

Металлургическое производство

The received in the result of investigations dependences allowed to optimize the technology of steel pumping in circulating vacuumator and to receive essential economy of energy resources.

С. В. ТЕРЛЕЦКИЙ, А. В. ОЛЕНЧЕНКО, РУП «БМЗ»,
А. Н. ЧИЧКО, А. А. ЧИЧКО, В. Ф. СОБОЛЕВ, БНТУ

УДК 669.

О ПУТЯХ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ СТАЛИ В ВАКУУМАТОРЕ ЦИРКУЛЯЦИОННОГО ТИПА

Скорость удаления водорода при вакуумировании контролируется его массопереносом. Так как массоперенос водорода является процессом первого порядка, скорость его может быть описана кинетическим уравнением:

$$\ln \frac{[H]_f - [H]_e}{[H]_i - [H]_e} = -k_H t, \quad (1)$$

где $[H]_f$ – конечное содержание водорода после вакуумирования в течение времени t , мин; $[H]_i$ – начальное содержание водорода; $[H]_e$ – содержание водорода, равновесное с данным остаточным давлением в системе; k_H – константа скорости удаления водорода.

В случае если процесс удаления водорода равновесный, его концентрация по ходу вакуумирова-

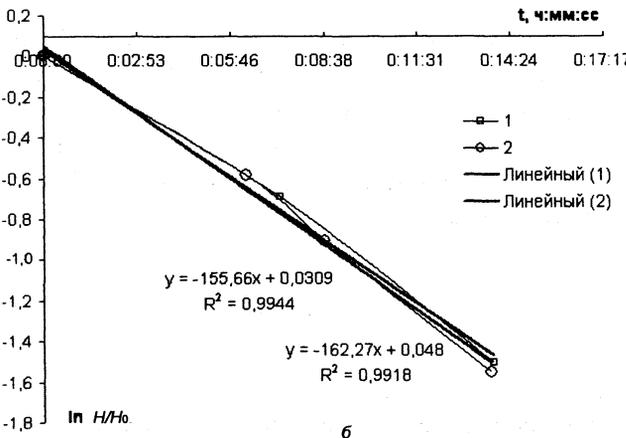
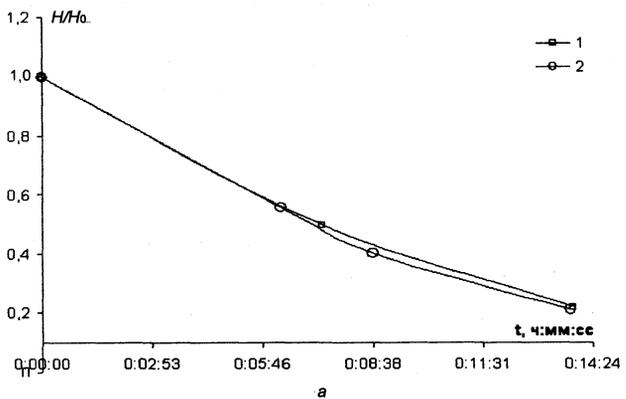


Рис. 1. Результаты построения экспериментальных данных исследованных плавок углеродистой стали с промежуточным вводом материалов: а – координаты $[H]/[H_0]$; б – координаты $\ln[H]/[H_0]$; 1 – плавка № 30943; 2 – плавка № 30944

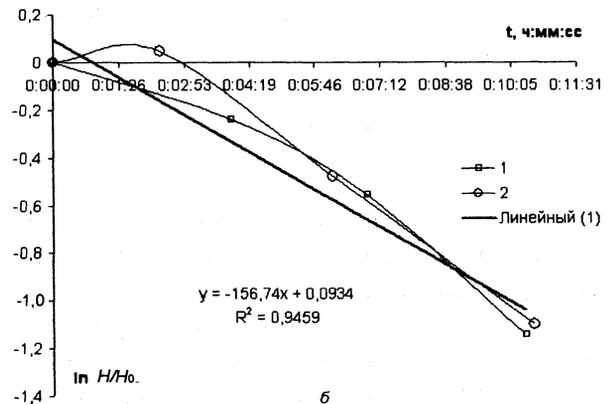
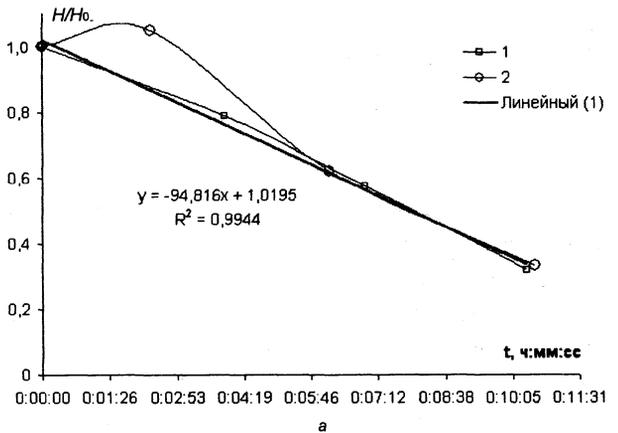


