

Совершенствование метода диагностики гидравлического состояния секторов вторичного охлаждения МНЛЗ

Усовершенствован метод диагностики гидравлического состояния секторов вторичного охлаждения МНЛЗ за счёт создания расчётных зависимостей, позволяющих прогнозировать количество засорённых форсунок в зависимости от текущих значений расхода и давления жидкости, устанавливаемых регулятором.

Ключевые слова: МНЛЗ, ЗВО, расход жидкости, давление жидкости, засорение форсунки

В практике непрерывной разливки стали может иметь место засорение форсунок вторичного охлаждения, что приводит к искажению температурного поля заготовки [1]. Некоторые аспекты этого явления исследованы в работе [2]. Повышение уровня культуры производства, ужесточение требований к системе водоснабжения вторичного охлаждения позволяют свести возможность возникновения таких ситуаций к минимуму. Однако на практике они всё же имеют место (трубопроводы выполнены не из нержавеющей стали, выход из строя водяного фильтра и т. д.). На практике важно оперативно идентифицировать такого рода отклонения и принимать адекватное решение о продолжении или приостановке разливки.

В работе [3] предложен подход для определения количества засорённых форсунок в секторе в зависимости от давления, которое устанавливает регулятор расхода для прокачивания заданного количества воды через сектор. В его основе лежит рассмотрение семейства напорно-расходных характеристик сектора, построенных для разного количества работающих форсунок (начиная от номинального, и далее уменьшаемого с заданным шагом). Пример такого семейства напорно-расходных кривых для сектора, физически состоящего из 72 форсунок производства одной из современных фирм, приведён на рис 1.

Согласно [3] положение текущей рабочей точки с координатами (P, Q) автоматически определяется в области семейства напорно-расходных характеристик. При этом устанавливается, какая кривая наиболее приближена к данной точке, что служит указанием на количество засорённых форсунок. На основании этой информации и практического опыта или результатов математического моделирования принимается решение о возможности продолжения разливки.

Неудобство такого подхода заключается в том, что алгоритм идентификации положения рабочей точки, соответствующей гидравлическому состоянию сектора ЗВО, должен выполняться либо вручную оператором поста МНЛЗ, либо при помощи подпрограммы, функционирующей в составе АСУ ТП, которая позволяет выполнять графический анализ. Такой подход в принципе возможен, однако на практике намного

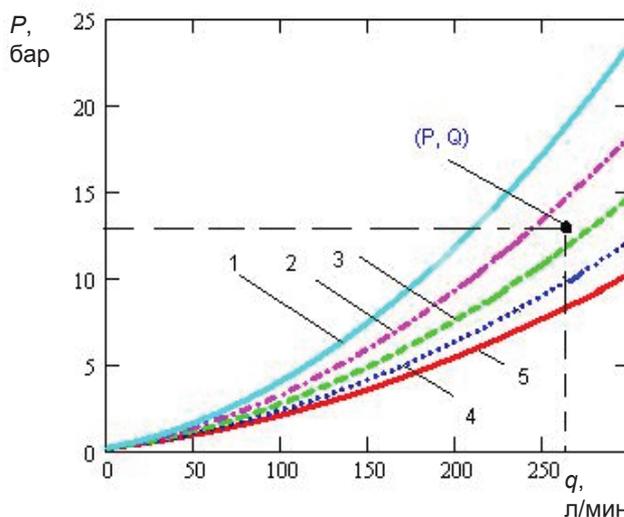


Рис. 1. Семейство напорно-расходных характеристик сектора ЗВО для различного количества работающих форсунок: 1 — 40; 2 — 45; 3 — 50; 4 — 65; 5 — 72

удобнее иметь простые расчётные зависимости, которые позволяли бы напрямую определять количество засорённых форсунок.

Целью данной работы является создание расчётных зависимостей, позволяющих прогнозировать количество засорённых форсунок в зависимости от текущих значений расхода и давления жидкости, устанавливаемых регулятором.

В основу решения данного вопроса положено составление выражения для расчётного определения значения давления жидкости, необходимого для её прокачивания, в зависимости от базовых гидравлических параметров сектора и его состояния (количество, длина и диаметры участков трения; количество и вид местных сопротивлений). С другой стороны это значение давления устанавливается регулятором расхода и измеряется соответствующим прибором.

