

*к.т.н. Огинский И. К.
(Национальная металлургическая академия Украины,
г.Днепропетровск, Украина, oginskyu@googlemail.com)*

СМЕЩЕННЫЙ ОБЪЕМ ПРИ ПРОКАТКЕ В ЧЕТЫРЕХВАЛКОВОМ КАЛИБРЕ

Виконано аналіз об'ємної течії металу, виявлено характерні об'єми осередку деформації, встановлено функціональний взаємозв'язок між ними, встановлено механізм утворення зміщеного об'єму при прокатці у чотирьохвалковому калібрі. Виконано аналіз встановлених взаємозв'язків між зміщеним об'ємом та іншими характерними (суміжними) об'ємами. Використання виявлених взаємозв'язків дозволяє створити більш точні методи розрахунку кінематичних і енергосилових параметрів прокатки для вирішення прикладних задач.

Ключові слова: прокатка, чотирьохвалковий калібр, зміщений об'єм, одиничний об'єм, остаточний об'єм.

Выполнен анализ объемного течения металла, выявлены характерные объемы очага деформации, установлена функциональная взаимосвязь между ними, установлен механизм образования смещенного объема при прокатке в четырехвалковом калибре. Выполнен анализ установленных взаимосвязей между смещенным объемом и другими характерными (смежными) объемами. Использование выявленных взаимосвязей позволяет создать более точные методы расчетов кинематических и энергосиловых параметров прокатки для решения прикладных задач.

Ключевые слова: Прокатка, четырехвалковый калибр, смещенный объем, единичный объем, остаточный объем.

Определение смещенного объема при прокатке вызывало интерес еще на ранних этапах создания основ теории прокатки. Основоположителем метода определения работы прокатки на основе смещенного объема является Финк, с его именем связывают термин «смещенный объем при прокатке». Предложенная Финком логарифмическая зависимость для определения работы деформации на основе смещенного объема была проста по своей структуре и одновременно неточной. Это вызвало необходимость поиска новых решений, известно много работ в этом направлении (авторами их являются: Киссельбах-Гульст, Прейслер, Вейс, Кирхберг, Герман, Зибель, Грасгоф, Кодрон, Пупе, Виногра-

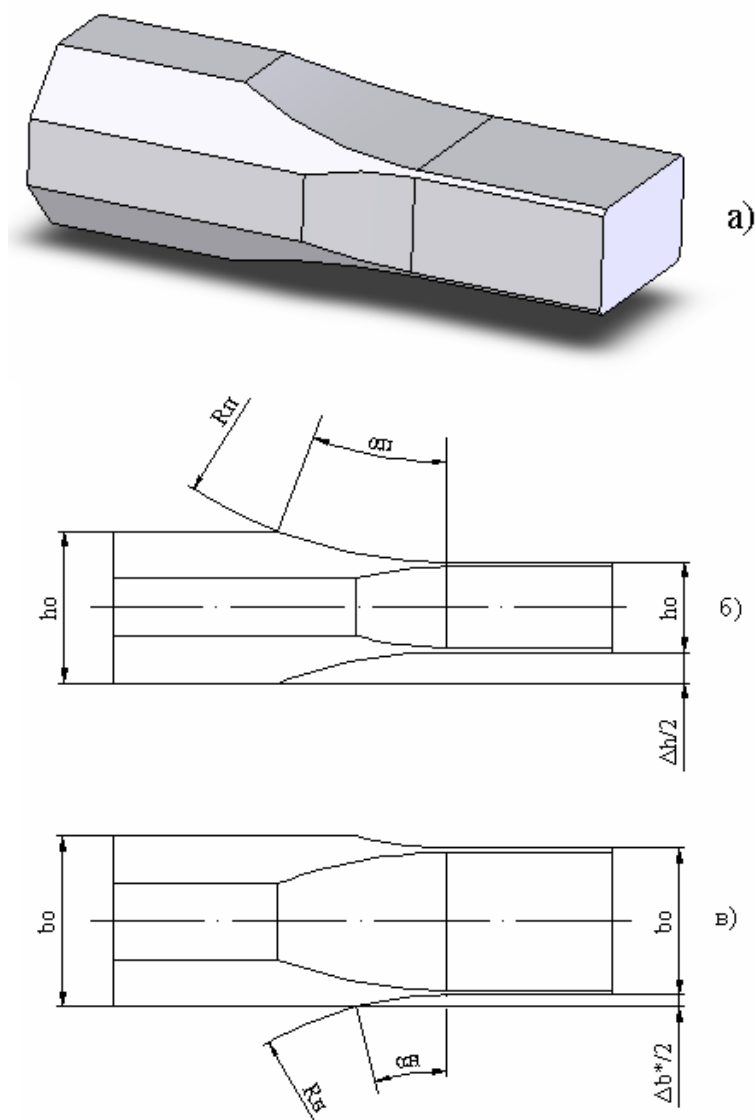
дов, Гавриленко, Верещагин, Лисс, Петров и другие), но достоверных методов определения смещенного объема создано не было и для определения энергосиловых параметров при прокатке большее распространение получили методы на основе контактного взаимодействия металла с инструментом [1]. Методы на основе объемного течения металла обладают более широкими возможностями по сравнению с методами второй группы, необходимым условием для их успешного использования является физически корректное определение признаков перемещения металла в очаге деформации, к которым относится и смещенный объем. Определение смещенного объема при прокатке в четырехвалковом калибре представляет собой еще более сложную задачу, поскольку процесс включает дополнительные деформационные и кинематические особенности [2-4].

