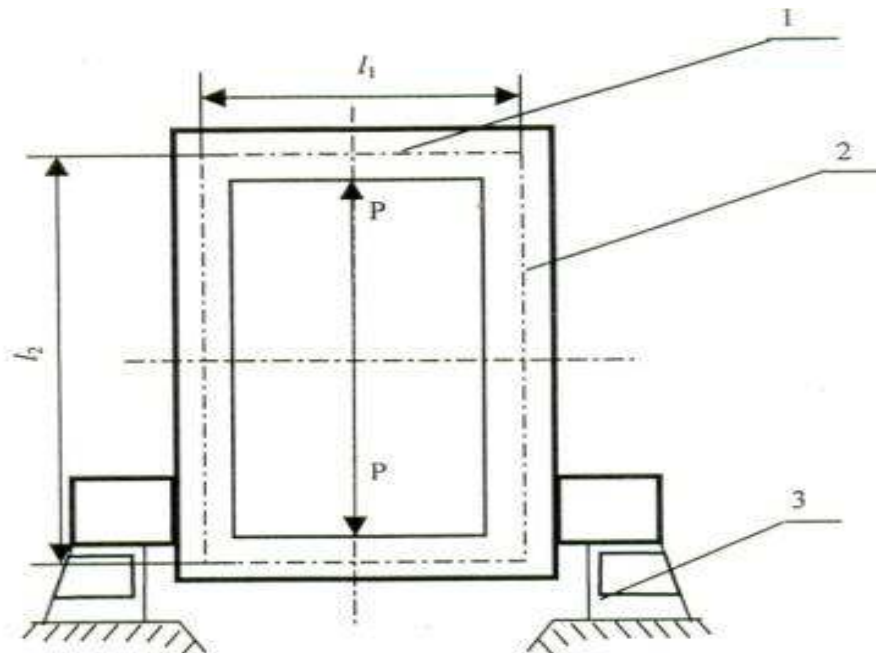
Станини робочих клітей прокатних станів розраховують на максимальне вертикальне зусилля, яке діє при прокатці на шийку валка і передається на поперечини [3]. Горизонтальними зусиллями, які діють на валки і станину в момент захвату і при прокатці з натяжінням, звичайно нехтують, оскільки їх величина несуттєва у порівнянні з вертикальними зусиллями. До того ж слід додати, що несуча система станини прокатної кліті є самоврівноваженою і вертикальні зусилля не передаються на опорні пристрої (рис. 1).

Постановка задачі. Сучасні станини закритого типу працюють з великими запасами міцності, мають надмірну металомісткість, крім

© Бейгул О.О., Корнійчук М.М., Лепетова Г.Л., 2010

того, статична невизначимість закритих рамних систем ускладнює розробку раціональних конструкцій на стадії проектування; тому задача дослідження полягає у виборі математичної моделі оптимізації статично невизначимої закритої станини робочої кліті за критерієм мінімальної металомісткості.

Аналіз публікацій по даній проблемі. У металургійному машинобудуванні, до якого належить виробництво станин, панує конструктивний підхід при проектуванні нового устаткування [3]. Оптимізація проектувальних розрахунків на міцність добре висвітлена у роботі [2], де відслідковується проблематичність таких задач стосовно статично невизначимих систем. Робота [4] присвячена вибору співвідношення згинальних жорсткостей силових елементів статично невизначимої порталної несучої системи з наступним розрахунком її параметрів. Ідея останньої роботи, пов'язана з належним вибором співвідношення згинальних жорсткостей поперечин та стійок, покладена оптимізації статично невизначимої станини закритого типу за критерієм мінімальної металомісткості.



1 - поперечина; 2 - стійка; 3 - опорний пристрій

Рисунок 1 – Станина закритого типу

Виклад основного матеріалу. Розрахункова схема станини закритого типу представляється у вигляді прямокутної закритої рами (рис. 2).

Вертикальне зусилля P для листових станів дорівнює половині максимального тиску металу на валки при прокатці, для інших

станів дорівнює максимальному значенню тиску на підшипниках з одного боку робочої кліті [3].

