

УДК 621.982

Грибков Э. П.
Федоринов М. В.
Гаврильченко О. А.
Кулик Н. А.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ХОЛОДНОЙ И ГОРЯЧЕЙ ПРАВКИ ОТНОСИТЕЛЬНО ТОЛСТЫХ ЛИСТОВ*

С точки зрения расширения сортамента готовой металлопродукции немаловажными являются разработка, исследование и освоение принципиально новых технологических решений и конструктивных исполнений. К таким технологическим решениям следует отнести процесс горячей правки на машинах с индивидуальной настройкой правильных роликов, позволяющих реализовать многовариантные, отличные от традиционных схем технологические настройки, а также на машинах, позволяющих реализовать изгиб правильных роликов для устранения местных дефектов плоскостности.

Процессы правки изгибом достаточно полно исследованы с точки зрения инженерных подходов, однако математические модели данного класса обладают рядом грубых допущений и позволяют производить расчет лишь энергосиловых параметров реализуемого процесса, в то время как наибольший интерес в настоящее время представляют показатели качества готовой металлопродукции, такие как результирующая кривизна листа, а также степень ее стабильности [1–3].

Разработанная математическая модель процесса холодной и горячей правки изгибом относительно толстых листов является достаточно быстродействующей и позволяет производить прогнозирование основных показателей качества готовой металлопродукции, а также автоматизированное проектирование технологических режимов работы многороликовой листопрямительной машины [1].

Оценка степени достоверности полученных теоретических решений и разработанных на их основе практических рекомендаций может быть осуществлена с использованием результатов экспериментальных исследований. Полученные результаты могут быть использованы для уточнения исходных данных для численной реализации полученных математических моделей и соответствующих им программных средств. Целесообразным в этом случае является и разработка новых экспериментальных установок, обеспечивающих снижение трудоемкости и повышение точности результатов экспериментальных исследований.

Целью данной работы является экспериментальное исследование процессов холодной и горячей правки относительно толстых листов

Экспериментальные исследования интегральных характеристик энергосиловых параметров и результирующей кривизны, получаемой при правке заготовок из свинца и сталей различных марок, были проведены на созданной для этих целей лабораторной девятироликовой листопрямительной машине $9 \times 100 \times 250$ Донбасской государственной машиностроительной академии (рис. 1).

Установка состоит из клетки рабочей 1, шпиндельного устройства 2, шестеренной клетки 3, редуктора 4 и приводного мотор – редуктора 5.

Клеть рабочая включает узел станин, девять блоков правильных валков и нажимные винты, совмещенные с системой уравнивания пружинного типа.

При экспериментальном исследовании процесса горячей правки, пластической деформации подвергали исходные листовые заготовки из свинца С1, а также из стали Ст3 и стали 45. Стальные образцы перед правкой нагревали в электропечи сопротивления до температуры 400–600 °С.

* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, проф. Сатонина А. В.

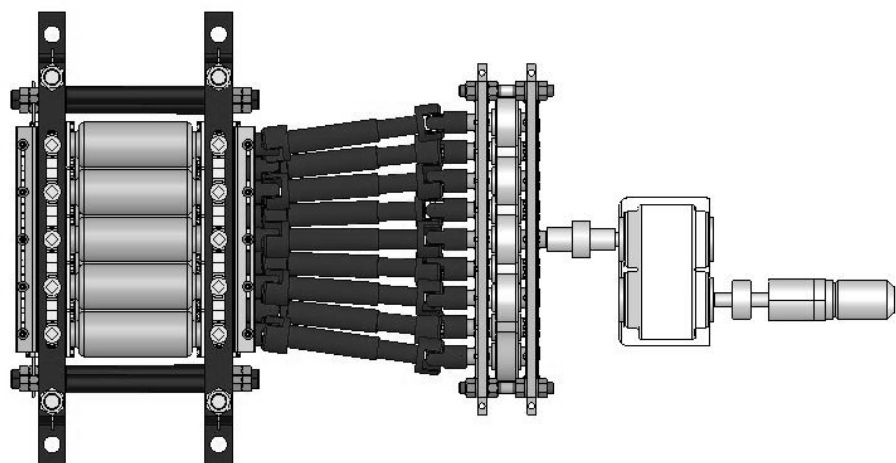
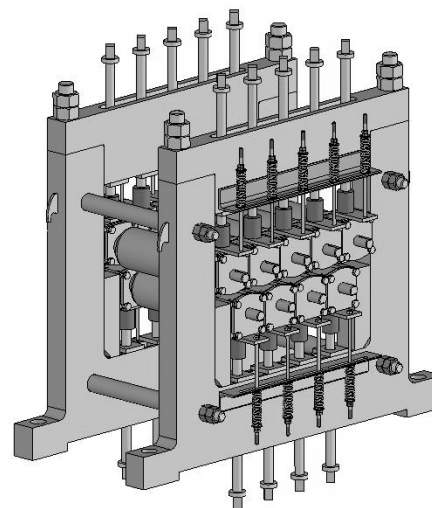
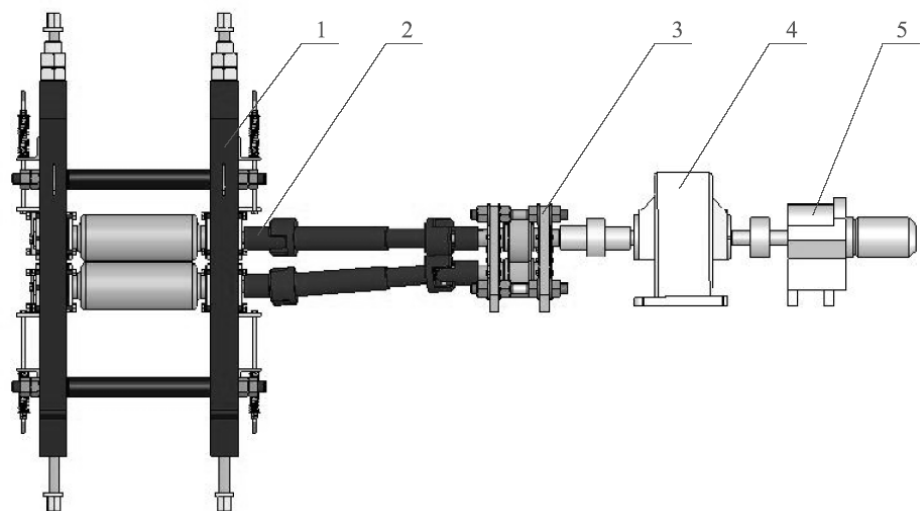


