

УДК 621.771

Огинский И. К.

РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТА КАЛИБРОВКИ, ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ РАСКАТА В КАЛИБРЕ ПРИ ПРОКАТКЕ НЕСИММЕТРИЧНЫХ ПРОФИЛЕЙ

Проблема прогнозирования положения раската в калибре при несимметричной прокатке возникла у исследователей, начиная с периода освоения первых фасонных профилей, в настоящее время она не утратила своей остроты, напротив, с увеличением скорости прокатки приобрела новые формы, для которых характерным является рост динамических нагрузок в главных линиях станов. Основой прогнозируемого положения раската в калибре принято считать правильность определения нейтральной линии калибра. Методы ее определения разнообразны, достаточно давно сформированные приведены в работах [1, 2], в работах более позднего [3, 4 и др.], и настоящего периодов времени [5–7] принципиальные дополнения и изменения не приводятся. Разнообразие методов свидетельствуют об отсутствии единого подхода к определению положения раската в калибре. Все методы в той или иной степени построены на геометрических соотношениях и понятие «нейтральная линия калибра», прочно вошедшее в обиход калибровщиков, в недостаточной мере отражает явления, происходящие в очаге деформации.

Целью настоящей работы является анализ существующих методов определения положения раската в несимметричном калибре, в частности, на основе установления нейтральной линии калибра и разработка новых подходов, отвечающих физическим принципам процесса прокатки. Ставится также цель на основе уточнения деформационной картины при прокатке во взаимосвязи с силовой разработать подходы, позволяющие внести уточнения в методы расчета калибровки и тем самым повысить точность решения прикладных задач. В основе предлагаемых подходов используется принцип минимума работы.

Наиболее распространенным является проведение нейтральной линии через центр тяжести площади калибра – воздействие валков на отдельные элементы профиля принимают пропорциональными их статическим моментам. При этом считают, что точкой приложения равнодействующих всех сил, действующих на профиль, является его центр тяжести. Условием применимости способа определения нейтральной линии калибра по центру тяжести является равномерное распределение обжатия по калибру [6].

Здесь возникает противоречие между методом и возможностью его реализации, поскольку при прокатке в калибре всегда имеет место обратная картина – обжатия вынуждены быть неравномерными по ширине. Определение нейтральной линии по центрам тяжести контуров также предполагает близкие требования в части соблюдения распределения обжатий по ширине калибра. Все методы определения нейтральной линии калибра построены на геометрической основе. Участие скоростных признаков в определении нейтральной линии калибра также в своей основе имеет геометрические соотношения. Задачу точного определения нейтральной линии исследователи связывают с необходимостью обеспечить прямолинейный выход раската из калибра без изгиба на верхний или нижний валок.

Вместе с тем никакой из принципов определения нейтральной линии калибра не в состоянии обеспечить прямолинейность выхода раската из фасонного калибра. Так, например, при производстве двутавровых балок в закрытых балочных калибрах в течение продолжительного времени практикой вырабатывались технологические приемы, направленные на оптимальное сочетание параметров прокатки, которые обеспечивают безаварийность, качество и другие производственные показатели. При этом продолжали существовать технологические признаки и приемы, которые не могут быть существенным образом изменены: различие скоростных характеристик со стороны верхнего и нижнего валков, различие обжатий по открытым и закрытым фланцам, распределение вытяжек между элементами профиля, характер изменения радиусов закругления в элементах профиля.

Названные признаки являются неотделимой особенностью технологии прокатки двутавровых балок, они не могут быть в зависимости от метода определения нейтральной линии калибра и задача оптимизации лежит не в обеспечении прямолинейности выхода раската, а в соблюдении вышеназванных показателей в части безаварийности и качества. Даже удачное определение положения нейтральной линии (с точки зрения обеспечения прямолинейности выхода раската) не может быть реализовано на практике, поскольку для этих целей необходимо, например, значительная разница в диаметрах рабочих валков, а это приводит к непрогнозируемому распределению момента прокатки между валками. Раскат на выходе из закрытого балочного калибра обречен быть изогнутым на закрытые фланцы и первоочередным условием безаварийности становится, например, оптимальная конструкция привалковой арматуры, нежели знание о положении нейтральной линии.

Приведенный пример относится к случаям прокатки профилей с вертикальной осью симметрии, еще более проблемными в части обеспечения прямолинейности выхода раската из клетки являются случаи прокатки несимметричных профилей, когда наряду с изгибом в продольно-вертикальной плоскости раскат становится предрасположенным к скручиванию и искривлению в горизонтальной плоскости.

