

Л. Г. ЧУБРИКОВ, М. И. СИРОТИН, Д. И. СУЯРОВ

### ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ ОБЖАТИЙ НА ТОЛСТОЛИСТОВОМ СТАНЕ АШИНСКОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ЗАВОДА<sup>1</sup>

Толстолистовой стан Лаута Ашинского металлургического завода имеет следующую характеристику: допустимое усилие прокатки 1500 т; момент прокатки до 140 тм; скорость вращения валков (на холостом ходу) 74 об/мин; длина бочки валков 2850 мм; диаметр крайних валков 850 мм; диаметр среднего валка 650 мм. В качестве привода стана установлен асинхронный двигатель ХЭМЗ типа АТ19Б12-16 мощностью 2000 квт, имеющий скорость вращения 370 об/мин. Вращение на стан передается через шестеренную клеть и редуктор, на быстроходном валу которого установлено два маховика. Маховой момент всех вращающихся частей стана составляет 105 тм·сек<sup>2</sup>.

Стан прокатывает листы толщиной 8 мм и более, шириной от 1400 до 2100 мм преимущественно из слитков мягкой углеродистой стали собственного производства и из привозных слитков и сляб. Стан, установленный в 1952 г. с использованием устаревшего оборудования, выпускает продукцию с высокими затратами труда — 3,7 человеко-часа на тонну годных листов, что вдвое превышает трудозатраты цехов, соответствующих современному уровню техники. Поэтому задача исследования состояла в том, чтобы разработать предложения по интенсификации режимов обжатий, обеспечивающие повышение производительности за счет полного использования энергосиловых возможностей стана, имея в виду, что пропускная способность других участков цеха может быть увеличена при сравнительно небольших затратах на их модернизацию.

#### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование режимов обжатий проведено путем осциллографирования на тензометрическую установку ОТ-24-51. На фотобумажную ленту шириной 120 мм записывались следующие параметры: реакции усилий прокатки в обеих станинах, перемещение нажимных винтов и длина прокатываемого листа.

Для измерения величины реакции усилия прокатки использована упругая деформация растяжения стоек станин, возникающая во время прокатки.

<sup>1</sup> В работе принимали участие В. П. Каюрин, В. С. Прохоров.

Эта деформация регистрировалась двумя тензометрическими устройствами жестко прикрепленными к стойкам левой и правой станин [1].

Для регистрации перемещения нажимных винтов использовался фотоимпульсный датчик, представляющий собой перфорированный диск, ось которого жестко связана с валом двигателя нажимного устройства. По одну сторону диска расположено фотоспротивление ФСА-1, по другую — осветитель. При вращении диска фотоспротивление периодически засвечивается. Электрические импульсы от фотоимпульсного датчика поступают на четырехразрядное двоичное пересчетное устройство, собранное на электронных пальчиковых лампах типа 6НЗП. Сигнал от каждого разряда пересчетного устройства поступает на отдельный шлейф.

Для определения длины листов во время прокатки использовался фотоимпульсный датчик описанного выше типа без пересчетного устройства. Подсчитав число импульсов для участка осциллограммы, на протяжении которого зарегистрировано наличие усилия прокатки, т. е. когда раскат проходил между валками, можно найти длину раската в импульсах, но без учета явления опережения. Так как опережение у двух смежных пропусков практически одинаковое, вытяжку раската находим как отношение числа импульсов в смежных пропусках, не прибегая к вычислению длины раската. Ошибка в определении вытяжки по этому методу происходит вследствие наличия на концах раската «ушей», которые почти не подвергаются вытяжке, а длина их входит в длину раската в качестве постоянного слагаемого. Эта ошибка для длинных листов имеет порядок третьего знака после запятой, что находится в пределах точности технических расчетов. Для коротких раскатов ошибка в определении вытяжки по описанному методу возрастает, а при прокатке «на угол» этот метод определения вытяжки вообще неприменим, так как длина раската в каждом пропуске изменяется также в зависимости от угла задачи слитка в валки. Поэтому с целью более точного определения обжатий по пропускам, толщину металла ( $h$ ) в первых пропусках определяли только при помощи формулы Головина — Симса

$$h_i = S_i + \frac{P_i}{C}, \quad (1)$$

где  $S_i$  — условный раствор валков;

$P_i$  — усилие прокатки;

$C$  — жесткость клетки.

