

В общем виде уравнение Фурье–Кирхгофа для сплошной среды имеет вид:

$$\frac{Dt}{d\tau} = a\nabla^2 t,$$

где  $\frac{Dt}{d\tau}$  – полная производная температуры;  $\nabla^2 t$  – оператор Лапласа;

$$a = \frac{\lambda}{c\rho},$$

где  $\lambda$  – необходимо в данном случае отнести ко всему слою, также как коэффициент теплоемкости  $c$  и плотности  $\rho$ .

Коэффициент теплопроводности можно рассчитать как суммарный, состоящий из парциальных вкладов металла и газовой прослойки. В этом случае мы получим значение, крайне близкое к экспериментальному. Для определения диаметра элементов слоя можно использовать статистические данные по результатам типичных засыпок из шихтовых материалов.

После преобразований получим выражение для текущей температуры:

$$t = \frac{\Delta T_{\text{и}}}{2\sqrt{\pi a_{\text{пр}} \tau}} \exp\left(-\frac{(x-h)}{4a_{\text{пр}} \tau}\right) dh,$$

где  $\Delta T_{\text{и}}$  – температура источника, в данном случае – газов на входе в слой;  $h$  – высота слоя.

Исследования процесса нагрева шихты в слое за счет продувки горячими газами производится на основе теории подобия, которая предполагает в качестве обязательного условия равенство критериев модели и реального процесса (прототипа), обуславливающих тепло- и массообмен. По результатам расчетов строятся картины распределения температур по слою шихты.

## **ВЛИЯНИЕ НАСТРОЙКИ РИХТОВАЛЬНОГО УСТРОЙСТВА В УЗЛЕ НАМОТКИ ВОЛОЧИЛЬНОГО СТАНА НА ПРЯМОЛИНЕЙНОСТЬ ТОНКОЙ ПРОВОЛОКИ**

**Ю. В. Мартьянов, В. М. Рудницкий**

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель Ю. Л. Бобарикин

Повышение прямолинейности тонкой проволоки и металлокорда является на сегодняшний день актуальной задачей метизного производства в связи с необходимостью повышения технологичности производства, снижения брака при производстве и повышения конкурентоспособности. В современном метизном производстве для повышения прямолинейности проволоки и металлокорда используются рихтовальные устройства. Рихтовальное устройство работает по принципу знакопеременного изгиба, снижая уровень внутренних остаточных напряжений в проволоке. Таким образом снижается релаксация остаточных напряжений, что приводит к повышению прямолинейности металлокорда [1]. Роликовая рихтовка одинаково эффективна для твердых

и мягких материалов и мало зависит от исходной прочности проволоки. Рихтовальное устройство изменяет внутренние напряжения с устранением условий внутреннего напряжения, существующих в материале до рихтовки. Величина и распределение внутренних напряжений, существующих после рихтовки, зависят от конструкции рихтовальной системы и от настройки положения роликов [2].

Цель работы – определить влияние настройки рихтовального устройства в узле намотки волочильного стана на прямолинейность тонкой проволоки.

Объект исследования – тонкая стальная латунированная проволока диаметром 0,35 мм класса прочности НТ.

Инструмент: рихтовальное устройство односекционное на базе семи роликов (три верхних, четыре нижних) с индивидуальным регулированием верхнего ряда роликов; диаметр роликов 16 мм.

Общий вид рихтовального устройства представлен на рис. 1.

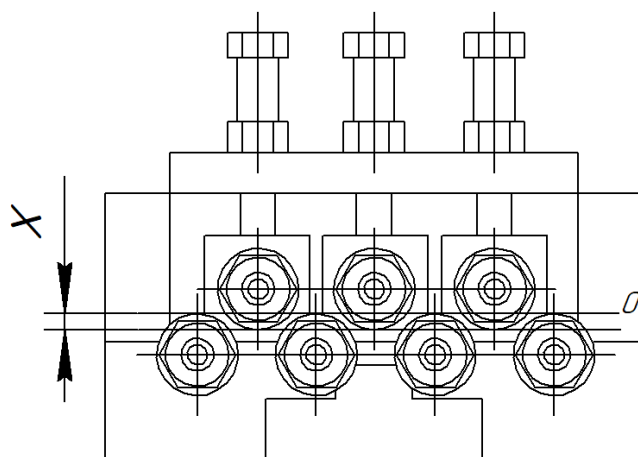


Рис. 1. Общий вид рихтовального устройства:  
 $x$  – вертикальная координата положения  
 верхнего ряда роликов рихтовки, мм