Технологические меры предотвращения названных проявлений раската крайне ограничены, практически все действия сведены к работе привалковой арматуры. Управление серповидностью с помощью выводных линеек не всегда оказывается эффективным поскольку, как отмечают авторы [6]: «...изгиб полосы начинается вообще-то в очаге деформации и поэтому выводные линейки не обеспечивают полного устранения серповидного изгиба». Относительно скручивания авторы [6] утверждают следующее: «...скручивание очень существенно сказывается на устойчивости процесса прокатки и, несмотря на это процесс скручивания еще очень мало изучен». Подтверждением сказанному является ограниченный перечень расчетных методов управления скручиванием и изгибом. Все они основаны на геометрических взаимосвязях коэффициентов вытяжек по элементам калибра, площадей и линейных размеров и не учитывают каких-либо объемных признаков очага деформации. По этой причине при всей полезности созданных методов, действие их является недостаточно эффективным.

В отличие от названных методов, основанных на геометрических взаимосвязях, в основу предлагаемых подходов определения положения раската в калибре положены физические принципы объемного течения металла в очаге деформации. В теории прокатки известно ограниченное число объемных параметров процесса прокатки, к ним 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_0 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 названное условие не входит, и более правильным было бы говорить о постоянстве секундных площадей. Названные параметры в недостаточной степени характеризуют объемные процессы, происходящие в очаге деформации, и не позволяют, например, воссоздать картину силового взаимодействия металла с проводковой арматурой.

Следует отметить, что работы, посвященные достаточно глубокому изучению названного взаимодействия, стали встречаться лишь в последнее время [8], это подчеркивает нерешенность проблемы и необходимость поиска новых решений. Силовая сторона происходящих в очаге деформации процессов непосредственным образом связана с объемными перемещениями металла.

Первые теоретические выводы, касающиеся работы деформации на основе смещенного объема, принадлежат Финку. Предложенная Финком логарифмическая зависимость была

проста по своей структуре и одновременно неточной. Это вызвало необходимость поиска новых решений, известно много работ в этом направлении, все вновь создаваемые методы не отличались точностью, и продолжавшиеся поиски новых решений вылились в создание группы методов, в основе которых лежит контактное взаимодействие металла с валками.

Методы второй группы получили большее развитие и распространение, не смотря на то, что они ставятся в зависимость от большого числа факторов, которые, в свою очередь, являются трудно определяемыми и не всегда однозначными. К числу последних относятся: характер пластического трения при прокатке, кинематические и деформационные признаки течения металла при прокатке.

Трудности, связанные с определением названных параметров даже при простой прокатки, не позволяют рекомендовать методы второй группы для более сложных случаев – условий сортового производства. Вместе с тем методы на основе объемного течения металла обладают более широкими возможностями по сравнению с методами второй группы, в частности, для решения стоящей задачи. Необходимым условием для успешного использования названных методов является физически корректное определение признаков перемещения металла в очаге деформации, к которым относится и смещенный объем.

Сведения о физической сути смещенного объема при прокатке выходят за рамки настоящей работы, поэтому ограничимся рассмотрением объемных перемещений, которые по своему энергетическому смыслу отвечают стоящей задаче. В основе предлагаемого метода лежит принцип минимума работы, которая в нашем случае выражается в объемном эквиваленте – величине смещенного объема. Если прогнозировать положение раската с позиций энергозатрат, то он должен занимать положение, которое соответствует минимально необходимой работе. В свою очередь, если количественной мерой работы деформации считать объемные перемещения, то металл, осаженный обеими валками в вертикальном направлении, должен занимать минимальный суммарный объем. Сказанное поясняется схемой на рис. 1, где обозначено: V_{oc1} и V_{oc2} – объемы металла, осаженного валками (соответственно, верхним и нижним) в вертикальном направлении.