Жесткость клетки определялась следующим образом. При помощи микрометра замерялась толщина готового листа в семи точках. По этим замерам рассчитывалось среднее значение толщины листа с учетом чечевицеобразности поперечного сечения. Для двух-трех последних пропусков, которые проводятся, как правило, без изменения раствора валков, с достаточной степенью точности определялась толщина раската по вытяжке. По известным величинам толщины раската и усилия прокатки в каждом пропуске строились графики уравнения (1), из которых и определялись начальный раствор и жесткость клетки. Для листов шириной 1500—1800 мм жесткость клетки оказалась равна 230 т/мм.

В качестве основных приняты значения толщины листов, рассчитанные по формуле (1), а данные о величине вытяжки использованы для контроля результатов расчета.

На рис. 1 приведены образцы осциллограммы, снятой 30/X 1960 г. при прокатке листа  $10 \times 1600 \times 12000$  из слитка весом 1950 кг (сталь 3кп). Нечетные пропуски (9 и 21) выполняются между нижним и средним валками, причем средний валок прижимается к верхнему гидравлическим уравновешивающим устройством. Избыточное давление гидравлического

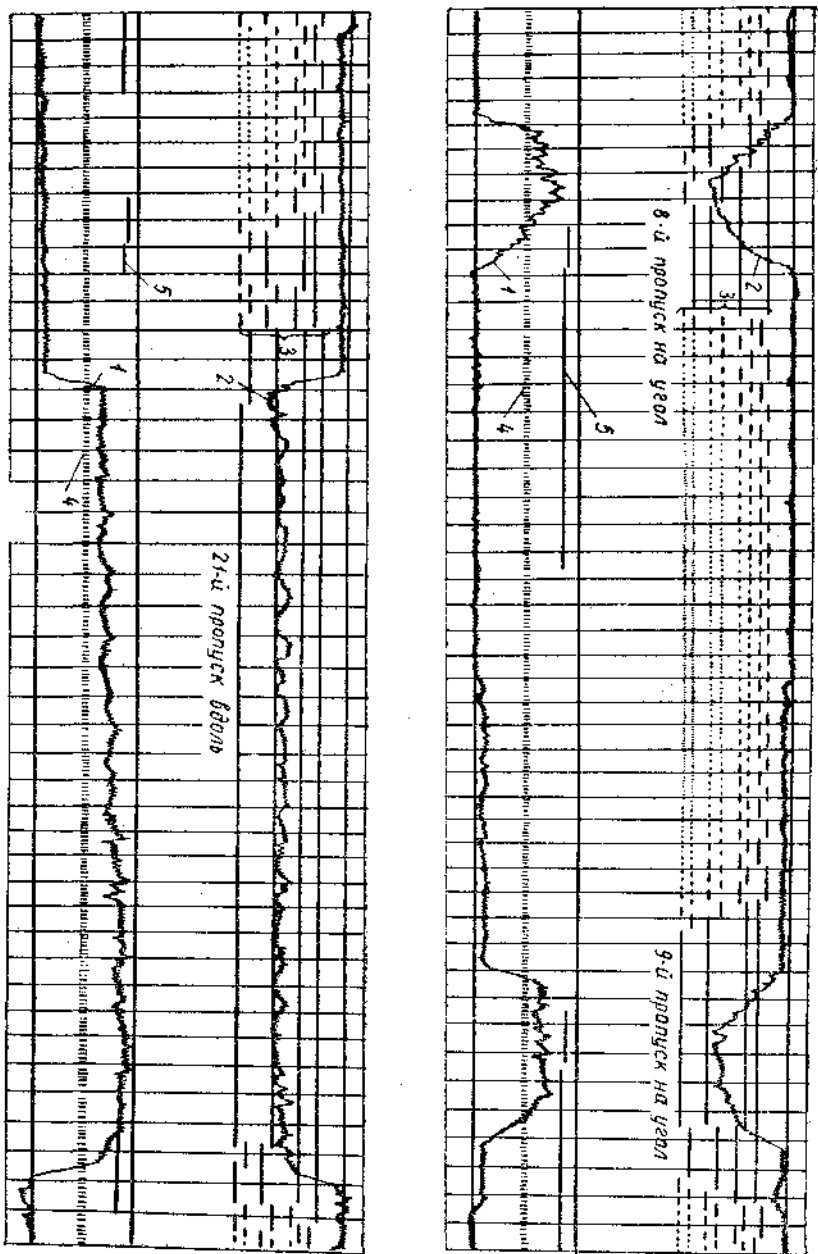


Рис. 1. Образец осциллограммы:  
 1 — реакция усилия прокатки в левой станине; 2 — реакция усилия прокатки в правой станине; 3 — термещение нажимных винтов в двонном коде; 4 — импульсы для определения длины шпета; 5 — направление вращения нажимных винтов.

