

Міністерство освіти і науки України

Донбаська державна машинобудівна академія



**УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ  
І ОБЛАДНАННЯ ОБРОБКИ ТИСКОМ  
В МЕТАЛУРГІЇ І МАШИНОБУДУВАННІ**

Тематичний збірник наукових праць

КРАМАТОРСЬК 2005

Матвійчук В. А., Михалевич В. М., Краєвський В. О. (Вінниця, ВНТУ)

## ВРАХУВАННЯ УТВОРЕННЯ ПЛАСТИЧНОЇ ХВИЛІ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ ПЛОЩІ КОНТАКТУ КОНІЧНОГО ВАЛКА ІЗ ЗАГОТОВКОЮ ПРИ ХОЛОДНОМУ ТОРЦЕВОМУ РОЗКОЧУВАННІ

*В работе разработана методика определения площади контакта конического вала с заготовкой при холодной торцовой раскатке в случае, когда полость матрицы уже заполнилась, а формообразования продолжается, то есть на этапе калибрования. Предложено аппроксимирующее выражение для определения коэффициента уменьшения площади контакта в зависимости от технологических параметров процесса холодной торцовой раскатки, которое учитывает образование пластической волны впереди вала.*

*In this work technique of the contact area's definition of the conic roller with billet during cold face rolling when the die cavity was already filled, but forming proceeds, that is at a stage of calibration, is developed. Approximating expression for definition of contact area decrease factor depending on technological parameters of process of cold face rolling which takes into account the formation plastic wave ahead roller is offered.*

Останнім часом в галузі обробки металів тиском все більшого розповсюдження набувають ротаційні процеси з локальним осередком деформування, такі як радіальне і торцеве розкочування, сферорухоме штампування тощо. Основними перевагами даних процесів є зосередження осередку деформації в конкретний момент на обмеженій ділянці заготовки, із поступовим його переміщенням по всій деформованій частині з формуванням необхідного профілю виробу. Внаслідок цього зменшується зусилля деформування, що дозволяє використовувати малопотужне обладнання та сприяє підвищенню стійкості інструмента у зв'язку із зменшенням контактних напружень.

Розробка і впровадження нами у виробництво ряду технологічних процесів холодного торцевого розкочування висвітлили важливість знання розміру і форми площі контакту валка із заготовкою у залежності від різних технологічних параметрів. За рахунок форми плями контакту валка із заготовкою в радіальній прокатці керують процесом утворення порожнини, в поперечно-гвинтовій прокатці – формуванням фасонних періодичних профілів, при торцевому розкочуванні – формою профілю деформованої частини заготовки та напружено-деформованим станом матеріалу. Знання площі контакту плями контакту необхідне для визначення зусилля деформування згідно співвідношення

$$P = p_{cp} F_k, \quad (1)$$

де  $p_{cp}$  - середній тиск на контактні валка із заготовкою;  $F_k$  - площа контакту.

У літературі накопичено досить багато рекомендацій по оцінці площі контакту валка із заготовкою [1, 2]. Здебільшого ця оцінка виражається у вигляді коефіцієнта  $\lambda$ , який характеризує зменшення площі контакту під час штампування обкочуванням у порівнянні із традиційними методами штампування

$$\lambda = \frac{F_k}{\pi \cdot R^2}. \quad (2)$$

Контур контактної зони обмежується переднім та заднім фронтами.

Задній фронт контуру - це є лінія початку виходу металу заготовки з контакту із інструментом. Якщо знехтувати пружними деформаціями заготовки та інструменту, то проекцію заднього фронту на площину  $Oxy$  є пряма

$$y = 0. \quad (3)$$

Зазвичай за проекцією переднього фронту на площину  $Oxy$  приймають параболу, що одержується при перетині інструмента із площиною нездеформованої заготовки. Згідно позначень прийнятих на рис. 1, рівняння переднього фронту

