

6. Перель Л.Я., Филатов А.А. Подшипники качения: Расчёт, проектирование и обслуживание опор: справочник. 2-е изд. М.: Машиностроение, 1992. 608 с.
7. Пузик Е.А., Жиркин Ю.В., Филатов А.А. Повышение долговечности подшипниковых опор прокатных клетей «кварто» при их техническом обслуживании. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2013, № 3 (51) С 83-88.

8. Жиркин Ю.В., Пузик Е.А., Султанов Н.Л. Проектирование тяжело нагруженных подшипниковых опор, смазываемых системой «масло-воздух». // Вестник машиностроения, 2016, № 9. С. 58-62
9. Жиркин Ю.В., Пузик Е.А. Аналитически-экспериментальное определение температурного коэффициента режима ЭГД-смазки. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2013, № 1(41). С 73-75.



УДК 621.774.38

**Е.А. Максимов, Е.П. Устиновский**  
 ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)»,  
 г. Челябинск, Россия  
 E-mail: maksimov50@mail.ru  
 Дата поступления: 24.10.2016

## ДООСНАЩЕНИЕ РОЛИКОВОЙ ПРАВИЛЬНОЙ МАШИНЫ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЛИСТОВОГО ПРОКАТА

### Аннотация

Представлена конструкция семироликовой правильной машины с устройством для отгибания переднего конца листа. Правка листа на такой машине позволяет повысить качество выправляемых листов. Разработана методика расчета параметров рамы устройства для отгибания переднего конца листа при его правке. При проведении лабораторных исследований с помощью поляризационно-оптического метода определены напряжения в верхней поперечине и основании рамы устройства.

**Ключевые слова:** правильная машина, листовой прокат, качество.

### Введение

Анализ конструкций роликовых правильных машин (РПМ) позволил выявить следующие направления их дальнейшего развития [1-7]:

- увеличение жесткости роликового узла путем использования опорных роликов различной конструкции,
- установка предохранительных устройств для предупреждения перегрузки роликового узла,
- увеличение скорости правки,
- использование устройства для отгибания (перегиба) переднего конца листа,

- автоматизация контроля качества выправляемого листового проката.

При правке листа на РПМ как правило наблюдается снижение качества правки из-за отсутствия технологических возможностей для выправления переднего конца листа. Кроме того, в результате недостаточного выправления кривизны листа при выходе из машины передний конец листа изгибается вниз ниже уровня правки. При этом передний конец листа упирается в первый ролик рольганга, что вызывает необходимость оператору делать реверс машины и проводить повторную правку.

При правке передний участок листового проката и оставшаяся часть листа находятся в разных условиях нагружения.

При правке листа, находящегося между роликми правильной машины, лист представляет собой как бы многоопорную балку, нагруженную сосредоточенными силами от роликов. Но передний участок листового проката не опирается на роликми и не выправляется, сохраняя изгиб вниз.

Целью работы является дооснащение роликмвой правильной машины (РПМ) для повышения качества выправляемых листов

путем разработки устройства для отгибания (перегиба) переднего конца листа.

### Основная часть

На рисунке 1 приведена схема семироликовой РПМ Старокраматорского машиностроительного завода (СКМЗ). В машине такой конструкции устройство для отгибания переднего конца листа отсутствует и выправление переднего конца листа невозможно, что снижает его качество.

