

Днепродзержинский государственный технический университет

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОПЕРЕЖЕНИЯ
В НЕУСТАНОВИВШЕМСЯ ПРОЦЕССЕ ПРОКАТКИ**

Введение. Анализ экспериментальных данных [1, 2 и др.] показывает, что при прокатке высоких полос недостаточно проанализированы предельные условия захвата и их связь с опережением. В частности, теория предполагает, что предельные условия захвата в установившемся режиме наступают тогда, когда угол нейтрального сечения и опережение равны нулю, однако, опыты [3] показывают, что процесс может протекать устойчиво при полном отставании металла в валках, то есть при «отрицательном» опережении.

Постановка задачи. Целью настоящей работы является исследование динамики изменения опережения по длине прокатываемых ступенчатых образцов при различных условиях деформации, то есть при нестационарном процессе, что в определенной мере соответствует прокатке периодических профилей. Кроме того, предполагается исследовать взаимосвязь между уширением металла и опережением.

Результаты работы. Опыты проводили на лабораторном стане дуо 180 в гладких валках диаметром 195 мм при скорости прокатки, равной 0,35 м/с. В качестве образцов служили свинцовые клиновидные полосы со ступеньками шириной 60 мм. Основные размеры образцов приведены в табл.1. Заметим, что высота каждой ступеньки на 1,5 мм меньше предыдущей. Перед проведением прокатки каждый образец промывали растворителем и насухо протирали ветошью. Аналогично подготавливали к опытам и поверхность рабочих валков.

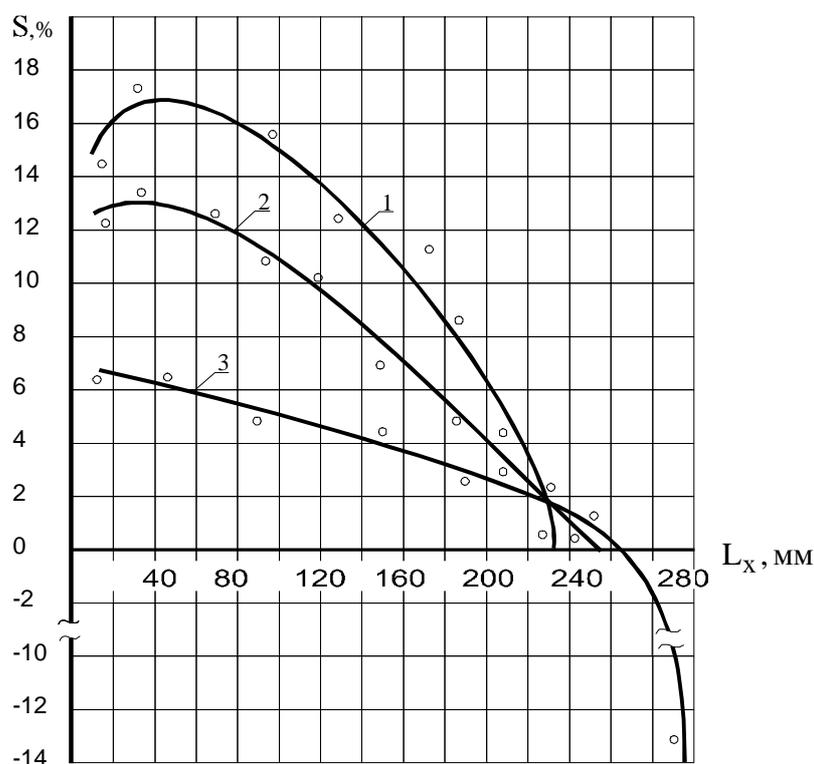
Таблица 1 – Размеры клиновидных образцов

№ П/П	Наименьшая высота клина, мм	Наибольшая высота клина, мм	Длина ступеньки, мм	Длина образца, мм	Начальный угол захвата, рад.	Максимальный угол захвата, рад.	Конечная толщина h_1 , мм
затормозившие образцы							
	8,0	19,0	10,0	82,0	0,25	0,35	1,0
	9,0	23,0	10,0	110,0	0,29	0,42	4,0
	37,0	60,0	26,0	360,0	0,26	0,53	30,0
проскочившие очаг деформации образцы							
	17,0	33,0	14,0	200,0	0,33	0,46	14,0
	34,0	58,0	25,0	278,0	0,32	0,57	27,0
	41,0	60,0	23,0	350,0	0,31	0,51	36,0

Для определения текущего опережения (по длине прокатываемой полосы) на поверхности валков с помощью делительной головки через каждые 10 мм нанесены керны.

