

УДК 621.771

Огинский И. К.

МОДЕЛЬ ОБЪЕМНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ПРИ ПРОКАТКЕ В ВАЛКАХ НЕРАВНОГО ДИАМЕТРА

Прокатка в валках неравного диаметра относится к несимметричным случаям, которые в практике встречаются чаще, нежели симметричные. Неравенство диаметров часто является средством управления технологическими параметрами с целью снижения энергосиловых параметров за счет создания в очаге деформации продольных растягивающих напряжений, создания направленного изгиба переднего конца полосы на выходе из валков, уменьшения расхода активного слоя валков при их переточках [1–3]. По этой причине особенности прокатки в валках неравного диаметра всегда были объектом многих исследований, в настоящее время интерес к этой теме сохраняется, поскольку продолжают оставаться нераскрытыми теоретические положения, связанные с кинематикой, распределением обжатий между валками и энергосиловыми параметрами [4–7]. Прокатка в валках неравного диаметра представляет интерес еще и по той причине, что указанный процесс является базовым для широкого класса задач сортопрокатного производства, где основой калибровок часто является использование несимметричных фасонных калибров.

Целью настоящей работы является анализ существующих подходов к определению деформационных и кинематических параметров прокатки в валках неравного диаметра, их уточнение, построение модели, позволяющей определить соотношение скоростей валков и деформируемого металла в пределах границ очага деформации.

В основе предлагаемых подходов лежит принцип определения скоростей валков и граничных участков элементарных конечных объемов при их перемещении в границах очага деформации. В результате становится возможным внести уточнения в методы определения параметров прокатки в валках неравного диаметра и в конечном итоге достичь необходимой точности решения прикладных задач. Используя полученные результаты в качестве базовых, становится также возможным на их основе внести уточнения в методы расчета технологических параметров при прокатке в несимметричных фасонных калибрах. Результаты кинематической картины в границах очага деформации могут быть основой для установления характера распределения моментов между валками неравного диаметра.

Основные положения процесса прокатки в валках неравного диаметра были созданы в работах раннего периода создания теории, достаточно многие из них на основе экспериментальных исследований [8, 9]; в последующие периоды времени вносились дополнения и уточнения, но основные теоретические положения и подходы не изменились. Важным звеном в определении технологических параметров продолжает оставаться установление обжатий между валками, при решении названной задачи обычно принимают равенство проекций дуг контакта со стороны обоих валков. Названное равенство принимается на основе допущения, что на валки действуют вертикальные взаимно уравновешенные силы. Указанное равенство при простой прокатке относится к вертикальным составляющим равнодействующих нормальных и касательных сил, для случая прокатки в валках неравного диаметра оно неприменимо, по меньшей мере, в существующем виде без дополнительных условий. Тем не менее, в теории прокатки закрепился подход, основанный на указанном допущении, и распределение обжатий между валками принимается на основании следующего выражения:

$$\frac{\Delta h_1}{\Delta h_2} = \frac{R_2}{R_1}. \quad (1)$$

Предпринимаются попытки внести уточнения в метод, вводя в правую часть сомножитель в виде отношения давлений на каждом из валков, но названная величина не вносит уточнений в кинематическую картину и не вносит изменений в подход, который продолжает оставаться прежним. Выражение (1) получено из предположения, что раскат при деформации

сохраняет прямолинейное положение. В действительности раскат изгибается (большей частью на валок меньшего диаметра) и для его удержания на практике используется привалковая арматура. В теории при выводе формулы распределения обжатия между валками это обстоятельство во внимание не принимается. Исследователями предпринимаются попытки внести уточнения в метод определения распределения обжатий между валками неравного диаметра [9], но основа подхода продолжала оставаться прежней.

Для определения вертикального положения раската в валках неравного диаметра воспользуемся подходом, изложенным в работе [10]. В основу метода положен принцип минимума работы, которая в рассматриваемом случае выражается в, своего рода, объемном эквиваленте – величине смещенного объема. Если прогнозировать расположение раската в валках с позиций энергозатрат, то он должен занимать положение, которое соответствует минимально необходимой работе. Положение раската в валках подчиняется законам механики, в которых отображается равновесие системы валки – металл в вертикальном направлении и выполняется энергетический принцип минимума работы. Поскольку смещенный объем является количественной мерой затраченной работы, то металл, смещенный (осаженный) со стороны обеих валков в вертикальном направлении (при определенном конечном перемещении), должен занимать минимальный суммарный объем. Сказанное поясняется рис. 1, на котором названные объемы обозначены двойной штриховкой.