Рис. 1. Общий вид экспериментальной установки для исследования процесса правки относительно толстых листов

При экспериментальном исследовании процесса холодной правки, пластической деформации подвергали листовые заготовки из стали 08 кп, стали 45 и стали 65 Г. Ширина направляемых стальных листовых заготовок составляла 100 мм, а свинцовых – 150 мм.

Регистрировали передаваемый суммарный крутящий момент правки, для этого использовали тензометрические датчики сопротивления, наклеенные на тело коренного вала (рис. 2). Под нажимными винтами каждого из девяти правильных роликов размещались мессдозы с кольцевым упругим элементом, рассчитанные на восприятие нагрузки до 10000 Н (рис. 3). Таким образом, одновременно с деформацией заготовки фиксировали все основные технологические параметры реализуемого процесса, а именно: величину силы правки и крутящего момента; исходную и результирующую кривизну заготовки, которые оценивали исходя из прогиба на базовой длине. Запись текущих во времени значений всех регистрируемых параметров, за исключением скорости и кривизны, а также их последующую расшифровку осуществляли при помощи ЭВМ с использованием аналогово-цифровых преобразователя L-Card E140-44D и аналитической интерпретации соответствующих тарировочных графиков [4].

Тарировку измерителей силы правки и крутящих моментов производили непосредственно на установке путем их имитационного нагружения соответствующими силами и моментами известной величины.

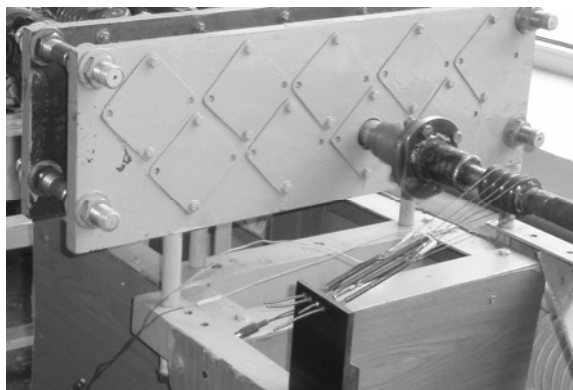


Рис. 2. Система токосъемников датчиков момента на коренном валу привода установки

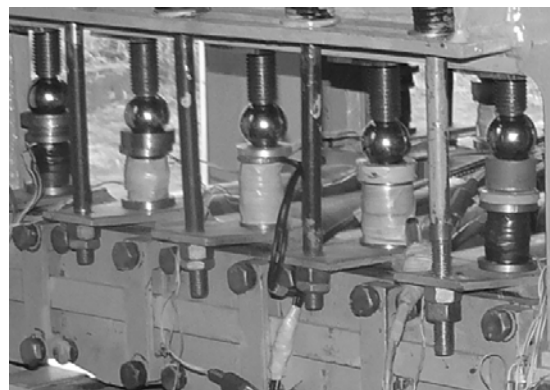


Рис. 3. Система силоизмерительных мессдоз под нажимными винтами установки

Одним из путей повышения точности снятия экспериментальных данных было увеличение частоты опроса датчиков аналогово-цифровым преобразователем в единицу времени. Полученный таким образом достаточно громоздкий массив данных обрабатывался путем усреднения близкорасположенных 10–100 значений (общее число значений в одном эксперименте превышало 16000), что позволяло снизить влияние как условий эксперимента, так и погрешности непосредственно системы датчиков и аналогово-цифрового преобразователя.

