

Дніпровський державний технічний університет

ОСОБЛИВОСТІ СИЛОВОЇ ВЗАЄМОДІЇ ШТАБИ З ВАЛКАМИ ПРИ ТОНКОЛИСТОВІЙ ПРОКАТЦІ

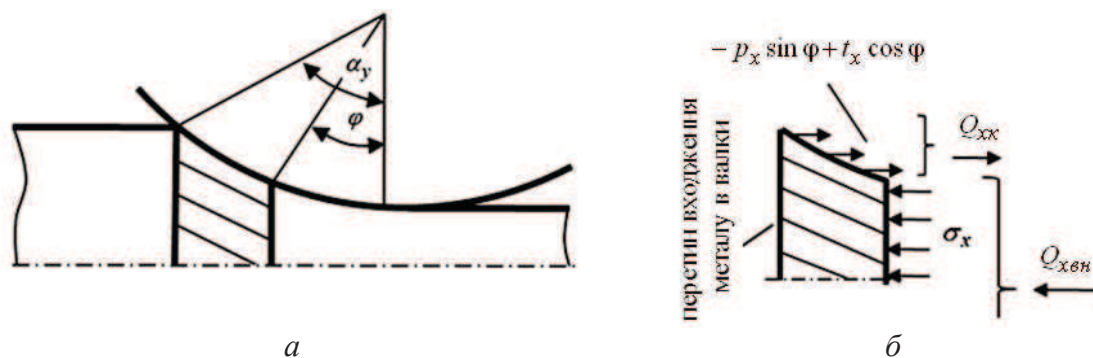
Вступ. У теорії прокатки при виведенні умови захвату металу у валках в сталому режимі, визначенні кута нейтрального перетину, що вважається регулятором рівноваги сил в осередку деформації, випередження та інших параметрів, враховуються тільки контактні втягувальні T і виштовхувальні N сили або їх проекції в горизонтальному напрямку T_x і N_x .

Результатом цього є деякі протиріччя теорії з практикою, наприклад, в умові настання граничних умов прокатки. Теорія свідчить про те, що вони настають при $\alpha_y = n f_y$ (α_y, f_y – кут захвату та коефіцієнт тертя в сталому режимі відповідно, n – коефіцієнт, що залежить від положення рівнодіючої нормальних контактних напружень) [1]. Знаходженню коефіцієнта n присвячено безліч теоретичних і експериментальних робіт [2-4]. При цьому теоретичні дослідження зводяться до того, що цей коефіцієнт дорівнює двом або більше, а експериментальні – менше 2.

Наслідком неточності визначення умов сталого (стійкого в поздовжньому напрямку) режиму деформації можуть служити як пробуксовки металу у валках, які призведуть до браку продукції, так і аварійні ситуації на стані, небезпечні для життєдіяльності робітників.

Постановка задачі. Метою даної роботи є теоретичний аналіз сил, що діють в осередку деформації при тонколистовій прокатці без натягів в сталому режимі.

Результати роботи. При аналізі будемо використовувати допущення, справедливі для випадку тонколистової прокатки [1, 5]: напруження по перетину штаби розподіляються рівномірно, деформація є плоскою, тобто нехтуємо розширенням металу. Розглянемо виділений поточний об'єм металу в осередку деформації (рис.1, а) і замінимо дію валка на метал контактними силами, а дію відкинутої частини металу – силами від дії внутрішніх напружень σ_x (рис.1, б).



а – осередок деформації; б – виділений поточний об'єм металу
(Q_{xx} та $Q_{xвн}$ – сили в розмірному вигляді)

Рисунок 1 – Аналіз рівноваги горизонтальних сил при тонколистовій прокатці

В результаті буде справедливим наступне рівняння:

$$-2 \int_{\varphi}^{\alpha_y} p_x \sin \varphi d\varphi Rb + 2 \int_{\varphi}^{\alpha_y} t_x \cos \varphi d\varphi Rb - \sigma_x h_x b = 0, \quad (1)$$

де φ – поточний кут в осередку деформації, рад.