Целью настоящей работы является анализ и развитие методов определения смещенного объема при прокатке. В основе предлагаемых подходов лежит исследование объемного течения металла при прокатке и выявление, в частности, смещенного объема, как составляющей энергетических параметров. На основе изучения механизма объемного течения металла становится возможным внести уточнения в недостаточно раскрытые вопросы теории прокатки и в конечном итоге достичь необходимой точности решения прикладных задач.

Формула Финка для определения смещенного объема при прокатке не содержит какие-либо параметры, характеризующие объемное течение металла. Все полученные другими авторами зависимости являются упрощенными и также не отражают какой-либо картины перемещения металла в очаге деформации, исследователям не удалось выявить смещенный объем среди других объемных признаков. У Финка смещенный объем является функцией линейных характеристик, среди результатов других исследователей виден аналогичный подход. В теории прокатки используется ограниченное число объемных признаков очага деформации и процесса в целом. К числу объемных параметров можно отнести условия сохранения объема и постоянства секундных объемов, в какой-то мере, и фактор формы. Первое условие, строго говоря, не является технологическим параметром, поскольку оно исходит из свойств материала. Фактор формы (отношение длины очага деформации l_d к средней высоте раската h_c) является в большей степени классификационным признаком и дает представление об относительной высоте очага деформации, в технологических расчетах он не нашел прямого использования. Условие постоянства секундных объемов можно назвать условным объемным параметром, поскольку он включает площади, объем (в привычном понимании) в условие постоянства секундных объемов не входит. При прокатке в четырехвалковом калибре использование пло-

щадей в качестве характеристик объемного течения металла становится недопустимым.

Для построения модели смещенного объема при прокатке в четырехвалковом калибре вводятся дополнительные объемные параметры и обозначения, их суть поясняется рисунками 1-4 на примере прокатки прямоугольной полосы.