**Описание эксперимента.** Изменяемый параметр: положение верхнего ряда роликов, осуществляющее прижим и контролируемый изгиб тонкой проволоки в диапазоне от 0 до 2,4 мм. Прижим осуществляется за счет хода прижимного винта с шагом резьбы 0,8 мм. Выполнение эксперимента проводилось в течение семи суток для уменьшения остаточных напряжений в процессе их релаксации в проволоке, помещенной на катушке диаметром 80 мм.

Перед началом лабораторных испытаний рихтовальное устройство полностью разжато. Подготовленный отрезок проволоки диаметром 0,35 мм класса прочности НТ заправляется в рихтовальное устройство с разжатыми роликами. Верхний регулируемый ряд роликов рихтовального устройства опускается до момента касания роликами тонкой проволоки. Для блокировки ходового винта, регулирующего положение роликов рихтовки используется зажимная гайка. Полученное положение роликов принимается нулевым.

Немного ослабив зажимную гайку, верхний ряд роликов опускается на расстояние, равное одному шагу резьбы ходового винта. Далее проволока протягивается через рихтовку на длину, достаточную для отрезки минимум пяти образцов длиной более 600 мм плюс один метр запаса для отрезки начала и конца проволоки. Полученные образцы длиной более 600 мм измеряются на отклонение от прямоли-

нейности на базе 600 мм, маркируются и помещаются на катушку диаметром 80 мм. Эксперимент повторяется для положений роликов рихтовального устройства, равным двум и трем шагам резьбы ходового винта.

Результаты представлены в виде диаграммы, представленной на рис. 2.

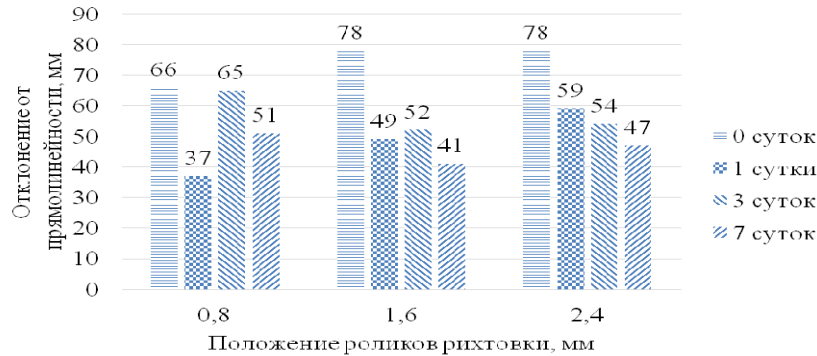


Рис. 2. Отклонение от прямолинейности проволоки диаметром 0,35HT после испытаний в рихтовальном устройстве

Как видно из рис. 2, наибольшим абсолютным эффектом по истечении семи суток обладает настройка рихтовального устройства с положением роликов, равным 1,6 мм. Положение роликов рихтовки, равное 2,4 мм, проявляет более стабильный и предсказуемый характер воздействия на тонкую проволоку.

По результатам исследования построены зависимости отклонения от прямолинейности проволоки от положения роликов в рихтовальном устройстве. Для поиска неизвестной оптимальной переменной, характеризующей минимальное отклонение от прямолинейности, по методу локальной оптимизации функции необходимо принять отклонение от прямолинейности  $\Delta = 0$ , уравнять правые части полученных выражений.

Итоговое выражение имеет вид:

$$\Delta = 0,781x^2 + 1,875x - 16, \quad (1)$$

где  $\Delta$  – отклонение от прямолинейности тонкой проволоки, мм;  $x$  – положение верхнего ряда роликов рихтовки, мм.

