УДК 621.624.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОИМПУЛЬСНОГО МЕТОДА ОЧИСТКИ ПОВЕРХНОСТИ ПРОКАТА ОТ ОКАЛИНЫ

Медведь М.В., студентка,
Коломиец В.С., канд. техн. наук, доц.
Донецкий национальный технический университет

Рассмотрена актуальность исследования гидроимпульсного метода удаления окалины с поверхности проката. Представлена математическая модель работы генератора импульсных струй с линией.

В настоящее время при довольно сложных экономических условиях в металлургической промышленности стоит важнейшая задача производства качественной прокатной продукции. В современном мире в связи с высокой конкуренцией на рынке металлопродукции качество проката является одним из решающих факторов. Одним из основных способов, за счет которого обеспечивается высокое качество проката, считается эффективное удаление окалины с поверхности изделий в прокатке. Наличие окалины на заготовке и на прокатываемом листе влечет за собой серьезные проблемы, помимо снижения сортности, вызывает значимые дополнительные затраты труда, что повышает себестоимость продукции [1].

На данный момент существует много различных способов удаления окалины и конструкций механизмов для их осуществления, но они обладают довольно существенными недостатками: дороговизна, низкое качество обработки, сложность. В виду этого на сегодняшний день особенно актуальна тема исследования и разработки новых методов удаления окалины, которые позволят увеличить их эффективность и существенно снизить энергозатраты.

Преимущество гидроимпульсного метода очистки проката в экономическом отношении по сравнению с другими методами очистки состоит в меньшем расходе энергии.

Следует отметить также другие преимущества гидроимпульсного метода очистки как: универсальность (возможность обрабатывать поверхности сложных геометрических форм); сохранение формы и шероховатости обрабатываемой поверхности (отсутствие съема основного металла); экологичность метода (работа по замкнутому циклу); пожаро- и взрывобезопасность.

При эксплуатации генератора импульсных струй (ГИС) [2] при очистке проката возникает необходимость передать пульсирующий поток жидкости от генератора к рабочим насадкам, которые не могут устанавливаться непосредственно у генератора. В подобных случаях применяется трубопровод, расположенный между генератором и рабочими насадками, который мы будем называть «линией».

Рассмотрим математическую модель работы ГИС с линией.

Течение жидкости в трубопроводе описывается системой уравнений вида [3]:

$$\frac{\partial P}{\partial x} = \frac{\rho}{s}\frac{\partial Q}{\partial t} + \rho\frac{\lambda Q|Q|}{2s^2 d};$$

$$\frac{\partial P}{\partial t} = \frac{\rho c^2}{s}\frac{\partial Q}{\partial x}, \qquad (1.1)$$

где ρ – плотность жидкости, кг/м^3; s – площадь сечения трубопровода, м^2; d – диаметр трубопровода, м; c – скорость распространения ударной волны, м/с; $P = P(x,t)$ – давление, Па; $Q = Q(x,t)$ – расход, м^3/с; x – координата в пределах участка, м; L – длина участка, м; t – текущее время, с; λ – коэффициент Дарси, $\lambda = \frac{0{,}00195}{\sqrt[3]{d}}$ [3].

Преобразуем систему (1.1), введя безразмерные величины:

$\tau = \frac{ct}{L}$ - безразмерное время; $\ell = \frac{x}{L}$ - безразмерная характеристика расстояния. Таким образом: $\partial t = \frac{L}{c}\partial\tau$ и $\partial x = L\partial\ell$.

После замен система (1.1) принимает следующий вид;

$$\frac{\partial P}{\partial \ell} = \frac{\rho c}{s}\frac{\partial Q}{\partial \tau} + \rho\frac{\lambda L}{2ssd}Q|Q|;$$

$$\frac{\partial P}{\partial \tau} = \frac{\rho c}{s}\frac{\partial Q}{\partial \ell}. \qquad (1.2)$$

Введем обозначения: $m = \frac{\rho c}{s}$ – волновой коэффициент трубопровода;

$n = \rho\frac{\lambda}{2s^2 d}$ – удельные потери в трубопроводе.

Если считать, что сопротивление трубопровода распределено вдоль его длины, то в сечении, расположенном на расстоянии ℓ от начала участка, оно будет равно: $A(\ell) = n\ell$, отсюда систему (1.2) можно записать в виде:

$$\frac{\partial P}{\partial \ell} = m\frac{\partial Q}{\partial \tau} + A(\ell)Q|Q|;$$

$$\frac{\partial P}{\partial \tau} = m\frac{\partial Q}{\partial \ell} \qquad (1.3)$$

Систему (1.3) будем интегрировать методом характеристик. Уравнения прямой характеристики имеет вид: $dP + mdQ + NQ|Q| = 0$, а обратной характеристики: $dP - mdQ - NQ|Q| = 0$ [4].