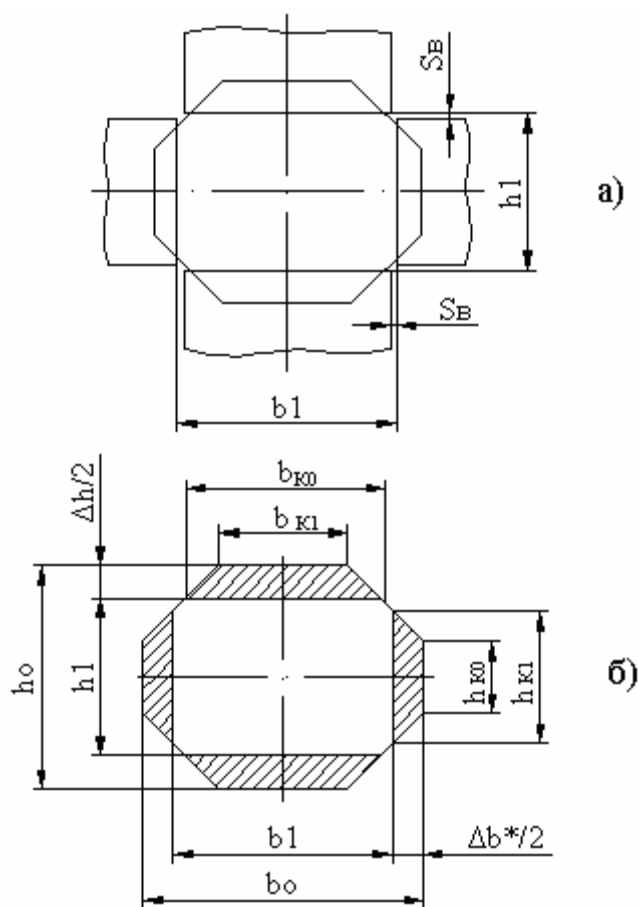


а) общий вид; б) вид со стороны неприводного валка;
в) вид со стороны приводного валка

Рисунок 1 – Четырехвалковый очаг деформации с примыкающими внешними зонами

Используются общепринятые обозначения геометрических и деформационных параметров с дополнением их индексами «п» и «н», относящимися к приводным и неприводным валкам, соответственно. На

рисунке 1 представлен четырехвалковый очаг деформации с примыкающими внешними зонами при прокатке прямоугольной полосы. Входной границей очага деформации является плоскость, соответствующая углу α_{II} , выходной – плоскость осей горизонтальных и вертикальных валков (оси пар валков находятся в одной плоскости). На рисунке 2 представлены схема прокатки в четырехвалковом калибре: а) калибр и задаваемый раскат; б) размеры раската до прокатки и после; заштрихованные области в сумме представляют собой смещенную площадь. Ширина контактной поверхности металла с валком обозначена размерами h и b с индексами «к»; обжатие со стороны неприводных валков – Δb^* .

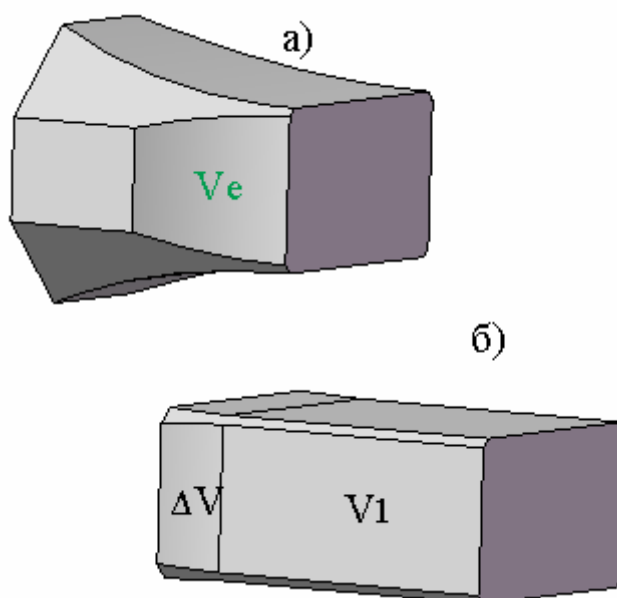


а) калибр и задаваемый раскат;
 б) размеры раската до прокатки и после

Рисунок 2 – Схема прокатки в четырехвалковом калибре
 (заштрихованные области - смещенная площадь при прокатке)

В работах Финка и его последователей смещенный объем определялся по отношению к произвольному деформируемому объему металла, без комплексного учета параметров очага деформации и он не был пред-

назначен для использования его в качестве какой-либо удельной характеристики работы. Это ограничивало применимость метода, не позволяло использовать его для развития и создания других энергетических характеристик. Учитывая сказанное, введем понятие единичный смещенный объем, который будет соотносится с объемом металла, находящегося в границах очага деформации. Единичным смещенным будем называть объем, смещенный за период поворота приводного вала на угол α_{II} , вводится также понятие «единичный объем» – объем металла, находящегося в границах очага деформации (V_E на рисунках 3а, 4а).



