

*Н.И. Захаров, А.А. Троянский*

Донецкий национальный технический университет

## О КОМПЬЮТЕРНОМ МОДЕЛИРОВАНИИ МАССОПЕРЕНОСА ВОДОРОДА В ЖИДКОЙ ВАННЕ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НА МЕТАЛЛ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ

**Аннотация.** Проблема постановки граничного условия для уравнения конвективной диффузии водорода в жидком металле при комплексном воздействии на него вакуума, продувки инертным газом и электростатического поля докритических напряженностей решена введением в классическую форму записи закона «квадратного корня» Сиверта степени ионизации атомов водорода в расплаве. Количественная и качественная экспериментальная проверка разработанной аналитической зависимости подтверждает его правильность.

## ABOUT COMPUTER SIMULATION OF MASS TRANSFER HYDROGEN INTO THE LIQUID BATH UNDER THE INFLUENCE OF THE ELECTROSTATIC FIELD ON THE METAL

**Аннотация.** The problem of setting the boundary condition for the convection diffusion equation of hydrogen in liquid metal under the complex effect of vacuum, the inert gas purging and subcritical electric field on it is solved by the establishment of Sieverts' law of the "square root" of hydrogen atoms' degree of ionization in melting in its classic form of notation.

Научно-исследовательские работы по использованию электростатического поля в технологии внепечного рафинирования стали от водорода начались в прошлом столетии и не прекращаются по настоящее время [1 – 4]. Вместе с тем вопрос о степени ионизации атомов этого газа в расплавах металлов остается открытым. Логично предположить, что при повышении температуры жидкого металла эта характеристика возрастает. Современные представления о форме нахождения водорода в расплаве металлов должны включать исторически сложившуюся концепцию электрически нейтральных атомов этого газа как частный вариант, относящийся к жидкому (легкоплавкому) металлу недостаточно высокой температуры.

При компьютерном моделировании массопереноса водорода в жидкой ванне в условиях комплексного воздействия на расплав вакуума, сосредоточенной продувки инертным газом (например, через пористую пробку, установленную в днище ковша) и электростатического поля докритических напряженностей возникает проблема постановки граничного условия для уравнения конвективной диффузии на межфазной поверхности «вакуум–металл». Классическая форма записи закона «квадратного корня» Сиверта не учитывает воздействия на зеркало расплава электростатического поля.

Одна из возможных форм записи этого закона в условиях рассматриваемого вида комплексного воздействия на жидкий металл может быть выражена соотношением:

$$C_n = K_H \sqrt{P_{H_2}} [(1-i) + iK_E], \quad (1)$$

где  $C_n$  – концентрация атомов водорода на зеркале расплава;  $P_{H_2}$  – парциальное давление водорода в полости вакууматора;  $K_H$  – постоянная Сиверта;  $i$  – степень ионизации атомов водорода на этой межфазной поверхности;  $K_E$  – безразмерная функция, которая характеризует отношение концентрации полностью ионизированных атомов водорода на границе «вакуум–металл» ( $i = 1$ ) к аналогичной характеристике при  $i = 0$  [4].

Непосредственная экспериментальная проверка соотношения (1) затруднительна по причине сложности экспериментального определения  $i$ .

При косвенном подтверждении правильности этой аналитической формулы, безразмерную функцию  $K_E$  координат выбирают таким образом, чтобы при  $E = 0$  значение  $K_E = 1$  и соотношение (1) принимало классическую форму закона Сиверта. Аналогичную форму оно принимает и при  $i = 0$ . Другим критерием правильности формулы (1) является качественное экспериментальное подтверждение наличия максимума в распределении  $C_n$  по зеркалу металла, следующего из характера зависимости  $K_E$  от координат. Результаты экспериментальных исследований [5] подтвердили наличие сгустков свободных зарядов на поверхности металла при его движении в электростатическом поле докритических напряженностей. Наличие этих сгустков и обусловили генерацию электрического тока при замыкании цепи.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Явойский В.И., Баталин Г.И. // Сталь. 1954. № 6. С. 5 – 6.
2. Мюллер Э.В. // Успехи физических наук. 1962. № 37. С. 481 – 552.
3. Кайбичев А.В., Лепинский Б.М. Рафинирование жидких металлов и сплавов в электрическом поле. – М.: Наука, 1983. – 120 с.
4. Захаров Н.И., Троцан А.И., Овдиенко А.А. // Процессы литья. 2009. № 1. С. 8 – 11.
5. Дюдкин Д.А., Захаров Н.И. «Электродинамическая индукция» тока в металле и проблема ее приложения к процессам с движением металла в электростатическом поле // Тр. Междунар. конф. «Металлургия и металлургия XXI века». – М.: МГИСиС, 2001. С. 500 – 503.