Здесь $N = \frac{\rho\lambda\Delta x}{2s^2 d}$,

где Δx – величина шага вдоль длины трубопровода, величина шага по времени определялась следующим образом $\Delta\tau = \frac{\Delta x}{c}$.

Для решения системы (1.3) методом характеристик, с учетом распределенного вдоль длины трубопровода сопротивления, разделяем трубопровод на K участков, $K = \frac{L}{\Delta x}$, на концах которых расположены диафрагмы, имеющие сопротивление N.

Таким образом, общее число диафрагм равно $K+1$. Пусть j – номер диафрагмы. Тогда точки в трубопроводе, для которых $j \neq 1$ и $j \neq K+1$, будут внутренними точками трубопровода, и состояние потока в них определяется путем решения системы, состоящей из уравнений прямой и обратной характеристики.

Следовательно, для середины линии система уравнений вида:

$$\begin{cases} (P_i - P_{i-1}) + m(Q_i - Q_{i-1}) + NQ|Q| = 0 \\ (P_i - P_{i+1}) - m(Q_i - Q_{i+1}) - NQ|Q| = 0 \end{cases}; \qquad (1.4)$$

Откуда

$$P_i = m(Q_i - Q_{i+1}) + NQ|Q|) + P_{i+1}; \qquad (1.5)$$

$$Q_i = \frac{1}{2m}\left(P_{i-1} - P_{i+1} - 2NQ|Q|\right) + Q_{i+1} - Q_{i-1} \qquad (1.6)$$

Состояние потока жидкости в начале и в конце участков определяется путем решения системы уравнений, состоящей соответственно из обратной или прямой характеристик и определенной граничной зависимости [4].

Прежде чем записать граничные зависимости, определим те допущения, которые лежат в основе построения модели: линия считается прямолинейной; в начале линии поддерживается постоянное давление, равное $P_{имп}$; считается, что поршень главного клапана перебрасывается мгновенно; при моделировании не учитывается возможность разрыва сплошности потока в линии и отход жидкости от рабочего насадка.

С учетом сделанных выше допущений запишем граничные условия для каждого из участков.

В начале линии: при $t = t_{имп}$ $P_{имп} = 28$ МПа.

Таким образом, для начала линии при $t = t_{имп}$ система уравнений будет иметь вид:

$$dP - mdQ - NQ|Q| = 0 \tag{1.7}$$

Откуда
$$Q_i = \frac{1}{m}\left(\left(P - P_{i+1}\right) - NQ|Q|\right) + Q_{i+1} \tag{1.8}$$

Если $t_{имп} < t < T_п$, то система уравнений примет вид:

$$dP - mdQ - NQ|Q| = 0$$

$$Q = 0 \tag{1.9}$$

Откуда $P = P_{i+1}$.

Конец линии характеризуется зависимостью вида:

$$P_к(L,t) = \rho g a_{экв} Q_к(L,t)|Q_к(L,t)|, \tag{1.10}$$

где $a_{экв}$ – сопротивление рабочих насадков, м.

$$a_{экв} = \frac{1}{\left(\frac{1}{\sqrt{a_1}} + \frac{1}{\sqrt{a_2}} + \ldots + \frac{1}{\sqrt{a_n}}\right)^2}; \tag{1.11}$$

где n – количество насадков; $Q_к$ – конечный расход, м^3/с;

Выражение (1.10) справедливо, если $t = t_{имп}$.

В случае, если $t_{имп} < t < T_п$, то получим: $Q_к(0,t) = 0$.

Выражение (1.10) совместно с прямой характеристикой образует систему уравнений для определения состояния жидкости на правой границе линии:

$$(P_к - P_{i-1}) + m(Q_к - Q_{i-1}) + NQ|Q| = 0;$$

$$P_к = \rho g a_{экв} Q_к^2 \; ; \tag{1.12}$$

Откуда

$$Q_к = \frac{-m + \sqrt{m^2 + 4\rho g a(mQ_{i-1} + P_{i-1} - NQ|Q)|}}{2\rho g a} \; ; \tag{1.13}$$

$$P_к = \frac{(-m + \sqrt{m^2 + 4\rho g a(mQ_{i-1} + P_{i-1} - NQ|Q|)})^2}{4\rho g a}; \tag{1.14}$$

На основе полученных формул составлена программа, моделирующая течение жидкости в линии, и ее состояние на границах участков.

Список источников.
1. Михеев В.А., Павлов А.М. Гидросбив в прокатных цехах. – М: Металлургия, 1964 г., – 107 с.
2. Гідроімпульсний пристрій /В.С. Коломієць, М.С. Сургай, М.П. Сорокопуд, А.Л. Зуйков, В.Є. Лагода / Патент на корисну модель №21305. Україна, 2007 р.
3. Чарный И.А. Неустановившееся движение реальной жидкости в трубах. –М.: Недра, 1975г., – 296с.
4. Фокс Д.А. Гидравлический анализ неустановившегося течения в трубопроводах. –М.: Энергоиздат, 1981г., - 247с.