

тия и скорости, а обжатие влияет на толщину композиционного покрытия и электросопротивление порошкового слоя. Можно предположить, что в I-ом диапазоне графиков на температуру спекания в большей степени влияет электросопротивление порошкового слоя, а во II-ом диапазоне – толщина композиционного покрытия, что и наблюдается на рисунке.

Анализ результатов эксперимента позволяет определить режимы процесса, обеспечивающие угол перегиба  $180^\circ$ , который на основании экспериментальных данных является достаточным условием отсутствия расслоений после последующей штамповки подшипников скольжения из получаемого полосового материала.

После анализа результатов математического планирования эксперимента и на основании проведенных экспериментов можно определить следующие оптимальные режимы процесса:

1. Среднее абсолютное обжатие материала при предварительном формовании и спекании: 1,65...1,86 мм.
2. Скорость вращения валков-электродов: 0,8...0,9 м/мин.
3. Сила тока спекания: 19 кА.

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ АНТИКОРРОЗИОННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

Н.В. Друзик

*Учреждение образования «Гомельский государственный  
технический университет имени П.О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель Рыженко М.М.

### Введение

При перевозке агрессивных жидкостей в металлических емкостях вследствие коррозии они часто выходят из строя. К наиболее эффективным способам защиты металлов от коррозии можно отнести поверхностное насыщение стали хромом, кремнием, а также нанесение лакокрасочных и полимерных покрытий. Особенно эффективны полимерные покрытия от различных видов коррозии в условиях абразивного изнашивания. Долговечность покрытий при работе в таких условиях зависит, в основном, от химической стойкости полимера, проницаемости покрытия, ударной прочности и адгезии к металлам. В химической промышленности наиболее широкое применение получили покрытия из эпоксидных покрытий. По способности противостоять ударным нагрузкам и изнашиванию эпоксидные смолы превосходят многие полимеры, а по химической стойкости находятся близко к фторсодержащим полимерам. Эпоксидные смолы используются как в чистом виде, так и с различными наполнителями. Эпоксидные композиции наносят на металлическую поверхность в виде порошков, паст, растворов.

### Методика эксперимента

Для получения покрытий использовали следующие материалы: эпоксидную жидкую смолу ЭД-20 (ГОСТ 10587-84), каучук СКН 26-1А (ТУ 38-103-16-78), аэросил А-175, графит, металлический порошок из оксида титана, отвердитель ПЭПА (полиэтиленполиамин). Добавка компонентов эпоксидной композиции производится весовым методом. Свежеприготовленные эпоксидные композиции перед испытаниями выдерживали 336 часов при температуре  $20^\circ\text{C}$ . Покрытия из жидкой эпоксидной композиции на стальные образцы наносили в литьевых формах методом литья под давлением в вакууме. Были проведены исследования физико-

механических свойств наполненных образцов эпоксидного полимера при различной концентрации наполнителей. Прочность на сжатие эпоксидных композиций различного состава проводилось на цилиндрических образцах (диаметр 17 мм, высота 25 мм) на универсальном испытательном стенде «Compten» со скоростью 10 мм/мин. Прочность адгезионного соединения полимер-подложка проводили на машине ZD-20 со скоростью 10 мм/мин. Ударную прочность проверяли на приборе У-1 ГОСТ 4765-73. Способ основан на деформации покрытия, вызванной падением груза с определенной высоты. Дифференциально-термический анализ проводили на дериватографе системы Паулик.

#### Результаты эксперимента и обсуждение

Проведенные исследования свойств защитных покрытий из эпоксидных композиций с различным составом показали, что наполнители оказывают значительное влияние на их механические свойства. Данные результатов исследования приведены в таблице.

