

УДК 621.774.6

Федоринов В. А.
Гаврильченко О. А.
Завгородний А. В.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛА ПРИМЕНИТЕЛЬНО К УСЛОВИЯМ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ПРАВКИ НЕПРЕРЫВНОЛИТЫХ ЗАГОТОВОК

В настоящее время в мире производится свыше 350–380 млн т непрерывнолитых сортовых заготовок в год и эта цифра весьма быстро увеличивается, что подтверждает эффективность технологических и конструктивных решений в части сортовых машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ). Достаточно сказать, что только за последнее десятилетие производство сортовой заготовки было освоено более чем на двух десятках металлургических заводов СНГ, в том числе на пяти металлургических предприятиях Украины (всего 30 ручьев). Крупнейшим производителем непрерывнолитых сортовых заготовок в СНГ является ПАО «Енакиевский металлургический завод» [1].

При этом развитие процессов непрерывного литья заготовок происходит в условиях ужесточающейся конкурентной борьбы на мировом рынке, основными требованиями которого являются повышение качества продукции при одновременном снижении ее себестоимости. Из года в год совершенствуется конструкция машин, а также технологические режимы получения заготовок в направлении повышения их качества и производительности. Так как наибольшее распространение получили МНЛЗ радиального или криволинейного типа, то наличие криволинейной заготовки на выходе из зоны вторичного охлаждения делает необходимым использование специальных тянуще-правильных устройств (ТПУ), обеспечивающих и транспортное перемещение, и правку получаемых заготовок [1–3].

Учеными и специалистами научных школ под руководством Дунаевского В. И., Королева А. А., Недорезова И. В., Слонима А. З., Смирнова В. В., Сониной А. Л., Целикова А. И., Чекмарева А. П. и других разработаны и широко используются инженерные методы расчета технологий и оборудования для реализации процессов правки. Данные методы характеризуются низкой информативностью и достоверностью получаемых результатов. Также известен ряд численных математических моделей процессов правки изгибом. Однако, отсутствие учета влияния температурного фактора и, в частности, неоднородности распределения температур по толщине листов, подвергаемых правке, снижает достоверность результатов численной реализации, а также диапазон возможного использования данной математической модели. Невозможным в этом случае является её применение к расчету процесса правки изгибом непрерывнолитых заготовок, характеризующихся высокой вероятностью наличия жидкой фазы в их осевой зоне.

Отсутствие надежных и быстродействующих способов технологических настроек как роликов опорного ролика ТПУ МНЛЗ, приводит к снижению качества готовой металлопродукции, а также к снижению производительности оборудования в целом, вследствие зависимости от человеческого фактора. Необходимым является дальнейшее совершенствование алгоритма, позволяющего определять настройки опорного ролика ТПУ, которые обеспечат получение требуемой плоскостности готовой металлопродукции при условии минимизации остаточных напряжений за счет более многофакторной их оценки.

Целью работы является оценка степени достоверности разработанных методик расчета и уточнение исходных предпосылок применительно к конкретным технологиям и условиям реализации процесса правки заготовок в ТПУ сортовых МНЛЗ.

Для физического моделирования процесса правки непрерывнолитых заготовок на участке ТПУ МНЛЗ и оценки степени достоверности полученных теоретических решений использовалась экспериментальная листопрямляющая машина $5 \times 100 \times 250$, максимально

полно имитирующая конструкцию ТПУ ПАО «Енакиевский металлургический завод». При этом, как и в оригинальной конструкции ТПУ, приводными были выполнены первые два тянущих ролика 1, 2 (рис. 1), а также верхний тянущий ролик второй пары 4, в то время как опорный 3 и тянущий 5 рабочие ролики были выполнены неприводными.

В качестве экспериментальных образцов использовали квадратные заготовки сечением 23×23 и длиной 1500 мм, изготовленные из свинца С1, а непосредственно процесс их правки происходил в два этапа: на первом этапе зона противоизгиба находилась на нижнем ролике 2 первой тянущей пары, а на втором этапе данная зона находилась на опорном ролике 3 (рис. 1). Исходная кривизна составляла 115 мм/0,5 м. После процесса правки на лабораторной экспериментальной машине $100 \times 105 \times 250$ ДГМА, кривизна составила 0,0001 мм/0,5 м.

Величину перекрытия W_3 опорного ролика 3 по отношению к роликам тянущих пар 2 и 5 регулировали при помощи его нажимного механизма, выполненного в виде передачи винт-гайка. При этом геометрические характеристики самой настройки, то есть величина перекрытия опорного ролика W_3 , наряду с соответствующими номерами проведенных экспериментов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Геометрические характеристики настройки роликовой системы экспериментальной установки, моделирующей ТПУ МНЛЗ ПАО «Енакиевский металлургический завод»

№ эксперимента	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
W_3 , мм	0	0,5	1	1,25	1,5	1,75	2	2,25	2,5	4

Исходя из условия соблюдения геометрического подобия, радиус исходной кривизны, при шаге роликов 2, 3, 5 равном 105 мм, был принят $R_0 = 700$ мм, а скорость правки соответствовала 50 мм/сек. Измерения сил на каждом из рабочих роликов осуществляли при помощи мездоз, а суммарного момента правки при помощи системы токосъемников датчиков момента на коренном валу привода установки. Остаточную кривизну получаемых заготовок фиксировали посредством измерения величины их прогиба на базовой длине.

