

**Висновки.** Побудована діаграма, яка визначає причинно-наслідкові зв'язки умов поздовжньої стійкості гарячої прокатки листової та рулонної сталі. При потрібних подальших кроках конкретизації чинників на діаграмі, для яких недоліком може бути обмежений простір для побудови і зображенні на сторінці всього ланцюжка категорій причин даної проблеми, можна користуватися інформаційними технологіями. Для побудови діаграми Ісікави при цьому застосовуються програмні засоби комп'ютерних графічних систем. Для того, щоб кількісно оцінити причинно-наслідкові зв'язки в даній проблемі можна перейти від діаграми Ісікави до причинно-наслідкової моделі об'єкта як зваженого графу [3].

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Исикава К. Японские методы управления качеством / Сокр. пер. с англ.; под ред. А. В. Гличева. М. : Экономика, 1988. 214 с.
2. Гурей Т. А. Вибір технологічних чинників управління якістю поверхонь під час фрикційного зміцнення. *Вісник національного університету «Львівська політехніка».* Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні. 2012. № 729. С. 13–18.
3. Nikulin A. V., Nakonechnay T. V. Competences development of university students through innovation in mathematical training. *Nauka i Studia. Przemysl : Nauka i Studia*, 2017. № 1(162). p. 48–51.

Надійшла до редколегії 07.09.2020.

УДК 621.771.

DOI 10.31319/2519-2884.tm.2020.9

ОГИНСКИЙ И.К., д.т.н., зав.кафедрой  
РЕМЕЗ О.А.\* , к.т.н., доцент

Запорожский национальный университет  
\*Национальная металлургическая академия Украины

#### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ РАСКАТА В ВАЛКАХ ПРИ ПРОКАТКЕ В НЕСИММЕТРИЧНОМ КАЛИБРЕ

**Вступление.** Область прокатки в несимметричных калибрах является весьма малоизученной. Относящиеся к этой теме работы раннего периода времени более позднего и фундаментальные работы последних лет [1, 2 и др.] построены на практическом материале. Теоретические работы, посвященные основам прокатки фасонных профилей в несимметричных калибрах, практически отсутствуют. К одной из немногих теоретических работ, имеющих феноменологические основы, можно отнести монографию авторов [3]. Существующие методы расчета калибровок сформировались на эмпирическом материале, в его основе параметры, которые сведены к плоским фигурам и линейным параметрам, объемные признаки процесса прокатки при этом никак не исследуются и не учитываются. Подходы, ставшие традиционными, сдерживают развитие и создание новых технологических решений, причина такого положения в том, что недостаточно разработанной является теория объемных процессов (перемещений) при прокатке в калибрах и работ в этой области на настоящее время немного, некоторые из них освещены в публикациях [4-7]. В работе [4, 6, 7] сформулированы базовые положения несимметричной прокатки, относящиеся к прокатке в валках неравного диаметра и в несимметричных калибрах.

Теоретические работы, связанные с сортовой прокаткой в несимметричных калибрах, включают множество допущений и всякого рода упрощений, происходит накопление неточностей, что сказывается на количественной и физической достоверности результатов. В этой связи большую значимость приобретают результаты немногочисленных экспериментальных исследований [8-10]. В работе [6] изложена теоретическая концепция определения положения раската в несимметричном калибре, для подтверждения ее достаточно полной правомочности (или, по меньшей мере, установления границ применимости) необходимы дополнительные, углубленные исследования.

**Постановка задачи.** Целью настоящей работы является экспериментальная проверка адекватности разработанной модели и подтверждение выдвинутых предположений, определение положения раската в несимметричном калибре и исследование распределения обжатий со стороны каждого вала.

**Результаты работы.** Экспериментальные исследования проводились на лабораторном стане 200 кафедры обработки металлов давлением НМетАУ. Стан 200 включает универсальную рабочую клетку авторской разработки и линию привода рабочих валков, состоящую из универсальных шпинделей, шестеренной клетки, коробки передач, редуктора, соединительных муфт и электродвигателя (рис. 1).

