

ПРОКАТКА И ОСАДКА В ВАЛКАХ НЕРАВНОГО ДИАМЕТРА

Предложен метод определения положения раската при прокатке в валках неравного диаметра, основанный на принципе минимума работы. В качестве критерия затраченной работы принят объем металла, вытесненного (смещенного) валками в вертикальном направлении. На основе принципа минимума работы суммарный вытесненный объем со стороны обеих валков принимается минимальным, раскат при этом занимает положение наименьшей свободы. На основе уточнения деформационной и силовой картины при прокатке, установления их взаимосвязей становится возможным внести уточнения в методы расчета технологических параметров.

Ключевые слова: Прокатка, осадка, валок, очаг деформации, диаметр, смещенный объем.

Запропоновано метод визначення положення розкату при прокатці у валках нерівного діаметра, заснований на принципі мінімуму роботи. Як критерій витраченої роботи прийнятий обсяг металу, витиснутого (зміщеного) валками у вертикальному напрямку. На основі принципу мінімуму роботи сумарний витиснутий обсяг з боку обох валків приймається мінімальним, розкат при цьому займає положення найменшої свободи. На основі уточнення деформаційної та силової картини при прокатці, установлення їхніх взаємозв'язків стає можливим внести уточнення в методи розрахунку технологічних параметрів.

Ключові слова: Прокатка, осадка, валок, осередок деформації, діаметр, зміщений об'єм.

The method, proposed to determine the position of feed during rolling in the rolls with unequal diameter, is based on the principle of minimum work. The criterion for amount of work expended is the volume of metal displaced (translocated) by rolls in the vertical direction. Basing on the principle of minimum work, the total displaced volume from both rolls shall be minimal, the feed meanwhile occupies the position of the least freedom. Basing on the clarification of the deformation and strength pattern in the rolling, establishing their relationship, it becomes possible to make refinements in methods of calculation of technological parameters.

Keywords: Rolling, upsetting, roller, deformation zone, diameter, displaced volume.

Прокатка в валках неравного диаметра относится к несимметричным случаям, которые в практике встречаются чаще нежели симметричные. Принято считать, что симметричный процесс предполагает равенство диаметров, угловых скоростей и условий трения на валках. Реальные особенности технологии таковы, что симметрия является допущением, поскольку вносят коррективы условия подачи охлаждающей воды (или технологической смазки) на верхний и нижний валок; характер теплообмена, наличие окалины. Кроме отмеченных факторов неравенство диаметров является средством управления технологическими параметрами

для достижения следующих целей: 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]. По этой причине особенности прокатки в валках неравного диаметра всегда были объектом многих исследований [2, 3 и др.], 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 и уточнение подходов к определению параметров прокатки в валках неравного диаметра. В основе предлагаемых подходов лежат положения механики, в частности, принцип минимума расхода энергии, использование наиболее характерных признаков осадки в валках неравного диаметра в качестве аналога. 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.

Основные положения процесса прокатки в валках неравного диаметра были разработаны в работах раннего периода создания теории, в последующие периоды времени вносились дополнения и уточнения, многие из них на основе экспериментальных исследований, но основные теоретические положения и подходы не изменились. Важным звеном в определении технологических параметров продолжает оставаться установление обжатий между валками, от этого во многом зависит картина распределения крутящих моментов между валками. Неравное распределение моментов между валками и элементами главной линии стана ухудшает условия их работы вследствие появления дополнительных динамических нагрузок, вызывает опасность создания аварийных ситуаций. Причиной возможной поломки валков становится чрезмерная перегрузка одного из них, в то время как суммарный момент (момент прокатки) может не превышать допустимого. Распределение обжатий между валками, как известно, принимается обратным их диаметрам, в результате выражение для определения отношения моментов при прокатке в валках неравного диаметра имеет вид [8]:

$$\frac{M_r}{M_R} = \frac{r}{R} \frac{1 - 2\gamma_r / \alpha_r}{1 - 2\gamma_R / \alpha_R}, \quad (1)$$

где R и r радиусы большего и меньшего валков, соответственно.