устройства зарегистрировано на осциллограмме смещением нулевых линий. В четных пропусках (8), которые выполняются между средним и верхним валками, смещение нулевых линий отсутствует, так как гидравлическое устройство отключено. Наличие тензометрических устройств на обеих станинах позволяет учесть неодинаковую величину реакции в случае смещения раската в сторону от середины валков. В пропуске 21 заметно постепенное смещение раската.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Анализ данных, полученных в результате обработки осциллограмм, позволяет сделать следующие выводы:

1. Средняя величина обжатий в первых пропусках, выполняемых на угол, составляет для слитков 22 мм, для сляб—16 мм. Увеличивать эти обжатия не рекомендуется, так как при обжатиях порядка 25 мм слитки нередко буксуют в валках, что было зарегистрировано на нескольких осциллограммах.

2. Наибольший момент прокатки составляет 163 тм, а наибольшее усилие прокатки—1860 т. Принимая во внимание многократный запас прочности станин и редуктора, можно считать, что такие перегрузки не могут служить непосредственной причиной поломки оборудования, но с точки зрения усталостной прочности они нежелательны.

3. 96% по величине момента, а по величине усилия прокатки 93% пропусков от общего их числа не превышают паспортной нагрузки. Большинство из них (65,5%) выполняются с усилиями менее 1100 т, а моменты прокатки при этом не превышают 100 тм, т. е. прочностные резервы стана используются не полностью. Учитывая, что максимальная загрузка двигателя стана<sup>1</sup> по величине среднего квадратичного тока для самого тяжелого сорта размера листов составляет 87,5%, интенсификацию существующих режимов обжатий следует считать возможной.

Опробование и внедрение режимов обжатий, предусматривающих сокращение числа пропусков на основе более полного использования прочностных резервов стана 2850, нужно осуществлять контролируя усилие прокатки. Предварительно заводу предложены режимы обжатий, рассчитанные следующим образом.

В литературе имеется несколько попыток дать формулу для нахождения величины коэффициента сопротивления  $n = \frac{p}{1,15 \sigma_s}$  при ковке и прокатке.

Так, например, Вистрич и Шат [5] считают, что

$$n_i = 0,797 + 0,203 \frac{2\sqrt{r\Delta h_i}}{h_{i-1}+h_i}, \text{ если } \frac{2\sqrt{r\Delta h_i}}{h_{i-1}+h_i} > 1;$$

$$n_i = 1 + 0,250 \frac{2\sqrt{r\Delta h_i}}{h_{i-1}+h_i}, \text{ если } \frac{2\sqrt{r\Delta h_i}}{h_{i-1}+h_i} < 1.$$

Д. И. Суяров и М. А. Беньковский [2] приводят следующую формулу для случая

$$\frac{2\sqrt{r\Delta h_i}}{h_{i-1}+h_i} > 1 \quad n_i = 0,75 + 0,28 \frac{2\sqrt{r\Delta h_i}}{h_{i-1}+h_i}.$$

<sup>1</sup> Исследование загрузки двигателя выполнено Ленинградским филиалом ЦКПБ Энергочермета.

Бишоп [6], М. Я. Бровман [3] дают графическое изображение зависимости коэффициента сопротивления от фактора формы.

Симс [7] приводит таблицу и график коэффициента сопротивления от относительного обжатия для разных значений отношения  $\frac{r}{h_{i-1}}$ .

Так как при прокатке толстых листов фактор формы очага деформации может быть как больше, так и меньше единицы, нами предложена одна формула вместо двух, дающая хорошее совпадение с данными М. Я. Бровмана и Симса при

$$\frac{2\sqrt{r\Delta h_i}}{h_{i-1}+h_i} < 3$$

$$\frac{p}{1,15\sigma_s} = \sqrt{252,74 \frac{r\Delta h_i}{h_{i-1}\cdot h_i} + 16,02} - 15,38 \sqrt{\frac{r\Delta h_i}{h_{i-1}\cdot h_i}}. \quad (2)$$

При горячей прокатке вместо  $\sigma_s$  можно подставить среднее сопротивление деформации  $\bar{\sigma}_i$ . Формула (2) может оказаться весьма полезной при составлении номограммы для рациональной калибровки по данным осциллографирования с целью полного использования энергосиловых возможностей стана. Ниже дается пример составления таких номограмм для стали 3 кп.