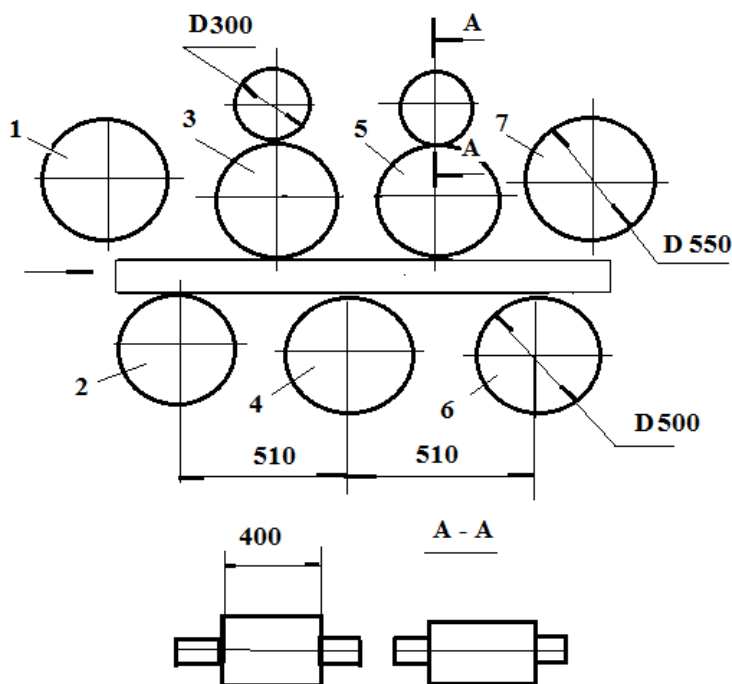


Рисунок 1. Схема семироликовой РПМ СКМЗ: 1-7 – номер ролика

Рассмотрим семироликовую правильную машину с устройством для отгибания (перегиба) переднего конца листа (рисунки 2 и 3).

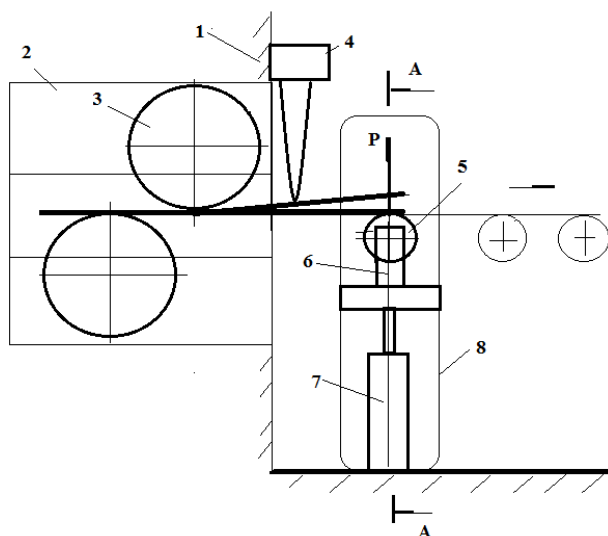


Рисунок 2. Схема роликмвой правильной машины с устройством для отгибания переднего конца листа: 1- станина, 2- верхние и нижние кассеты, 3- рабочие роликми, 4- треугольный упор, 5- неприводной ролик, 6 - корпус крепления ролика, 7-гидроцилиндр, 8- рама

