

УДК [669.35.055 : 669.5]: 621.77  
DOI 10.17073/0021-3438-2015-2-44-47

## ПРОКАТКА С НЕСИММЕТРИЧНЫМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ ВАЛКОВ И ПРОКАТЫВАЕМОЙ ПОЛОСЫ

© 2015 г. **Е.А. Максимов**

ЗАО «Интрай», г. Челябинск

*Статья поступила в редакцию 03.07.13 г., доработана 25.04.14 г., подписана в печать 12.05.14 г.*

В лабораторных условиях исследовано влияние величины относительного обжатия и различия шероховатости валков на опережение и изгиб в вертикальной плоскости на выходе из валков при прокатке образцов алюминиевых сплавов на стане ДУО-180. Установлено, что опережение со стороны неполированного (верхнего) валка больше, чем со стороны полированного (нижнего). Показано, что в первом и последующих проходах происходит изгиб переднего конца листа в вертикальной плоскости в сторону валка с большим диаметром. Кривизна этого изгиба растет с повышением показателя формы очага деформации ( $l_{cp}/h_{cp}$ ). С увеличением различия диаметров рабочих валков ( $k_R$ ) радиус изгиба листа уменьшается, а кривизна растет.

**Ключевые слова:** прокатка, алюминиевые сплавы, неравномерные условия деформации, трение на валках, изгиб листа в вертикальной плоскости, опережение, кинематические параметры прокатки, шероховатость валков.

The influence of relative reduction and difference in roughness of rolls to outstripping and bending in the vertical plane at the output from the rolls during rolling aluminum alloys using a DUO-180 mill is investigated in laboratory conditions. It is established that outstripping from the side of unpolished (upper) roll is larger than from the side of the polished (lower) one. It is shown that the forward sheet end bends in the vertical plane towards the roll with the larger diameter during the first and subsequent passages. The curvature of this bend increases as the shape index of the deformation region increases ( $l_{av}/h_{av}$ ). The radius of sheet bending decreases while the curvature increases as the difference in diameters of working rolls ( $k_R$ ) increases.

**Keywords:** rolling, aluminum alloys, nonuniform deformation conditions, friction at the rolls, sheet bending in the vertical plane, outstripping, kinematic rolling parameters, roughness of rolls.

### Введение

В общем случае процесс традиционной симметричной прокатки полосового проката в вертикальной плоскости несимметричен. Это связано с технологическими аспектами его осуществления (различиями обжатий со стороны верхнего и нижнего валков, условий трения на контактных поверхностях валков и др.). Несимметрия процесса приводит к снижению качества прокатываемых листов и нарушению технологии прокатки: повышенному изгибу переднего конца листа в вертикальной плоскости на выходе из валков, а также ударам изогнутого вниз раската о станинные ролики, вследствие чего возникают динамические и ударные нагрузки на главный привод прокатного стана.

Вопросы о характере изменения крутящих моментов на валках и поведении концов полосы при нарушении симметрии процесса прокатки в вертикальной плоскости рассматривались ранее [1–5]. В настоящее время сложилось 2 подхода к объяснению причин этих явлений. Первый из них основан на определении плеча приложения силы прокатки к валкам меньшего и большего диаметров [1], второй — на оценке критических углов и опережений со стороны верхнего и нижнего валков, а также их связи с геометрическими параметрами изгиба переднего конца полосы на выходе [2–5].

В лабораторных условиях и на практике установлено, что при прокатке в валках разного диаметра на

*Максимов Е.А. — канд. техн. наук, начальник отдела прокатного оборудования ЗАО «Интрай» (454092, г. Челябинск, ул. Крупской, 23). E-mail: maksimov50@mail.ru.*

прокатываемый металл в очаге деформации одновременно действуют два противоположных фактора: различие окружных скоростей рабочих валков и различие обжатий полосы со стороны валков с большим и меньшим диаметрами. Изгиб листа на валок определяется тем, какой из них окажется преобладающим: первый способствует изгибу листа на валок меньшего диаметра, а второй, соответственно, — на валок большего диаметра [5—11].

