

ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТИ АДГЕЗИОННОЙ СВЯЗИ И КОГЕЗИОННОЙ ПРОЧНОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ

Сабаев А. С., Мороз К. К., Сабаева Т. А.

Широкое распространение при изучении прочностных свойств полимерных покрытий получили методы, основанные на измерении удельной силы или работы разрушения соединения [1]. Существенным их недостатком являются методические ошибки, обусловленные влиянием геометрии образцов, условий приложения разрушающей нагрузки, определения истинной площади адгезионного и когезионного разрушения. Если прочность адгезионных связей больше когезионных, то определение адгезионной прочности известными методами становится практически невозможным. К недостаткам следует отнести также продолжительную процедуру подготовки образцов, включающую операцию склейки. Предлагаемый гидродинамический метод определения адгезионной и когезионной прочности полимерных покрытий свободен от перечисленных недостатков [2, 3]. Сущность его (рис. 1) заключается в воздействии струи жидкости 1 на образец 2. Образец представляет собой металлическую подложку с нанесенным покрытием. Струя жидкости истекает через насадку 3 из камеры давления 4 (камера давления представляет собой гидроцилиндр, соединенный с гидронасосом). Давление в камере 4 измеряется тензоманометром 5. Скорость струи на выходе из насадки v определяется выражением [4]

$$v = \sqrt{\frac{2k^2(P_k - P_0)}{\rho}}, \quad (1)$$

где P_k — давление в объеме камеры давления; P_0 — атмосферное давление; k — коэффициент скорости, учитывающий форму насадки и режим течения, ρ — плотность жидкости.

Начиная с некоторого расстояния от места выхода из насадки, скорость струи v уменьшается из-за потерь энергии струи при взаимодействии струи с окружающей средой. Для чисел Рейнольдса $Re = 10^3 - 10^6$ в работе [5] приведены экспериментальные данные о водяных струях диаметром 10^{-3} м, движущихся в воздушной среде. Расстояние l , в пределах которого скорость не изменяется, составляет величину

$$l = 40d_0, \quad (2)$$

где d_0 — диаметр струи на выходе из насадки.

Таким образом, расстояние до образца выбирается из условия $l < 40d_0$.

Давление струи на преграду при перпендикулярном падении определяется выражением [4]

$$P_c = \rho v^2, \quad (3)$$

где ρ — плотность жидкости с учетом формулы (1)

$$P_c = 2k^2(P_k - P_0) \quad (4)$$

При достижении определенного давления струи жидкости на покрытие происходит его разрушение. Величина разрушающего давления определяется следующим образом [2]. Струя электропроводной жидкости 1 (например, 5% водного раствора NaCl), образец 2, насадка 3, камера давления 4, источник электрического тока 6, двухканальный самописец 7 образуют электрическую цепь, сила тока в которой определяется в основном величиной сопротивления покрытия. Второй вход самописца соединен с

тензоманометром, регистрирующим давление в камере давления 4. Разрушение покрытия приводит к увеличению тока в цепи, причем адгезионному разрушению соответствует максимальная величина тока. Типичная зависимость силы тока от давления представлена на рис. 2. Анализ зависимости $i/i_0 = f\left(\frac{P}{\sigma_a}\right)$ позволяет выявить участки когезионного (bc) и адгезионного разрушения (cd).

Для определения прочностных свойств полимерных покрытий, имеющих малое электрическое сопротивление, целесообразно применять мето-

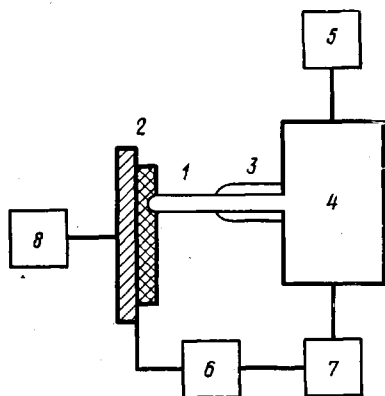


Рис. 1

Рис. 1. Функциональная схема гидродинамического метода

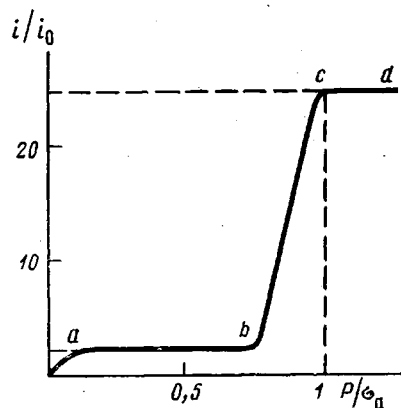


Рис. 2

Рис. 2. Зависимость изменения силы тока i от давления струи жидкости в образце с политетрафторэтиленовым покрытием

дику, предложенную в работе [3]. Образец 1 в форме диска закреплен на оси электродвигателя 8 и эксцентрично вращается относительно оси струи жидкости 3. Скорость вращения образца задана, т. е. задан закон движения пятна контакта струи жидкости и покрытия образца

$$l = \omega t, \quad (5)$$

где l — расстояние, пройденное пятном контакта, ω — скорость вращения образца, t — время вращения образца.