Станина закритого типу являє собою замкнуту раму, в загальному випадку тричі статично невизначиму [5], але належним вибором основної системи ступінь статичної невизначимості можна зменшити.

Обираємо основну систему введенням розрізів у стійках вздовж горизонтальної осі симетрії, у цьому разі з урахуванням геометричної та силової симетрії рама стає один раз статично невизначимою.

Для розкриття статичної невизначимості скористаємось методом сил, для чого записуємо канонічні рівняння методу сил у кількості, що дорівнює числу статичної невизначимості [5]. У даному разі це одне канонічне рівняння:

$$\delta_{11}X_1 + \delta_{1P} = 0 \quad (1)$$

де δ_{11} – головний коефіцієнт канонічного рівняння, означає переміщення точки прикладення першого силового фактору у напрямку першого силового фактору внаслідок дії першого силового фактору, який дорівнює 1, рад;

X_1 – реакція зайвого зв'язку, або згинаючий момент у стійці на горизонтальній осі симетрії, Н·м;

δ_{1P} – вільний член канонічного рівняння, або переміщення точки прикладення першого силового фактору у напрямку першого силового фактору внаслідок дії зовнішнього навантаження, рад.

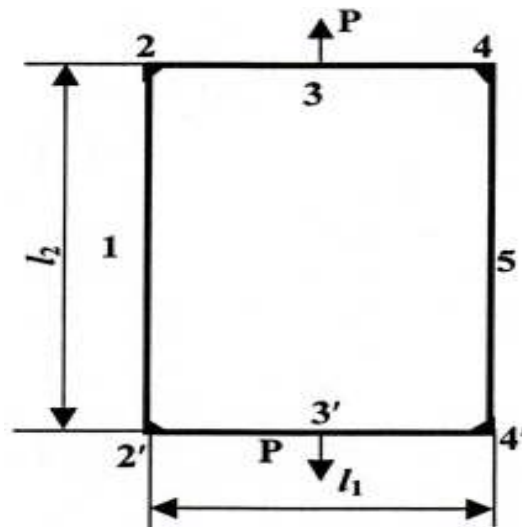


Рисунок 2 – Розрахункова схема станини закритого типу

Коефіцієнти канонічного рівняння (1) визначаємо за допомогою інтегралів Мора [5]. Канонічне рівняння (1) з урахуванням

визначених коефіцієнтів має вигляд:

$$\left(\frac{l_1}{EI_{z1}} + \frac{l_2}{EI_{z2}}\right)X_1 - \frac{Pl_1^2}{8EI_{z1}} = 0 \quad (2)$$

де EI_{z1} – згинальна жорсткість поперечини, Па·м⁴;

EI_{z2} – згинальна жорсткість стійки, Па·м⁴

Множимо рівняння (2) на I_{z1} , після введення позначення $I_{z1}/I_{z2} = k$ отримуємо наступний його варіант:

$$(l_1 + kl_2)X_1 = \frac{Pl_1^2}{8} \quad (3)$$

Звідки визначаємо X_1 :

$$X_1 = \frac{Pl_1^2}{8(l_1 + kl_2)} \quad (4)$$

Будуємо сумарну епюру згинаючих моментів (рис. 3).

Сумарна епюра згинаючих моментів свідчить, що ці силові фактори на ділянках рами залежать від параметру $k = I_{z1}/I_{z2}$, який можна вважати аргументом певної цільової функції [1]. У якості цільової функції призначаємо такий узагальнений показник металомісткості конструкції, як сума моментів опору згинанню перетинів поперечини та стійки. Тоді можна записати:

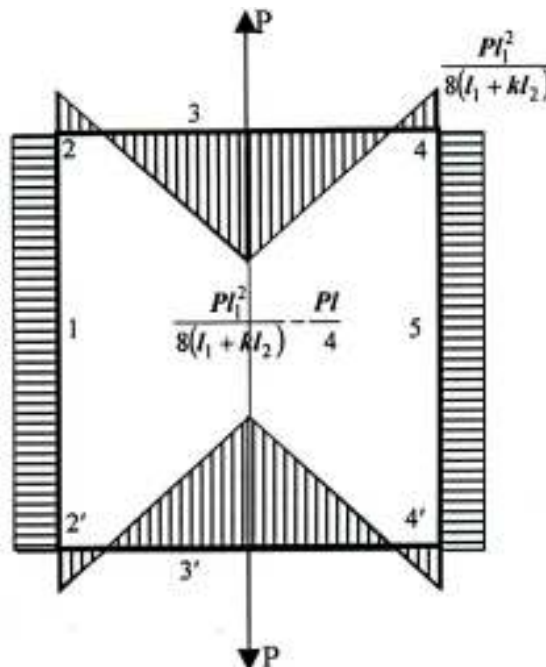


Рисунок 3 – Сумарна епюра згинаючих моментів

$$F(k) = W_{z1} + W_{z2} = \frac{|M_{z1}|}{[\sigma]} + \frac{k_1|M_{z2}|}{[\sigma]} \quad (5)$$

де $F(k)$ – цільова функція, M^3 ;

k – аргумент цільової функції;

W_{z1}, W_{z2} – моменти опору згинанню поперечини та стійки відповідно, M^3 ; M_{z1}, M_{z2} – розрахункові згинаючі моменти

поперечини та стійки, $N \cdot m$;

k_1 – певна константа, $k_1 \gg 1$;

$[\sigma]$ – допустиме напруження, Па.

Розкриваємо праву частину виразу (5):

$$F(k) = \left| \frac{Pl_1^2}{8[\sigma](l_1 + kl_2)} - \frac{Pl_1}{4[\sigma]} \right| + \frac{k_1 Pl_1^2}{8[\sigma](l_1 + kl_2)} \quad (6)$$

Далі скористаємось класичним методом математичного аналізу [1] для розв'язання задачі оптимального проектування за критерієм мінімальної металомісткості, яка може бути сформульованою як задача пошуку екстремуму цільової функції $F(k)$. Необхідною умовою екстремуму цільової функції $F(k)$ є обернення в нуль її першої похідної по аргументу k . Обчислюємо першу похідну цільової функції $F(k)$:

$$\begin{aligned} \frac{dF(k)}{dk} &= \frac{d}{dk} \left\{ \left| \frac{Pl_1^2}{8[\sigma](l_1 + kl_2)} - \frac{Pl_1}{4[\sigma]} \right| + \frac{k_1 Pl_1^2}{8[\sigma](l_1 + kl_2)} \right\} = \\ &= \frac{Pl_1^2(1+k)}{8[\sigma]} \frac{d}{dk} (l_1 + kl_2)^{-1} = \frac{Pl_1^2(1+k)}{8[\sigma]} (-1)(l_1 + kl_2)^{-2} l_2 = \\ &= -\frac{Pl_1^2 l_2 (1+k_1)}{8[\sigma](l_1 + kl_2)^2} \quad (7) \end{aligned}$$

Як це виходить з виразу (7), перша похідна цільової функції обертається в нуль у нескінченності, будучи від'ємною величиною у зоні визначення цієї функції. Перевіряємо цільову функцію на знак другої похідної:

$$\begin{aligned} \frac{d^2 F(k)}{dk^2} &= \frac{d}{dk} \left(\frac{dF(k)}{dk} \right) = \frac{d}{dk} \left[-\frac{Pl_1^2 l_2 (1+k_1)}{8[\sigma](l_1 + kl_2)^2} \right] = \\ &= -\frac{Pl_1^2 l_2 (1+k_1)}{8[\sigma]} \frac{d}{dk} (l_1 + kl_2)^{-2} = -\frac{Pl_1^2 l_2 (1+k_1)}{8[\sigma]} (-2)(l_1 + kl_2)^{-3} \cdot l_2 = \end{aligned}$$

$$= \frac{Pl_1^2 l_2^2 (1 + k_1)}{4[\sigma] (l_1 + kl_2)^3} \quad (8)$$

$$\frac{Pl_1}{8[\sigma]} (1 + k_{1i})$$

$$\frac{Pl_1}{4[\sigma]}$$

Як це виходить з виразу (8), друга похідна цільової функції є додатною величиною у зоні визначення цієї функції. Узагальнюючи вирази (6-8), будуюмо графіки цільової функції $F(k)$ (рис.4).