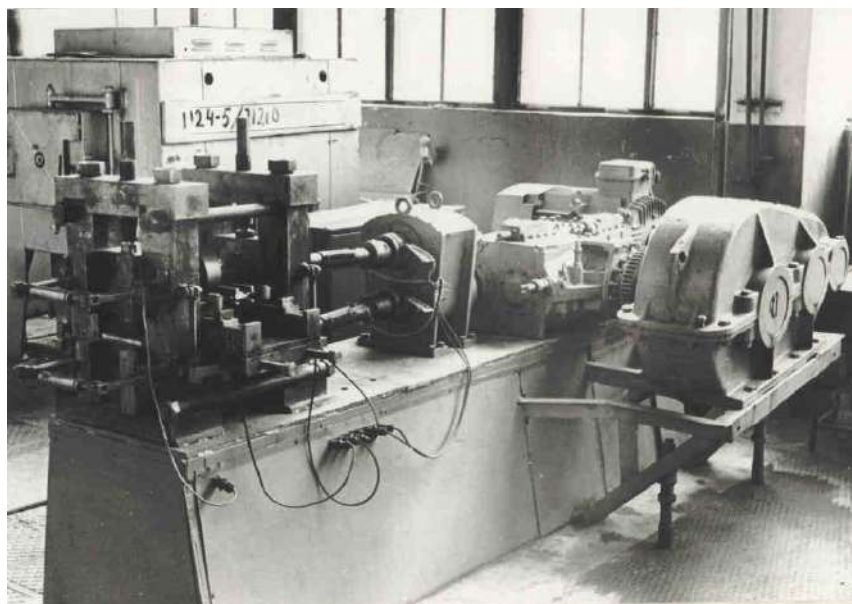


Рисунок 1 - Общий вид стана 200

Привод валков осуществляется от электродвигателя трехфазного переменного тока мощностью 30 кВт, наличие коробки передач в линии провода стана позволяет регулировать число оборотов в пределах от 2,8 до 52 об/мин.

В экспериментальных исследованиях использовались свинцовые образцы сечением 21,2×21,2 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 вала с гладкой бочкой (размер «а» на рис. 3).

Образцы, заторможенные в валках, показаны на рис. 4. На рис. 5 приведены фрагменты визуализации промежуточных результатов расчета, выполненных с использованием программ MathCAD и SolidWorks для условий эксперимента.

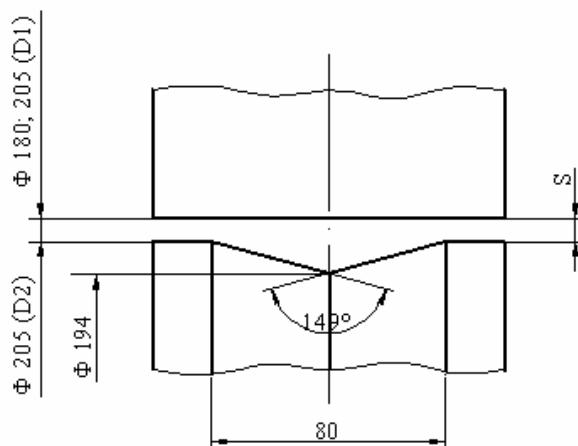


Рисунок 2 - Калибр в экспериментальных исследованиях

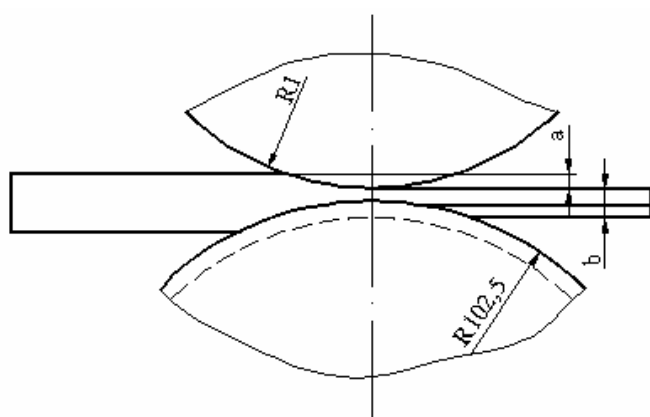


Рисунок 3 - К определению положения раската в калибре

О сходимости расчетных и экспериментальных данных судили по степени совпадения размера «а» (рис. 3). Сравнение результатов расчета и экспериментальных данных свидетельствует о достаточно хорошей их сходимости, погрешность в определении размера «а» не превышала 10,5 %, результаты приведены в таблице 1.



Рисунок 4 - Образцы-недокаты, заторможенные в валках

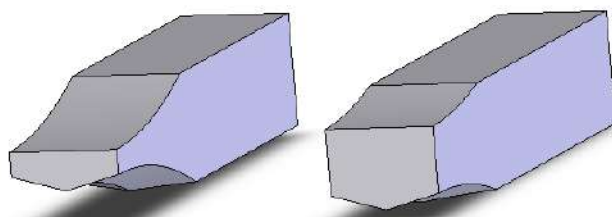


Рисунок 5 - К расчету параметров очага деформации при прокатке в несимметричных калибрах; фрагменты визуализации

Таблица 1 - Результаты расчета и фактических размеров образцов в экспериментальных исследованиях прокатки в несимметричных калибрах

№ опыта	b, мм	расч. $V_{CB}$	расч. $a_p$ , мм	факт. $A_{\phi}$ , мм	погрешность $\Delta a$ , %	$V_{от1}$ , мм <sup>3</sup>	$V_{от2}$ , мм <sup>3</sup>	$F_{np1}$ , мм <sup>2</sup>	$F_{np2}$ , мм <sup>2</sup>	$F_{к1}$ , мм <sup>2</sup>	$F_{к2}$ , мм <sup>2</sup>
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

В опытах использовались валки с гладкой бочкой диаметрами 205 и 180 мм, предпочтение отдавалось первому типу, поскольку он способствует большей технологичности процесса – раскат не столь значительно 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.

