

С аналогичной целью может быть использован метод, описанный в [6], где вязкость жидкости контролируется посредством измерения средней скорости потока жидкости, которую поляризуют и наблюдают пульсации ЯМР в области перехода ламинарного потока в турбулентный.

Вязкость композиционных электроизоляционных жидкостей может определяться с высокой точностью в широком динамическом диапазоне посредством ультразвукового метода и метода корреляционной спектроскопии. В первом случае динамическая вязкость представляет однозначную функциональную зависимость от частоты Доплера: $\eta = A_0 f_0 / F_d$, где A_0 — параметр, зависящий от плотности жидкости и скорости распространения в ней ультразвука; f_0 — несущая частота; F_d — частота Доплера.

В другом случае вязкость определяется по коэффициенту диффузии вводимых в контролируемую жидкость сферических частиц путем измерения ширины несмещенной компоненты в спектре рассеянного света.

В заключение отметим следующее: анализ рассмотренных выше методов контроля вязкости жидких электроизоляционных материалов показывает, что важнейшими для измерения электроизоляционных жидкостей являются методы, основанные на изучении явлений распространения колебаний в жидкой среде, и методы, обусловленные определением силы сопротивления потоку движущейся жидкости.

ЛИТЕРАТУРА

1. А н и с ь к и н М.Б., Я к о в л е в В.Ф. Исследование сдвиговой вязкости и поглощения ультразвука в жидкой фазе бензола в широком интервале температур // Журн. физ. химии. — 1978. — Т. 52. — № 10. — С. 2487.
2. Б у д т о в В.П. Вязкость растворов смесей полимеров // Высокомолекулярные соединения. 1979. — Т. 21. — № 21. — С. 422.
3. Н о з д р е в а В.Ф. Исследование вязкости жидких сплавов алюминия на основе акустических измерений // Журн. физ. химии, т. 53, № 5, 1979, с. 1199.
4. Л и т о в ч е н к о В.В. Исследование динамической вязкости этилена и пропилена // Теплофиз. свойства веществ и материалов, 1982, вып. 16, с. 79.
5. О с т р о в с к и й И.Н. Вязкость расплавов железо-бор и железо-фосфор. Журн. физ. химии, 1982, 56, № 1, с. 23.
6. А н и с и м о в М.А. Измерение вязкости жидкостей и размеров взвешенных частиц методом корреляционной спектроскопии оптического смещения // Инж.-физ. журн. — 1980. — Т. 38, № 4. — С. 651-655.

УДК 621.785.52(62-52):66.096.5

Г.Г.ТЮХАЙ (БТИ), Е.В.КРАВЧЕНКО,
канд.техн.наук (БПИ)

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ НАУГЛЕРОЖИВАНИЯ СТАЛИ В ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКОМ ПСЕВДООЖИЖЕННОМ СЛОЕ

Возможность прогнозирования свойств поверхностного слоя при цементации стали и управление ими рассматривались в [1-3]. В результате ухудшения качества химико-термической обработки стали, остановки процесса из-за аварии или, наконец, значительного загрязнения окружающей среды предполагается создание эффективной автоматической системы управления технологи-

ческим процессом (АСУТП). Успешное функционирование современных АСУТП во многом определяется применением мини- и микроЭВМ, способом согласования их с технологическим процессом, а также тем, как осуществляются ввод и вывод управляющих сигналов.

В электротермическом псевдоожженном слое с помощью микроЭВМ можно управлять такими процессами, как температурный режим изделия, подача псевдоожижающего газа, контроль высоты псевдоожиженного слоя и состояние псевдоожижения. Кроме этого, применение микроЭВМ позволяет достигать высокой точности регулирования процесса нагрева слоя и изделия, создает возможность циклического нагрева, экономию электроэнергии и достижение однородного содержания углеродного потенциала в изделиях различной формы и толщины: Большое значение при этом приобретает уже давно известное многоступенчатое управление процессом, с помощью которого можно оптимизировать распределение углерода и значительно сократить продолжительность цикла.

Целью работы явилось получение комплекса экспериментальных данных, необходимых для адекватного описания процесса цементации стали, и создание упрощенной математической модели для управления технологическим процессом с помощью микроЭВМ.