#### Зависимость механических свойств от композиционного состава

| №   | Состав покрытия в м.ч. |        |        |         |        | Механические свойства    |                        |  |
|-----|------------------------|--------|--------|---------|--------|--------------------------|------------------------|--|
|     | ЭД-20                  | Графит | Каучук | Аэросил | Металл | Прочность на сжатие, МПа | Ударная прочность, кДж | Адгезионная прочность, Н/см <sup>2</sup> |
| 1.1 | 100                    | 10     | 5      | -       | -      | 30,22                    | 12                     | 176,58                                   |
| 1.2 | 100                    | 40     | 20     | -       | -      | 34,5                     | 14                     | 196,2                                    |
| 1.3 | 100                    | 70     | 60     | -       | -      | 36,3                     | 8                      | 117,72                                   |
| 2.1 | 100                    | 10     | 5      | 10      | -      | 42,2                     | 23                     | 318,83                                   |
| 2.2 | 100                    | 40     | 20     | 15      | -      | 62,42                    | 25                     | 343,35                                   |
| 2.3 | 100                    | 70     | 60     | 20      | -      | 17,7                     | 20                     | 294,3                                    |
| 3.1 | 100                    | 10     | 5      | -       | 10     | 11,2                     | 14                     | 196,2                                    |
| 3.2 | 100                    | 40     | 20     | -       | 15     | 23,7                     | 16                     | 215,82                                   |
| 3.3 | 100                    | 70     | 60     | -       | 20     | 25,66                    | 12                     | 166,77                                   |
| 4.1 | 100                    | 10     | 5      | 10      | 10     | 15,6                     | 18                     | 274,68                                   |
| 4.2 | 100                    | 40     | 20     | 15      | 15     | 22,7                     | 20                     | 294,3                                    |
| 4.3 | 100                    | 70     | 60     | 20      | 20     | 18,5                     | 16                     | 245,25                                   |

Повышение прочностных характеристик покрытий с наполнителями (составы 1 – 4) обусловлено различными факторами: концентрацией наполнителей, дисперсностью, структурой, поверхностной энергией эпоксидной смолы и наполнителей, взаимодействием частиц наполнителей и связующего, прочностью адгезионной связи между ними и др. Анализ результатов исследований показал, что изменение свойств покрытий при введении в эпоксидную смолу высокодисперсных наполнителей: графита, аэросила и металлического порошка – носит экстремальный характер. Как следует из полученных данных, наблюдается существенное увеличение ударной прочности покрытий при содержании каучука до 10-15 м.ч. на 100 м.ч. эпоксидной смолы (состав 1), который также, взаимодействуя с наполнителями, образует цепные структуры, способствующие увеличению молекулярной подвижности и уменьше-

нию внутренних напряжений. При введении в эпоксидную смолу, кроме графита и каучука, еще и аэросила наблюдается резкое увеличение механических свойств благодаря тому, что данный наполнитель обладает высокой поверхностной энергией. Свободный объем, приносимый в систему его поверхностью, может приводить к снижению роста молекулярной подвижности, стимулировать процесс более плотной упаковки молекулярных цепей и переход в более неравновесное состояние. Этот эффект наблюдается при содержании аэросила 10-15 м.ч. на 100 м.ч. эпоксидной смолы. Однако при дальнейшем увеличении содержания аэросила прочностные характеристики снижаются из-за роста разрыхляющего действия вследствие накопления дефектов с увеличением объемного вклада межфазной границы. При таком содержании аэросила получается полностью сшитая структура, что приводит к снижению адгезионной прочности между полимерным покрытием и подложкой, а также когезионной прочности в покрытии. При переходе к составу 3 установлено снижение механических свойств, что обусловлено межфазными напряжениями между дисперсным металлическим наполнителем, связующим и металлической подложкой, различного коэффициента термического линейного расширения, неустойчивости термодинамической системы: металлический порошок-связующее-подложка. При добавлении в композицию 3 аэросила (композиция 4) наблюдается увеличение предела прочности на сжатие и адгезионной прочности, что, вероятно, обусловлено образованием дополнительных структурных связей между порошками наполнителей, связующим и подложкой. Изучение процесса отверждения проводилось методом ДТА в воздушной среде в интервале температур 293-773 К при скорости 293 К/мин. Тепловые эффекты рассчитывали исходя из интенсивности пиков ДТА. На ДТА-кривых, полученных при отверждении ненаполненной и наполненной эпоксидной смолы при постоянном содержании отвердителя 10 мас. частей. Как следует из полученных данных, наличие наполнителей и их природа значительно влияет на форму ДТА-кривых. У чистой эпоксидной смолы и смолы с каучуком процесс конденсации начинается при 110 °С. При введении графита процесс начала отверждения смещается в область низких температур (105 °С). Особенности изменения формы кривой ДТА в сторону области более высоких температур наблюдается с введением аэросила (150 °С). При введении в состав 2 дисперсного металлического наполнителя из-за его высокой теплопроводности температура смещается в область низких температур (136 °С).

### Заключение

Таким образом, можно сделать вывод о влиянии высокодисперсных наполнителей и их вида на термодинамические и кинетические параметры отверждения эпоксидной композиции. По-видимому, это влияние, в первом приближении, можно объяснить чисто концентрационным эффектом наполнителей, связанным с адсорбцией отвердителя на поверхности наполнителей, различными коэффициентами теплопроводности наполнителей и другими их свойствами. Следовательно, применение высокодисперсных наполнителей способствует значительному сокращению времени отверждения связующего, повышению механических свойств и долговечности покрытий.