Аналитический подход к решению задачи распределения обжатий выявляет необходимость определения неизвестных величин, количество которых превышает число уравнений. Введение допущений с целью сокращения числа неизвестных снижает точность решения. Стоящая задача может быть решена численными методами с применением стандартных программ, необходимая точность решения обеспечивается числом итераций в поиске минимума суммарного объема; на рис. 2 показаны фрагменты промежуточных расчетов численным методом.

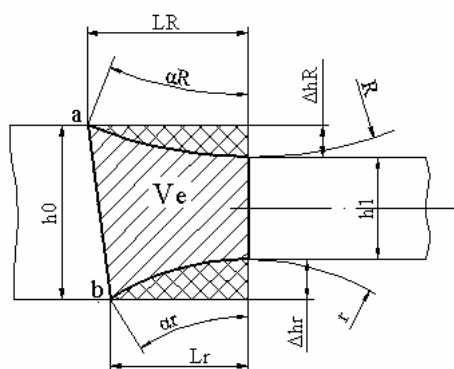


Рис. 1. Очаг деформации при прокатке

в валках неравного диаметра:

V_e – единичный объем

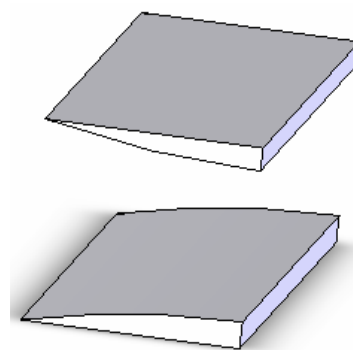
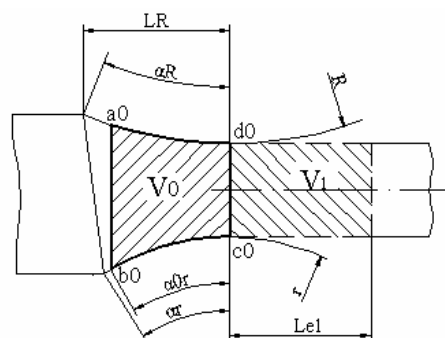


Рис. 2. Фрагменты результатов расчета

Наряду с общепринятыми параметрами, вводятся дополнительные, один из них, – единичный объем V_e , показан на рис. 1, другие – на рис. 3. Объем V_e расположен в границах очага деформации: выходная границе находится в плоскости осей валков, входная проходит через линию ab (рис. 1). Среди дополнительных параметров основные (содержащие величину объема) и вспомогательные: линейные, угловые и безразмерные. Каждая из названных величин имеет свое происхождение, они возникают в ходе преобразования исходного (базового) объема V_e . Названный объем при повороте валка на угол α_R деформируется и идет в вытяжку, при этом, как было установлено в результате анализа и подтверждено экспериментально [11], часть металла выходит за плоскость осей валков (V_1), часть (остаточный объем ΔV) может оставаться в границах объема V_e .

Рис. 3. Трансформация объема V_0 в объем V_1

В качестве независимой переменной принимается центральный угол j_R , относящийся к валку большего диаметра. Принято так потому, что названный валок, передавая больший момент, становится ведущим. Объем металла, вышедший из валков за время поворота валка на угол a_R , составляет:

$$V_1 = R a_R h_1 b_1 (1 + S_R). \quad (2)$$

Входящая в выражение (2) величина опережения является трудно определяемым фактором даже при простом случае прокатки [12], для рассматриваемого случая понятие опережение приобретает качественно другой смысл. Тема опережения выходит за рамки настоящей работы, поскольку заслуживает отдельного рассмотрения. По имеющимся сведениям [8] опережение на валке большего диаметра составляет минимальное значение, а в некоторых случаях становится отрицательным, это дает основание принять допущение об отсутствии опережения; принимается также допущение об отсутствии уширения. Два названных допущения ($S_R = 0$; $\Delta b = 0$) можно считать необходимостью, поскольку включение опережения и уширения в рассматриваемую задачу сопряжено с дополнительной неопределенностью в части их взаимосвязи и характера образования. О том, что взаимосвязь между опережением и уширением в теории прокатки с достаточной точностью не установлены, говорится, например, в работе [12]. Принимая допущение, что опережение отсутствует, вводим погрешность, соизмеримую с величиной опережения; отсутствие уширения, вообще говоря, является не допущением, а частным и одновременно распространенным на практике, случаем. С учетом принятых допущений выражение (2) примет вид:

$$V_1 = R a_R h_1 b_0. \quad (3)$$

Объем V_1 размещаем в пределах единичного (исходного) объема V_e и присваиваем ему обозначение V_0 . Последний, выходя за пределы границ очага деформации, трансформируется в равновеликий объем V_1 (рис. 3). Объем V_0 делится на произвольное число n элементарных конечных объемов ΔV_n . Каждому объему ΔV_n соответствует поворот валка на угол Δa_R :

$$\Delta a_R = \frac{\Delta V_n}{R F_1}, \quad (4)$$

где F_1 – площадь поперечного сечения раската после прокатки.

При повороте валка на угол Δa_R раскат проходит путь, равный:

$$\Delta L = R \Delta a_R. \quad (5)$$

Скорость перемещения переднего конца раската (скорость прокатки) составит:

$$\vec{V}_1 = \frac{\Delta L}{\Delta t}, \quad (6)$$

где Δt – время прохождения передним концом раската расстояния ΔL .

На смену объему ΔV_n , вышедшему из очага деформации (рис. 4), приходит равный ему по величине объем, примыкающий передней своей границей непосредственно к плоскости осей валков, названный объем находится в границах сечений 0–0 и 1–1 (рис. 5) и обозначен параметрами j_{R1} и $\Delta L1$. В процессе деформации объем ΔV_{n1} , трансформируясь в объем ΔV_n , сохраняет скорость своей передней границы 0–0 на уровне \vec{V}_1 , одновременно до такого же уровня увеличивается скорость задней границы 1–1. В положении, показанном на рис. 5 (в положении до начала ускорения на участке $\Delta L1$), задняя граница объема ΔV_{n1} имеет скорость:

$$\vec{V}_{n1} = \frac{\Delta L_n 1}{\Delta t}. \tag{7}$$

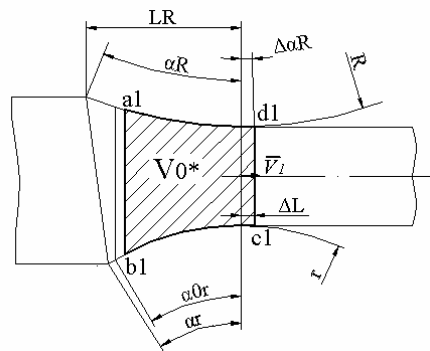


Рис. 4. Исходное состояние в определении перемещений элементарных объемов; начало первого этапа трансформации объема V_0 в равновеликий объем V_0^*

Аналогично определяются скорости граничных сечений объема ΔV_{n2} , находящегося в границах 2–2 и 1–1 (рис. 6). Его передняя граница 1–1 является общей с объемом ΔV_{n1} и имеет такую же скорость V_{n1} , скорость границы 2–2 определяется следующим образом:

$$V_{n1} = \frac{L_{n2} - l_{n1}}{\Delta t}. \tag{8}$$

Последующие значения скоростей смежных объемов V_{n3} , V_{n4} и т. д. определяются в той же последовательности. Конечным значением является скорость металла в сечении, соответствующем входной границе объема V_0 . Отношение названной скорости к \vec{V}_1 соответствует коэффициенту вытяжки в промежутке от названной границы до плоскости выхода металла из валков.