Настройка роликов экспериментальной установки при исследовании процессов правки образцов толщиной 9 мм из свинца марки С1 при температуре 18 °С показана в табл. 1.

Результаты эксперимента, полученные в результате статистической обработки по описанному алгоритму информационного массива данных, приведены в табл. 2 и 3 – соответственно силы и моменты правки.

Согласно исходным данным, соответствующим представленным в табл. 1 условиям проведения экспериментов, были выполнены расчеты энергосиловых параметров процесса правки. Результаты расчетов приведены в табл. 3.

Сопоставление экспериментальных данных процессов правки образцов толщиной 9 мм из свинца марки С1 с результатами расчетов свидетельствуют о качественном и количественном соответствии. Среднее отклонение результатов расчета от экспериментальных данных для силы правки не превышает 30 %. Для моментов правки отклонение результатов расчета выше и может превышать 100 %. На наш взгляд, это вызвано, прежде всего, тем, что привод экспериментальной установки выполнен групповым, что никак не учитывается расчетной моделью.

Таблица 1

Настройка роликов экспериментальной установки при исследовании процесса правки образцов толщиной 9 мм из свинца марки С1

№ опыта	Перегибы листа на роликах, мм				
	1	3	5	7	9
2	-2,5	-5	-	-	-
3	-2,5	-6,25	+1	-	-
4	-2,5	-7,5	+2	+1	-
5	-2,5	-7,5	+3,5	+3	+5
6	-2,5	-7,5	+3	+2	+3,75
7	-2,5	-7,5	+3	+1,5	+2,5
8	-2,5	-7,5	+2	+2	+2,5
9	-2,5	-7,5	+2	+1,5	+2,5
10	-2,5	-7,5	+1	+1	+1,875

Таблица 2

Силы правки при исследовании образцов толщиной 9 мм из свинца марки С1

№ опыта	Сила правки, Н										Момент правки, Н·м
	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	P ₉	P _Σ	
1	331,2	1043	3237,2	3016,3	2120	1300	521,9	479	280	13828,6	9908,5
2	831,2	3543	6570,5	5483	4560	3640	855,2	513,5	367	26363,4	150,8
3	1305,5	1389	9220,9	6754	5983	4013	1389,4	738,5	433	31226,3	287,0
4	1348,1	5425,4	8896,3	7026,8	6098	5004,2	1937,2	968,3	572	37276,3	149,8
5	1346,5	4963,8	9393,5	6340	4990,8	2067	940,5	805,2	493,6	31340,9	116,6
6	1421,1	5311,5	9652	6172,4	5097	3448	1168,8	799	401	33470,8	115,6
7	1433,5	5212	9605,8	6462	4860	2137	940	608	356,4	31614,7	91,4
8	1393,4	5241,6	9509,1	6364,7	4756	2008	1007	702	400,2	31382	86,1
9	1182	4856	9318,2	6218	4116	1999,5	1000	679,3	396	29765	89,8
10	1404,3	4882,8	9057,1	6150,4	4060	1849	1104,6	704	416,3	29628,5	80,0

Таблица 3

Результаты расчетов сил правки образцов толщиной 20 мм из свинца марки С1

№ опыта	Сила правки, Н										Момент правки, Н·м
	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	P ₉	P _Σ	
1	1104,0	2607,5	8093,0	7540,8	5300,0	3250,0	1304,8	1197,5	700,0	31097,5	90,6
2	2770,7	8857,5	16426,3	13707,5	11400,0	9100,0	2138,0	1283,8	917,5	66601,2	145,1
3	4351,7	3472,5	23052,3	16885,0	14957,5	10032,5	3473,5	1846,3	1082,5	79153,7	193,9
4	4493,7	13563,5	22240,8	17567,0	15245,0	12510,5	4843,0	2420,8	1430,0	94314,2	177,9
5	4488,3	12409,5	23483,8	15850,0	12477,0	5167,5	2351,3	2013,0	1234,0	79474,3	181,4
6	4737,0	13278,8	24130,0	15431,0	12742,5	8620,0	2922,0	1997,5	1002,5	84861,3	185,3
7	4778,3	13030,0	24014,5	16155,0	12150,0	5342,5	2350,0	1520,0	891,0	80231,3	185,3
8	4644,7	13104,0	23772,8	15911,8	11890,0	5020,0	2517,5	1755,0	1000,5	79616,2	185,3
9	3940,0	12140,0	23295,5	15545,0	10290,0	4998,8	2500,0	1698,3	990,0	75397,5	187,3
10	4681,0	12207,0	22642,8	15376,0	10150,0	4622,5	2761,5	1760,0	1040,8	75241,5	189,4

Примеры осциллографических протоколов исследований представлены на рис. 4–5.