З огляду на те, що поточну товщину металу по осередку деформації можна виразити у такий спосіб:

$$h_x = h_1 + R\varphi^2, \quad (2)$$

то одержимо:

$$-2 \int_{\varphi}^{\alpha_y} p_x \sin \varphi d\varphi Rb + 2 \int_{\varphi}^{\alpha_y} t_x \cos \varphi d\varphi Rb - \sigma_x (h_1 + R\varphi^2) b = 0. \quad (3)$$

Теоретичний аналіз зручно проводити в безрозмірній формі, розділивши складові рівняння (3) на опір деформації металу $2k$, радіус валків R і ширину штаби b , тоді:

$$-2 \int_{\varphi}^{\alpha_y} \frac{p_x}{2k} \sin \varphi d\varphi + 2 \int_{\varphi}^{\alpha_y} \frac{t_x}{2k} \cos \varphi d\varphi - \frac{\sigma_x}{2k} \left(\frac{h_1}{R} + \varphi^2 \right) = 0. \quad (4)$$

Звернемо увагу на те, що в перетині входу металу в осередок деформації ніяких сил не діє, – це також допущення, що часто використовується в теорії прокатки при побудові епюр контактних напружень [1, 5].

Проаналізуємо докладніше складові, що входять у рівняння (4):

$$-2 \int_{\varphi}^{\alpha_y} \frac{p_x}{2k} \sin \varphi d\varphi + 2 \int_{\varphi}^{\alpha_y} \frac{t_x}{2k} \cos \varphi d\varphi = 2Q_{xk}^* - \text{поточна результуюча горизонтальна кон-}$$

тактна сила (в безрозмірному вигляді), що включає виштовхувальні та втягувальні метал у валки сили;

$$\frac{\sigma_x}{2k} \left(\frac{h_1}{R} + \varphi^2 \right) = Q_{x\text{вн}}^* - \text{поточна результуюча сила (також в безрозмірному вигляді),}$$

яка є наслідком пластичної деформації металу.

З отриманого виразу (4) видно, що ці сили протилежно спрямовані та перебувають у рівновазі, це підкреслює стаціонарність процесу прокатки. Цифра 2 перед Q_{xk}^* враховує, що сила діє з боку обох валків.

Хоча, як сказано вище, у теорії прокатки багато висновків і зроблені вони без урахування сил $Q_{x\text{вн}}^*$, це не означає, що їм немає практичного підтвердження.

У роботах [6, 7] проводили експериментальні дослідження плинності металу при прокатці. У зразки по висоті вгвинчували прутки, гвинти або робили насічки на бічній поверхні (рис.2, а, прямі 1) і піддавали пластичній деформації. Потім процес зупиняли і спостерігали наступну картину. Під дією сил, які виникають в результаті пластичної деформації металу, на певній частині осередку деформації виникає „назадній” рух металу, тобто відбувається, як би, видавлювання металу із зони контакту штаби з валками, і прутки, гвинти або насічки вигинаються у напрямку, протилежному руху штаби (рис.2, а, криві 2).

Необхідно відмітити, що і теоретично доведено наявність цих сил в осередку деформації. Це впливає з умови рівноваги горизонтальних сил Т.Кармана [1, 5].

Так, проектуючи всі сили, що діють на виділений елемент металу в осередку деформації (рис.2, б), на вісь x (тобто в поздовжньому напрямку), маємо:

$$\begin{aligned} \sum x &= 0; \\ -2p_x \sin \varphi R d\varphi b + 2t_x \cos \varphi R d\varphi b + (\sigma_x + d\sigma_x)(h_x + dh_x)b - \sigma_x h_x b &= 0; \\ -2p_x \sin \varphi R d\varphi b + 2t_x \cos \varphi R d\varphi b + \sigma_x h_x b + d\sigma_x h_x b + \sigma_x dh_x b + d\sigma_x dh_x b - \sigma_x h_x b &= 0. \end{aligned}$$