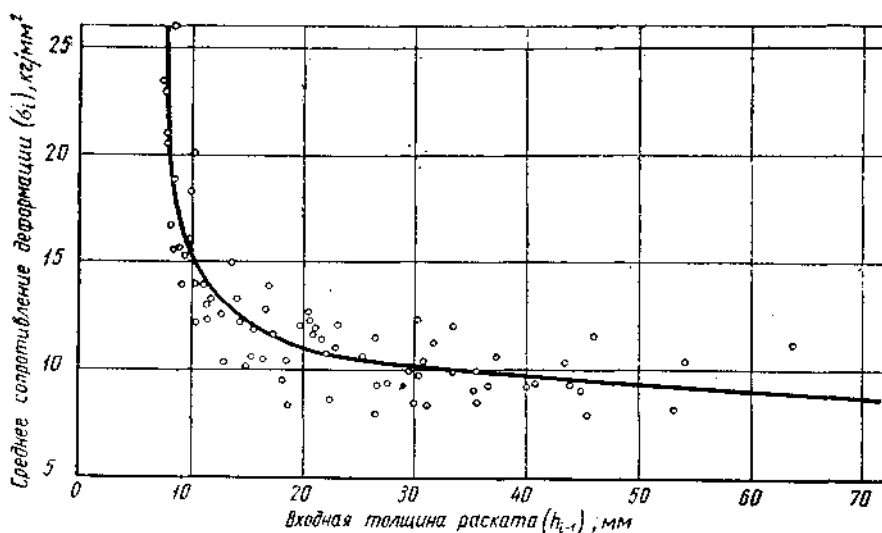


Рис. 2. Экспериментальная зависимость среднего сопротивления деформации ( $\bar{\sigma}_i$ ) от входной толщины ( $h_{i-1}$ ) при прокатке листов из стали 3 кп.

Анализ режимов обжатий прокатки листов разного размера по толщине и ширине показал, что процесс прокатки на стане 2850 ограничивается только двумя факторами: захватом металла и усилием прокатки. В первых пропусках величина обжатий задается из условия надежного захвата слитка или сляба валками, причем в последнем случае ограничивающим фактором может быть «удар», вызванный внезапным возникновением нагрузки. По мере уменьшения толщины раската температура металла снижается, а твердость его возрастает. Это подтверждает и график зависимости среднего сопротивления деформации  $\bar{\sigma}_i$  от входной толщины  $h_{i-1}$  (рис. 2), который построен на основе расчета  $\bar{\sigma}_i$  при помощи формулы (2) по данным осциллографирования (для пропусков вдоль, для которых

известна ширина раската, а следовательно, и удельное давление). Подставляя в известную для усилия прокатки формулу

$$P_i = \rho_i b_i \sqrt{r \Delta h_i}$$

значение  $\rho_i$  из формулы (2) и разрешая полученное выражение относительно абсолютного обжатия  $\Delta h_i$ , получаем  $\Delta h_i = f(P_i, \bar{\sigma}_i, h_{i-1}, b_i)$ . Теперь можно рассчитать режим обжатий при прокатке листа определенной ширины  $b_i$  и допустимом усилии  $P = 1500 \text{ т}$ , зная лишь входную толщину  $h_{i-1}$  листа в каждом пропуске, поскольку и среднее сопротивление деформации  $\bar{\sigma}_i$  есть функция от  $h_{i-1}$ . В результате такого расчета получена номограмма (рис. 3), показывающая величину обжатий при прокатке с

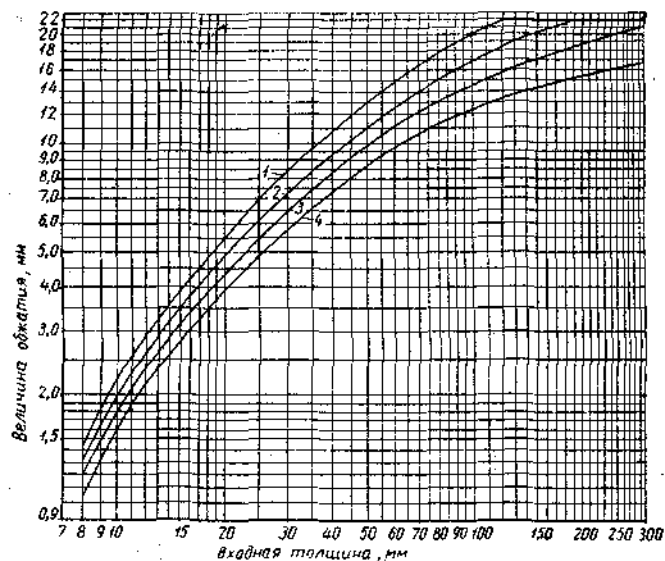


Рис. 3. Номограмма для определения величины обжатия в зависимости от толщины раската разной ширины:  
1 — 1700 мм; 2 — 1900 мм; 3 — 2100 мм; 4 — 2300 мм.