Рис. 2. Результаты построения экспериментальных данных исследованных плавок углеродистой стали без промежуточного ввода материалов: а – координаты $[H]/[H_0]$; б – координаты $\ln[H]/[H_0]$; 1 – плавка № 31006; 2 – плавка № 31007

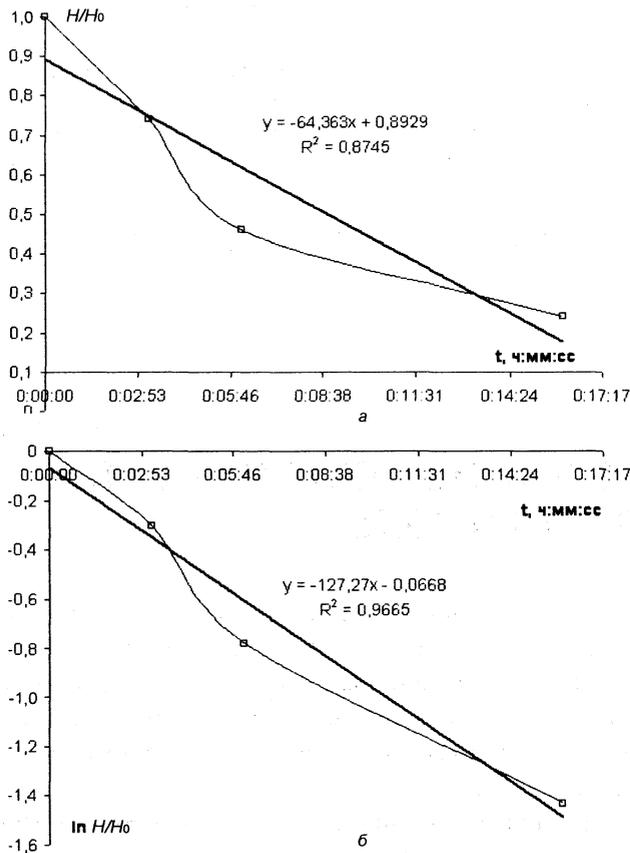


Рис. 3. Результаты построения экспериментальных данных исследованной плавки № 30940 легированной стали с промежуточным вводом материалов: а – координаты $[H]/[H_0]$; б – координаты $\ln[H]/[H_0]$

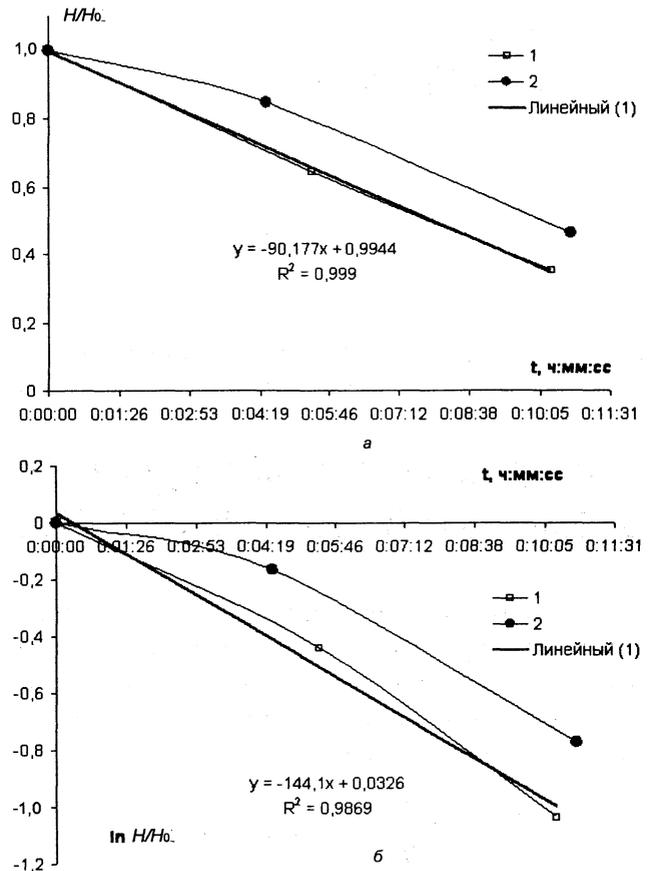


Рис. 4. Результаты построения экспериментальных данных исследованных плавков углеродистой стали без промежуточного ввода материалов с повышенным давлением обработки: а – координаты $[H]/[H_0]$; б – координаты $\ln[H]/[H_0]$; 1 – плавка № 31272; 2 – плавка № 31273

ния будет асимптотически приближаться к равновесной, являющейся пределом для данного состава металла и температуры.