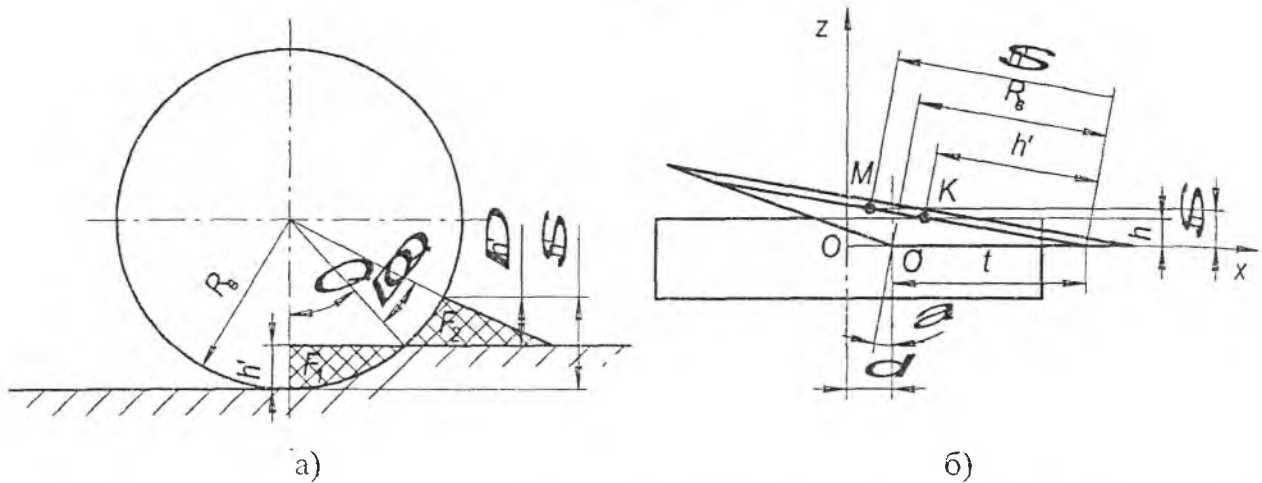


Рис. 1 – До визначення площі контакту валка із заготовкою із врахуванням пластичної хвилі

$$y = \sqrt{\frac{((x - \delta) \cdot \sin \alpha + z \cdot \cos \alpha)^2}{\operatorname{tg}^2 \alpha} - ((x - \delta) \cdot \cos \alpha - z \cdot \sin \alpha)^2}. \quad (4)$$

Проте у даному випадку передній фронт визначається без врахування утворення пластичної хвилі. Невідповідність формули (4) експериментальним даним особливо значна при закритих схемах торцевого розкошування, коли порожнина матриці вже заповнилась, а формування продовжується, тобто на етапі калібрування. Тоді переважна частина металу, що витискується з-під валка, йде на утворення пластичної хвилі (рис. 1а).

Плоский переріз хвилі представимо у вигляді трикутника із площею  $F_2$ . Розглянемо випадок, коли увесь метал йде на утворення пластичної хвилі, тому  $F_1 = F_2$ . У роботі [3], приведено вираз для визначення  $\Delta \theta$

$$\Delta \theta = 2 \arcsin \sqrt{\frac{2\theta - \sin 2\theta}{8 \cdot \left\{ \sin 2\theta + \frac{\sin^3 \theta}{2} \cdot \left[ \sec^2 \gamma - (1 + \sqrt{2} \cdot \cos^2 \gamma) \right] \right\}}}, \quad (5)$$

де  $\gamma = \arccos(2\mu)$ ,  $\mu$  - коефіцієнт тертя.

Визначимо загальну висоту контакту заготовки із валком (див. рис. 1а):

$$\Sigma h' = 2 \cdot R_0 \cdot \sin^2 \left( \frac{\theta + \Delta \theta}{2} \right). \quad (6)$$

У цій кут  $\theta$  формулі визначається наступним чином

$$\theta = 2 \cdot \arcsin \sqrt{\frac{h'}{2R_0}}. \quad (7)$$

Так вісь обертання знаходиться під кутом  $\alpha$  до осі заготовки, то

$$h' = \frac{h}{\sin \alpha}; R_0 = t \cdot \cos \alpha. \quad (8)$$

Тоді параметричне рівняння поверхні, яка описує максимальну висоту пластичної хвилі запишемо у вигляді

$$\begin{cases} z = \Sigma h'(t) \cdot \sin \alpha; \\ x = t + \delta - \Sigma h'(t) \cdot \cos \alpha. \end{cases} \quad (9)$$