На графиках (рис.1) приведены результаты исследования изменения опережения S по длине деформируемого металла L_x при увеличении текущего угла захвата. При прокатке клиновидных образцов на конечную толщину 1 и 4 мм (кривые 1, 2) изменение опережения соответствует принятым в теории прокатки положениям. В частности, с увеличением конечной толщины опережение уменьшается, и кривая его

изменения становится более вытянутой в направлении оси абсцисс. Кроме того, в предельных условиях прокатки, перед пробуксованием металла в валках, S принимает нулевое значение, что свидетельствует о полном использовании резерва сил трения.



1 – $h_1 = 1$ мм; 2 – $h_1 = 4$ мм; 3 – $h_1 = 30$ мм

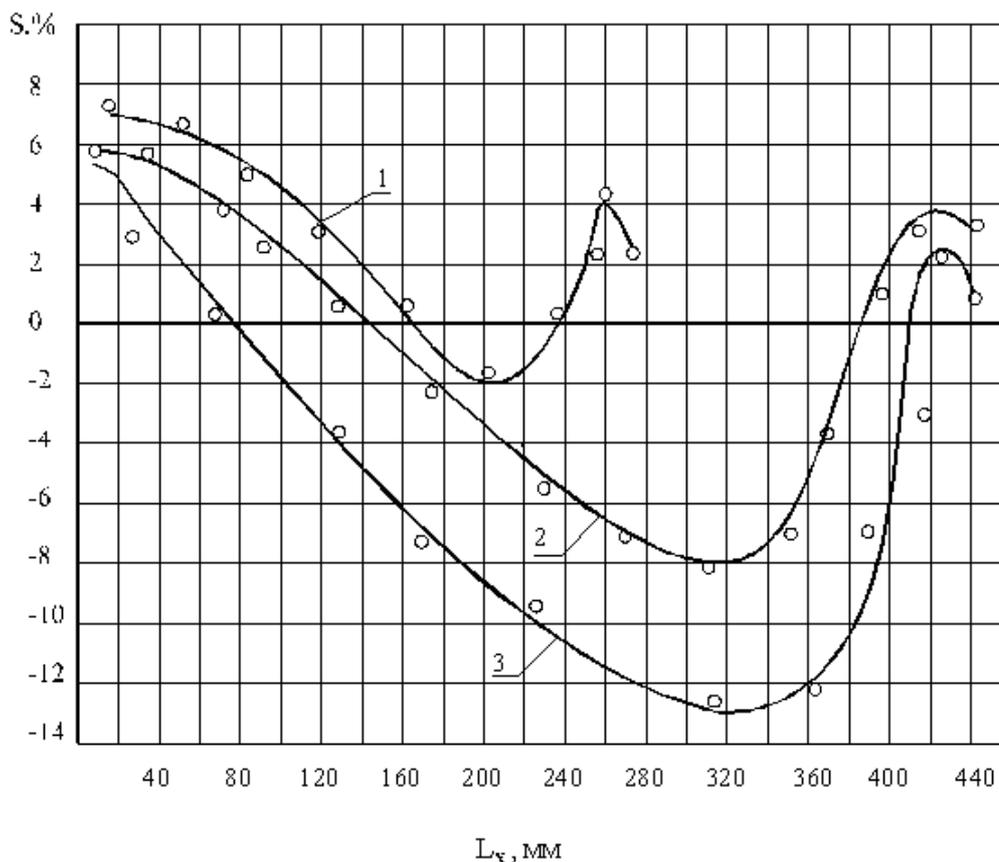
Рисунок 1 – Изменение опережения по длине прокатываемых ступенчатых образцов с их пробуксовкой

Отличительной чертой прокатки относительно высоких полос (кривая 3) является то, что процесс протекает устойчиво при скорости выхода полосы из очага деформации меньше линейной скорости вращения валков. Параметр формы очага деформации при прокатке металла конечной толщиной $h_1 = 30$ мм изменяется в пределах $0,75 \leq l_d/h_{cp} \leq 1,0$. Необходимо подчеркнуть, что при деформации металла с отрицательным опережением 5...7% равновесие в очаге деформации между вытягивающими и выталкивающими силами не нарушается, хотя резерв сил трения, казалось бы, давно использован. Первые признаки пробуксовки полосы наблюдается при отрицательном опережении $S = -13\%$. Таким образом, при деформации относительно толстых полос условие $S = 0$ не является предельным условием захвата.