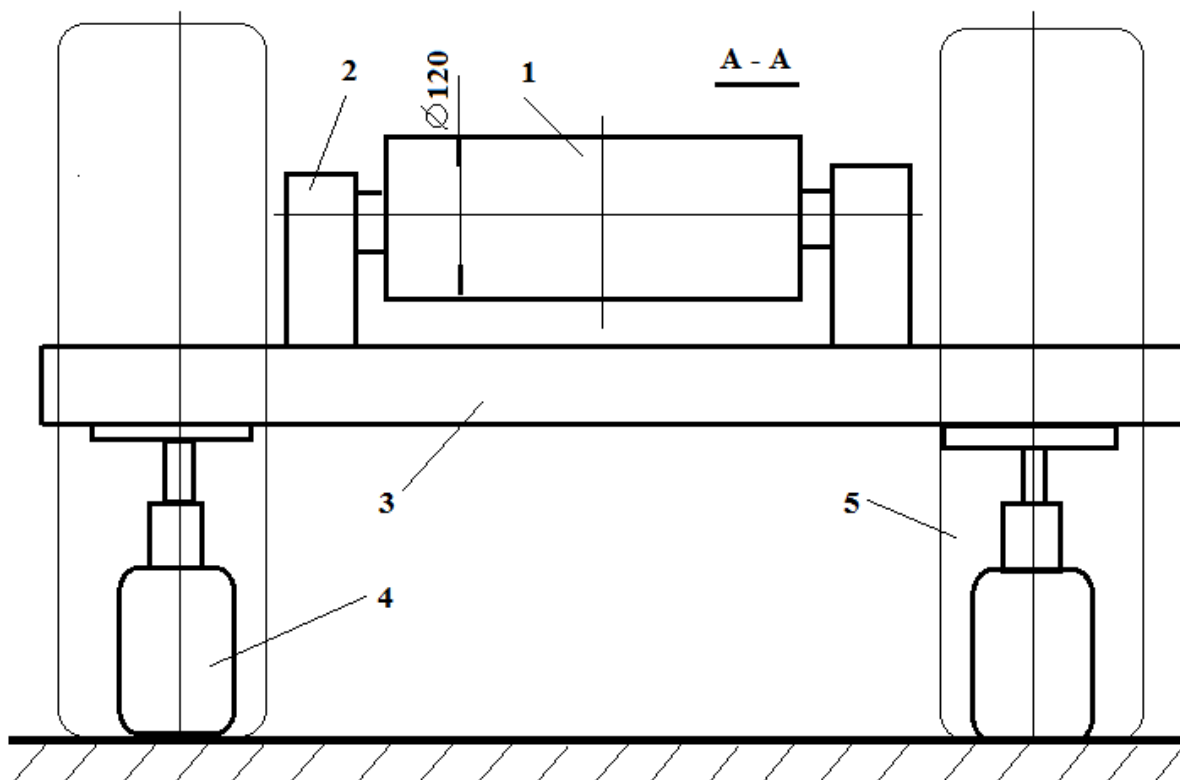


Рисунок 3. Схема устройства для отгибания переднего конца листа: 1- неприводной ролик, 2- корпус крепления ролика, 3-плита, 4-гидроцилиндр, 5- рама

Расчеты показали, что в устройстве могут использоваться два гидроцилиндра марки ЦГ =40.25- 435.17 [8].

Техническая характеристика гидроцилиндра представлены в таблице 1.

Таблица 1

Техническая характеристика гидроцилиндра

Параметры	Значение
Рабочее давление в гидросистеме, МПа	16
Предельное осевое усилие на штоке, кН	20,1
Диаметр поршня, мм	40
Ход поршня, мм	435
Длина гидроцилиндра, мм	580
Диаметр штока, мм	25

Правка листа на роликовой правильной машине выполняется следующим образом. Выправляемый лист по рольгангу подается в установленные в станине верхние и нижние кассеты, несущие правильные приводные ролики. Затем включается главный электропривод и лист протягивается между приводными правильными роли-

ками. В результате знакопеременного перегиба листа между роликами его кривизна снижается и на последнем ролике становится минимальной. Однако выправление переднего конца листового проката при его изгибе вниз не происходит, так как отсутствуют ролики для его перегиба в противоположном направлении. При увеличении рабочего давления в гидросистеме гидроцилиндра – выдвигается его шток, который передает усилие на неприводной ролик. При знакопеременном перегибе переднего конца листа между роликом и упором снижается его кривизна, а качество правки листа улучшается.

В лабораторных условиях проведено комплексное экспериментальное исследование рамы устройства для отгибания переднего конца листа поляризационно-оптическим методом с целью определения напряжений, возникающих при работе устройства.

Рама исследуемого устройства представляет собой массивную замкнутую конструкцию, для которой определялись все компоненты тензора напряжений.

Для изучения напряженного состояния листа поляризационно- оптическим методом была изготовлена модель рамы из оптически активного материала марки ЭД-6. Экспериментальные решения объемных задач прочности листа поляризационно- оптическим методом основаны на возможности «замораживания» деформаций в изучаемых моделях. Суть процесса «замораживания» заключается в следующем. Исследуемая модель помещалась в термостат и медленно нагревалась до температуры +135 °С для материала марки ЭД-6. Оптически активный материал имеет двухфазную структуру. При температуре «замораживания» его аморфная составляющая переходит в новое состояние. Если в этом состоянии изучаемую модель нагрузить системой сил и не снимая нагрузки постепенно понизить температуру в термостате до комнатной, то возникающие при температуре «замораживания» деформации модели окажутся зафиксированными. Аморфная составляющая материала модели, возвратившись в обычное упругое состояние, как бы заморозит их. «Замораживание» модели проводилось в термостате марки BFW-10 по суточной программе, а нагружение проводилось пневмонагружателем. Величина удельного давления при пневмонагружателе составляла  $7,84 \times 10^4$  Па, полного давления

260,68Па. После «замораживания» модель разрезалась на отдельные фрагменты. Полученные срезы обрабатывались на поляризационно- оптической установке ФМВ-53. Снимки полос интерференции представлены на рис.4.