Рівняння контуру переднього фронту контакту заготовки із інструментом подамо, як перетин поверхні (9) із поверхнею інструменту, попередньо виразивши рівняння поверхні (9) у вигляді  $z = q(x)$

$$\begin{cases} ((x - \delta) \cdot \cos \alpha - z \cdot \sin \alpha)^2 + y^2 - \frac{((x - \delta) \cdot \sin \alpha + z \cdot \cos \alpha)^2}{\operatorname{tg}^2 \alpha} = 0; \\ z = q(x). \end{cases} \quad (10)$$

Вираз  $q(x)$ , в силу складності аналітичного визначення, знаходили чисельним розв'язуванням другого рівняння системи (9) відносно  $t$  і підстановкою у перше рівняння. Загальний вигляд кривої, яка описується рівнянням (9), у порівнянні із поверхнею заготовки без утворення хвилі показано на рис. 2. На рис. 3 показано взаємне положення поверхонь інструменту, нездеформованої заготовки ( $z = h$ ) та найвищого положення гребінця хвилі ( $z = q(x)$ ).

Проекція на площину  $Oxy$  контуру переднього фронту запишеться у вигляді

$$y = \sqrt{\frac{((x - \delta) \cdot \sin \alpha + q(x) \cdot \cos \alpha)^2}{\operatorname{tg}^2 \alpha} - ((x - \delta) \cdot \cos \alpha - q(x) \cdot \sin \alpha)^2}. \quad (11)$$

Тоді площа контакту для суцільних заготовок розраховується за формулою

$$F_k = \int_{x_A}^{x_C} \sqrt{\frac{((x - \delta) \cdot \sin \alpha + q(x) \cdot \cos \alpha)^2}{\operatorname{tg}^2 \alpha} - ((x - \delta) \cdot \cos \alpha - q(x) \cdot \sin \alpha)^2} dx + \int_{x_C}^{x_E} \sqrt{R^2 - x^2} dx \quad (12)$$

де  $x_A, x_C, x_E$  знаходимо розв'язавши рівняння

$$\frac{((x_A - \delta) \cdot \sin \alpha + q(x_A) \cdot \cos \alpha)^2}{\operatorname{tg}^2 \alpha} - ((x_A - \delta) \cdot \cos \alpha - q(x_A) \cdot \sin \alpha)^2 = 0;$$

$$\frac{((x_C - \delta) \cdot \sin \alpha + q(x_C) \cdot \cos \alpha)^2}{\operatorname{tg}^2 \alpha} - ((x_C - \delta) \cdot \cos \alpha - q(x_C) \cdot \sin \alpha)^2 = R^2 - x_C^2; \quad (13)$$

$$x_E = R.$$

Площу контакту для кільцевих заготовок знайдемо із виразу

$$F_k = \int_{x_B}^{x_C} \sqrt{\frac{((x - \delta) \cdot \sin \alpha + q(x) \cdot \cos \alpha)^2}{\operatorname{tg}^2 \alpha} - ((x - \delta) \cdot \cos \alpha - q(x) \cdot \sin \alpha)^2} dx + \int_{x_C}^{x_E} \sqrt{R^2 - x^2} dx - \int_{x_E}^{x_D} \sqrt{r^2 - x^2} dx, \quad (14)$$