Однако до настоящего времени, особенно при прокатке цветных металлов, малоисследованными остаются следующие вопросы:

— определение устойчивости листа в прямоугольной плоскости на выходе из валков с учетом пластического изгиба;

— влияние различия шероховатости валков (условий трения) и их размеров на энергосиловые параметры, радиус изгиба переднего конца листа в вертикальной плоскости и относительную кривизну прокатываемого металла на входе из валков.

Целью настоящей работы было исследование влияния кинематических параметров (опережений), связывающего характер изгиба переднего конца листа в вертикальной плоскости с изменением величины опережений на верхней и нижней плоскостях проката.

## Методика и результаты работы

Известно, что при прокатке листов и полос в валках разного диаметра длина очага деформации ( $l$ ) и величина обжатия ( $\Delta h$ ) со стороны нижнего и верхнего валков различны [5, 9]:  $l_n \geq l_b$  и  $\Delta h_n \geq \Delta h_b$  (см. рисунок).

Кроме того, при прокатке с большим обжатием со стороны нижнего валка значения критического угла ( $\gamma$ ), опережения ( $S$ ) и продольной скорости листа на выходе из валков ( $V_1$ ) будут больше, чем со стороны верхнего, т.е. будут выполняться условия  $\gamma_n \geq \gamma_b$ ,  $S_n \geq S_b$ ,  $V_{1n} \geq V_{1b}$ . При этом продольный изгиб листа на входе из валков будет происходить в сторону верхнего валка [5, 9].

Рассмотрим кинематику процесса прокатки образцов на цилиндрических валках одинакового диаметра, но с разной шероховатостью. Если у бочки верхнего валка она больше, чем у нижнего, то и коэффициент трения на контактной поверхности со стороны верхнего валка будет больше. При этом будут выполняться кинематические условия:  $\gamma_n \leq \gamma_b$ ,  $S_n \leq S_b$ ,  $V_{1n} \leq V_{1b}$ , а направление изгиба листа будет происходить в сторону нижнего валка.

При прокатке в валках с одинаковой шероховатостью, но разного диаметра ( $D$ ), и направлением продольного изгиба переднего конца листа на выходе установлено следующее. Если  $D_b < D_n$ , то обжатие со стороны верхнего валка будет больше, чем со стороны нижнего, т.е.  $\Delta h_b \geq \Delta h_n$ , что приведет к выполнению тех же условий, описанных выше для случая  $D_b = D_n$ .

Экспериментальные исследования опережений ( $S$ , %) и изгиба образцов в вертикальной плоскости на выходе из валков проводились при прокатке лент из алюминиевых сплавов АМг и А1 толщиной 2,5—3,2 мм, шириной 60 мм на стане ДУО-180 со скоростью прокатки 0,15 м/с. Обжатие образцов создавалось нажимными винтами клетки для двух вариантов: в первом случае бочки обоих валков имели полированную поверхность, во втором — шероховатую. Результаты опытов представлены в табл. 1.

Анализ полученных данных показал, что с ростом относительного обжатия образцов ( $\Delta h/h_1$ ) вели-

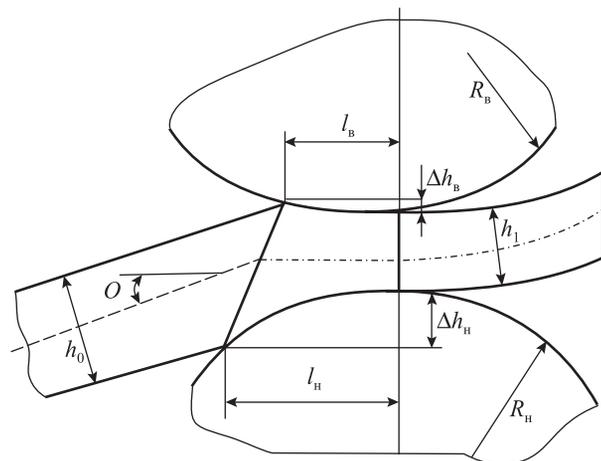


Схема угла подачи листа в валки

$h_0, h_1$  — толщины листа на входе и выходе из валков,  $R_b, R_n$  — радиусы верхнего и нижнего валков,  $O$  — угол подачи листа в валки очага деформации со стороны верхнего и нижнего валков

Таблица 1

Результаты оценки опережения при прокатке образцов из алюминиевого сплава АМг на валках одинакового диаметра

№ обр.	$\Delta h/h_1$ , %	$S$ , %	
		Вариант 1	Вариант 2
1	10	1,2	1,2
2	20	2,3	3,0
3	30	3,4	4,3

Примечание.  $h_0 = 2,5$  мм,  $B = 60$  мм,  $D_b = D_n = 180$  мм.