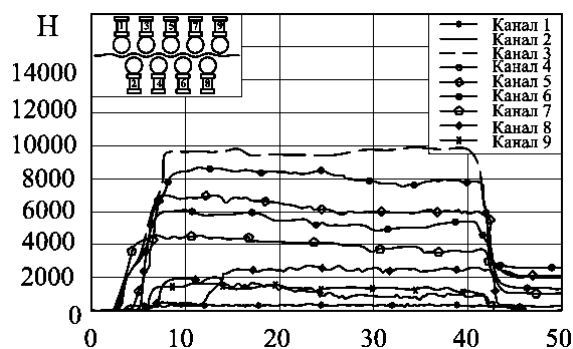


Рис. 4. Силы на роликах экспериментальной установки

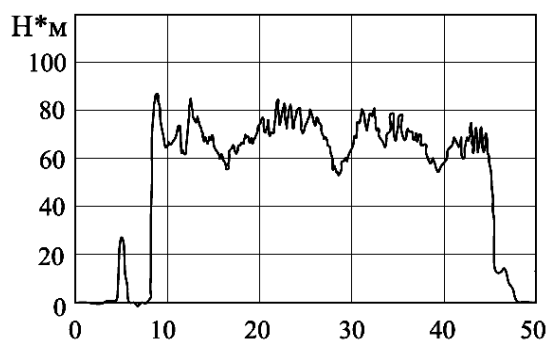


Рис. 5. Момент суммарный

Разработанная модель, кроме того, позволяет оценивать как влияние исходной кривизны металла на энергосиловые параметры процесса правки, так и остаточную кривизну металла и уровень остаточных напряжений в листе после выхода из машины в зависимости от настройки рабочих роликов. Эта особенность обеспечивает возможность применения модели для автоматизированного проектирования технологических режимов процесса правки исходя из условия обеспечения требуемого качества готовой металлопродукции.

При проведении экспериментальных исследований было соблюдено правило подобия применительно к условиям реализуемого процесса на ЛПМ № 1 АПР 5...25 Магнитогорского металлургического комбината, Россия.

ВЫВОДЫ

Комплекс экспериментальных исследований позволил оценить степень достоверности полученных теоретических результатов с точки зрения определения основных энергосиловых параметров процесса правки, а также прогнозирования основных показателей качества готовой металлопродукции, разработать мероприятия по совершенствованию математической модели и созданию соответствующих программных средств, которые были использованы при автоматизированном проектировании технологических режимов процессов правки. При этом были также уточнены исходные данные на численную реализацию полученных программных средств, и разработаны рекомендации по выбору таких параметров настройки как коэффициент проникновения пластической деформации, шаг перебора настройки каждого из рабочих роликов и т. д.

ЛИТЕРАТУРА

1. Новые разработки ЗАО «НКМЗ» в технологии и оборудовании для правки толстых листов / А. И. Титаренко, Ю. Н. Белобров, В. Г. Сминов [и др.] // *Металлург.* – 2006. – № 11. – С. 66–70.
2. Белобров Ю. Н. Современные листопрямильные машины / Ю. Н. Белобров, В. Г. Смирнов, А. И. Титаренко // *Металлург.* – 2002. – № 9. – С. 50–52.
3. Белобров Ю. Н. Совершенствование конструктивных параметров и расширение технологических возможностей машин для правки толстых листов / Ю. Н. Белобров, В. Г. Смирнов, А. И. Титаренко // *Труды 4 Конгресса прокатчиков, Магнитогорск, 16–19 окт.* – 2001. – Т. 1. – М.: ОАО «Черметинформация». – 2002. – С. 99–103.
4. Бегунов А. А. Система локальных и удаленных экспериментальных исследований / А. А. Бегунов, М. А. Бегунов, А. А. Сатонин // *Вестник Луганского национального педагогического университета им. Т. Шевченко.* – Луганск: ЛНПУ. – 2006. – № 21 (116). – Ч. 1. – С. 28–32.

Грибков Э. П. – канд. техн. наук, доц. ДГМА;
 Федоринов М. В. – канд. техн. наук, ст. преп. ДГМА;
 Гаврильченко О. А. – аспирант ДГМА;
 Кулик Н. А. – аспирант ДГМА.

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

E-mail: amm@dgma.donetsk.ua