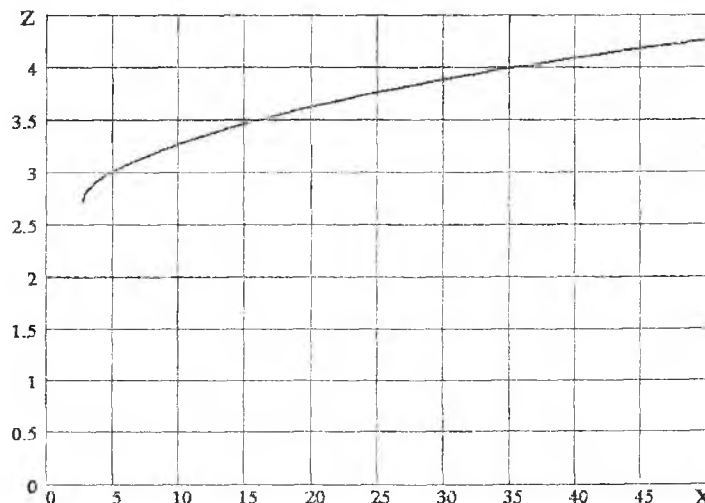


Рис. 2 - Криві, що описують найвище положення гребінця пластичної хвилі (суцільна лінія) та положення нездеформованої частини заготовки без утворення хвилі (штрихова лінія)

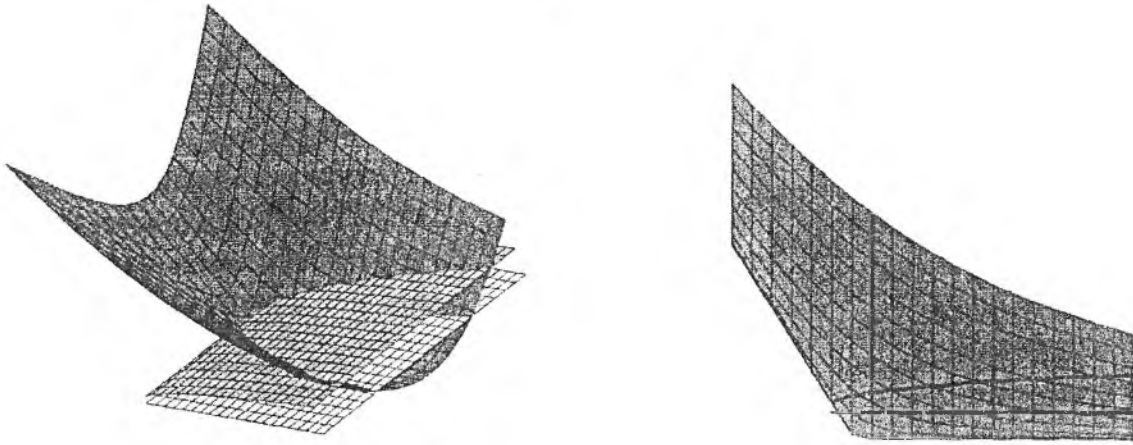


Рис. 3 - Взаємне розташування поверхонь інструменту, нездеформованої заготовки та найвищого положення гребінця хвилі

де  $x_C$  та  $x_E$  знаходимо із (15), а  $x_B$  та  $x_D$  розв'язавши рівняння

$$\frac{((x_B - \delta) \cdot \sin \alpha + q(x_B) \cdot \cos \alpha)^2}{\operatorname{tg}^2 \alpha} - ((x_B - \delta) \cdot \cos \alpha - q(x_B) \cdot \sin \alpha)^2 = r^2 - x_B^2; \quad (15)$$

$$x_D = r.$$

Загальний вигляд проекції переднього фронту на горизонтальну площину при врахуванні та без врахування утворення пластичної хвилі показано на рис. 4. Це є граничні значення проекцій переднього фронту. Упродовж майже усього процесу деформування дана крива займає проміжне положення. Але для розрахунку необхідного для деформування осьового зусилля, тобто фактично для розрахунку силових параметрів обладнання, необхідно використовувати формули (12) та (14), особливо коли проектується процес закритого холодного торцевого розкочування, де потрібно досягти повного заповнення матриці металом.

Якщо розрахувати коефіцієнт зменшення площі контакту  $\lambda$  під час холодного торцевого розкочування суцільних заготовок із нульовим зміщенням, тобто підставити вираз (12) при  $\delta = 0$  у (2), то отримане співвідношення добре апроксимується степеневою функцією (рис. 5)

$$\lambda = (2.215 \cdot \mu^2 + 0.831 \cdot \mu + 0.486) \cdot Q^{0.452 \cdot \mu^2 - 0.699 \cdot \mu + 0.531}, \quad (16)$$

де

$$Q = \frac{h}{2 \cdot R \cdot \operatorname{tg} \alpha} \text{ — відносна подача інструменту.} \quad (17)$$

