

ОБЪЕМНЫЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ МЕТАЛЛА ПРИ ПРОКАТКЕ В ЧЕТЫРЕХВАЛКОВОМ КАЛИБРЕ

Анотація. Виконано аналіз деформаційних особливостей осередку деформації при прокатці в чотирьохвалковому калібрі, у результаті аналізу трансформації базового обсягу металу (одиночного обсягу) виявлені характерні обсяги осередку деформації, установлений функціональний взаємозв'язок між ними. Введені додаткові параметри й характеристики осередку деформації – основні, які включають нові характерні обсяги, і допоміжні: лінійні, кутові й безрозмірні параметри. На основі встановлених взаємозв'язків деформаційних параметрів стає можливим внести уточнення в недостатньо розкриті питання теорії прокатки, використання виявлених закономірностей дозволяє створити більш точні методи розрахунків кінематичних і енергосилових параметрів прокатки для розв'язання прикладних завдань.

Ключові слова: прокатка, валок приводний, валок не приводний, осередок деформації, одиночний об'єм, залишковий об'єм.

Объемные преобразования при прокатке скрыты и малодоступны для прямого изучения, по этой причине многие выводы относительно объемных перемещений выполняются на основе закономерностей контактного взаимодействия [1-4 и др.]. Сведения об объемных преобразованиях в очаге деформации при прокатке, полученные на основе контактного взаимодействия металла с валком, являются неполными и по причине недостаточности информации выводы не всегда адекватно отражают явления, происходящее в объеме очага деформации. Следствием сказанного являются нерешенные задачи [5], спорные положения и противоречия в современной теории прокатки [6-8]. Исследователями предпринимаются попытки решить проблемные вопросы теории, но часто это происходит опять-таки на основе закономерностей контактного взаимодействия [6-8]. Еще более скрытым является характер объемных преобразований в очаге деформации при прокатке в четырехвалковом калибре, образованном двумя парами приводных и не приводных валков. Включение не приводных валков вносит свои изменения в характер взаимодействия металла с

валками, образующими калибр, исследователи стремятся углубить представления о течении металла, используя, в частности, экспериментальные методы [9], но в целом объемные признаки четырехвалкового очага деформации продолжают оставаться малоизученными.

Целью настоящей работы является анализ деформационных особенностей очага деформации при прокатке в четырехвалковом калибре, выявление закономерностей объемного течения металла, разработка объемных характеристик и параметров, установление характерных объемов и взаимосвязей между ними. В основе предлагаемых подходов лежат физические признаки объемного течения металла при прокатке и уточненные представления о характере взаимодействия металла с валком. На основе установления взаимосвязи деформационных и объемных кинематических параметров прокатки становится возможным внести уточнения в недостаточно раскрытые вопросы теории прокатки и в конечном итоге достичь необходимой точности решения прикладных задач.

Для анализа деформационных особенностей четырехвалкового очага деформации рассмотрим прокатку прямоугольной полосы. Одной из деформационных особенностей такого процесса является характер формоизменения раската в местах сопряжения его граней. Названная особенность учитывается в разработках калибровок в форме правила вписанных фигур [10]. В соответствии с указанным правилом угловые участки исходного профиля должны иметь определенную форму, например, притупление в виде, показанном на рис.1, с тем, чтобы избежать переполнения калибра. Рассмотрим один из простых случаев – прокатку прямоугольной полосы с отношением сторон прямоугольника, близким к единице. При названном отношении сторон диагональное уширение металла практически отсутствует. Используем общепринятые обозначения геометрических и деформационных параметров, дополнив их индексами «п» и «н», относящимися к приводным и не приводным валкам, соответственно. Для контроля соблюдения правила вписанных фигур вводятся обозначения ширины контактной поверхности металла с валком – размеры h и b с индексами «к»; обжатие со стороны не приводных валков обозначено Δb^* . Вводятся дополнительные параметры, их суть поясняется рисунками 2-4.