Для расшифровки полос интерференции были определены оптические постоянные  $4,096 \text{ МПа} \times \text{мм/полос}$ .

На рисунке 5 показано расположение модели, принятой при обработке результатов экспериментов, в соответствии с выбранной системой среза, срединная плоскость которой параллельна плоскости  $X Y Z$ .

Разность нормальных напряжений  $(\sigma_y - \sigma_z)$  и касательные напряжения  $\tau_{yz}$  определяли по формуле

$$(\sigma_y - \sigma_z) = \sigma_0 \frac{m_x}{t_x} \text{Cos} \alpha_{yz}, \quad (1)$$

$$\tau_{yz} = 0,5 \sigma_0 \frac{m_x}{t_x} \text{Sin} \alpha_{yz} \quad (2)$$

где  $\sigma_0$  - цена полосы интерференции,

$\alpha_{yz}$  - параметр псевдоизоклины,

$m_x$  - порядок полосы интерференции в рассматриваемой точке модели,

$t_x$  - толщина среза.



Рисунок 4. Картина полос интерференции

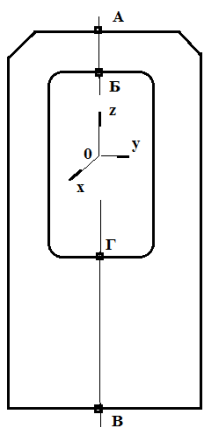


Рисунок 5. Схема расположения точек измерения на модели рамы

Разность нормальных напряжений  $(\sigma_x - \sigma_y)$  и касательные напряжения  $\tau_{yz}$  определяли по формуле:

$$(\sigma_x - \sigma_y) = \sigma_0 \frac{m_z}{t_z} \cos \alpha_{xy}, \quad (3)$$

$$\tau_{yz} = 0,5 \sigma_0 \frac{m_z}{t_z} \sin \alpha_{xy}. \quad (4)$$

Разность нормальных напряжений  $(\sigma_z - \sigma_x)$  и касательные напряжения  $\tau_{zx}$  определяли по формуле:

$$(\sigma_z - \sigma_x) = \sigma_0 \frac{m_y}{t_y} \cos \alpha_{zx}, \quad (5)$$

$$\tau_{zx} = 0,5 \sigma_0 \frac{m_y}{t_y} \sin \alpha_{zx}. \quad (6)$$

Следует заметить, что если известны две разности нормальных напряжений в рассматриваемой точке модели, то в вычислении третьей разности нет необходимости, так она может быть определена из уравнения:

$$(\sigma_x - \sigma_y) + (\sigma_y - \sigma_z) + (\sigma_z - \sigma_x) = 0. \quad (7)$$

По формулам (1) - (7) могут быть определены все величины необходимые для определения эквивалентного напряжения:

$$\sigma_M = \{0,5 [(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 - 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)]\}^{0,5}. \quad (8)$$

В результате экспериментов были вычислены разности нормальных и касательных напряжений для наиболее нагруженных мест модели, а также эквивалентные напряжения (см. таблицу 2).

Анализ данных, представленных в таблице 2, показал, что наибольшие напряжения  $\sigma_M = -39,65 \times 10^4$  Па наблюдаются для точки А верхней поперечины, наименьшие напряжения  $\sigma_M = 8,82 \times 10^4$  Па наблюдаются для точки Б основания.

Переход от напряжений в модели рамы к фактическим напряжениям проводился по формуле

$$\sigma_p = \beta \sigma_M. \quad (9)$$

где  $\beta$  - коэффициент силового подобия.

$\sigma_M$  - напряжения в модели.

$$\beta = P_H / P_M. \quad (10)$$

где  $P_H, P_M$  - фактические усилия и усилия, приложенные к образцу модели.

В результате проведенных экспериментов установлено, что наиболее нагруженными в исследуемой раме устройства является сечение А-Б в верхней поперечине и сечение В-Г в основании рамы. Выявлено также, что в зонах перехода стоек рамы и верхней поперечины концентрации напряжений не наблюдается. Это свидетельствует об удовлетворительном выборе радиусов переходных зон.

Параметры дефекта переднего конца листа до и после правки приведены в таблице 3 ( $A$  - величина дефекта, то есть расстояние от поверхности листа до оси правки),  $l$  - длина дефекта.