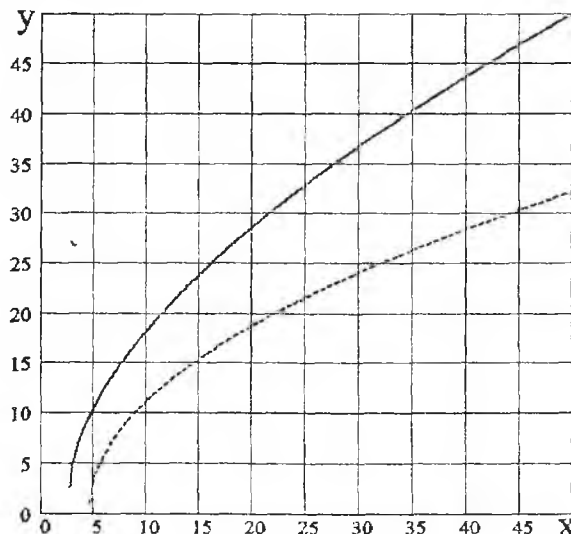


Рис. 4 – Проекції переднього фронту на горизонтальну площину при врахуванні (суцільна лінія) та без врахування (штрихова лінія) утворення пластичної хвилі

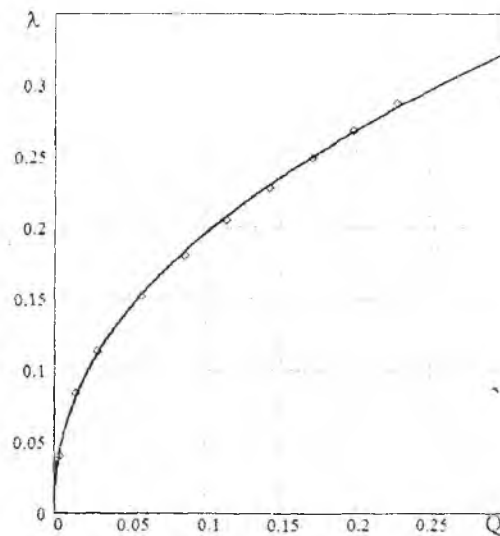


Рис. 5 – Розрахунок коефіцієнта зменшення площі контакту за співвідношенням (2) (точки) та його апроксимація виразом (16) (суцільна лінія) при  $\mu = 0.1$

При ротаційному штампуванні кільцевих заготовок коефіцієнт зменшення площі контакту  $\lambda$  із врахуванням утворення пластичної хвилі розраховується за формулою

$$\lambda = \frac{\lambda_2 \cdot R^2 - \lambda_1 \cdot r^2}{R^2 - r^2}, \quad (18)$$

де  $\lambda_1$  та  $\lambda_2$  розраховуються за формулою (17) при  $Q = Q(R)$  та  $Q = Q(r)$  відповідно.

#### Висновки

Проведений у роботі аналіз показав, що для визначення зусилля деформування при холодному торцевому розкочуванні конічним валком на етапі калібрування необхідно враховувати утворення пластичної хвилі попереду валка. Запропоновано методику визначення площі контакту валка із заготовкою із врахуванням утворення пластичної хвилі та отримано для цього випадку апроксимуючий вираз для визначення коефіцієнта зменшення площі контакту  $\lambda$  в залежності від технологічних параметрів процесу холодного торцевого розкочування.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Пшенишнюк А. С., Кривда Л. Т. Процесс штамповки обкатыванием, специализированное оборудование и методика проекторочных и технологических расчетов // Кузнечно-штамповочное производство. – 1985. – №5. – С. 26-28.
2. Юй Чжэньон. Повышение эффективности технологических процессов и оборудования для штамповки обкатыванием: Дис... канд. техн. наук: 05.03.05. – К., 1997. – 174 с.
3. Виноградов Л. В., Матвийчук В. А., Мочалов С. М. Технологические возможности ротационного деформирования // Кузнечно-штамповочное производство. – 1989. – № 4. – С. 14-16.