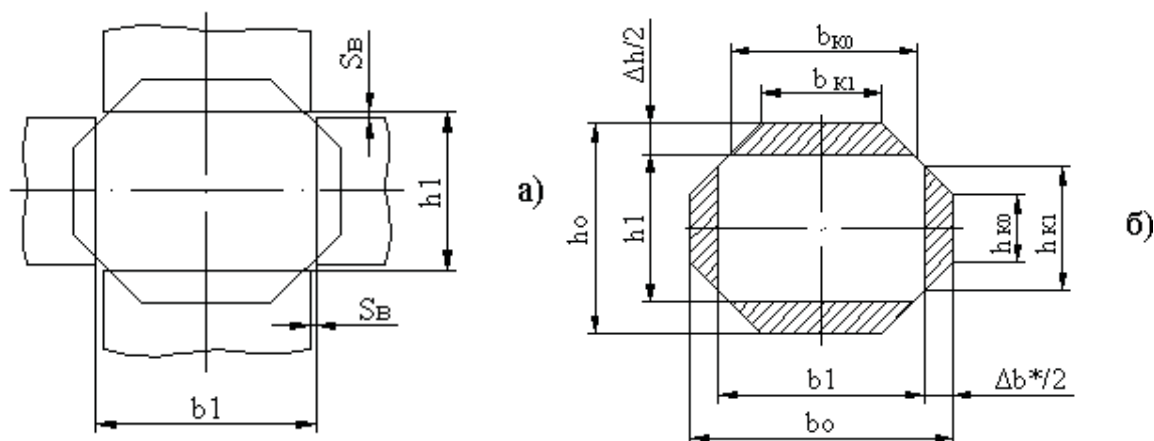


Рисунок 1 - Схема прокатки в четырехвалковом калибре:
 а) калибр и задаваемый раскат; б) размеры раската до прокатки и после; заштрихованная область – смещенная площадь при прокатке

На рис. 2 представлен общий вид четырехвалкового очага деформации с примыкающими внешними зонами, на рис. 3 – единичный объем V_e . Названный объем является исходным при рассмотрении стоящей задачи, он заключен между рабочими поверхностями обеих пар валков и границами входа металла в валки и выхода из них (рис. 3). Единичный объем состоит из двух характерных объемных частей – за время поворота приводного валка на угол α_{II} часть металла выходит за пределы плоскости валков (объем V_1 на рис. 4), а вторая остается в очаге деформации, в его выходной области (объем ΔV на рис. 4). Указанные признаки объемного перемещения металла были установлены при прокатке в двух гладких валках на основе анализа и подтверждены экспериментально [11], на рис. 5 показаны образцы-недокаты, которые использовались в исследованиях. Названное обстоятельство (неполный выход объема V_e за пределы очага деформации) ранее не привлекало внимание исследователей, вместе с тем, указанный факт является весьма существенным и одним из элементов в воссоздании картины объемного течения металла.

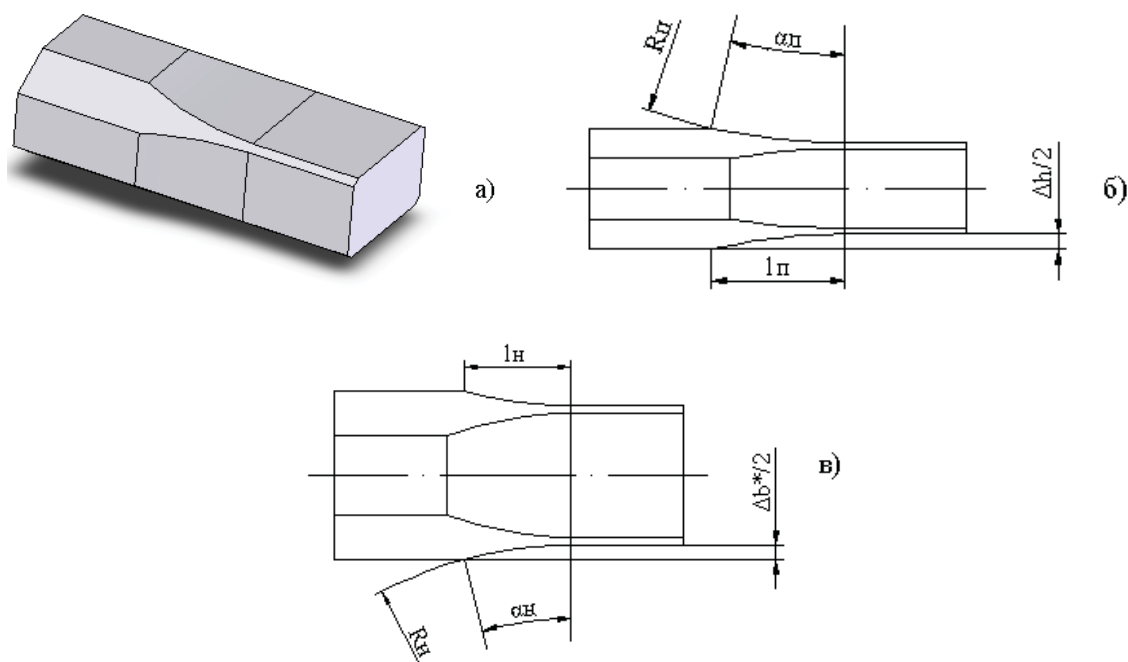


Рисунок 2 - Четырехвалковый очаг деформации с примыкающими внешними зонами: а) общий вид; б) вид со стороны неприводного валка; в) вид со стороны приводного валка