Таблица 2

Расчет напряжений четырех точек модели (Па) для верхней поперечины

Напряжения	Точка А	Точка Б
$(\sigma_x - \sigma_y)$	$-36,26 \times 10^4$	$17,64 \times 10^4$
$(\sigma_y - \sigma_z)$	$42,14 \times 10^4$	$-25,48 \times 10^4$
$(\sigma_z - \sigma_x)$	$-5,88 \times 10^4$	$-7,84 \times 10^4$
$\sigma_M$	$-39,65 \times 10^4$	$-22,54 \times 10^4$

для основания

Напряжения	Точка А	Точка Б
$(\sigma_x - \sigma_y)$	$-17,24 \times 10^4$	$8,13 \times 10^4$
$(\sigma_y - \sigma_z)$	$20,58 \times 10^4$	$-9,3 \times 10^4$
$(\sigma_z - \sigma_x)$	$-3,33 \times 10^4$	$1,17 \times 10^4$
$\sigma_M$	$-14,7 \times 10^4$	$8,82 \times 10^4$

Параметры дефекта переднего конца листа из стали марки 20  
до и после правки ( $B = 2000$  мм,  $h = 10,0$  мм)

$A$	$l$	$A/l$	$A$	$l$	$A/l$	Эффективность
мм	мм	-	мм	мм	-	%
150,0	400	0,37	4,0	50	0,080	78,0
200,0	450	0,44	6,0	70	0,085	80,0
300,0	500	0,60	10,0	90	0,11	81,6

Из таблицы 3 следует, что до правки параметр  $A$  изменяется от 150,0 до 300,0 мм, параметр  $l$  – от 400 до 500 мм, после правки параметр  $A$  изменяется от 4,0 до 10,0 мм, параметр  $l$  – от 50 до 90 мм, эффективность правки изменяется от 78 % до 81,6 %.

### Заключение

1. Представлена конструкция семироликовой правильной машины (РПМ) с устройством для отгибания переднего конца листа. Правка листа на такой машине позволяет повысить качество выправляемых листов.
2. Разработана методика расчета рамы, используемой в устройстве для отгибания переднего конца листа при его правке на роликовой правильной машине РПМ.
3. При проведении лабораторных исследований установлено, что наиболее нагруженными в исследуемой раме устройства является сечение в верхней поперечине и основании рамы по ее вертикальной оси. Установлено, что в зонах перехода стоек рамы и верхней поперечины концентрации напряжений не наблюдается.
4. Приведены параметры дефекта правки переднего конца листа до и после правки. Показано, что эффективность правки изменяется от 78 % до 81,6 %.

### Библиографический список

1. Мошнин Е.Н. Правка и гибка полос / Е.Н. Мошнин. – М.: Машиностроение, 1987, –132 с.
2. Слоним А.З. Машины для правка листового и сортового проката / А.З. Слоним, Л.А. Сонин. – М.: Metallurgy, 1987. –132 с.

3. Винокурский А.Х. Область выправляемого сортамента листов и полос на роликовых машинах Часть 1. Методика расчета // А.Х. Винокурский, И.В. Недорезов, Т.А. Мезрина. – Производство проката, –2007. –№10. – С.34–37.
4. Винокурский А.Х. Область выправляемого сортамента листов и полос на роликовых машинах Часть 2. Примеры использования методики // А.Х. Винокурский, И.В. Недорезов, Т.А. Мезрина. – Производство проката, –2007. –№10. – С. 36–38.
5. Хольцмюллер Г. Комплексное определение параметров толстого листа // Черные металлы, – 2007. –№ 6. – С.58–62.
6. Бодини Л. Улучшение плоскостности толстых листов благодаря прогнозированию и оптимизации производства/ Л. Бодини, О.Эрих., М. Краухазен // Черные металлы, –2008. –№ 11. – С.35–38.
7. Кнапп С. правка растяжением и изгибом и ее влияние на свойства холоднокатаных полос из качественных сталей / С. Кнапп, П. Функе, К. Киргоф, К. Вупперман // Черные металлы, 1995. – №2. – С. 49–53.
8. Устиновский Е.П., Шевцов Ю.А., Вайчулис Е.В. Детали машин основы конструирования / под ред. Устиновского Е.П.- Челябинск, изд-во ЮуРГУ, – 2010.- 305 с.