Принципиальная схема и общий вид экспериментальной установки $5 \times 100 \times 250$ ДГМА, применительно к исследованию условий правки непрерывнолитых заготовок на участке ТПУ МНЛЗ, иллюстрированы рис. 1 и 2, а на рис. 3 и в табл. 2 представлены, соответственно, общие виды заготовок после их правки, а также количественные оценки сил, действующих на третий опорный ролик P_3 , полученные при различных значениях величины его перекрытия W_3 .

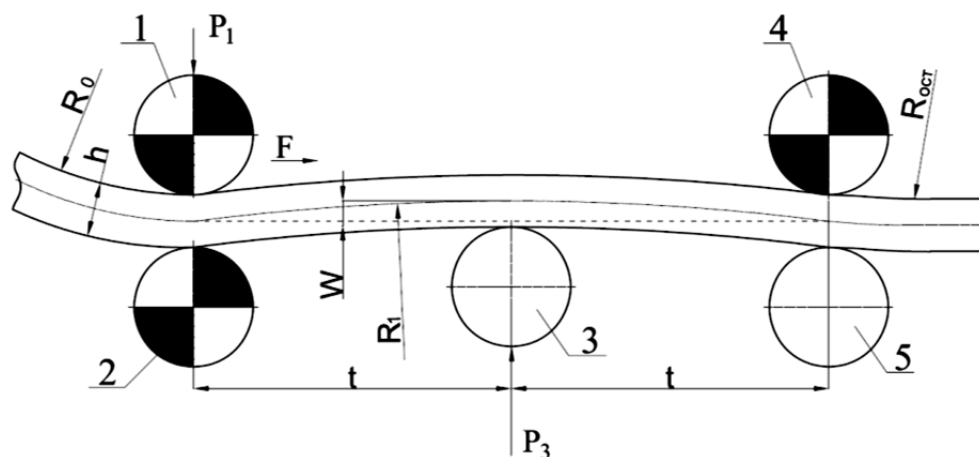


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментального исследования процесса правки непрерывнолитых заготовок на участке ТПУ МНЛЗ



Рис. 2. Общий вид экспериментальной установки $5 \times 100 \times 250$ ДГМА, моделирующей процесс правки непрерывнолитых заготовок на участке ТПУ МНЛЗ

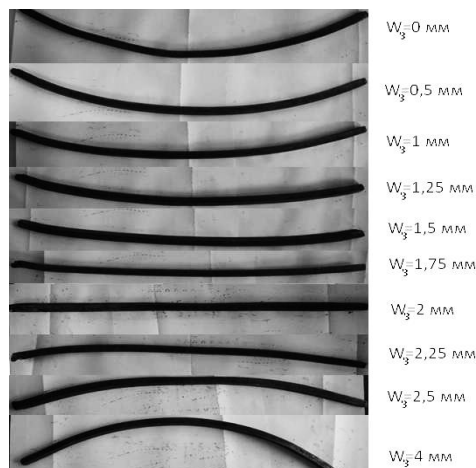


Рис. 3. Общие виды свинцовых образцов после их правки на экспериментальной установке $5 \times 100 \times 250$ ДГМА (свинец С1, $h \times B = 23 \times 23$ мм; $\chi_0 = 0,0014$ мм⁻¹)

Таблица 2

Экспериментальные значения силы, действующей на третий опорный ролик P_3 в зависимости от величины перекрытия данного ролика W_3 , полученные при моделировании процесса правки свинцовых (С1) образцов сечением 23×23 мм на пятироликовой правильной машине

$5 \times 100 \times 250$ ДГМА

№ опыта	Величина перекрытия третьего опорного ролика W_3 , мм	Сила правки, действующая на третий опорный ролик P_3 , Н
1	0,0	175
2	0,5	220
3	1,0	250
4	1,25	250
5	1,5	275
6	1,75	290
7	2,0	290
8	2,25	300
9	2,5	300
10	4,0	300