Таблица 2

**Результаты оценки опережения при прокатке образцов из алюминиевого сплава АМг на неполированном верхнем ( $S_B$ ) и полированном нижнем ( $S_H$ ) валках**

№ обр.	$\Delta h/h_1$ , %	$S_B$ , %	$S_H$ , %	$\Delta S$ , %
1	20	3,7	2,5	1,2
2	25	5,5	4,0	1,5
3	29	4,0	2,2	1,8
4	30	4,2	2,2	2,0
5	33	5,5	2,7	2,8

Примечание.  $h_0 = 2,5$  мм,  $B = 60$  мм,  $D_B = D_H = 180$  мм.

чина опережения при прокатке в валках с полировкой поверхности и без нее увеличивается нелинейно: во втором случае это происходит быстрее.

Рассмотрим прокатку образцов на цилиндрических валках одинакового диаметра, но с различной шероховатостью бочек (нижний полированный с  $R_a = 0,5$  мкм, а верхний — неполированный с  $R_a = 4$  мкм). Влияние относительного обжатия и разной шероховатости бочек валков на величину опе-

режения представлено в табл. 2. Видно, что опережение со стороны неполированного валка больше, чем со стороны полированного, т.е.  $S_B > S_H$ .

Известно, что различие опережения на валках зависит от величины относительного обжатия [5, 9]: чем оно больше, тем сильнее это различие.

Расчеты критических углов и опережений со стороны верхнего и нижнего валков, а также определение направления и кривизны изгиба листа на выходе из валков проводили по методике [9]. При этом учитывались различия длин очага деформации ( $l_H$  и  $l_B$ ) и обжатий ( $S_H$  и  $S_B$ ) с обоих валков, их шероховатости (за счет различия коэффициента трения на контактных поверхностях) и диаметров (с использованием коэффициента  $k_R = D_B/D_H$ ).

Исследование влияния различия диаметра валков на энергосиловые параметры прокатки и изгиб переднего конца листа проводилось на образцах из алюминиевого сплава А1 толщиной 18,35–18,6 мм и шириной  $B = 60$  мм. Процесс осуществляли на стане ДУО-180 с разными диаметрами валков:  $D_B < D_H$ . Их различие учитывалось с помощью коэффициента  $k_R = D_B/D_H = 0,94$  и  $0,91$ . Результаты представлены в табл. 3.

Таблица 3

**Влияние различия диаметров валков на энергосиловые параметры прокатки, радиусы кривизны и изгиба**

$k_R$	№ обр.	$h_0$ , мм	$h_1$ , мм	$\Delta h$ , мм	$l_{cp}/h_{cp}$	$P$ , Н	$M_B$ , Н·м	$M_H$ , Н·м	$M_\Sigma$ , Н·м	$r$ , мм	$K_H \cdot 10^4$ , мм <sup>-1</sup>
0,94	1	18,35	15,2	3,15	0,94	29000	110	186	296	25000	0,40
	2	15,2	13,90	1,30	0,71	23000	86	132	218	22000	0,45
	3	13,90	12,10	1,80	0,90	28000	75	114	189	19540	0,51
	4	12,10	10,86	1,24	1,10	24000	64	106	170	15000	0,66
	5	10,86	9,50	1,36	1,10	24600	56	98	154	12000	0,83
	6	9,50	7,90	1,60	1,10	24300	58	97	155	10900	0,91
	7	7,90	6,70	1,2	1,40	22500	42	67	109	10800	0,92
0,91	1	18,6	16,00	2,6	0,89	25400	82	148	230	21000	0,47
	2	16,00	15,1	0,9	0,58	20200	72	145	217	15540	0,64
	3	15,1	13,71	1,39	0,79	27300	92	115	207	13250	0,75
	4	13,71	11,60	2,11	1,14	23100	99	139	238	11070	0,90
	5	11,60	10,10	1,5	1,10	24100	82	117	199	10900	0,91
	6	10,10	8,80	1,3	1,20	22000	85	112	197	10000	1,00
	7	8,80	7,35	1,45	1,39	22000	79	105	184	97800	1,02