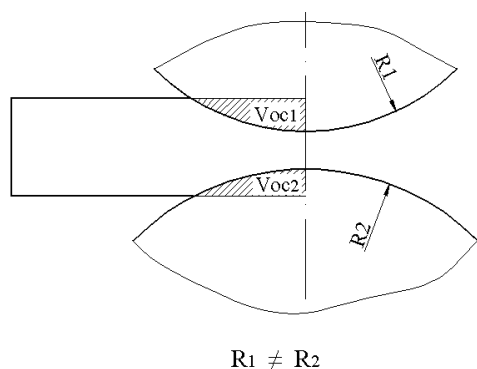


Рис. 1. К определению объема, смещенного (осаженного) валками в вертикальном направлении

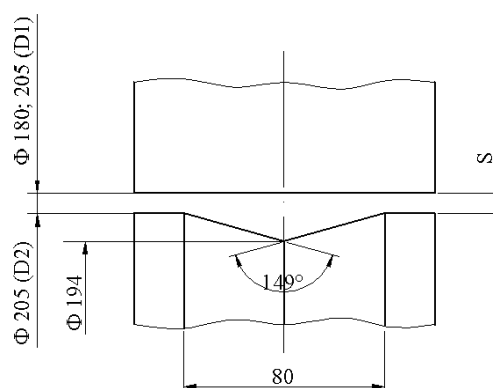


Рис. 2. Калибр в экспериментальных исследованиях

Суммарный объем металла V_{ocS} в соответствии с принципом минимума работы должен принять значение:

$$V_{ocS} = \min(V_{oc1} + V_{oc2}). \quad (1)$$

Приведенные подходы и выводы прошли экспериментальную проверку в лабораторных условиях. Исследования были выполнены на стане 200 кафедры обработки металлов давлением Национальной металлургической Академии Украины. Стан включает рабочую клетку дуо с валками диаметром 200 мм и линию привода валков, состоящую из редуктора, коробки передач, шестеренной клетки, универсальных шпинделей, соединительных муфт

и электродвигателя переменного тока мощностью 30 кВт. В экспериментальных исследованиях использовались свинцовые образцы сечением $21,2 \times 21,2$ мм, форма и размеры несимметричного калибра представлены на рис. 2.

В ходе исследований отбирались недокаты и определялись размеры, которые позволяют судить о расположении раската по отношению к калибру в вертикальном направлении. Положение раската фиксировалось относительно валка с гладкой бочкой (размер «а» на рис. 3). Образцы, заторможенные в валках, показаны на рис. 4, на рис. 5 приведены фрагменты промежуточных результатов расчета, выполненных для условий эксперимента. О сходимости расчетных и экспериментальных данных судили по степени совпадения размера «а».

Сравнение результатов расчета и экспериментальных данных свидетельствует о достаточно хорошей их сходимости, погрешность в определении размера «а» не превышала 10,5 %, результаты приведены в табл. 1. В опытах использовались валки с гладкой бочкой диаметрами 205 и 180 мм, предпочтение отдавалось первому типу, поскольку он способствует большей технологичности процесса – раскат не изгибается на валок меньшего диаметра. При использовании валка с диаметром 180 мм наблюдалось активное влияние валка большего диаметра (нижнего) на течение металла, раскат изгибался на верхний валок, размер «а» в этом случае теряет свою определенность, это видно из схемы на рис. 6.

Применение проводок обеспечило прямолинейность выхода раската и стало возможным использование метода для прокатки с принудительным противоизгибом полосы (проводкой), указанные случаи представлены в таблице опытами № 8 и 9. В табл. 1 представлены также другие параметры очага деформации: $F_{к1}$ и $F_{к2}$ – площади контактных поверхностей со стороны верхнего и нижнего валков, соответственно; F_{np1} и F_{np2} – проекции площадей контакта со стороны верхнего и нижнего валков, соответственно.

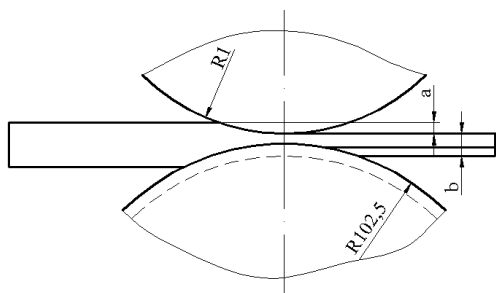


Рис. 3. К определению положения раската в калибре



Рис. 4. Образцы-недокаты

Предложенный подход при решении практических задач позволяет, варьируя формой калибра и/или раската, добиваться его положения, при котором происходит оптимальное сочетание параметров прокатки со стороны верхнего и нижнего валков, например, с точки зрения распределения обжатий и, соответственно, протяженности зон минимального, максимального обжатий и других характерных участков. На основе метода становится возможным получить инструмент оценки деформационной картины и управления названными параметрами.