- а) единичный объем V_e в четырехвалковом очаге деформации;
 б) объем металла, вышедшего из очага деформации V_1 и остаточный объем ΔV

Рисунок 3 – Характерные объемы четырехвалкового очага деформации

Единичный объем может быть представлен в виде двух характерных частей – одна за время поворота вала на угол α_{II} металла выходит за пределы плоскости валков (V_1 на рисунках 3б, 4б), вторая остается в очаге деформации, в его выходной области (ΔV на рисунках 3б, 4б). Указанная особенность была выявлена ранее в результате анализа и подтверждена экспериментально [5]. Среди приведенных на рисунках 1-4 параметров основными являются те, которые содержат величину объема, к дополнительным относятся линейные, угловые и безразмерные. Каждая из названных величин имеет свое происхождение, они возника-

ют в ходе преобразования исходного (базового) объема V_E . Принимаем допущение, что опережение металла на контакте с приводным валком отсутствует ($S_{II} = 0$). В теории прокатки в качестве еще одного допущения часто рассматривают плоскую задачу, принимая, что уширение равно нулю. В рассматриваемом случае нет необходимости прибегать к названному допущению, поскольку поперечное перемещение металла ограничено неприводными валками.

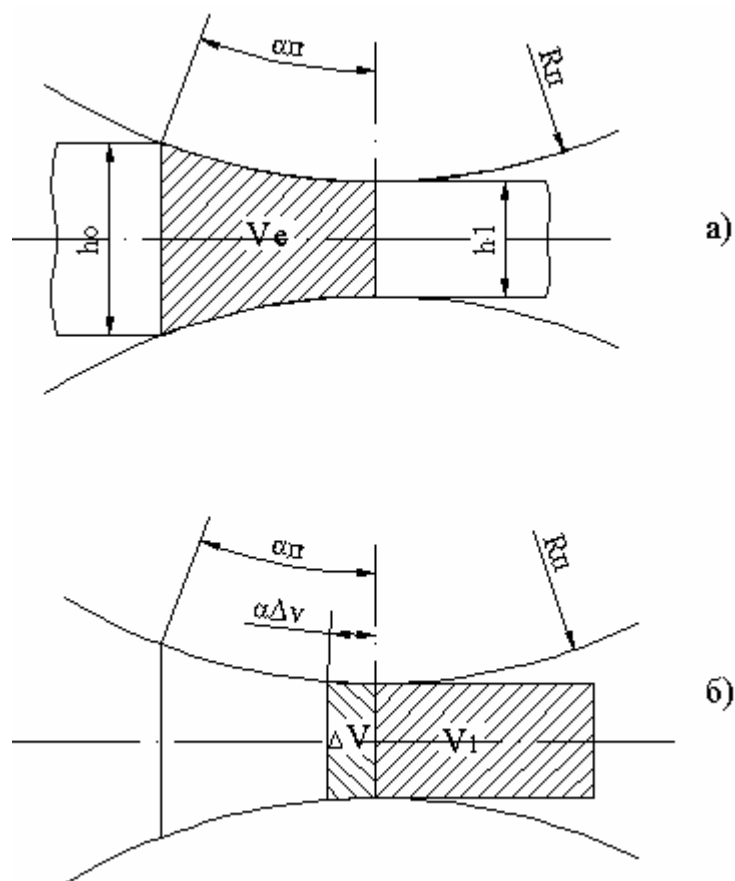


Рисунок 4 – V_e – единичный объем, ΔV – остаточный объем, V_1 – объем, вышедший из очага деформации за период поворота приводного валка на угол α_{II}