Согласно выражению (1), имеется один фактор, влияющий на отклонение от прямолинейности проволоки – положение роликов рихтовки. Решение уравнения (1) дает оптимальное значение положения верхнего ряда роликов рихтовки, обеспечивающее минимальное отклонение от прямолинейности. Это значение  $x = 3,482$  мм, что приблизительно равно 4,5 оборота ходового винта.

На основании проведенной научной работы определено влияние настройки рихтовального устройства в узле намотки волочильного стана на прямолинейность тонкой проволоки.

Предложенная зависимость отклонения от прямолинейности тонкой проволоки, от положения роликов рихтовки позволит настраивать рихтовальные устройства в оптимальном режиме, что позволит улучшить технологические свойства тонкой проволоки и металлокорда, а также снизить количество брака по причине отклонения от прямолинейности.

## Литература

1. Бобарикин, Ю. Л. Тонкое волочение и свивка в металлокорд стальной латунированной проволоки / Ю. Л. Бобарикин, М. Н. Верещагин, Ю. В. Мартыанов. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2018. – 304 с.
2. Бобарикин, Ю. Л. Исследование влияния скорости грубого волочения стальной высокоуглеродистой проволоки на распределение напряжений и деформаций по сечению проволоки [Research of the influence of highcarbon steel wire drawing speed on stresses and deformations on wire cross section] / Ю. Л. Бобарикин, Ю. В. Мартыанов // Литье и металлургия. – 2019. – № 1. – С. 73–77.

## ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ОТЛИВОК ИЗ ХРОМИСТОГО ЧУГУНА В КОМБИНИРОВАННЫЕ ФОРМЫ

Ю. Д. Черняков

*Учреждение образования «Гомельской государственной технической  
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель И. Б. Одарченко

Толстостенные отливки, изготовленные из высокохромистого чугуна (ВХЧ), обладают низкой эксплуатационной стойкостью, так как при твердости наружной поверхности отливки 54–55 HRC на глубине 15 мм твердость не превышает 45 HRC. Это связано с неравномерной по толщине структурой отливки и размером карбидов более 20 мкм [1].

Цель исследования – изучение возможностей повышения эксплуатационной стойкости.

Затвердевание отливки является важнейшим параметром, определяющим формирование ее кристаллического строения и свойств. Более высокие скорости охлаждения расплава создают благоприятные условия для увеличения числа центров кристаллизации в расплаве, формирования структуры отливки с более мелкими зернами металлической матрицы и карбидной фазы, что повышает плотность литого металла.

Скорость затвердевания может изменяться в широком диапазоне от 0,5 до 200 °С/мин.

Для решения вопроса увеличения скорости охлаждения отливки рассматривается возможность использовать комбинированные формы. Нами рассмотрено три типа комбинированных форм: полностью состоящая из холодно-твердеющей смеси (ХТС) (рис. 1, а), форма из ХТС со стальной пластиной, покрытой термостойкой тканью (рисунок 1, б), форма из ХТС со стальной пластиной, покрытой слоем антипригарной краски (рис. 1, в). Преимущество комбинированных форм заключается в том, что охлаждение перегретого расплава происходит со скоростью, среднее значение – от 2 до 4 К/с. Непосредственно у металлических стенок комбинированных форм интенсивность охлаждения расплава в 1,3–1,5 раза выше, чем ее среднее значение для отливки.

Также характерной особенностью затвердевания отливки в комбинированных формах является то, что образование твердой фазы в отливке начинается значительно раньше, чем расплав во всем рабочем пространстве формы охладится ниже температуры ликвидуса  $T_{л}$ , т. е. при наличии в форме перегретого расплава. Так, на момент полного охлаждения перегретого расплава в комбинированных формах типа а, б и в (рис. 1) величина  $\psi$  составляет 36, 25,4 и 17,8 % соответственно. В песчаной форме полностью затвердевшая корка появляется практически только после полного снятия перегрева.