Так как величина $[H]_e$ мала по сравнению с величинами $[H]_i$ и $[H]_f$, поэтому первой можно пренебречь и процесс удаления водорода при вакуумировании может считаться неравновесным. В этом случае он может быть описан упрощенным кинетическим уравнением:

$$\ln \frac{[H]_f}{[H]_i} = -k_H t. \quad (2)$$

На рис. 1–5 приведены результаты построения экспериментальных данных плавков в координатах $[H]/[H_0]$ и $\ln[H]/[H_0]$.

Из рисунков видно, что при вакуумировании около 10 мин по линейному закону изменяется величина $[H]/[H_0]$, а при более длительной обработке с введением материалов – $\ln[H]/[H_0]$. В обоих случаях кривые могут быть использованы для оценки времени, необходимого для требуемого снижения содержания водорода.

Выразив из уравнения (2) конечную концентрацию водорода, можно получить упрощенное уравнение для скорости его удаления:

$$[H]_f = [H]_i \exp(-k_H t). \quad (3)$$

При этом коэффициент массопереноса k_H по углу наклона кривой составляет $-120 - -160 \text{ сут}^{-1}$ (если t выражается в сутках).

Из выражения (3) можно рассчитать необходимое время обработки под вакуумом для требуемого снижения водорода:

$$t = \frac{\ln x}{k_H}, \quad (4)$$

где x – требуемая кратность уменьшения содержания водорода, равная соотношению его начального и конечного содержания ($[H]_i/[H]_f$).

Так как в большинстве случаев достаточно 3-кратного снижения содержания водорода, необходимое время обработки составляет 10–13 мин,

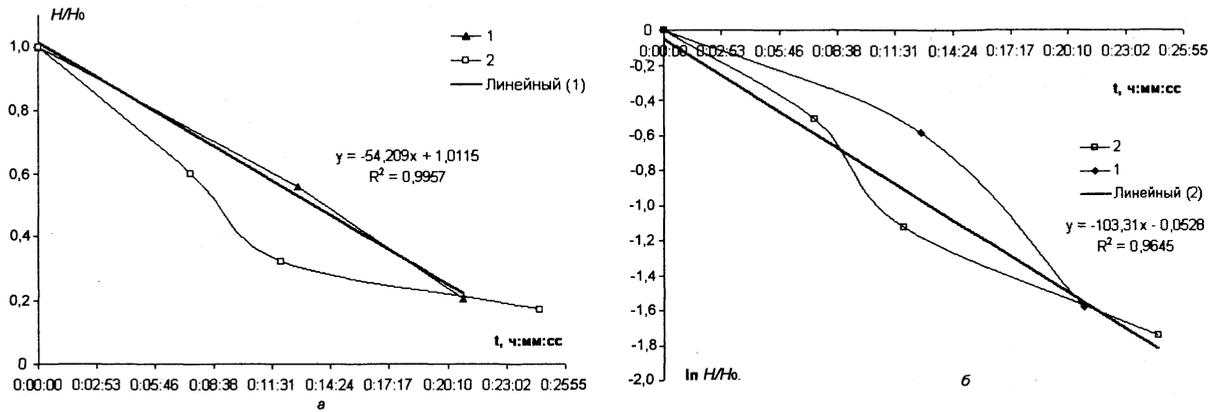


Рис. 5. Результаты построения экспериментальных данных исследованных плавки кордовой стали: а – координаты $[H]/[H_0]$, б – координаты $\ln[H]/[H_0]$; 1 – плавка № 31006; 2 – плавка № 31007

а значения коэффициентов массопереноса – соответственно -160 и -120 сут^{-1} .

Из рисунков видно, что величина k , определяемая углом наклона кинетических кривых, примерно постоянна.

Вывод

Полученные в результате исследований зависимости позволили оптимизировать технологию вакуумирования стали в циркуляционном вакууматоре и получить существенную экономию энергоресурсов.