При выявлении собственно смещенного объема необходимо исходить из той постановки, которая изначально была в основе метода. Смещенный объем должен иметь своего рода «энергетическое наполнение», то есть, напрямую соответствовать величине затраченной работы. В четырехвалковом калибре названный объем складывается из объемов, смещенных приводными ($V_{СП}$) и неприводными ($V_{СН}$) валками, то есть:

$$V_C = V_{СП} + V_{СН}. \quad (1)$$

При определении $V_{СН}$ следует исходить из того, достаточно очевидного, факта, что работа, затрачиваемая на образование названного объема осуществляется за счет приводных валков (соответственно увеличенного момента прокатки). Поэтому есть все основания считать, что весь объем металла, смещенный неприводными валками в продольном направлении за период поворота приводных валков на угол $\alpha_{П}$, является составной частью суммарной единичной работы A_E . Объем, смещенный неприводными валками, будет иметь вид:

$$V_{СН} = \Delta F \theta_{\alpha_{П}} R_H, \quad (2)$$

где $\theta_{\alpha_{П}}$ – угол, на который повернется неприводной валок при повороте приводного на угол $\alpha_{П}$.

Кинематическая взаимосвязь между парами валков определена условием, что за период поворота приводного валка на угол $\alpha_{П}$ и, соответственно, прохождения им расстояния $l_{1e} = R_{П} \alpha_{П}$, неприводной пройдет такое же расстояние, то есть:

$$R_{П} \alpha_{П} = R_H \theta_{\alpha_{П}}, \quad (3)$$

откуда

$$\theta_{\alpha_{П}} = \frac{R_{П}}{R_H} \alpha_{П}. \quad (4)$$

Для выявления смещенного объема со стороны приводных валков $V_{СП}$ рассмотрим очаг деформации в продольно-вертикальном сечении, проходящем через ось симметрии. Объем $V_{СП}$ формируется в пределах объема V_0 (рисунок 5), который численно равен V_1 и расположен в пределах пространства V_E . Объем V_0 , в свою очередь, включает характерные части (рисунок 6): две, примыкающие к валкам V_C^* , и среднюю V_0^* . Объемы V_C^* при повороте валка на угол $\alpha_{П}$ перемещаются в направлениях, показанных на рисунке 7, за счет этого находящийся в центральной части очага деформации объем V_0^* , получает приращение

по длине до размера l_{1e}^* , который численно равен $l_{1e} = R_{II} \alpha_{II}$. Объемы V_C^* в сумме представляют собой смещенный объем $V_{СП}$.

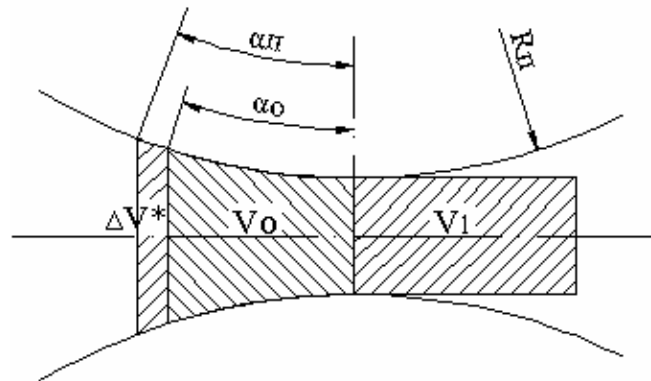


Рисунок 5 – ΔV^* – объем, равный по величине остаточному объему ΔV ;
 V_1 – объем, вышедший из очага деформации за период поворота
 приводного валка на угол α_{II} ;
 V_0 – объем, которому предстоит выйти из очага деформации за период
 поворота приводного валка на угол α_{II}