Выражение (1) включает две неизвестных величины γ_r и λ_R , которые являются трудноопределимыми даже для простого случая прокатки. Выражение (1) получено на основе упрощенного подхода, в котором принимается равенство проекций дуг контакта со стороны верхнего и нижнего валков. Названное равенство 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. Моменты M_r и M_R в выражении (1) принимаются на основе формулы В.Ф. Баюкова, в которой приняты допущения, одно из них предполагает равномерное распределение контактных напряжений по дуге захвата. Названное допущение не выполняется даже при простой прокатке, при несимметричной оно является еще более неточным. Предпринимались попытки внести уточнения в метод определения распределения обжатий между валками неравного диаметра [8], но основа подхода продолжала оставаться прежней.

В основу предлагаемых подходов 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 l_d / h_c . 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 названное условие не входит и более правильным было бы говорить о постоянстве секундных площадей. 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. Методы на основе объемного течения металла обладают широкими возможностями, в частности, могут быть использованы 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 только тех объемных перемещений, которые по своему смыслу отвечают стоящей задаче. В основе предлагаемого метода лежит принцип минимума работы, которая в нашем 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 должно подчиняться законам механики, в которых отображается равновесие системы валки-металл в вертикальном направлении и выполняется энергетический принцип минимума работы. Сказанное может быть подтверждено примером осадки в валках неравного диаметра, представленным на рис. 1. В теории обработки металлом давлением принято считать [10]: «Смещенный объем – это прибавленный или удаленный в процессе деформирования объем в одном из главных направлений». В соответствии со сказанным, области V_{C1} и V_{C2} на рис. 1 в сумме представляют собой смещенный объем в вертикальном направлении. Поскольку смещенный объем является количественной мерой затраченной работы, то металл, осаженный со стороны обеих валков в вертикальном направлении (при определенном конечном перемещении), должен занимать минимальный суммарный объем:

$$V_{CB} = \min (V_{C1} + V_{C2}) \quad (2)$$

Условие (2) в соответствии с вышесказанным отвечает принципу минимума работы.

Механизм процесса прокатки является более многогранным, поскольку он включает также признаки, свойственные волочению, свои собственные и выделить смещенные объемы по главным направлениям при современном уровне знаний не представляется возможным, по меньшей мере, с достаточной точностью. Нельзя с уверенностью сказать, какая часть объема, находящегося в очаге деформации, за определенный период времени (например, за время поворота валка на угол α) сместится в вертикальном направлении, в продольном и поперечном направлениях и, наконец, какой объем останется в границах очага деформации. Теория прокатки в настоящее время не располагает подобными сведениями. Можно лишь исходить из условия, что система валки-металл является самоуравновешивающейся, смещенный объем является количественной мерой затраченной работы и металл, осаженный со стороны обеих валков в вертикальном направлении при прокатке (рис. 2), должен занимать минимальный суммарный объем и должно выполняться условие (2).

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 200 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 x 21 мм. Диаметры рабочих валков составляли: верхний 180 мм и нижний, соответственно, 205 мм. В ходе исследований отбирались недокаты и определялись размеры, которые позволяют судить о расположении раската по отношению к валкам в вертикальном направлении. Положение раската в валках определялось прямыми замерами величин Δh_1 и Δh_2 (рис. 1 и 2). При свободной прокатке (без применения проводок на входе и выходе) наблюдалось активное влияние валка большего диаметра (нижнего) на течение металла, раскат изгибался на верхний валок, размеры Δh_1 и Δh_2 в этом случае теряют свою определенность, это видно из схемы на рис. 3. Применение проводок обеспечило прямолинейность выхода раската и стало возможным использование метода для прокатки с принудительным противоизгибом полосы (проводкой). Образцы, осажённые и 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 Δh_1 (или Δh_2 , что, вообще говоря, не имеет принципиального значения). Сравнение результатов расчета и экспериментальных данных свидетельствует о достаточно хорошей их сходимости, погрешность в определении размеров не превышала 10 %, результаты приведены в таблице 1. В таблице представлены также площади контактных поверхностей со стороны верхнего и нижнего валков, соответственно, $F_{к1}$ и $F_{к2}$.

