

Имея для заданного x_2 значения T_2 и Ω , подставляем их в уравнение кинетики горения в третьей зоне:

$$\frac{a^2 w_0}{A_0 (C_{O_2})_0^2} \int_{\Omega_2}^{\Omega} \frac{\exp(-E/RT)}{(T_0/T)^3 (1-\Omega) (a-1+\Omega)^2} d\Omega = \int_{x_2}^x dx,$$

где

$$T = T_2 + \frac{Q}{C_p 3,333 a} (\Omega - \Omega_2).$$

Для определения степени выгорания паров серы в зависимости от времени нахождения их в топочном пространстве при наличии охлаждающих поверхностей в зоне горения воспользуемся соотношением (2).

Предложенная методика расчета степени выгорания серы может быть использована для определения степени окисления паров серы в топочных пространствах имеющих печей или для качественных расчетов, с помощью которых устанавливаются конструктивные размеры новых печей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Степанчук В.Ф., Ковалев В.А. Расчет процесса горения паров серы // Изв. вузов. Энергетика. - 1980. - № 11. - С. 123-127.

УДК 532.137

В.А.СЫЧИК, канд.техн.наук,
П.А.ЛАВРИНОВИЧ (БПИ)

ВИСКОЗИМЕТРИЯ ЖИДКИХ ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Обеспечение бесперебойной и надежной работы энергетических аппаратов и устройств невозможно без контроля вязкости используемых жидких и вязкотекучих сред. Измерение вязкости жидких электроизоляционных материалов осуществляется с помощью вискозиметров, технические возможности которых в значительной степени обусловлены такими факторами, как диапазон контролируемых значений вязкости, ее зависимость от температуры, давления, плотности. Поэтому для анализа и синтеза методов и средств вискозиметрии жидких электроизоляционных материалов важно рассматривать математическую интерпретацию вязкости во взаимосвязи с вариацией указанных переменных.

Для многоатомных изоляционных жидкостей вязкость в соответствии с [1] записывается в следующем виде:

$$\eta = \eta \frac{\theta [1 - \theta^2 / 2 e^{-\theta} (1 - e^{e^*/T})]}{1 - e^{-\theta}},$$

где $\theta = 2/3\pi\sigma_0^3(p_i/\Omega kT)$ – вероятность обнаружения свободных частиц; η – вязкость паров жидкости в разреженном состоянии; p_i – внутреннее давление жидкости при данной температуре T .

Вязкость разбавленных и умеренно концентрированных растворов диэлектриков существенно зависит от содержания компонентов в них [2] :

$$\eta = \eta_0 \prod_i (1 + c[\eta]_i < \gamma_i >)^{x_i / \gamma_i},$$

где η_0 – вязкость растворителя; γ – коэффициент, характеризующий межмолекулярное термодинамическое взаимодействие; c – концентрация раствора; $[\eta]$ – характеристическая вязкость.

С учетом энергии активации H_0 и вязкости растворителя η_0

$$\eta = \eta_0 (1 - \gamma_c[\eta])^{1/\gamma} \exp \left\{ H_0 / RT \frac{a\Phi_0}{1 - a\Phi_0} \right\}. \quad (1)$$

Здесь γ – коэффициент, зависящий от качества растворителя; $a = 0,4-0,8$ и зависит от доли свободного объема; Φ_0 – объемная доля полимера; $c[\eta]$ – концентрация раствора.

Зависимость вязкости жидкости от ее свободного объема ($V_f = V - V_0$) подчиняется следующей закономерности [3] :

$$\eta = (RT/V_f) (3d/a) \exp [N A V' / V_f],$$

где R – универсальная газовая постоянная, T – температура; d – межатомное расстояние; a – скорость звука; V' – минимальный объем частицы, участвующей в вязком течении; NA – число Авогадро. При этом $V_f = NkT/p_i$, где N – полное число частиц в данном объеме; k – постоянная Больцмана; p_i – внутреннее давление жидкости. Следовательно, выражение (1) характеризует зависимости вязкости от температуры и давления.

Количественное выявление соответствующих зависимостей $\eta = F(p, c, \rho, T)$ и становится основой различных методов и средств контроля вязкости жидких диэлектриков.

Контроль вязкости электроизоляционных жидкостей включает способы, основанные на измерении скорости и времени истечения жидкости через капилляры; на определении силы сопротивления потоку движущейся жидкости. Отмеченные методы базируются на изучении явлений распространения механических, ультразвуковых и электромагнитных колебаний в жидкой среде.

Контроль вязкости путем измерения скорости и времени истечения жидкости через капилляры определяется формулой Пуазейля:

$$V = \pi \Delta p t R^4 / (8\eta l),$$

где Δp – разность давлений на концах капилляра (трубки); t – продолжительность протекания жидкости; l – длина капилляра, R – его радиус; η – динамическая вязкость.

Указанным способом можно измерять вязкость электроизоляционных материалов в реакционных сосудах. При этом контролируется время подъема испытуемой среды по капилляру в камеру под действием вакуума и истечения среды под действием избыточного давления.

Контроль вязкости жидких электроизоляционных материалов посредством определения силы сопротивления потоку движущейся жидкости базируется на известной зависимости:

$$F = \eta dV/dx ,$$

где η – динамическая вязкость жидкости, dV/dx – изменение скорости потока движущейся жидкости.

К данному классу относится группа крутильных (ротационных) методов, математически описываемых следующим выражением:

$$M = k\omega\eta ,$$

где M – момент вращающегося тела; k – постоянный коэффициент; ω – угловая частота; η – динамическая вязкость. Если в качестве вращающегося тела используется цилиндр, то вязкость можно определить как

$$\eta = \frac{M}{4\pi\omega(4a^2 - 1/b^2)h} ,$$

где a – радиус цилиндра; h – его высота; b – внутренний радиус резервуара с жидкостью.

Наибольший интерес с точки зрения высококачественной аппаратной реализации представляют методы контроля вязкости жидких и композиционных электроизоляционных материалов, основанные на изучении явлений распространения механических, ультразвуковых и электромагнитных колебаний в жидкой среде.

Эффективным для контроля маловязких электроизоляционных жидкостей является метод колеблющейся струны, в котором используется связь динамической вязкости среды с параметрами колебательного движения струны. Аналитически ее можно представить в виде полинома [4]

$$\eta + R(2\omega\rho)^{1/2} \left(1 - \frac{\ln A_n/A_{n+j}}{\pi j}\right) \sqrt{\eta - R^2 \omega(\rho_0 + \rho)} \frac{\ln A_n/A_{n+j}}{2\pi j} = 0.$$

Здесь R – радиус струны; ρ_0, ρ – соответственно плотность материала и жидкости; ω – круговая частота колебаний; A_n, A_{n+j} – амплитуды колебаний, следующих с интервалом в j периодов.

Для контроля электроизоляционных жидкостей повышенной вязкости достаточно эффективным является импедансный метод крутильных колебаний, который базируется на известной зависимости [5]:

$$\eta_1 \simeq (a_3 + a_4 + a_6)/2; \quad \eta_2 \simeq (a_2 + a_4 + a_5)/2, \quad \eta_3 = a_4/2 ,$$

где η_1, η_2, η_3 – коэффициенты динамической вязкости; $a_i (i = 1, \dots, 6)$ – коэффициенты вязкости Лесли.

При распространении сдвиговой акустической волны в контролируемой жидкости перпендикулярно ее боковой поверхности вязкость можно определить из выражения $\eta = \delta^2 \omega \rho$, где δ – глубина проникновения крутильной волны в жидкость; ρ – плотность жидкости; ω – частота крутильных колебаний.

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-