Статьи расхода энергии избыточного давления потока жидкости при работе сектора ЗВО (P_c) можно разделить на две части: потери давления на трение и местные сопротивления от точки измерения давления до форсунок (P_n); потери давления на организацию истечения жидкости из форсунок (P_ϕ).

Таким образом, $P_c = P_n + P_\phi$.

Первая статья потерь является значительно меньшей, однако для повышения точности расчётов её целесообразно в общем случае учесть следующим образом [4]:

$$P_n = \sum_{i=1}^n \left(\lambda_i \cdot \frac{L_i}{D_i} \cdot \frac{\rho \cdot \left(\frac{Q_i \cdot 10^{-3}}{60 \cdot F_i} \right)^2}{2} \right) + \sum_{j=1}^m \left(k_j \cdot \frac{\rho \cdot \left(\frac{Q_j \cdot 10^{-3}}{60 \cdot F_j} \right)^2}{2} \right), \quad (1)$$

где i, j – индексы для указания участков трения и местного сопротивления; n, m – число участков трения и местного сопротивления; Q – расход жидкости на участке, л/мин; F – живое сечение трубопровода, м²; λ – коэффициент трения трубопроводов; L – длина участка трения, м; D – диаметр трубопровода, м; k – коэффициент местного сопротивления; ρ – плотность воды, кг/м³.

Потери давления на истечение жидкости через форсунки зависят от числа открытых форсунок ($N_{\text{оф}}$) и выражаются следующим образом:

$$P_\phi = P_c - P_n = k_\phi \cdot \frac{\rho \cdot \left(\frac{Q \cdot 10^{-3}}{60 \cdot N_{\text{оф}} \cdot F_\phi} \right)^2}{2}, \quad (2)$$

где F_ϕ – живое сечение внутреннего канала форсунки со стороны входа, м; k_ϕ – коэффициент местного сопротивления форсунки, отнесенный к динамическому напору во входном канале форсунки.

При использовании зависимости (2) в качестве расхода жидкости подставляется полный расход на сектор.

Итоговые выражения для прогнозирования количества открытых и засорённых форсунок ($N_{\text{зф}}$) получаем в результате простых преобразований выражения (2):

$$N_{\text{оф}} = \sqrt{\frac{\rho \cdot k_\phi}{2 \cdot F_\phi^2} \cdot \frac{Q \cdot 10^{-3}}{60} \cdot \frac{1}{\sqrt{P_\phi}}} = \sqrt{\frac{\rho \cdot k_\phi}{2 \cdot F_\phi^2} \cdot \frac{Q \cdot 10^{-3}}{60} \cdot \frac{1}{\sqrt{P_c - P_n}}}; \quad (3)$$

$$N_{\text{зф}} = N_n - N_{\text{оф}}, \quad (4)$$

где N_n – полное количество форсунок в секторе, шт.

Для использования зависимостей (3, 4) значения P_c и Q автоматически берутся на основании сигналов соответствующих чувствительных элементов, а величина P_n определяется по зависимости (1).

Использование усовершенствованной методики прогнозирования гидравлического состояния секторов ЗВО проиллюстрировано для следующих исходных данных:

Номинальное число форсунок в секторе, шт	48
Длина участка трения, м	2
Коэффициент трения трубопроводов	0,015
Итоговый коэффициент местного сопротивления подводящих трубопроводов и рамки охлаждения	3
Гидравлический диаметр сектора, м	0,052
Диаметр входного канала форсунки, м	0,013
Коэффициент местного сопротивления форсунки	1980

Результаты определения количества открытых (засорённых) форсунок для разных значений расхода охладителя и давления (для приведённых выше исходных данных) систематизированы на рис 2.