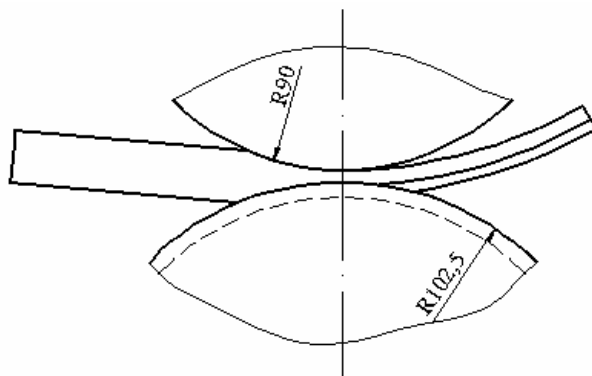


Рисунок 6 - Изгиб раската на валок меньшего диаметра

**Выводы.** Выполнены экспериментальные исследования, целью которых стояло проверка адекватности разработанных моделей и подтверждение выдвинутых предположений. В соответствии с поставленной целью было выполнено исследование объемных перемещений металла при прокатке в несимметричном калибре, определение положения раската в калибре при прокатке несимметричных профилей в двухвалковых калибрах. В результате экспериментальных исследований были установлены адекватность разработанных моделей и подтверждение выдвинутых предположений, максимальное отклонение расчетных значений от экспериментальных не превышала 10,5 %.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Илюкович Б. М., Нехаев Н. Е., Меркурьев С. Е. Прокатка и калибровка : справочник в 6 т. Днепропетровск : Дніпро-Вал, 2002. Т. 1. 506 с.
2. Илюкович Б. М. Прокатка и калибровка: справочник в 6 т. Днепропетровск : Дніпро-Вал, 2003. Т. 2. 569 с.
3. Гарновский И. Я., Скороходов А. Н., Илюкович Б. М. Элементы теории прокатки сложных профилей. М. : Металлургия, 1972. 352 с.
4. Огинский И. К. Развитие методов расчета калибровки, определение положения раската в калибре при прокатке несимметричных профилей. *Системні технології*. 2011. № 2 (73). С. 130–139.
5. Процессы деформации металла на основе многовалковых калибров / Огинский И. К., Данченко В. Н., Самсоненко А. А., Бояркин В. В. Днепропетровск : Пороги, 2011. 355 с.
6. Огинский И. К. Модель объемных перемещений при прокатке в валках неравного диаметра. *Обработка материалов давлением : Сб. научн. тр. Краматорск : Донбасская государственная машиностроительная академия*. 2011. № 2 (27). С. 54–57. ISSN 2076-2151.
7. Огинский И. К. Работа и моменты при прокатке в несимметричных калибрах. *Сб. научн. тр. Донбасского государственного технического университета*. Алчевск : ДонГТУ. 2010. № 32. С. 188–199. ISSN 2077-1738.
8. Есипов В. Д. Распределение обжатия между валками в асимметричных разрезных калибрах. *Изв. вузов. Черная металлургия*. 1987. № 6. С. 47–50.
9. Теряев В. А. Распределение крутящих моментов между валками при прокатке балочных профилей. *Прокатное производство: Сб. научн. тр. Института черной металлургии*. М. : Металлургия. 1969. Вып. 17. С. 125–129.
10. Исследование силовых факторов при прокатке в разрезных калибрах / А. П. Чекмаев и др. *Труды института черной металлургии. Прокатное производство*. 1961. Т. 15, Вып. 3. С. 68–70.

Поступила в редколлегию 08.09.2020.

УДК 621.771.01

DOI 10.31319/2519-2884.tm.2020.10

САМОХВАЛ В.М., к.т.н., доцент

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

### ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТУ ТЕРТЯ В ПРОЦЕСІ ВИСОКОШВИДКІСНОГО ПРОКАТУВАННЯ

**Вступ.** Тертя відіграє вирішальне значення в багатьох процесах. Зокрема, процеси прокатування відбуваються саме завдяки силам тертя і за їх відсутності прокатування стає неможливим. Разом з тим, у більшості процесів прокатування прагнуть змен-