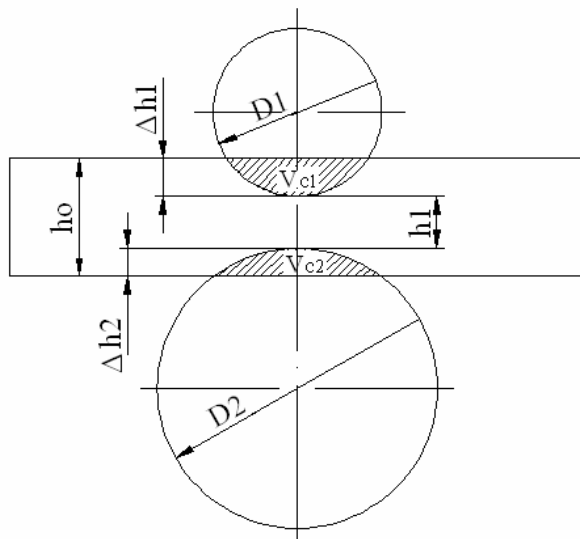


Рисунок 1. Осадка в валках неравного диаметра

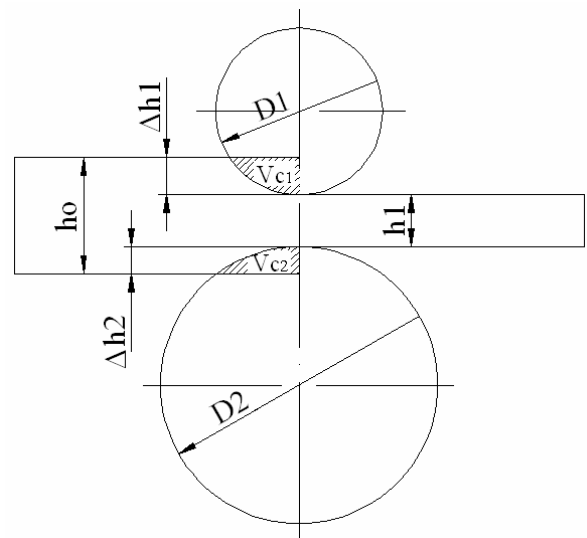


Рисунок 2. Прокатка в валках неравного диаметра

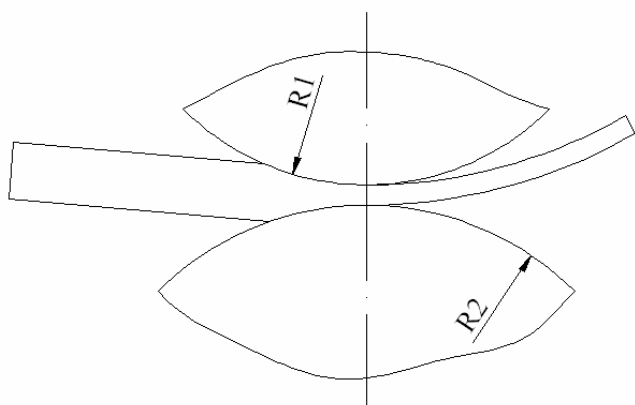


Рисунок 3. Изгиб раската на валок меньшего диаметра



Рисунок 4. Образцы-недокаты

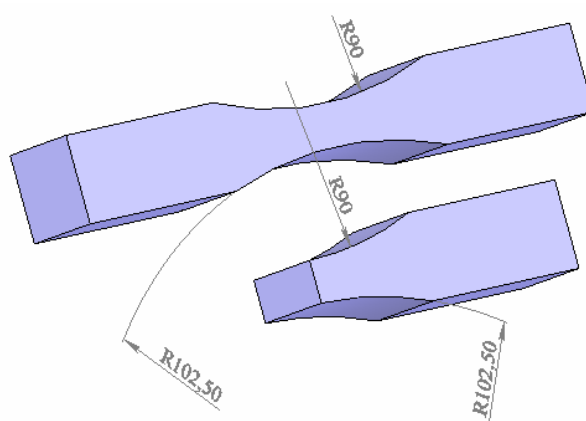


Рисунок 5. К расчету параметров очага деформации

Таблица 1

Результаты расчета и фактических размеров образцов в экспериментальных исследованиях осадки и прокатки в валках неравного диаметра

