

УДК 66.047/66.011

**ОЦЕНКА ФАКТОРОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ АДГЕЗИОННЫЕ СВОЙСТВА
ДИСПЕРСНЫХ ВОЛОКНООБРАЗУЮЩИХ ПОЛИМЕРОВ***Б.С. САЖИН, Л.Б. ДМИТРИЕВА, М.Б. САЖИНА***(Московский государственный текстильный университет им. А.Н. Косыгина)**

В современных технологических процессах химической, текстильной и других отраслей промышленного комплекса применяются материалы с различными адгезивно-аутогезионными характеристиками, определяющими взаимодействие соприкасающихся конденсированных тел.

Так, например, в технологии производства химических волокон и в процессе переработки волокнообразующих полимеров адгезивно-аутогезионные свойства (АДАС) обрабатываемых материалов оказывают существенное влияние при экструдерных процессах, работе пылеулавливающих и бункерных систем, разгрузочных и загрузочных устройств, сушке полимеров и др.

В частности, в процессе сушки дисперсных волокнообразующих полимеров для правильного выбора конструкции сушильного аппарата и комплектующего оборудования, особенно питателей и дозаторов, необходимо учитывать АДАС обрабатываемых материалов, то есть эффекты налипания на стенки аппарата, комкование и т.п., препятствующие нормальному течению процесса. Кроме того, адгезивно-аутогезионные характеристики подвергаемых различным видам обработки материалов оказывают значительное влияние не только на отдельных участках технологической линии, но и в целом определяют ход протекания технологического процесса, обуславливая создаваемую внутри аппарата гидродинамическую обстановку.

С целью оценки АДАС была проведена классификация дисперсных волокнообразующих полимеров, где АДАС учтены посредством адгезивно-аутогезионного коэффициента (K_a), связанного с углом естественного откоса дисперсного материала [1...5]. По рейтингу адгезивно-аутогезионного коэффициента (K_a) от 1 до 5 баллов устанавливается степень сыпучести или «липкости» материала (идеально сыпучий материал, например, песок в песочных часах, имеет $K_a = 1$, а липкий влажный пастообразный материал, например, влажная глина – $K_a = 5$).

Однако представленная классификация содержит градацию обрабатываемых материалов в основном органолептическим методом. Это не вскрывает механизма адгезивно-аутогезионного взаимодействия дисперсных частиц и не позволяет численно определить силу адгезивно-аутогезионного взаимодействия контактирующих тел.

В связи с этим авторами рассмотрены различные теоретические подходы к численной оценке АДАС материалов и представлены расчетные методы определения АДАС дисперсных волокнообразующих полимеров с учетом природы сил, обуславливающих адгезивно-аутогезионное взаимодействие структурно-механических свойств контактирующих поверхностей и формы обрабатываемых частиц.

Силы, определяющие адгезионное взаимодействие, можно условно разделить на две группы [6...8]. Первая группа сил обуславливает взаимодействие частиц с поверхностью до непосредственного соприкосновения тел (к числу таких сил относятся молекулярные). Вторая группа сил возникает при контакте частиц с поверхностью (капиллярные силы и силы электрического взаимодействия за счет двойного слоя в зоне контакта).

Молекулярная компонента сил адгезии обусловлена свойствами соприкасающихся тел и зависит от размеров частицы, от площади истинного контакта и свойств поверхности (шероховатости). При взаимодействии двух сферических частиц

$$F_{\text{мол}} = Ar / 12H^2. \quad (1)$$

При взаимодействии сферической частицы и плоскости:

$$F_{\text{мол}} = Ar / 6H^2, \quad (2)$$

где A – константа молекулярного взаимодействия Ван-дер-Ваальса ($A = \pi^2 \sum_i \sum_j n_i n_j \lambda_{i,j}$); n_i, n_j – числа молекул i и j в 1 см^3 ; $\lambda_{i,j}$ – константа, которая характеризует дисперсионное взаимодействие ($\lambda_{i,j} = -3/2h[v_i v_j / (v_i + v_j)] \alpha_i \alpha_j$); h – постоянная Планка; v_i и v_j – частота колебаний взаимодействующих электронных осцилляторов; α_i и α_j – поляризуемость молекул i и j ; r – радиус частицы; H – расстояние между частицей и стенкой.

При контакте частиц с поверхностью возможна деформация зоны контакта, в результате чего становится возможным появление сил отталкивания [6]. Таким образом, с учетом поправки на деформацию в зоне контакта

$$F_{\text{мол}} = (Ar / 6H^2)(1 + r_k / 3rH), \quad (3)$$

где r – радиус частицы; H – расстояние между контактирующими поверхностями с учетом их деформации; r_k – радиус площади контакта частицы с поверхностью; при

упругом контакте может быть рассчитан по формуле Герца [6]:

$$r_k = \sqrt[3]{0,75rF_n[(1-\mu_1^2)/E_1 + (1-\mu_2^2)/E_2]}, \quad (4)$$

где F_n – сила прижатия; μ_1, μ_2 – коэффициенты Пуассона; E_1, E_2 – модуль упругости для каждого материала.

Влияние деформации на адгезионное взаимодействие можно учесть, используя характеристику твердости Y контактирующих тел, определяющую контактную деформацию и равновесие между силами притяжения и упругого отталкивания:

$$F_{\text{ад}} = F_d + \pi r_k^2 P_s \text{ или } F_{\text{ад}} = F_d[1 + (P_s / Y)], \quad (5)$$

где P_s – сила взаимодействия между поверхностью и частицей в расчете на 1 см^2 площади поверхности контакта (удельное давление адгезии); F_d – равновесная сила между силами притяжения и сопротивлением деформации ($F_d = \pi r_k^2 Y$).