Во второй серии опытов осуществляли прокатку клиновидных образцов с получением относительно высоких полос при более жестких условиях трения в очаге деформации. Увеличение коэффициента трения достигается предварительной более грубой шлифовкой поверхности рабочих валков по сравнению с вышеописанными опытами. В этой серии опытов деформация металла в зоне контакта полосы с валками происходит без нарушения баланса между вытягивающими и выталкивающими силами (без пробуксовки образцов), что способствует измерению опережения по всей длине проката.

Результаты эксперимента приведены на рис.2. Как видно, в отличие от первой

серии опытов, в данной серии кривые изменения опережения не являются монотонными. По длине прокатываемых образцов опережение дважды принимает нулевое значение. На кривых имеется обширный участок, где скорость движения полосы на выходе из очага деформации меньше линейной скорости вращения валков. Длина этого участка зависит от конечной толщины прокатываемого металла. С увеличением конечной толщины возрастает длина участка с отрицательным опережением. В правой части графиков рис.2 опережение начинает увеличиваться, принимает нулевое значение, становится положительным и достигает экстремального значения, а затем уменьшается.



1 – $h_1 = 14$ мм; 2 – $h_1 = 27$ мм; 3 – $h_1 = 36$ мм

Рисунок 2 – Изменение опережения по длине прокатываемых образцов без их пробуксовки

Такой характер изменения опережения в правой части графиков, приведенных на рис.2, можно объяснить, если сопоставить положение заднего конца полосы при движении его во внеконтактной зоне и в очаге деформации, характеризуемым текущим углом захвата α_x , с опережением. При движении заднего конца полосы по участку внеконтактной зоны, а также в очаге деформации опережение растет, становится положительным и при $\alpha_x = f_y$ достигает максимального значения. При дальнейшем уменьшении текущего угла захвата вплоть до выхода металла из валков оно уменьшается.

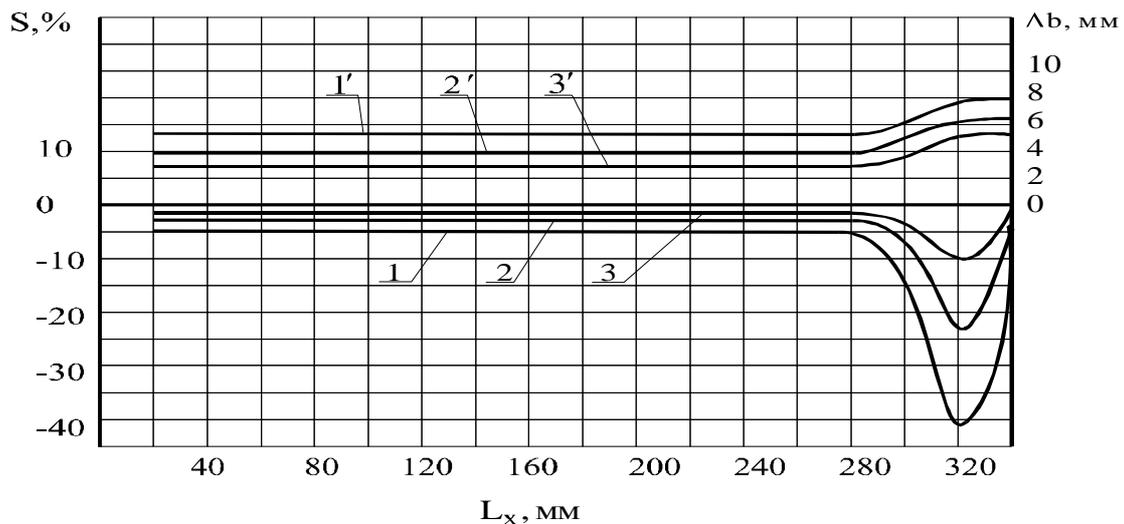
Подчеркнем, что при проведении второй серии опытов визуально не наблюдали начальных признаков затормаживания полосы в валках. Процесс протекает устойчиво, равновесие в очаге деформации не нарушается и при дальнейшем увеличении текущего угла захвата, хотя прокатка уже велась с отрицательным опережением.