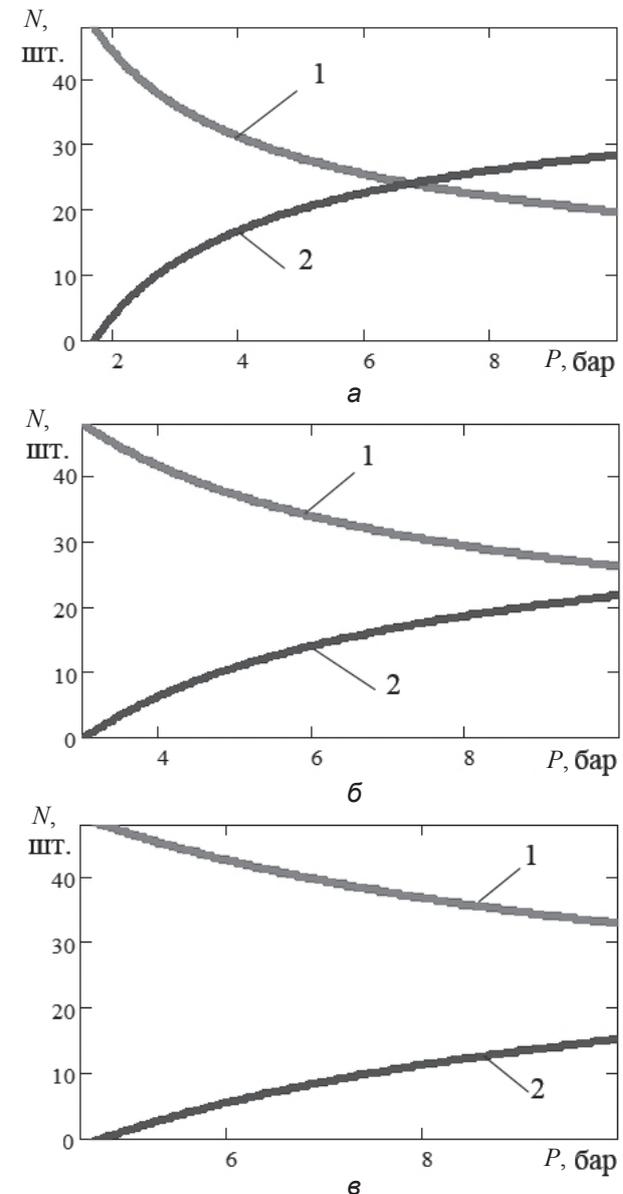


Рис. 2. Зависимость числа открытых (засорённых) форсунок исследуемого сектора ЗВО от давления, устанавливаемого регулятором: 1 – число открытых форсунок, 2 – число засорённых форсунок для расхода воды 150 л/мин (а), 200 (б), 250 (в)

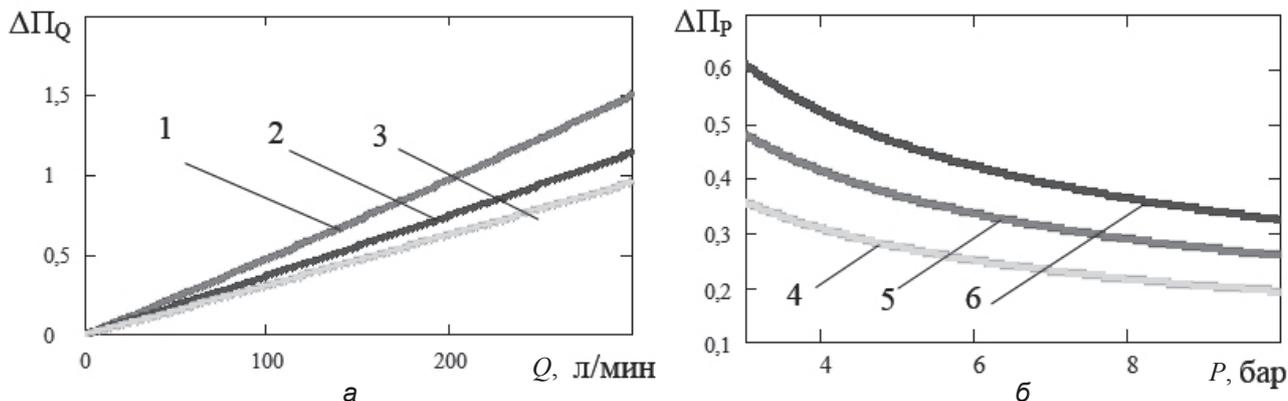


Рис. 3. Анализ влияния погрешности приборов, измеряющих давление и расходы охлаждающей среды на ошибку определения количества открытых форсунок: а – функция $\Delta P_Q(Q)$, б – функция $\Delta P_P(P)$; 1 – для давления воды 3 бар, 2 – 5 бар, 3 – 7 бар; 4 – для расхода воды 150 л/мин, 5 – 200 л/мин, 6 – 250 л/мин

В общем случае результаты, полученные при использовании усовершенствованной методики, являются дробными числами, которые для удобства использования можно округлять на основании общепринятых правил округления. При этом, получив результат, например, $N_{\text{зф}} = 3$, нельзя утверждать, идёт ли речь о трёх полностью засорённых форсунках или о некотором большем числе частично забитых форсунок. Таким образом, полученный результат несёт в себе некоторую условность. Однако его ценность заключается в том, что он даёт усреднённое представление о гидравлическом состоянии сектора и динамике его изменения, что в значительной части случаев достаточно для принятия соответствующих технологических решений.