Сила адгезии, обусловленная в основном силами молекулярного взаимодействия, с учетом влияния шероховатости поверхности равна:

$$F_{\text{ад}} = 1,2U_s a[gr / (r + \rho)]n_1 i, \quad (6)$$

где U_s – энергия в расчете на одну молекулу и a – постоянная решетки, являющиеся постоянными и зависящие от физико-химических свойств контактирующих тел; r – радиус частицы и ρ – приведенный радиус шероховатой поверхности, а выражение $gr / (r + \rho)$ характеризует отношение между размерами прилипших частиц и шероховатостью поверхности; n_1 – число молекул в зоне контакта (то есть $n_1 = N_1 V$, где N_1 – число молекул в 1 см^3 ; V – объем) и i – число контактов, зависящие от положения частиц на шероховатой поверхности и площади контакта этих частиц с поверхностью.

Электрические силы, возникающие при контакте частиц с поверхностью [6], [8], [10]:

$$F_3 = 2\pi\sigma_s^2 S, \quad (7)$$

где σ_s – плотность зарядов двойного электрического слоя ($\sigma_s = q/S$); q – заряд частицы при ее отрыве от подложки; S – площадь контакта частицы с поверхностью.

При адгезии частиц диэлектрика (диаметром менее 30 мкм) к твердым поверхностям электростатическая компонента силы адгезии состоит из двух слагаемых [7], [8]:

$$F_{эл} = 2\pi\sigma^2 S + \frac{q_0^2}{d^2}, \quad (8)$$

где 1) $2\pi\sigma^2 S$ – сила взаимодействия, обусловленная двойным электрическим слоем, образующимся в месте контакта (σ – поверхностная плотность заряда; S – площадь контакта); 2) $\frac{q_0^2}{d^2}$ – выражает силу

взаимодействия заряда, равномерно распределенного по поверхности частицы диаметром d , с контактирующей поверхностью (происхождение этого заряда связано с предварительной электризацией частиц).

Капиллярные силы возникают при наличии мениска жидкости в зазоре между частицей и поверхностью [9], [11]. С учетом влияния шероховатости контактирующих поверхностей капиллярные силы равны:

$$F_k = 2\pi r \sigma \cos\Theta_{каж} / \alpha, \quad (9)$$

где $\Theta_{каж}$ и Θ – кажущийся и истинный краевые углы смачивания с учетом шероховатости поверхности ($\cos\Theta_{каж} = \alpha \cos\Theta$); α – коэффициент шероховатости поверхности.

ВЫВОДЫ

1. В процессе производства химических волокон или при переработке волокнообразующих полимеров необходимо учитывать природу сил, обуславливающих адгезионно-аутогезионного взаимодействия дисперсных частиц, акцентируя внимание на самых уязвимых участках технологиче-

ской линии для обеспечения беспрепятственного протекания технологического процесса.

2. На величину адгезионно-аутогезионного взаимодействия дисперсных волокнообразующих полимеров существенное влияние оказывают структурно-механические свойства контактирующих поверхностей (шероховатость и возможность деформации в зоне контакта, влияющих на площадь контакта полимерных частиц с поверхностью; пористость материалов; наличие зазора между соприкасающимися телами, радиусы кривизны контактирующих тел) и форма обрабатываемых частиц. Таким образом, производя расчеты АДАС в каждом конкретном случае, необходимо вносить соответствующие поправки, учитывая приведенные выше факторы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сажин Б.С., Сажин В.Б. Научные основы техники сушки. – М.: Наука, 1997.
2. Сажин В.Б., Сажина М.Б. Выбор и расчет аппаратов с взвешенным слоем. – М.: РосЗИТЛП, 2001.
3. Сажин В.Б., Сажина М.Б. Сушка в закрученных потоках: теория, расчет, технические решения. – М.: РосЗИТЛП, 2001.
4. Сажин В.Б. Научные основы техники сушки дисперсных материалов при эффективных гидродинамических режимах взвешенного слоя: Дис... докт. техн. наук. – М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2000.
5. Шадрина Н.Е. Исследование тепловых, гидродинамических и сорбционно-структурных характеристик полимерных материалов и выбор рационального метода их сушки: Дис... канд. техн. наук. – Калинин, Калининский политех. ин-т, 1974.
6. Зимон А.Д. Адгезия пыли и порошков. – М.: Химия, 1976.
7. Алейникова И.Н., Дерягин Б.В., Топоров Ю.П. К вопросу о механизме адгезии полимерных порошков к твердым поверхностям // Мат. конф.: Адгезия и прочность адгезионных соединений. – Сб. 2. – М.: МПНТП им. Ф.Э. Дзержинского, 1968. С.70...74.
8. Дерягин Б.В., Кротова Н.А., Смигла В.П. Адгезия твердых тел. – М.: Наука, 1973.
9. Фукс Г.И., Берлин Л.И. В кн.: Исследование в области физико-химии контактных взаимодействий. – Уфа: Башкирское кн. изд., 1971.

10. *Бояринов А.В.* Исследование процесса электризации в аппарате с псевдооживленным слоем дисперсного диэлектрического материала: Дис...канд. техн. наук. – М.: МИХМ, 1980.

11. *Зимон А.Д.* Адгезия жидкости и смачивание. – М.: Химия, 1974.

Рекомендована кафедрой процессов и аппаратов химической технологии и безопасности жизнедеятельности. Поступила 16.04.07.