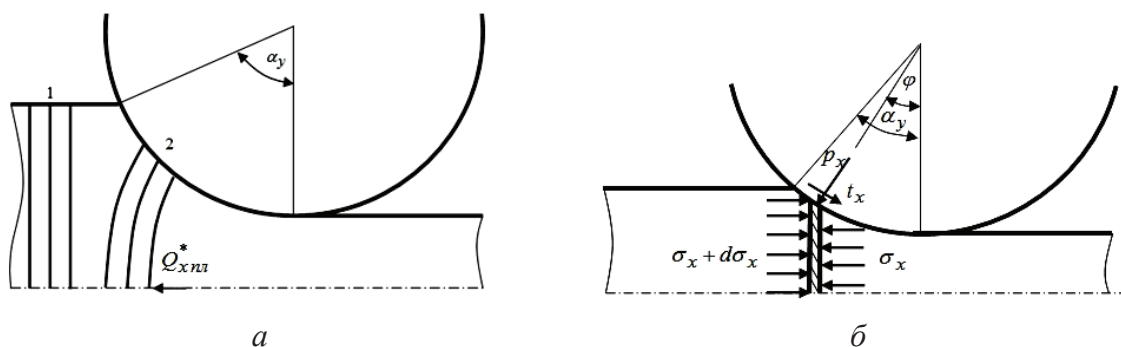


Рисунок 2 – Пластичний плин металу в сталому процесі прокатки (а) і рівновага поточного елемента металу по Т.Карману (б)

Оскільки $d\sigma_x dh_x b \approx 0$, тому:

$$-2p_x \sin \varphi R d\varphi + 2t_x \cos \varphi R d\varphi + d\sigma_x h_x b + \sigma_x dh_x b = 0$$

або в безрозмірному вигляді:

$$2kRb \left\{ -2 \frac{p_x}{2k} \sin \varphi d\varphi + 2 \frac{t_x}{2k} \cos \varphi d\varphi + \frac{1}{R} \left[\frac{\sigma_x}{2k} dh_x + \frac{d\sigma_x}{2k} h_x \right] \right\} = 0;$$

$$-2 \frac{p_x}{2k} \sin \varphi d\varphi + 2 \frac{t_x}{2k} \cos \varphi d\varphi + \frac{1}{R} \left[\frac{\sigma_x}{2k} dh_x + \frac{d\sigma_x}{2k} h_x \right] = 0.$$

З огляду на те, що $h_x = h_1 + R\varphi^2$ та $dh_x = 2R\varphi d\varphi$, остаточно одержуємо:

$$-2 \frac{p_x}{2k} \sin \varphi d\varphi + 2 \frac{t_x}{2k} \cos \varphi d\varphi + 2 \frac{\sigma_x}{2k} \varphi d\varphi + \frac{d\sigma_x}{2k} \left(\frac{h_1}{R} + \varphi^2 \right) = 0. \quad (5)$$

Розглядаючи осередок деформації як сукупність нескінченно малих елементів, буде справедливим інтегральне рівняння:

$$-2 \int_{\varphi}^{\alpha_y} \frac{p_x}{2k} \sin \varphi d\varphi + 2 \int_{\varphi}^{\alpha_y} \frac{t_x}{2k} \cos \varphi d\varphi + 2 \int_{\varphi}^{\alpha_y} \frac{\sigma_x}{2k} \varphi d\varphi + \int_{\varphi}^{\alpha_y} \frac{d\sigma_x}{2k} \left(\frac{h_1}{R} + \varphi^2 \right) = c;$$

Оскільки, при $\varphi = \alpha_y$, $c = 0$, тоді:

$$-2 \int_{\varphi}^{\alpha_y} \frac{p_x}{2k} \sin \varphi d\varphi + 2 \int_{\varphi}^{\alpha_y} \frac{t_x}{2k} \cos \varphi d\varphi + 2 \int_{\varphi}^{\alpha_y} \frac{\sigma_x}{2k} \varphi d\varphi + \int_{\varphi}^{\alpha_y} \frac{d\sigma_x}{2k} \left(\frac{h_1}{R} + \varphi^2 \right) = 0. \quad (6)$$