Механика устойчивости процесса прокатки с отрицательным опережением в ра-

боте [4] пояснюється залежністю коефіцієнта трия від довжини шляху скольження. С збільшенням цієї довжини зростає коефіцієнт трия, ростуть втягиваючі сили, забезпечуючі рівновагу в очаг деформації. В статті [5] автори пояснюють теоретичну можливість процесу прокатки со сплошним отстаиванием тем, что по мере збільшення продольного скольження металу зменшується скольження його в поперечном напрямку. При цьому відбувається поворот вектора елементарних сил трия, и угол между ним и продольно-вертикальною площиною прокатки зменшується, что приводит к збільшенню втягиваючої сили. В случае развитого продольного скольження на контакте металу с валками, например, при холодной прокатке с эффективной технологической смазкой, приведенные теоретические модели устойчивости процесса с отрицательным опережением сомнений не вызывают. Однако, при прокатке высоких полос, когда продольное скольжение имеет место только по границам контактной зоны, предложенные модели не раскрывают физической сущности такого процесса.

Так, результаты опытов (рис.3) показывают, что при прокатке прямоугольных свинцовых образцов толщиной $h_0 = 42$ мм, разной начальной ширины с одинаковым обжатием $\Delta h = 11$ мм и $l_d/h_{cp} = 0,9$ большему по абсолютной величине отрицательному опережению соответствует более значительное поперечное течение металу. Поэтому вряд ли при прокатке узкой полосы ($b_0 = 28$ мм) следует ожидать, что угол между вектором удельных сил трия и направлением движения металу будет меньшим по сравнению с деформацией более широких полос, хотя скорость выхода ее из валков являлась минимальной. Как видно, в этих опытах уменьшение расстояния между кернами на полосе сопровождается збільшенням уширения металу.

По нашему мнению, в основу теоретической модели прокатки высоких полос с отрицательным опережением может быть положена зависимость среднего давления от обжатия. Известно [1, 2], что с збільшенням обжатия среднее давление уменьшается. Уменьшается и радиальное давление во входной части очага деформации. Поэтому некоторое збільшення обжатия при прокатке со сплошным отстаиванием может не нарушать равновесия металу в валках.



1', 2', 3' – уширение; 1, 2, 3 – опережение
 1 и 1'- $b_0 = 28$ мм; 2 и 2'- $b_0 = 33$ мм; 3 и 3'- $b_0 = 60$ мм

Рисунок 3 – Влияние уширения полосы на опережение

Выводы. В результате опытной прокатки относительно высоких полос установлено, что баланс между втягивающими и выталкивающими силами не нарушается при осуществлении процесса с отрицательным опережением. Значение отрицательного опережения зависит от текущего угла захвата, конечной толщины полосы и ее уширения. Установлено влияние заднего жесткого конца деформируемого металла на значение опережения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Теория прокатки крупных слитков / А.П.Чекмарев, В.Л.Павлов, В.И.Мелешко, А.В.Токарев. – М.: Металлургия, 1968. – 252с.
2. Смирнов В.С. Теория прокатки / В.С.Смирнов. – М.: Металлургия, 1967. – 460с.
3. Бояршинов М.И. Об отрицательном опережении при прокатке / М.И.Бояршинов, В.В.Мельцер // Изв. вузов. Черная металлургия. – 1964. – № 9. – С.106-112.
4. Грудев А.П. Захватывающая способность прокатных валков / А.П.Грудев. – М.-СП: Интернет Инжиниринг, 1998. – 283с.
5. Контактное трение в процессах обработки металлов давлением / [А.Н.Леванов, Л.В.Колмогоров, С.П.Буркин и др.]. – М.: Металлургия, 1976. – 416с.

Поступила в редколлегию 04.06.2012.