© 2013 г. Н.И. Захаров, А.А. Троянский  
Поступила 23 апреля 2013 г.

УДК 621.73

Г.А. Орлов, И.В. Смельчаков

Уральский федеральный университет

## КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ ТРУБ

**Аннотация.** Предложен вариант количественной оценки технологичности холодной прокатки труб с заданным уровнем качества. Для оценки применены критерии точности, поврежденности труб, уровня возникающих при прокатке усилий, а также комплексный критерий. Приведен пример использования предложенных формул для выбора лучшей калибровки инструмента при прокатке по определенному маршруту. Предложенная методика может использоваться для оценки нескольких вариантов технологических режимов прокатки труб заданного уровня качества.

**Ключевые слова:** холодная прокатка труб, критерии оценки технологичности, калибровки инструмента, комплексный критерий.

## THE COMPLEX MANUFACTURABILITY ANALYSIS OF COLD ROLLING OF TUBES

**Abstract.** The option of quantification manufacturability analysis of cold rolling of tubes with the specified quality level is offered here. The criteria of accuracy, tubes' defectiveness, level of the efforts which are made during the rolling and the complex criteria are applied for the analysis. The example of how to use the offered formulas in order to choose the best tool calibration in rolling by specific route is given here. Suggested technique can be used to analyze the several options of technological modes of tubes' rolling with the specified quality level.

**Keywords:** the cold rolling of tubes, the criteria of manufacturability analysis, the tool calibration, the complex criteria.

Для определения технологичности холодной прокатки труб предлагаются следующие оценки:

– коэффициент точности толщины стенки  $K_s = \frac{\delta_{s1}}{2|\delta_{sH}|}$ ,

где  $\delta_{s1} = 22,26 + 0,33m - 0,035\delta_{s0} - 0,33\varphi_k + 0,0087\varphi_k\delta_{s0}$  – поперечная разностенность прокатанной трубы;  $\delta_{s0}$  – поперечная разностенность заготовки %;  $|\delta_{sH}|$  – допускаемые предельные отклонения по стенке, %;  $m$  – подача, мм;  $\varphi_k$  – угол кантовки, град.;

– коэффициент точности по наружному диаметру  $K_D = \frac{\varepsilon_y}{|\delta_{DH}|}$ , где  $\varepsilon_y$  – упругая деформация клетки и валков, мм;  $|\delta_{DH}|$  – предельные отклонения по диаметру, мм;

– относительное усилие прокатки  $K_P = \frac{P_{\max}}{[P]}$ , где  $P_{\max}$  – максимальное усилие прокатки;  $[P]$  – допустимое конструкцией стана усилие;

– относительное осевое усилие  $K_Q = \frac{Q_{\max}/F_0}{0,85\sigma_T}$ , где  $Q_{\max}$  – максимальное осевое усилие;  $F_0$  – площадь поперечного сечения заготовки;  $\sigma_T$  – предел текучести металла заготовки;

– относительная поврежденность металла прокатанных труб  $K_\omega = \frac{\omega_{\text{расч}}}{[\omega]}$ , где  $\omega_{\text{расч}}$  – рассчитанное по методике [1] значение поврежденности;  $[\omega]$  – пороговое значение поврежденности по данным [2].

При значениях коэффициентов  $K_i \geq 1$  прокатка с назначенными технологическими режимами нетехнологична, т.е. может привести к браку труб, либо поломке станков. Для выбора лучшего варианта, например калибровки инструмента либо режимов прокатки, предлагается использовать комплексный критерий в виде

$$K_\Sigma = 100 \left( 1 - \frac{\sum K_i}{N} \right).$$

В рассмотренном случае  $N = 5$ ; чем больше  $K_\Sigma$ , тем выше технологичность и качество труб.

Для комплексного критерия принята следующая шкала оценок:

- 80 – 100 – очень высокая технологичность прокатки;
- 60 – 80 – высокая;
- 40 – 60 – удовлетворительная;