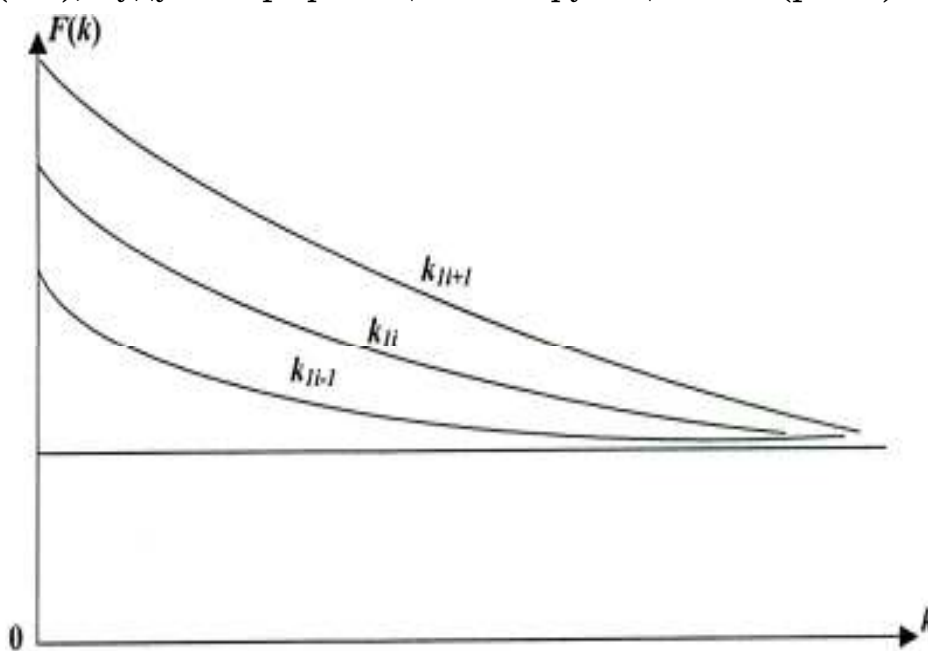


Рисунок 4 – Графіки цільової функції $F(k)$

Висновки. Оптимізація станини закритого типу робочої кліті прокатного стану за критерієм мінімальної металомісткості проходить шляхом розробки і створення раціональної за металомісткістю конструкції, яка реалізується збільшенням згинальної жорсткості поперечин і зменшенням такої у стійок. В ідеалі – це конструкція, у якій поперечини працюють тільки на вигин, а стійки – тільки на розтяг.

Оптимізація статично невизначимих замкнутих систем за критерієм мінімальної металомісткості базується на пошуку екстремумів цільової функції, в яку входять у якості аргументів відношення згинальних жорсткостей силових елементів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бронштейн И. Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов / И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев. – 13-е изд., испр. – М.: Наука, 1986. – 544с.
2. Избранные задачи по строительной механике и теории упругости (регулирование, синтез, оптимизация) / [Абовский Н.П., Енджиевский Л.В., Савченко В.И. и др.]. – М.: Стройиздат, 1978. – 189с.
3. Машины и агрегаты металлургических заводов. Т. 3. Машины и агрегаты для производства и отделки проката / [Целиков А.И., Полухин П. И., Гребеник В.М. и др.]. – М.: Металлургия, 1988. – 680с.
4. О проектировочном расчете статически неопределимой несущей системы / [Бейгул О.А., Шматко Д.З., Бейгул И.О., Лепетова Н.А.]. – Системні технології. Регіон. міжвуз. зб. наук. праць. – Вип. 3 (14). – Дніпропетровськ: ДНВП «Системні технології», 2001. – С. 100-105.
5. Писаренко Г.С. Справочник по сопротивлению материалов / Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвеев В.В.; отв. ред. Писаренко Г.С. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – К.: Наукова думка, 1988. – 736с.

Отримано 17.01.2010р.