Указанная особенность при перемещении объемов металла имеет место и при прокатке в четырехвалковом калибре. Входной границей четырехвалкового очага деформации является плоскость, соответствующая углу контакта α_{II} , выходной – плоскость осей валков. Указанные границы предполагают использование гипотезы плоских сечений, названная гипотеза нашла широкое применение в теории прокатки, несмотря на то, что она выполняется с достаточной точностью лишь в ограниченных случаях. Исследователи предпринимают попытки исключить гипотезу плоских сечений из рассмотрения задач теории прокатки [12, 13], однако эффективных альтернативных решений пока не создано. В рассматриваемой задаче применение гипотезы плоских сечений целесообразно для установления границ характерных объемов очага деформации, в другой форме это было бы трудноосуществимо. Использование гипотезы плоских сечений в нашем случае полезно в качестве инструмента наглядности, она позволяет наглядно показать перемещение металла в очаге деформации и за его пределами. Другим допущением является исключение из рассматриваемой задачи опережения металла на контакте с приводным валком ($S_{II} = 0$). Принимая допущение, что опережение отсутствует, вводим погрешность, соизмеримую с величиной опережения, назван-

ная погрешность составляет всего несколько процентов и является достаточно прогнозируемой по своей величине. 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.

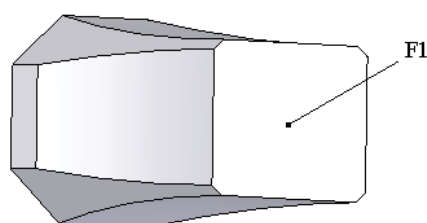


Рисунок 3 - Единичный объем V_e в четырехвалковом очаге деформации

На рис. 2-4 приведены основные и дополнительные объемные параметры четырехвалкового очага деформации. Основными параметрами являются те, которые содержат величину объема, к дополнительным относятся линейные, угловые и безразмерные. Каждая из названных величин имеет свое происхождение, они возникают в ходе преобразования исходного (базового) объема. V_e . На рис.2 и 4 показаны:

V_1 – объем металла, вышедшего из очага деформации за период поворота валка радиусом R_{II} на угол α_{II} ,

ΔV – остаточный объем – оставшийся в очаге деформации после поворота валка на угол α_{II} .

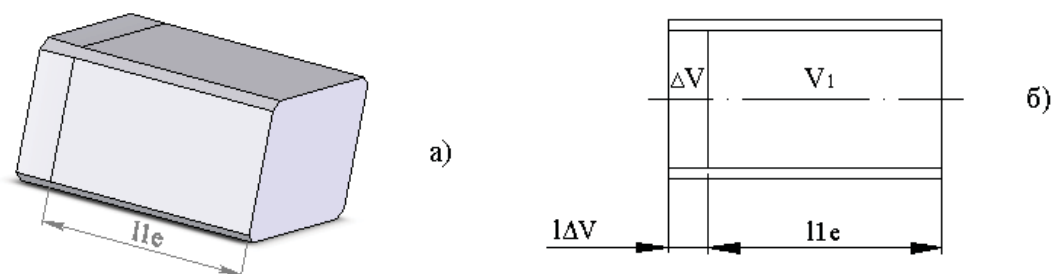


Рисунок 4 - Объем металла, вышедшего из очага деформации (V_1) и остаточный объем (ΔV); а) общий вид объемов V_1 и ΔV , б) вид со стороны неприводного валка

Другими (дополнительными и вспомогательными) параметрами являются:

l_{1e} - длина раската, вышедшего из очага деформации за период поворота валка на угол α_{II} . На основе вышеназванного допущения об отсутствии опережения ($S\Pi = 0$) указанная длина составит:

$$l_{1e} = R_{II} \alpha_{II} \quad (1)$$



Рисунок 5 - Образцы в экспериментальных исследованиях перемещений объемов в очаге деформации: а) исходный образец, б) образец после прокатки

Объем металла, вышедшего из очага деформации, составит:

$$V_1 = R_{II} \alpha_{II} F_1 \quad (2)$$

$\alpha_{\Delta V}$ - центральный угол, соответствующий положению входной границы объема ΔV ;

$l_{\Delta V}$ - протяженность участка очага деформации, соответствующего углу $\alpha_{\Delta V}$;

$F_{\Delta V}$ - площадь поперечного сечения раската в плоскости, соответствующей выходной границы остаточного объема ΔV ;

$$\lambda_{\Delta V} = F_{\Delta V} / F_1 - \text{коэффициент вытяжки на участке } l_{\Delta V}.$$

За время поворота валка на угол α_{II} металл, вышедший за плоскость валков, занимает объем равный V_1 , в пределах очага деформации остается объем, равный ΔV , названные объемы показаны на рис. 4.