Сынков А.С., Ткач В.И., Бейгельзимер Я.Е., Рассолов С.Г., Сынков С.Г., Крысов В.И., Маслов В.В. Носенко В.К.	
Консолидация аморфных лент $AL_{86}Ni_6CO_2GD_6$ методом винтовой экструзии Артес А.Э., Лыжников Е.И., Филочкин Д.В., Гольшев Н.А., Rogoznikov П.А.	252
Совершенствование технологии штамповки деталей промышленной арматуры Невструев Ю.А.	255
Штамповка тонкостенных неравнопроходных тройников с увеличенной высотой отвода Данилин Г.А., Титов А.В.	259
Редуцирование пакета листовых заготовок как метод повышения качества изделий, получаемых вытяжкой с утонением Убизький Н.Н., Рыжов В.Г.	264
Анализ влияния механических свойств материала на утонение и вероятность разрушения при вытяжке сферических днищ Леонов В.М.	269
Анализ операции поперечной рифтовки при электромагнитной штамповке Войткив С.В., Тараненко М.Е.	275
Исследование механизма электрогидравлической отбортовки и определение параметров технологичности при штамповке листовых крупногабаритных деталей Маковецкий А.В., Чередниченко В.И., Маковецкий В.В.	278
Анализ эффективности использования приспособления для фиксации тонкостенных осесимметричных оболочек Сивак И.О., Савуляк В.В.	283
Дослідження процесу виготовлення гофрових заготовок Яковлев С.П., Пилипенко О.В., Безотосный Д.А.	287
Силовые режимы ротационной вытяжки цилиндрических деталей с разделением очага деформации Матвійчук В. А., Михалевич В. М., Краєвський В. О.	291
Врахування утворення пластичної хвилі при визначенні площі контакту конічного валка із заготовкою при холодному торцевому розкочуванні Кузнецов Н.Н.	297
Физическая природа, методика и особенности исследований электропластического эффекта Гайдамак О.Л., Гайдамак А.О.	302
Методика расчета максимальных деформаций заготовок при их деформировании с промежуточным отжигом Стеблюк В.І., Калюжний О.В.	305
Аналіз процесів холодного об'ємного та листового штампування методом скінчених елементів Горбатенко В.П., Позняк Е.Р., Смирнов Е.Н.	311
Математическая модель прогнозирования механических свойств стали 18ХГТ при гидропрессовании Коюда В.А., Головкин О.М., Гридин О.Ю., Шпак Ю.Ж.	320
Дослідження формозміни матеріалу в зонах тупиків і кутів робочого каналу пресових матриць Солодун Е.М., Носаков А.А.	324
Экспериментальное исследование силового режима комбинированного выдавливания Карнаух С.Г., Бегунов А.А., Добряк С.К., Винников М.А., Чоста Н.В.	329
Анализ процесса трехточечной холодной ломки проката изгибом при статическом, динамическом и статико-динамическом нагружении Лобанов А.И., Савченко О.К.	334
Выдавливание стержневых деталей с фланцем в разъемных матрицах Алиев И.С., Савченко О.К., Чучин О.В.	342
Технологические возможности процесса последовательного радиально-прямого выдавливания Борисов Р.С.	346
Анализ силового режима и формоизменения при боковом выдавливании деталей с отроостками Радченко А.К., Гогаев К.А.	352
Анализ гипотез прочности применительно к пористым неспеченным материалам (формовкам) Дубинин М.В., Лаптев А.М.	355
Исследование прессуемости и прочности порошковых материалов системы железо-медь-графит Лаптев А.М., Вяль Е.Ю., Дубинин М.В.	362
Метод экспериментального определения коэффициента трения при прессовании порошков в матрице Павленко А.А.	365
Разработка эмпирической модели процесса брикетирования металлической стружки Корж В.В.	370
Исследование влияния стеарата цинка на процесс прессования порошковой шихты с содержанием карбида хрома Рябичева Л.А., Никитин Ю.Н.	374
Влияние скорости деформирования на уплотнение пористой меди при повышенных температурах Кокорин В.Н., Кокорин М.В.	379
Исследование основных закономерностей подготовки и прессования шламовых металлосодержащих отходов	383