Для оценки возможных ошибок идентификации количества засорённых форсунок по причине погрешности приборов, измеряющих расход и давление охладителя, проведено исследование по следующей схеме:

- в инженерном вычислительном пакете сформирована функция, описывающая «истинное» значение $N_{\text{оф}}(Q, P)$ и функции, имитирующие погрешности, соответствующие двухпроцентным ошибкам в измерении давления и расхода: $N_{\text{оф1}}(Q, 1,02P)$; $N_{\text{оф2}}(1,02Q, P)$;
- для нескольких зафиксированных значений расхода (150, 200, 250 л/мин) рассмотрена функция;

$$\Delta P_P(P) = N_{\text{оф}}(Q, P) - N_{\text{оф1}}(Q, 1,02P)$$

- для нескольких зафиксированных значений давления (3, 5, 7 бар) рассмотрена функция

$$\Delta P_Q(Q) = N_{\text{оф2}}(1,02Q, P) - N_{\text{оф}}(Q, P)$$

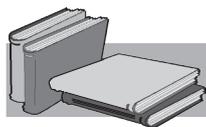
Графическое представление результатов исследования дано на рис. 3.

В результате анализа значений функций $\Delta P_Q(Q)$ и $\Delta P_P(P)$ установлено, что в диапазоне возможных значений изменения величин расхода и давления охладителя для сектора ЗВО сортовой МНЛЗ при погрешности измерительных приборов до 2 % ошибка в определении количества засорённых форсунок не превышает двух штук.

Целесообразным представляется использование данной разработки в системах АСУ ТП МНЛЗ в режиме реального времени для отслеживания динамики изменения гидравлического состояния секторов МНЛЗ. Такой подход позволит своевременно идентифицировать появление критического количества засорённых форсунок и предоставит важную информацию для решения вопроса о возможности продолжения разливки при возникновении нестандартных ситуаций в ЗВО.

Выводы

Созданы аналитические расчётные зависимости, позволяющие прогнозировать количество открытых и засорённых форсунок сектора в зависимости от текущего расхода жидкости и давления, устанавливаемого регулятором для его прокачивания. Такая информация позволит осознанно принимать решения о возможности продолжения разливки или необходимости её остановки при возникновении нестандартных ситуаций.



ЛИТЕРАТУРА

1. Смирнов А. Н. Непрерывная разливка сортовой заготовки / А. Н. Смирнов, С. В. Куберский, А. Л. Подкорытов и др. – Донецк: Цифровая типография, 2012. – 417 с.
2. Бирюков А. Б. Совершенствование теплотехнических параметров систем производства непрерывнолитой заготовки и её тепловой обработки / А. Б. Бирюков. – Донецк: Изд-во «Ноулидж» (донецкое-отделение), 2013. – 471 с.

3. Бірюков А. Б. Современные аспекты теплового мониторинга работы МНЛЗ // *Металл и литьё Украины*. – 2008. – № 7-8. – С. 37-40.
4. Курбатов Ю. Л. *Механика жидкости и газа: учебное пособие* / Ю. Л. Курбатов, В. И. Шелудченко, В. В. Кравцов. – Севастополь: Вебер, 2003. – 226 с.

Анотація

Бірюков О. Б.
Удосконалення методу діагностики гідравлічного стану секторів вторинного охолодження МБЛЗ

Удосконалено метод діагностики гідравлічного стану секторів вторинного охолодження МБЛЗ за рахунок створення розрахункових залежностей, які дозволяють прогнозувати кількість засмічених форсунок в залежності від поточних значень витрати та тиску рідини, що встановлює регулятор.

Ключові слова

МБЛЗ, ЗВО, витрата рідини, тиск рідини, засмічення форсунок

Summary

Birukov A.
Improvement of CC's secondary cooling sectors hydraulic state diagnosis

Method for diagnosis of CC's secondary cooling sectors hydraulic state is improved due to creation of calculation expressions that allow predicting of clogged nozzles number depending on current values of fluid flow rate and pressure set by flow rate controller.

Keywords

CC, SCZ, fluid flow rate, fluid pressure, nozzles clogging

Поступила 25.02.2015