№ опыта	h_0 , мм	факт. $\Delta h_{1ф}$, мм	факт. $\Delta h_{2ф}$, мм	d , мм	расч. $\Delta h_{1р}$, мм	расч. $\Delta h_{2р}$, мм	расч. $V_{св}$, мм ³	погрешность Δh_1 , %	$F_{к1}$, мм ²	$F_{к2}$, мм ²
1 осадка	21,4	1,6	1,7	18,1	1,76	1,54	66397	+10	755,9	754,3
2 осадка	21,4	2,8	2,45	16,15	2,8	2,45	64737	0	954,4	952,1
3 осадка	21,4	3,8	3,35	14,25	3,82	3,33	62791	+0,1	1115,8	1110,8
4 осадка	21,4	4,55	4,45	12,4	4,8	4,2	60633	+5,5	1251,9	1248,4
5 осадка	21,4	5,4	5,55	10,45	5,85	5,1	58112	+8,3	1383,4	1376,7
6 осадка	21,4	7,6	7,05	6,75	7,85	6,8	52716	+3,2	1605,6	15,91,9
7 осадка	21,4	8,6	7,95	4,85	6,85	7,7	49667	+2,9	1706,5	1695,3
8 осадка	21,4	9,3	9,2	2,9	9,9	8,6	46358	+6,5	1806,7	1793,0
9 прокатка	20,7	9,0	7,55	4,15	9,25	8,0	24250	+2,7	872,6	864,2
10 прокатка	20,7	8,6	6,0	6,1	8,2	7,1	25847	-4,7	820,8	813,5
11 прокатка	20,7	6,8	5,9	8,0	7,43	6,47	25822	-6,3	780,7	776,2
12 прокатка	20,7	5,4	5,3	10,0	5,7	5,0	28111	-5,6	682,7	681,5

Выводы

Выполнен анализ силовой и деформационной картины в очаге деформации в части, позволяющей разработать метод определения положения раската при прокатке в валках неравного диаметра. На основе положений механики предложен подход к определению положения раската в валках, который основан на принципе минимума работы. В качестве критерия затраченной работы принят объем металла, вытесненного (смещенного) валками в вертикальном направлении. 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 технологических параметров и тем самым повысить точность решения прикладных задач.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горячая прокатка толстых полос в рабочих валках разного диаметра/В.А. Николаев, Б. П. Романико, А. Г. Васильев и др. //Сталь, 1992, № 11.-С. 45-47.
2. Чекмарев А. П., Нефедов А. А. //Динамика прокатки на валках неравного диаметра/Научные труды ИЧМ.-Днепропетровск.-1957.-С. 196-205.
3. Теряев В. А. //Некоторые особенности прокатки в приводных валках неравного диаметра/Прокатное производство. Труды института черной металлургии.-1957.-Том 11.-С. 108-114.
4. Николаев В.А. Особенности несимметричной прокатки полос. Известия вузов, Черная металлургия, 2002, № 3, с. 29-32.
5. Скороходов В.Н., Мухин Ю.А., Бельский С.М. Нейтральные углы при прокатке в валках неравных диаметров, вращающихся с одинаковой угловой скоростью. Производство проката, 2006, № 5.-С. 2-5.
6. Николаев В.А. Силовые параметры в несимметричных условиях прокатки. Известия вузов, Черная металлургия, 2007, № 3, с. 20-23.
7. Выдрин А.В., Чванова Е.Е. Усилие при существенно несимметричной прокатке листов. Вестник Южно-Уральского ГТУ, 2008, №24.- С. 51-54.
8. Чекмарев А.П., Нефедов, Николаев. Теория продольной прокатки. Издательство Харьковского университета. 1965. – 212 с.
9. Николаев В.А. Распределение давлений и обжатий между валками при несимметричной прокатке. Известия вузов, Черная металлургия, 1995, № 9, с. 28-30.
10. Громов Н.П. Теория обработки металлов давлением.–М.: Металлургия, 1967. – 340 с.