Помітимо, що перші дві складові виразів (4) і (6) однакові, а при інтегруванні $2 \int_{\varphi}^{\alpha_y} \frac{\sigma_x}{2k} \varphi d\varphi + \int_{\varphi}^{\alpha_y} \frac{d\sigma_x}{2k} \left(\frac{h_1}{R} + \varphi^2 \right)$ одержимо $-\frac{\sigma_x}{2k} \left(\frac{h_1}{R} + \varphi^2 \right)$, отже, ці рівняння є рівнозначними.

Перевага наведеного методу полягає в тому, що отримане рівняння (4) дозволяє визначити поточні контактні сили і сили пластичної деформації металу.

Це можна зробити теоретично з відомих епюр контактних напружень (p_x і t_x) або розв'язавши диференціальне рівняння Т.Кармана.

Визначити сили $Q_{хк}^*$ та $Q_{хвн}^*$ можна також і за експериментальними епюрами контактних напружень, які можна отримати різними методами (точкових месдоз, сило-вимірjuвального бійка, поляризаційно-оптичного методу), тобто запропонований метод не обмежується використанням тільки теоретичних залежностей.

У результаті урахування впливу контактних та внутрішніх сил можна теоретично уточнити граничну захоплюючу здатність валків, тобто розрахувати коефіцієнт n при різних параметрах деформації (обтиснення, коефіцієнт тертя, розміри штаби, валків тощо).

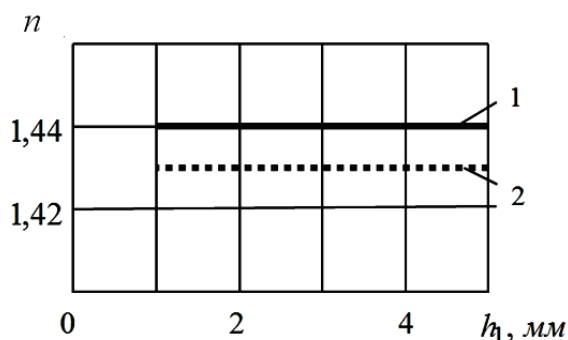


Рисунок 3 – Теоретичні залежності коефіцієнта n від товщини штаби при різних коефіцієнтах тертя в осередку деформації та діаметрах валків: 1 – $f_y = 0,1$; 2 – $f_y = 0,15$

На рис.3 наведено результати визначення коефіцієнта n для умов тонколистової прокатки без натягу.

Як випливає з рис.3, коефіцієнт n знаходиться в межах 1,43-1,44 незалежно від параметрів деформації. Даний результат підтверджується експериментальними дослідженнями [2-4], про які згадувалося раніше.

У даній роботі зроблено теоретичні викладки без урахування натягів штаби, хоча тонколистова прокатка здійснюється з передніми та задніми натягами майже у всіх проходах. Це було необхідно для того, щоб зробити головні висновки:

- при простому (без натягів) сталому

процесі тонколистової прокатки граничний кут захвату завжди менший, ніж два коефіцієнти тертя, тому теоретичну умову захвату необхідно уточнити з урахуванням внутрішніх сил;

- необхідно враховувати не лише контактні, але й внутрішні сили також і при визначенні інших кінематичних та енергосилових параметрів деформації тонких штаб.