При обработке экспериментальных данных выделялись такие основные параметры процесса цементации, как температура T , время выдержки τ , плотность тока j , скорость газового потока w_r , диаметр частиц слоя d_r , соотношение $CO/CO + CO_2$, которые оказывают совместное влияние на характер образования диффузионного слоя. Кроме перечисленных параметров, качество цементации зависит от содержания углерода и легирующих элементов в исходных изделиях. Известно, что ускорение процесса цементации стали возможно за счет сокращения времени нагрева изделия, повышения активности насыщающей среды, интенсификации поверхностных процессов на границе среда—металл.

Составление математической модели процесса цементации для косвенной оценки глубины диффузионной зоны и содержания углерода в изделиях представляет значительную трудность.

Сформулируем задачу управления процессом цементации стали таким образом: получить содержание углерода в поверхностном слое изделия 0,7–0,8 % C с "эффективной" глубиной диффузионного слоя 1,2–2 мм в диапазоне температур псевдоожиженного слоя 920–1050 °C в течение 10–60 мин.

Исходным статистическим материалом служили выборочные измерения, полученные пассивным экспериментом на установке диаметром 67 мм с высотой псевдоожиженного слоя 120 мм. Цементации подвергались цилиндрические изделия (\varnothing 17 и высотой 35 мм) из стали Ст.3 с исходным содержанием углерода ~0,2 %. Псевдоожижение слоя частиц графита с эквивалентным диаметром 127–500 мкм производилось азотом, смесью азота и воздуха. Нагрев слоя и изделия осуществлялся постоянным током [4].

В результате статистической обработки на ЭВМ получены следующие уравнения регрессии:

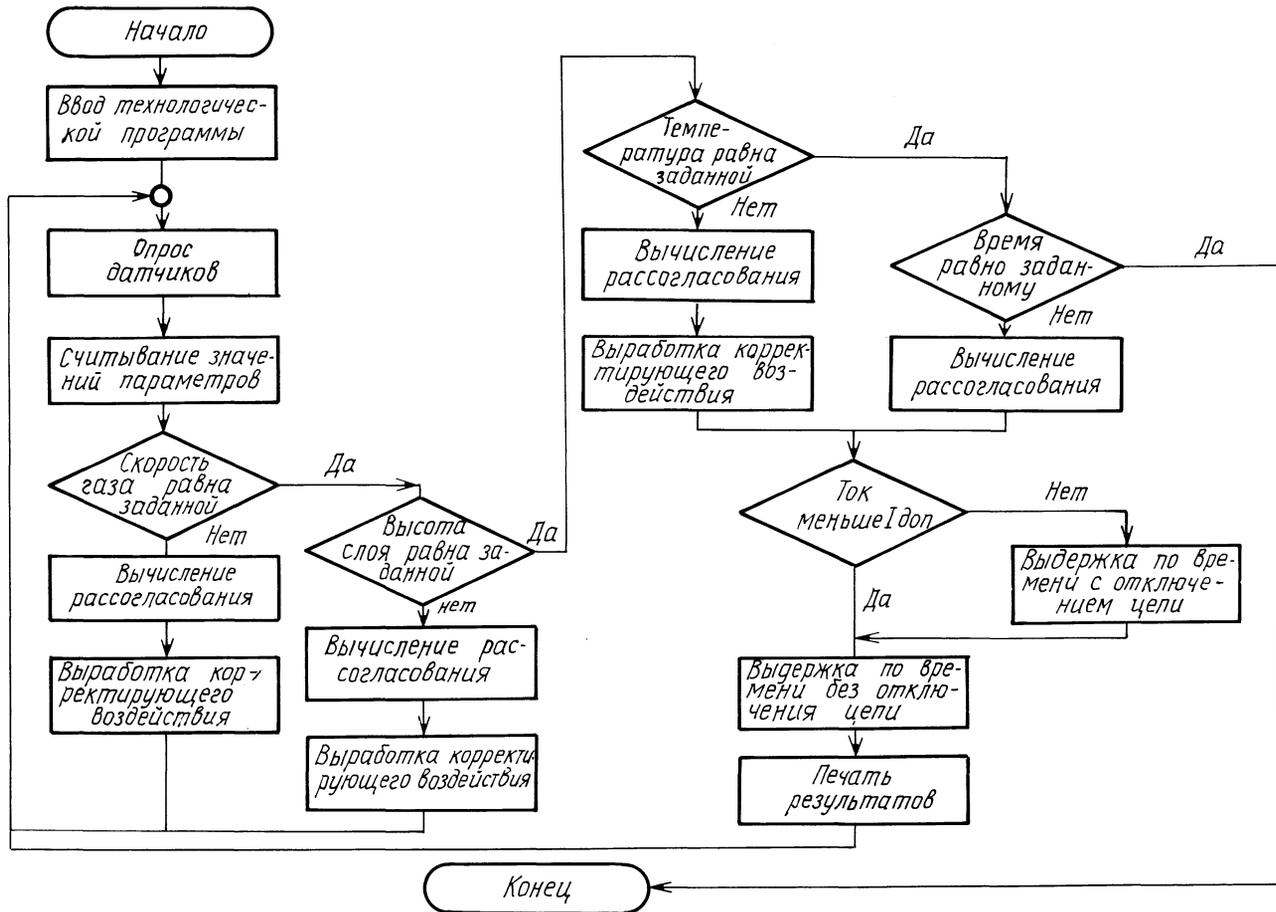


Рис. 1. Блок-схема управления процессом цементации стали.

$$T_{ст} = 775,1 + 54,7 \cdot j - 487,7 \cdot w_r^{20} \text{ } ^\circ\text{C} + 0,336 \cdot d_r, \quad (1)$$

$$C = -0,459 + 0,436 \cdot \text{EXP}(0,0059 \cdot \tau) + 0,167 \cdot \text{EXP}(0,0016 \cdot T), \quad (2)$$

$$h = -0,838 + 0,359 \cdot \text{EXP}(0,0185 \cdot \tau) + 0,0143 \cdot \text{EXP}(0,0041 \cdot T), \quad (3)$$

$$\text{CO}/\text{CO} + \text{CO}_2 = -168,5 + 0,019 \cdot H + 0,21 \cdot T. \quad (4)$$

Они использовались для разработки алгоритма управления процессом цементации стали. Для уравнения (1) – выборка $N = 26$, коэффициент корреляции

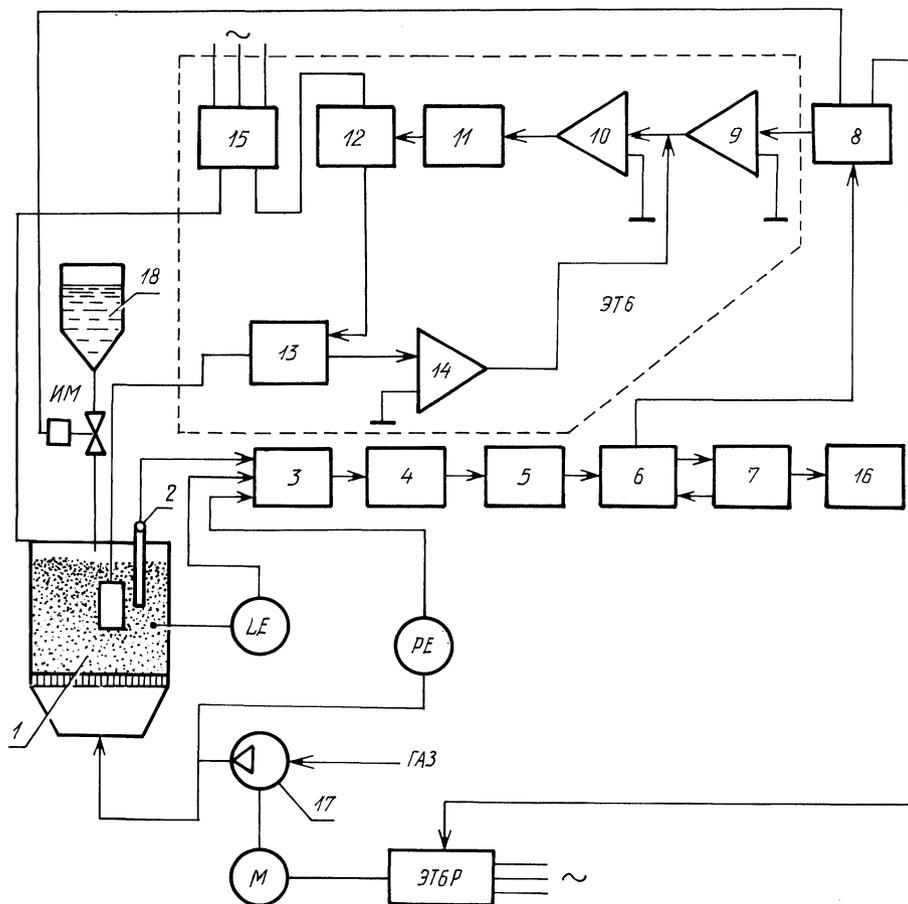


Рис. 2. Схема управления процессом цементации стали:

1 – установка с псевдооживленным слоем частиц графита; 2 – термопара; 3 – коммутатор; 4 – усилитель постоянного тока (УПТ); 5 – АЦП; 6 – устройство параллельного обмена; 7 – "Электроника-60М"; 8 – ЦАП; 9 – УПТ; 10 – регулятор тока; 11 – каналы управления; 12 – блок тиристоров; 13 – датчик тока; 14 – усилитель ОС по току; 15 – трансформатор; PE – датчик давления; LE – датчик уровня; 16 – АЦПУ. Тиристорный регулятор ЭТ 6; 17 – газодувка; 18 – бункер; М – двигатель; ИМ – исполнительный механизм.

$R = 0,36$, погрешность $\gamma = 4,6\%$; для (2), (3) — соответственно $N = 19$, критерий Фишера $F = 1,2$, $\gamma = 2,2\%$; для (4) — $N = 16$, $R = 0,69$, $\gamma = 15\%$. Блок-схема технологического процесса приведена на рис. 1.

Проанализируем алгоритм процесса управления температурой псевдоожженного слоя (рис. 2). Работа предлагаемой системы должна осуществляться следующим образом. МикроЭВМ в своей памяти имеет полученные уравнения регрессии и алгоритм решения по ним. В программу вводятся j , w_r , d_r , H . Хромель-алюмелевая термопара, погруженная в псевдоожженный слой, подключалась через устройство связи с объектом (УСО), содержащее коммутатор $\Phi 799/2$, усилитель постоянного тока $\Phi 7028C/7$, АЦП-Щ1516, согласующее устройство И2 к микроЭВМ "Электроника 60М". Фактическая температура слоя определяется через термо-Э.Д.С. по формуле

$$T = -2,61 + 25,86 \cdot E - 0,11 \cdot E^2 + 0,00174 \cdot E^3 .$$

Различие между заданной и фактической температурами слоя переводится в термо-Э.Д.С. по формуле $E = 0,123 + 0,041 (T \pm \Delta T)$. МикроЭВМ выдает сигнал рассогласования через УСО (И2, ЦАПФ723) на усилитель регулирования температуры слоя (РТС) тиристорного регулятора (тип ЭТ6), который корректирует подводимую мощность, что и приводит в свою очередь к изменению фактической температуры слоя. МикроЭВМ с выдержкой 120 с производит опрос датчика и на АЦПУ печатает значения процентного содержания углерода, глубины диффузионного слоя, содержания $CO/CO + CO_2$ в зависимости от фактической температуры слоя и продолжительности процесса цементации.

В библиотеке программ управления периферией, операционной системы РАФОС содержатся программы управления как отдельными устройствами, так и измерительными подсистемами на базе коммутатора, АЦП и ЦАП. Программы библиотеки оформлены как процедуры и процедуры-функции и подготовлены на СМ-4 для "Электроники 60".

Полученная упрощенная математическая модель позволяет прогнозировать процесс цементации стали и сокращать его продолжительность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Walton H.W. Mathematical modelling of the carburising process for microprocessor control // Heat Treat Metals, 1983. — 10, n. 1. — P. 23–26.
2. Wü n n i n g I. Prozeprechner zur steuerung das Diffusionsverlauf während der Aufkohlung // ZWE. — 1982. — 77, N 9. — P. 424–426.
3. Лахтин Ю.М., Коган Л.Д., Булов А.А. Перспективы применения ЭВМ в термической и ХТО // МиТОМ. — 1984. — № 1. — С. 2–6.
4. Бородуля В.А., Сугак Г.П., Тюхай Г.Г. и др. Исследование процесса диффузионного насыщения стали в электротермическом кипящем слое // Тепло- и массоперенос. — 1972. — Т. 5. — С. 153–158.