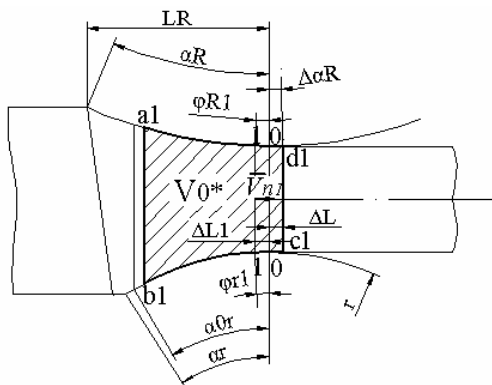


Рис. 5. Первый этап перемещений элементарных объемов

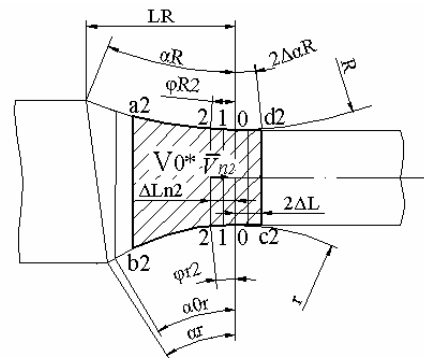


Рис. 6. Второй этап перемещений элементарных объемов

ВЫВОДЫ

Выполнен анализ деформационно-кинематической картины в очаге деформации при прокатке в валках неравного диаметра. Предложена модель, позволяющая определить соотношение скоростей валков и деформируемого металла в пределах границ очага деформации.

В основе предложенного подхода лежит принцип определения скоростей валков и граничных участков элементарных конечных объемов при их взаимных перемещениях в границах очага деформации. В результате становится возможным внести уточнения в методы определения параметров прокатки в валках неравного диаметра и в конечном итоге достичь необходимой точности решения прикладных задач.

Используя полученные результаты в качестве базовых, становится возможным на их основе внести уточнения в методы расчета технологических параметров при прокатке в несимметричных фасонных калибрах. Результаты выявленных кинематических взаимосвязей в границах очага деформации могут быть основой для установления характера распределения моментов между валками неравного диаметра.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горячая прокатка толстых полос в рабочих валках разного диаметра / В. А. Николаев, Б. П. Романко, А. Г. Васильев [и др.] // *Сталь*. – 1992. – № 11. – С. 45–47.
2. Чекмарев А. П. Динамика прокатки на валках неравного диаметра / А. П. Чекмарев, А. А. Нефедов // *Научные труды Института черной металлургии*. – Днепропетровск : Институт черной металлургии, 1957. – С. 196–205.
3. Теряев В. А. Некоторые особенности прокатки в приводных валках неравного диаметра / В. А. Теряев // *Прокатное производство : сб. науч. тр. Института черной металлургии*. – М. : Металлургия, 1969. – Вып. 11. – С. 108–114.
4. Николаев В. А. Особенности несимметричной прокатки полос / В. А. Николаев // *Известия высших учебных заведений. Черная металлургия*. – 2002. – № 3. – С. 29–32.
5. Скороходов В. Н. Нейтральные углы при прокатке в валках неравных диаметров, вращающихся с одинаковой угловой скоростью / В. Н. Скороходов, Ю. А. Мухин, С. М. Бельский // *Производство проката*. – 2006. – № 5. – С. 2–5.
6. Николаев В. А. Силовые параметры в несимметричных условиях прокатки / В. А. Николаев // *Известия высших учебных заведений. Черная металлургия*. – 2007. – № 3. – С. 20–23.
7. Выдрин А. В. Усилие при существенно несимметричной прокатке листов / А. В. Выдрин, Е. Е. Чванова // *Вестник Южно-Уральского ГТУ*. – Челябинск : ГТУ, 2008. – № 24. – С. 51–54.
8. Нефедов А. А. Исследование прокатки в валках неодинакового диаметра: Автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук / А. А. Нефедов. – Днепропетровск : Институт черной металлургии, 1953. – 14 с.
9. Чекмарев А. П. Прокатка на валках неравного диаметра (непростые случаи прокатки) / А. П. Чекмарев, А. А. Нефедов // *Обработка металлов давлением : сборник научных трудов / Днепропетровский металлургический институт*. – М. : Металлургия, 1956. – № 4. – С. 3–15.
9. Николаев В. А. Распределение давлений и обжатий между валками при несимметричной прокатке / В. А. Николаев // *Известия высших учебных заведений. Черная металлургия*. – 1995. – № 9. – С. 28–30.
10. Огинский И. К. Прокатка и осадка в валках неравного диаметра / И. К. Огинский // *Наукові вісті. Сучасні проблеми металургії*. – Дніпропетровськ : НМетАУ, 2009. – Т. 12. – С. 85–91.
11. 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 ХПУ, 2010. – № 42. – С. 9–13.
12. Долженков Ф. Е. Уширение, опережение и вытяжка при продольной прокатке (О некоторых противоречиях современной теории прокатки) // *Известия высших учебных заведений. Черная металлургия*. – 2003. – № 5. – С. 41–44.

Огинский И. К. – канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник НМетАУ.

НМетАУ – Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск.

E-mail: oginskyu@gmail.com