Примечание.  $h_0$  и  $h_1$  — толщины листа в плоскости входа и выхода;  $\Delta h$  — суммарное обжатие листа со стороны верхнего и нижнего валков;  $l_{cp}/h_{cp}$  — отношение средних по очагу деформации длины к толщине листа;  $P$  — давление прокатки;  $M_B$  и  $M_H$  — крутящие моменты на верхнем и нижнем валках;  $M_\Sigma$  — суммарный момент прокатки;  $K_H = 1/r$  — кривизна листа;  $r$  — радиус изгиба в вертикальной плоскости.

Анализ полученных экспериментальных данных показал следующее:

— при прокатке образцов из алюминиевого сплава А1 на валках с различными диаметрами различие крутящих моментов между нижним и верхним валками составляет 25—76 Н·м при  $k_R = 0,94$  и 26—66 Н·м при  $k_R = 0,91$ ;

— изгиб образцов зафиксирован в сторону валка с бóльшим диаметром;

— повышение показателя формы очага деформации ( $l_{cp}/h_{cp}$ ) приводит к увеличению кривизны выходящих концов листа;

— с увеличением различия диаметров рабочих валков ( $k_R = 0,94$ ) радиус изгиба образцов уменьшается, а кривизна растет.

## Выводы

1. В лабораторных условиях исследовано влияние величины относительного обжатия ( $\Delta h/h_1$ ) и различия шероховатости верхнего и нижнего валков на опережение ( $S$ ) при прокатке алюминиевых сплавов. Установлено, что значения  $S$  со стороны неполированного валка больше по сравнению с полированным. С повышением  $\Delta h/h_1$  величина опережения при прокатке на валках с шероховатой поверхностью увеличивается быстрее.

2. Показано, что в первом и последующих проходах происходит изгиб переднего конца листа в вертикальной плоскости в сторону валка с бóльшим диаметром. Кривизна этого изгиба растет с повышением показателя формы очага деформации ( $l_{cp}/h_{cp}$ ).

С увеличением различия диаметров рабочих валков ( $k_R$ ) радиус изгиба листа уменьшается, а кривизна растет.

## Литература

1. Целиков А.И., Гришков А.И. Теория прокатки. М.: Металлургия, 1970.
2. Выдрин В.Н. Динамика прокатных станов. Свердловск: Металлургиздат, 1960.
3. Николаев В.А., Скороходов В.Н., Полухин В.П. Несимметричная тонколистовая прокатка. М.: Металлургия, 1993.
4. Долженков Ф.Е., Коновалов Ю.В., Носов В.Г. и др. Повышение качества толстого листа. М.: Металлургия, 1989.
5. Синицын В.Г. Несимметричная прокатка листов и лент. М.: Металлургия, 1984.
6. Орнатский Э.Л., Горелик В.С., Митьев А.П. и др. // Теория и технология производства толстолистовой стали. М.: Металлургия, 1986.
7. Николаев В.А. // Изв. вузов. Чер. металлургия. 2002. № 3. С. 29—31.
8. Горелик В.С., Налча Г.И., Руднев А.Е. // Сталь. 1991. № 11. С. 41—44.
9. Максимов Е.А., Шаталов Р.Л., Босхамджиев Н.Ш. Производство планшетных полос при прокатке. М.: Теплотехник, 2008.
10. Максимов Е.А., Шаталов Р.Л. // Сталь. 2012. № 5. С. 33—37.
11. Максимов Е.А., Шаталов Р.Л. // Там же. № 6. С. 29—32.