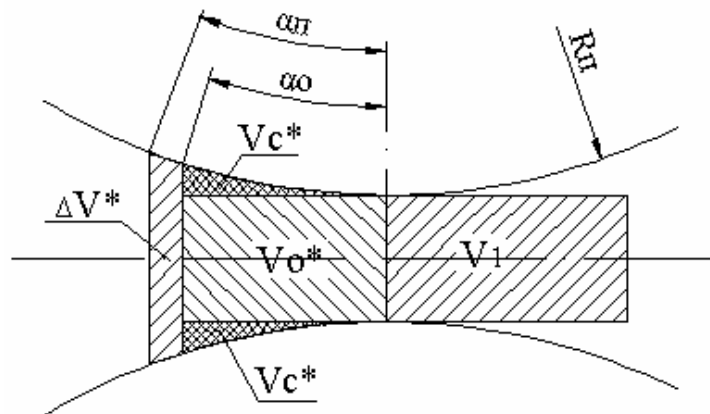


Рисунок 6 – V_C^* и V_0^* – составляющие объема V_0 : $V_C^* + V_0^* = V_0$

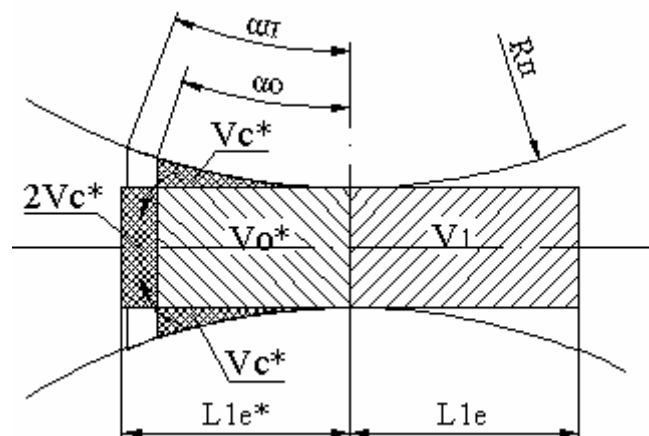


Рисунок 7 – V_C^* – составляющие смещенного объема $V_{СП}$;

$$2V^* = V_{СП}; L_{1e}^* = L_{1e}.$$

Изложенный подход может быть применен для более широкого класса задач, связанных с прокаткой в четырехвалковом калибре других простых профилей (круг, шестигранник и др.), а также фасонных – двутавровой балки, швеллера, рельсов и других фланцевых профилей.

Выводы

Получило дальнейшее развитие представление об особенностях объемных перемещений металла при прокатке в четырехвалковых калибрах. В результате анализа объемного течения металла выявлены характерные объемы очага деформации, установлена функциональная взаимосвязь между ними, установлен механизм образования смещенного объема при прокатке в четырехвалковом калибре. Установленные закономерности позволяют расширить представление о физической стороне процесса прокатки, взаимосвязях характерных объемов очага деформации. На основе уточнения механизма объемных перемещений металла и установления взаимосвязей объемных параметров становится возможным внести уточнения в недостаточно раскрытые вопросы теории прокатки.

Библиографический список

1. Полухин П.И. Контактное взаимодействие металла и инструмента при прокатке / [Полухин П.И., Николаев В.А., Полухин В.П. и др.] – М.: Металлургия, 1974. – 290 с.
2. Поляков М.Г. Деформация металла в многовалковых калибрах / Поляков М.Г., Никифоров Б.А., Гун Г.Я. – М.: Металлургия, 1979. – 242 с.

3. Нехаев Н.Е. Экспериментальные исследования формоизменения при прокатке полосовых профилей в четырехвалковых калибрах / Н.Е. Нехаев, М.К. Измайлова, О.А. Важнова // Сб. научн. тр. «Обработка материалов давлением». – Краматорск. – 2010. – № 2 (23). – С. 204-208.

4. Гринавцев В.Н. Математическая модель деформации фасонного профиля в четырехвалковом калибре / В.Н. Гринавцев // Сб. научн. тр. 5 Международной научно-техн. конф. "Теоретические проблемы прокатного производства". – Днепропетровск: Национальная металлургическая академия Украины. – 2000. – С. 82-84.

5. Огинский И.К. Экспериментальные исследования объемного течения металла при прокатке / И.К. Огинский // Вестник Национального технического университета ХПИ.- Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ ХПИ. – 2010. – № 42. – С. 9-13.

Рекомендована к печати д.т.н., проф. Новохатским А.М.