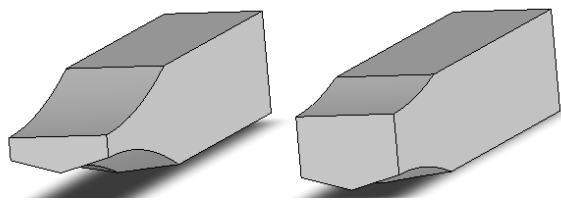


Рис. 5. К расчету параметров очага деформации

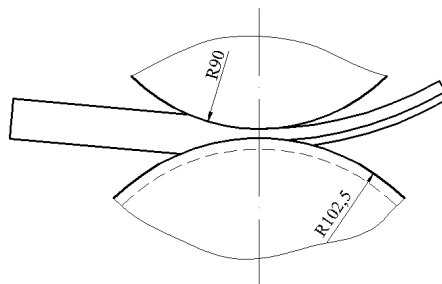


Рис. 6. Изгиб раската на валок меньшего диаметра

Таблица 1

Результаты расчета и фактические размеры образцов в экспериментальных исследованиях

№ опыта	Задано b , мм	Расч. $V_{oc\Sigma}$, мм ³	Расч. a_p , мм	Факт. $a_{ф}$, мм	Погрешность, Δa , %	V_{oc1} , мм ³	V_{oc2} , мм ³	F_{np1} , мм ³	F_{np2} , мм ³	$F_{к1}$, мм ³	$F_{к2}$, мм ³
1	9,7	6565	6,3	6,2	+1,6	3171	3394	750	753	765,8	799,3
2	9,7	6565	6,3	6,3	0	3171	3394	750	753	765,8	799,3
3	9,7	6565	6,3	6,7	-6,0	3171	3394	750	753	765,8	799,3
4	11,7	5119	5,3	5,9	-10,2	2450	2669	689,7	695,5	701,8	735,6
5	13,6	3861	4,4	4,1	+7,3	1856	2005	629,8	632	639	666
6	13,6	3861	4,4	4,2	+4,8	1856	2005	629,8	632	639	666
7	15,6	2681	3,4	3,8	-10,5	1262	1409	555	559,9	561,3	588,2
8*	9,7	6349	6,8	6,2	+9,7	3324	3025	727,5	725	746,5	768,1
9*	11,7	4952	5,7	5,8	+0,2	2556	2396	668,2	770,9	682,7	708,6

ВЫВОДЫ

Выполнен анализ силовой и деформационной картины в очаге деформации в части, позволяющей разработать метод определения положения раската в несимметричном калибре. На основе положений механики предложен подход к определению положения раската в несимметричном калибре, который основан на принципе минимума работы. В качестве критерия затраченной на деформацию работы предложен объем металла, вытесненный валком из ручья. На основе принципа минимума работы суммарный вытесненный объем со стороны обеих валков должен быть минимальным, раскат при этом в соответствии с названным принципом занимает положение наименьшей свободы. На основе уточнения деформационной и силовой картины при прокатке, установления их взаимосвязей становится возможным внести уточнения в методы расчета калибровки и тем самым повысить точность решения прикладных задач.

ЛИТЕРАТУРА

1. Метц Н. Горячая прокатка калибровка валков / Н. Метц. – М. : Гостехиздат, 1937. – 332 с.
2. Виноградов А. П. Калибровка прокатных валков / А. П. Виноградов, Г. А. Виноградов. – М. : Металлургия, 1950. – 344 с.
3. Литовченко Н. В. Калибровка валков сортовых станов / Н. В. Литовченко, Б. В. Диомидов, В. А. Курдюмова. – М. : Металлургия, 1963. – 638 с.
4. Чекмарев А. П. Калибровка прокатных валков / А. П. Чекмарев, М. С. Мутьев, Р. А. Машковцев. – М. : Металлургия, 1971. – 509 с.
5. Смирнов В. К. Калибровка прокатных валков / В. К. Смирнов, В. А. Шилов, Ю. В. Инарович. – М. : Металлургия, 1987. – 367 с.
6. Илюкович Б. М. Прокатка и калибровка. Справочник. Том 1. / Б. М. Илюкович, Н. Е. Нехаев, С. Е. Меркурьев. – Днепропетровск : «РВА Дніпро-Вал», 2002. – 506 с.
7. Луцкий М. Б. Производство двутавровых балок / М. Б. Луцкий. – Алчевск : ДГМИ, 2004. – 400 с.
8. Шварц Д. Л. Моделирование силового взаимодействия прокатных валков и валковой арматуры / Д. Л. Шварц, В. А. Шилов, Е. Ю. Слукин // Известия вузов. Черная металлургия. – 2001. – № 12. – С. 10–13.

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

НМетАУ – Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск.

E-mail: oginsky@gmail.com