Задач также закон изменения давления в камере 4

$$P_k = \omega t, \quad (6)$$

где ω — скорость изменения давления.

Скорости изменения давления и движения образца могут регулироваться в широком диапазоне и определяются требованиями точности измерения.

Подставляя время t из формулы (5) в выражение (6), получим

$$P_k = \frac{\omega l}{w} \quad (7)$$

Вместо длины пути проще измерять угол поворота φ образца до места разрушения

$$l = 2\pi r \frac{\varphi}{360^\circ}, \quad (8)$$

где r — радиус, определяющий положение пятна контакта на образце.

Учитывая соотношения (7) и (8), найдем выражение для прочности покрытия

$$\sigma_{ц} = P_c = 2k^2 \left(\frac{\omega\varphi}{n \cdot 360^\circ} - P_0 \right), \quad (9)$$

где n — число оборотов образца в секунду.

Характер разрушения определяется визуально, микроскопическим, электронно-микроскопическим, люминесцентным методами или методом электрохимического травления. Предложенная методика позволяет также

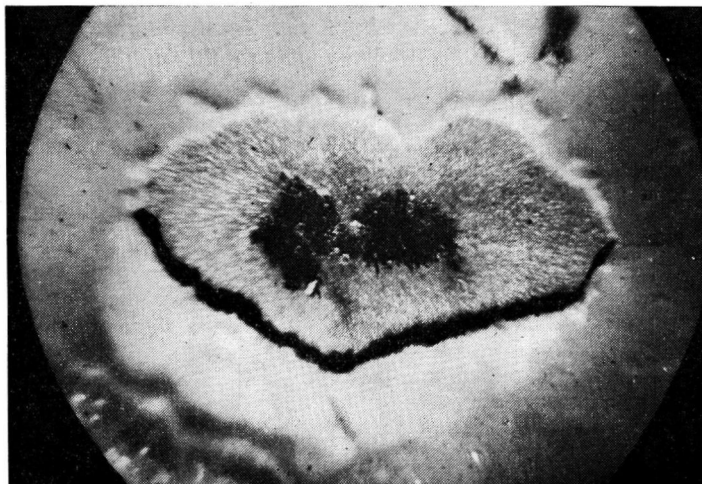


Рис. 3. Зона разрушения покрытия

изучить детальный характер разрушения покрытия, поскольку след пятна контакта представляет собой развертку процесса разрушения покрытия по толщине (рис. 3).

Описанными способами была измерена когезионная и адгезионная прочность электрофоретически осажденных покрытий на основе ПТФЭ, выявлена зависимость прочностных свойств от толщины осажденного покрытия.

При этом для покрытия с адгезионной прочностью 1,1 МПа были получены следующие значения когезионной прочности:

Толщина покрытия, мкм	20	40	60	80
Когезионная прочность, МПа	0,80	0,75	0,60	0,45

Измерения выполнены с погрешностью не более 7%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зимон А. Д. Адгезия пленок и покрытий. М.: Химия, 1977. 352 с.
2. Сабаев А. С., Смирнов В. А., Мороз К. К., Сабаева Т. А. А. с. 957070 (СССР). — Оpubл. в Б. И., 1982, № 33, с. 195.
3. Сабаев А. С., Мороз К. К., Лемперт Л. Э., Сабаева Т. А. А. с. 1089489 (СССР). — Оpubл. в Б. И., 1984, № 16, с. 149.
4. Агроскин И. И., Дмитриев Г. Т., Пикалов Ф. И. Гидравлика. 4-е изд. перераб. М.: Энергия, 1964. 352 с.
5. Нурок Г. А. Процессы и технология гидромеханизации горных работ. М.: Наука, 1979. 549 с.

Научно-исследовательский институт
механики и прикладной математики
при Ростовском государственном
университете

Поступила в редакцию
20.XII.1984