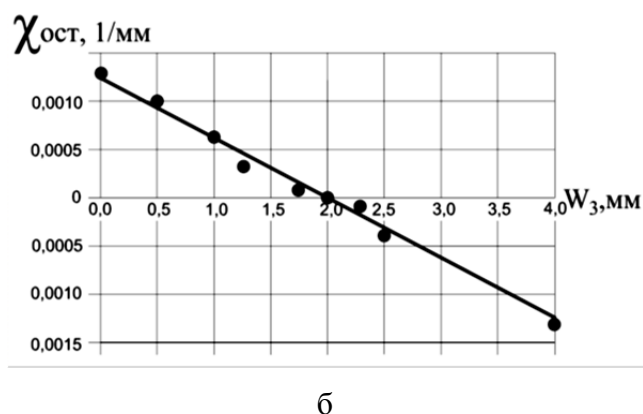
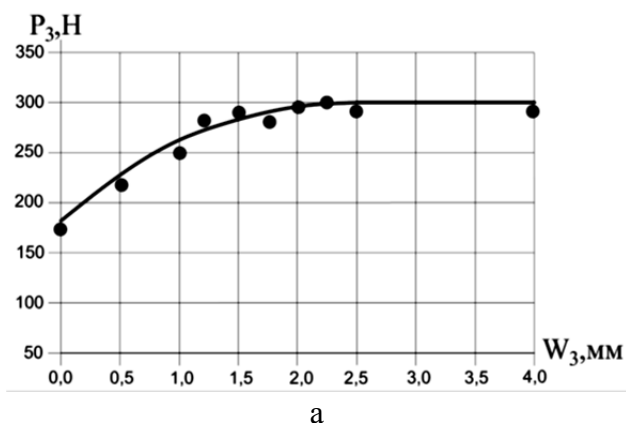


Рис. 4. Эмпирические и расчетные распределения силы P_3 (а) и остаточной кривизны $\chi_{ост}$ (б) в зависимости от величины перекрытия опорного ролика W_3 при реализации процесса правки на экспериментальной установке $5 \times 100 \times 250$ ДГМА (свинец С1, $h \times B = 23 \times 23$ мм; $\chi_0 = 0,0014$ мм⁻¹)

Кроме того, на рис. 4 даны обобщенные эмпирические, то есть полученные экспериментально, и расчетные, полученные на основе результатов численной реализации разработанной математической модели, распределения силы P_3 и остаточной продольной кривизны $\chi_{ост}$ в зависимости от величины перекрытия W_3 .

Из анализа результатов выполненных экспериментальных исследований является очевидным, что с увеличением величины перекрытия третьего опорного ролика W_3 остаточная кривизна получаемых заготовок снижается, в диапазоне $W_3 = 2,25$ мм она практически равна нулю, а при больших значениях результирующая кривизна, по отношению к исходной, меняет свой знак (см. рис. 4, б). Одновременно с этим, имеет место некоторое увеличение силы P_3 , количественная оценка интенсивности которого является максимальной при малых значениях W_3 и практически нивелируется при $W_3 > 2,25$ мм (см. рис. 4, а).

Количественная оценка степени соответствия результатов теоретических оценок и экспериментальных исследований энергосиловых параметров процесса правки была проведена с использованием результатов статической обработки массивов [4] соотношений расчетных P_p , и эмпирических $P_э$ значений силы правки. Средне выборочные значения массивов данных соотношений, в частности, были равны 1,003, а доверительные интервалы их изменения при доверительной вероятности 0,95 соответствовали 0,971...1,035. При статической обработке массивов соотношений расчетных χ_p , и эмпирических $\chi_э$ значений результирующей кривизны, средне выборочные значения массивов данных соотношений были равны 0,995, а доверительные интервалы их изменения при доверительной вероятности 0,95 соответствовали 0,963...1,027. Отмеченное свидетельствует о достаточной степени достоверности полученных численных математических моделей [3].

ВЫВОДЫ

Комплекс экспериментальных исследований позволил получить эмпирические зависимости силы правки от смещения средней пары роликов при правке заготовок, а также разработать рекомендации по выбору параметров настройки рабочих роликов. Определены и экспериментально подтверждены оптимальные технологические параметры исследуемого процесса.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смирнов А. Н. *Непрерывная разливка стали : учебник для вузов / А. Н. Смирнов, С. В. Куберский, Е. В. Штепан. – Донецк : ДонНТУ, 2011. – 482 с. : прил.*
2. *Машины непрерывного литья заготовок / Л. В. Буланов, Л. Г. Корзулин, Е. П. Парфенов, Н. А. Юровский, В. Ю. Авдонин. – Екатеринбург : Уральский центр ПР и рекламы, 2003. – 32 с.*
3. *Математическое моделирование напряженно-деформированного состояния металла на участке правильно-тянущих установок непрерывного литья / В. А. Федоринов, О. А. Гаврильченко, А. В. Завгородний [и др.] // Обработка материалов давлением : сб науч. тр. – Краматорск : ДГМА, 2010. – № 1 (21). – С. 105–110.*
4. Крамер Г. *Математические методы статистики / Г. Крамер. – М. : Мир, 1975. – 648 с.*

Федоринов В. А. – канд. техн. наук, проф., зав. каф. АММ ДГМА;

Гаврильченко О. А. – канд. техн. наук, ассистент каф. ПТМ ДГМА;

Завгородний А. В. – аспирант ДГМА.

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

E-mail: amm@dgma.donetsk.ua

Статья поступила в редакцию 11.01.2012 г.