постоянным допустимым усилием  $P$  для листов разной ширины. В последнем пропуске обжатие определяется из условия получения заданной толщины листа, а по нему уже усилие прокатки, а значит и деформация клетки, для того чтобы установить нужный раствор валков. У тонких листов необходим проглаживающий пропуск для устранения волнистой кромки.

Разработанный способ определения допустимых обжатий применим при любом способе прокатки, но для пропусков, выполняемых на угол, нужно брать наибольшую ширину, которая получается при прохождении раската под углом к оси валка [4]. Расчет по таким номограммам выполняется очень быстро, хотя дает не вполне точные результаты, так как график, изображенный на рис. 2, обобщает не вполне сопоставимые процессы. В действительности скорость охлаждения металла зависит не только от толщины раската, но также от числа выполненных пропусков.

В качестве примера в таблице приведен режим обжатий прокатки листа  $8 \times 1600 \times 12000$  из сляб толщиной 130 мм по существующему способу прокатки (с пропусками на угол). На этом примере видно, что рационализация режимов обжатий на основе максимального использования

силовых возможностей стана позволит выкатать 8-миллиметровый лист из сляба толщиной 130 мм за 13 пропусков, тогда как сейчас такой лист из сляба меньшей толщины (113 мм) выкатывается за 15—17 пропусков.

Режим обжатий листа  $8 \times 1600 \times 12000$  из сляба  $130 \times 830 \times 1600$  мягкой углеродистой стали (рассчитан по номограмме, изображенной на рис. 3)

Способ прокатки	Номер пропуска	Наибольшая ширина, мм	Толщина, мм		Обжатие, мм	Вытяжка
			до пропуска	после пропуска		
На угол	1	1700	130,0	120,0	10,0	1,08
	2	1700	120,0	99,0	21,0	1,21
	3	2100	99,0	84,0	15,0	1,18
	4	2100	84,0	70,0	14,0	1,20
	5	2300	70,0	59,0	11,0	1,19
	6	2300	59,0	49,0	10,0	1,20
Вдоль	7	1700	49,0	36,0	13,0	1,36
	8	1700	36,0	26,0	10,0	1,38
	9	1700	26,0	18,5	7,5	1,40
	10	1700	18,5	13,5	5,0	1,37
	11	1700	13,5	10,2	3,3	1,32
	12	1700	10,2	8,0	2,2	1,27
	13	1700	8,0	8,0	0	1,00

### ВЫВОДЫ

1. Прочностные возможности стана в большинстве пропусков используются неполностью.
2. Наличие неиспользованной мощности позволяет осуществить сокращение числа пропусков при прокатке листов большинства сортразмеров.
3. Для разработки режимов обжатий по сокращенному числу пропусков целесообразно использовать построенные на основании результатов исследования графики.
4. Внедрение новых режимов обжатий следует осуществлять под контролем усилий прокатки с регистрацией их на быстродействующий потенциометр.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Л. Г. Чубриков, Д. И. Суяров, М. И. Сиротин. Измерение усилий прокатки на толстолистовых станах. Ст. в наст. сб.
2. Д. И. Суяров, М. А. Беняковский. Настройка листопркатных станов. Свердловск, Металлургиздат, 1960.
3. М. Я. Бровман. Исследование деформации металла при прокатке на непрерывно-заготовочных станах. Сообщ. АН Грузинской ССР, т. 26, № 1, 1960.
4. Д. И. Суяров, М. И. Сиротин, Л. Г. Чубриков. Основы расчета прокатки на угол. Ст. в наст. сб.
5. J. G. Wistreich and A. Shutt. Theoretical analysis of bloom and billet forging. Journal of the Iron and Steel Institute, vol. 193, part 2, 1959.
6. I. F. Bishop. On the effect of friction on compression and indentation between flat dies. Journal of the mechanics and Physics of Solids, vol. 6, № 2, 1958.
7. R. B. Sims. The Calculation of Roll Force and Torque in Hot Rolling mills. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, vol. 168, № 6, 1954.