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

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

где $\theta_{\alpha\Pi}$ - угол, на который повернется неприводной валок при повороте приводного на угол α_{Π} .

Из выражения (3) следует:

$$\theta_{\alpha\Pi} = \frac{R_{\Pi}}{R_H} \alpha_{\Pi} \quad (4)$$

На практике отношение радиусов неприводных и приводных валков чаще всего составляет:

$$R_H / R_{\Pi} = 0,6...0,9 \quad (5)$$

В условиях соотношения (5) и близких значениях углов контакта на приводном и неприводном валках объемы, перемещенные обеими парами валков в продольном направлении, будут соизмеримы. В то же время на практике достаточно распространены случаи, когда имеет место обратная картина – упомянутые объемы значительно отличаются. Это может быть вызвано значительно меньшей величиной отношений R_H / R_{Π} , α_H / α_{Π} и $\Delta b^* / \Delta h$ по сравнению с теми, о которых говорилось выше, причем достаточным является участие одного из названных отношений. Это может происходить, например, при прокатке полосовых профилей. В этом случае полезной становится дополнительная информация [9] о возможных диагональных перемещениях металла и характере заполнения угловых участков калибра.

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 объемного течения металла при прокатке в четырехвалковом калибре. В результате анализа трансформации базового объема металла (единичного объема) выявлены другие характерные объемы очага деформации, установлена функциональная взаимосвязь между ними. Введены дополнительные параметры и характеристики очага деформации: основные, включающие выявленные новые характерные объемы, и вспомогательные. Вторые являются следствием основных, к ним относятся линейные, угловые и безразмерные параметры. Выявленные особенности позволяют расширить представление о физической стороне процесса прокатки, взаимосвязях характерных объемов

очага деформации. На основе установленных взаимосвязей деформационных параметров становится возможным внести уточнения в недостаточно раскрытые вопросы теории прокатки. Использование выявленных закономерностей позволяет создать более точные методы расчетов кинематических и энергосиловых параметров прокатки для решения прикладных задач.

ЛИТЕРАТУРА

1. Контактное трение в процессах обработки металлов давлением/А.Н. Леванов, В.Л. Колмогоров, С.П. Буркин и др.–М.:Металлургия,1976.–416 с.
2. Грудев А.П. Внешнее трение при прокатке.–М.:Металлургия,1973.–288 с.
3. Контактное взаимодействие металла и инструмента при прокатке/ Полухин П.И., Николаев В.А., Полухин В.П., и др. – М.: Металлургия, 1974. – 199 с.
4. Тарновский И.Я., Леванов А.Н., Посеваткин М.И. Контактные напряжения при пластической деформации. – М.: Машиностроение, 1966. – 279 с.
5. Мазур В.Л. Нерешенные задачи теории и технологии прокатки. Сучасні проблеми металургії. Наукові вісті. Том 5. Пластична деформація металів. – Дніпропетровськ: «Системні технології», 2002. – С. 33-36.
6. Долженков Ф.Е. О некоторых противоречиях современной теории прокатки// Сучасні проблеми металургії. Наукові вісті. Том 5. Пластична деформація металів. – Дніпропетровськ: «Системні технології», 2002. – С. 121-124.
7. Зильберг Ю.В. О некоторых противоречиях и допущениях теории прокатки. Известия вузов, Черная металлургия, 2004. –№ 11. – С. 24-26.
8. Долженков Ф.Е. Уширение, опережение и вытяжка при продольной прокатке (О некоторых противоречиях современной теории прокатки). Известия вузов, Черная металлургия. – 2003. – № 5. – С. 41-44.
9. Нехаев Н.Е., Измайлова М.К., Важнова О.А. Экспериментальные исследования формоизменения при прокатке полосовых профилей в четырехвалковых калибрах// Сб. научн. тр. конф. «Обработка материалов давлением» Краматорск. Том 2. 2010, С. 204-208.
10. Поляков М.Г., Никифоров Б.А., Гун Г.Я. Деформация металла в многовалковых калибрах. –М.: Металлургия, 1979. – 242 с.
11. Огинский И. К. Экспериментальные исследования объемного течения металла при прокатке// Вестник Национального технического университета ХПИ.-Новые решения в современных технологиях.-Харьков: НТУ ХПУ-2010.- № 42.-С. 9-13.
12. Зильберг Ю.В. Элементы теории прокатки без теории плоских сечений// Сучасні проблеми металургії. Наукові вісті. Том 5. Пластична деформація металів. – Дніпропетровськ: «Системні технології». – 2002. – С. 102-111.
13. Илюкович Б.М., Ершов С.В., Толстопят А.Л. Методика построения математических моделей напряженно-деформированного состояния при прокатке сложных профилей с исключением гипотезы плоских сечений. Известия вузов, Черная металлургия.- 2004. – № 11. – С. 26-29.