Висновки. Проаналізовано особливості силової взаємодії в осередку деформації при простому сталому процесі тонколистової прокатки. Показано, що урахування сил пластичної деформації металу за допомогою рівняння Т.Кармана при розгляданні рівноваги всіх сил призводить до уточнення положень теорії, наприклад, умови граничного захвату металу валками в сталому режимі в умовах тонколистової прокатки. Тому при визначенні кінематичних та енергосилових параметрів деформації тонких штаб необхідно виходити з рівноваги в осередку деформації контактних втягувальних, контактних виштовхувальних сил та внутрішніх сил пластичної деформації металу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Грудев А.П. Теория прокатки: [учебник для вузов] / А.П.Грудев. – М.: Металлургия, 1988. – 240с.
2. Грудев А.П. Захватывающая способность прокатных валков / А.П.Грудев. – М.: „СП Интермет Инжиниринг”, 1998. – 283с.
3. Экспериментальное исследование максимальных углов захвата при установившемся процессе прокатки / А.П.Чекмарев, В.И.Прокофьев, В.П.Галицкий [и др.] // Обработка металлов давлением: научные труды ДМетИ. – М.: Металлургия. – 1967. – Вып. ЛП. – С.79-88.

4. Гончаров Ю.В. Исследование экспериментальных методов определения коэффициента внешнего трения при прокатке / Ю.В.Гончаров, В.И.Прокофьев // Обработка металлов давлением: научные труды ДМетИ. – М.: Металлургия. – 1965. – Вып. XLIX. – С.238-254.
5. Василев Я.Д. Теорія позовжньої прокатки / Я.Д.Василев, О.А.Мінаєв. – Донецьк: УНІТЕХ, 2009. – 488с.
6. Курс прокатки / А.П.Чекмарев, А.Ф.Самарин, П.Т.Емельяненко, К.И.Бурцев. – Харьков: ОНТИ, 1936. – 371с.
7. Метц Н. Горячая прокатка и калибровка валков / Н.Метц. – М.: Металлургиздат, 1937. – 332с.

Надійшла до редколегії 10.10.2017.

УДК 675.05

КАМЕЛЬ Г.И., д.т.н., профессор
ГАСИЛО Ю.А., к.т.н., доцент
ИВЧЕНКО П.С., к.т.н., доцент
ДЬЯЧЕНКО О.А., инженер

Днепропетровский государственный технический университет, г. Каменское

ВЫБОР ВИДА ПРОМЫШЛЕННОГО ТРАНСПОРТА ДЛЯ СЫРЬЯ ПРИ НЕПРЕРЫВНОЙ ВАРКЕ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ И ПОЛУЦЕЛЛЮЛОЗЫ В УКРАИНЕ

Введение. В настоящее время состояние целлюлозно-бумажной промышленности (ЦБП) в Украине не соответствует потребностям ее экономики. По уровню использования картонно-бумажной продукции на душу населения Украина занимает одно из последних мест в Европе (приблизительно 18 кг), хотя среднемировое использование бумаги и картона составляет больше 50 кг на человека, западноевропейское – 197 кг, а в США – 343 кг. Производственные мощности ЦБП Украины загружены на 60%, в то же время приблизительно 50% картонно-бумажной продукции ввозится в Украину. Использование импортной целлюлозы повышает себестоимость продукции.

Постановка задачи. С целью дальнейшей стабилизации и постепенного наращивания работы ЦБП путем реализации «Концепции развития химической промышленности Украины до 2010 года», разработанной Министерством промышленной политики, к приоритетной относится освоение отечественной сырьевой базы и обеспечение ее комплексной переработкой [1].

В мировой ЦБП для получения целлюлозы используют хвойную и лиственную древесину (ель и березу). Отечественные сырьевые ресурсы не могут обеспечить потребность в целлюлозе для химической промышленности.

Поэтому для Украины актуальным является расширение сырьевой базы ЦБП за счет использования других видов сырья, в первую очередь однолетних растений. Разработка ресурсосберегающих технологий и получение целлюлозы из однолетних растений, товаров химической промышленности из отечественного сырья является важной научно-технической задачей [1, 2].

Целью работы является обоснование использования известных в мире нетрадиционных видов промышленного транспорта (ПТ) для непрерывной подачи древесного сырья в область варки, где осуществляется получение товарной целлюлозы или полуцеллюлозы, применительно к Украине.