

И. С. Линьков, А. И. Симонов

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия

Тел./Факс: 8(863-65) 7-90-864 E-mail: ilya.linckow@yandex.ru

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ АДГЕЗИОННОЙ ПРОЧНОСТИ ПОКРЫТИЙ (НА ПРИМЕРЕ СМАЗКИ НА ОСНОВЕ ПОЛИИЗОБУТИЛЕНА)

Функциональные свойства покрытий зависят от адгезионной прочности. В статье рассматривается подход, позволяющий путем расчета энергетических характеристик жидких составов, предназначенных для формирования покрытий, оценить прочность сцепления покрытия с защищаемой поверхностью. Разработана программа в среде Visual Studio, позволяющая рассчитывать энергетические характеристики исходных жидких композиций. На примере разделительного покрытия на основе полиизобутилена установлена корреляция работы адгезии жидкости с адгезионной прочностью покрытия.

Ключевые слова: жидкость, энергетические характеристики, покрытие, адгезия.

I. S. Lin'kov, A. I. Simonov

PREDICTION OF ADHESION STRENGTH OF COATINGS (ON THE EXAMPLE OF POLYISOBUTYLENE-BASED GREASE)

The functional properties of the coatings depend on the adhesive strength. The paper considers an approach that allows, by calculating the energy properties of liquid compositions intended for the formation of coatings, to assess the adhesion strength of the coating to the protected surface. A program has been developed in the Visual Studio environment that allows you to calculate the energy characteristics of the initial liquid compositions. Using the example of a polyisobutylene-based separation coating, the correlation of the work of liquid adhesion with the adhesive strength of the coating has been established.

Keywords: liquid, energy characteristics, coating, adhesion.

1. Введение

Свойства защитных покрытий в значительной мере обусловлены их адгезионной прочностью. Адгезионная прочность зависит от множества факторов: свойств среды, силы, определяющий сцепление разнородных материалов, характера изменения этой силы отрыва, методов определения. Понятие «адгезия» подразумевает взаимодействие между молекулами контактирующих материалов. Независимо от методов оценки адгезионной прочности, прямых или косвенных, основным критерием является возможность сделать заключение – обеспечит формируемое покрытие эксплуатационные свойства, или нет.

В настоящей работе предложен подход, позволяющий путем оценки энергетических характеристик исходных жидких составов, предназначенных для получения покрытий, прогнозировать адгезионную прочность покрытий к защищаемой поверхности. О наличии связи между этими характеристиками свидетельствует ряд опубликованных работ [1, 2]. Исследовано антиадгезионное покрытие на основе полиизобутилена, предназначенное для защиты технологической оснастки при изготовлении композиционных материалов.

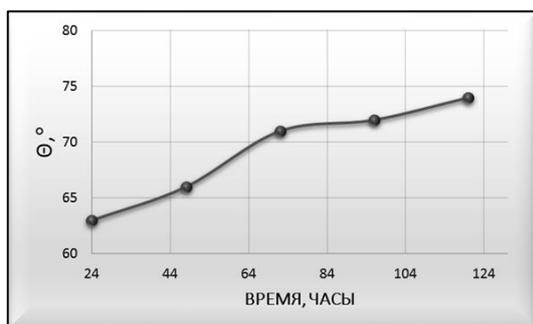
Цель работы – произвести оценку энергетических характеристик жидкого раствора на основе полиизобутилена и выявить взаимосвязь этих характеристик с адгезионной прочностью формируемого разделительного покрытия.

2. Материалы и методы

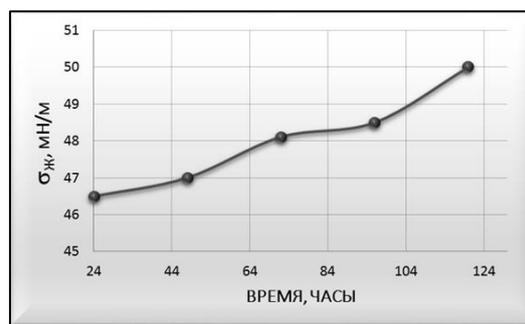
Для формирования покрытия использовали раствор полиизобутилена П-200 в нефрасе. Покрытия формировали на стальной подложке (40Х), методом налива, в два слоя, в соответствии с рекомендациями изготовителя. Слои сушили 25 минут на воздухе, затем в термошкафу 4 часа, при температуре 100 °С. Экспериментально определяли краевой угол смачивания (КУС) раствора к стальной поверхности (θ) и поверхностное натяжение раствора ($\sigma_{ж}$). Измерения проводились в течение пяти суток, с интервалом 24 часа, при температуре (23±1) °С. Изготовитель рекомендует использовать раствор в течение 4 суток после изготовления. Поэтому, для получения более полной информации, контроль состава осуществлялся также на пятые сутки. В эксперименте использовали метод «сидячей капли» и кольцевой метод Дю-Нуи. Расчет энергетических характеристик – работы адгезии (W_a), когезии (W_k), смачивание ($W_э$), относительную работу адгезии (сцепление) рассчитывали по методике, изложенной в работе [3]. Для численных расчетов энергетических характеристик была разработана программа в среде Visual Studio, на языке программирования С#. Адгезионная прочность покрытий оценивалась балльным методом решетчатых надразов. Морфология покрытий изучалась с помощью микроскопа для металлографии ADFU300 КТИ (филиала) ЮРГПУ (НПИ) имени М. И. Платова.

3. Результаты и обсуждение

На рисунке 1 показано влияние времени выдержки растворов на величины КУС и поверхностного натяжения. Из рисунков видно, что значения характеристик возрастают почти линейно.



а)



б)

Рисунок 1. Влияние времени выдержки состава на основе полиизобутилена на величину краевого угла смачивания - (а) и величину поверхностного натяжения - (б)

Величины $\theta=90$ °С КУС не достигает, поверхность стали остается гидрофильной, смачивается. Следует отметить, что смазка хорошо растекается по поверхности, образуя тонкую сплошную пленку. Поверхностное натяжение меняется заметно на пятые сутки ~ 2мН/м.

Блок-схема разработанной программы приведена на рисунке 2. Полученные результаты расчета энергетических характеристик отражены в таблице 1. По мере увеличения времени выдержки жидкого состава, уменьшается работа адгезии и энергия смачивания жидкостью стальной поверхности. Работа когезии для исследуемого состава возрастает.

Таблица 1. Энергетические характеристики жидкого состава на основе полиизобутилена

Время, часы	24	48	72	96	120
W_a , мДж/м ²	67,4	66,1	63,7	63,5	64,0
W_k , мДж/м ²	93,0	94	96,2	97	100,0
$W_э$, мДж/м ²	21,1	19,1	15,6	15,0	14,0

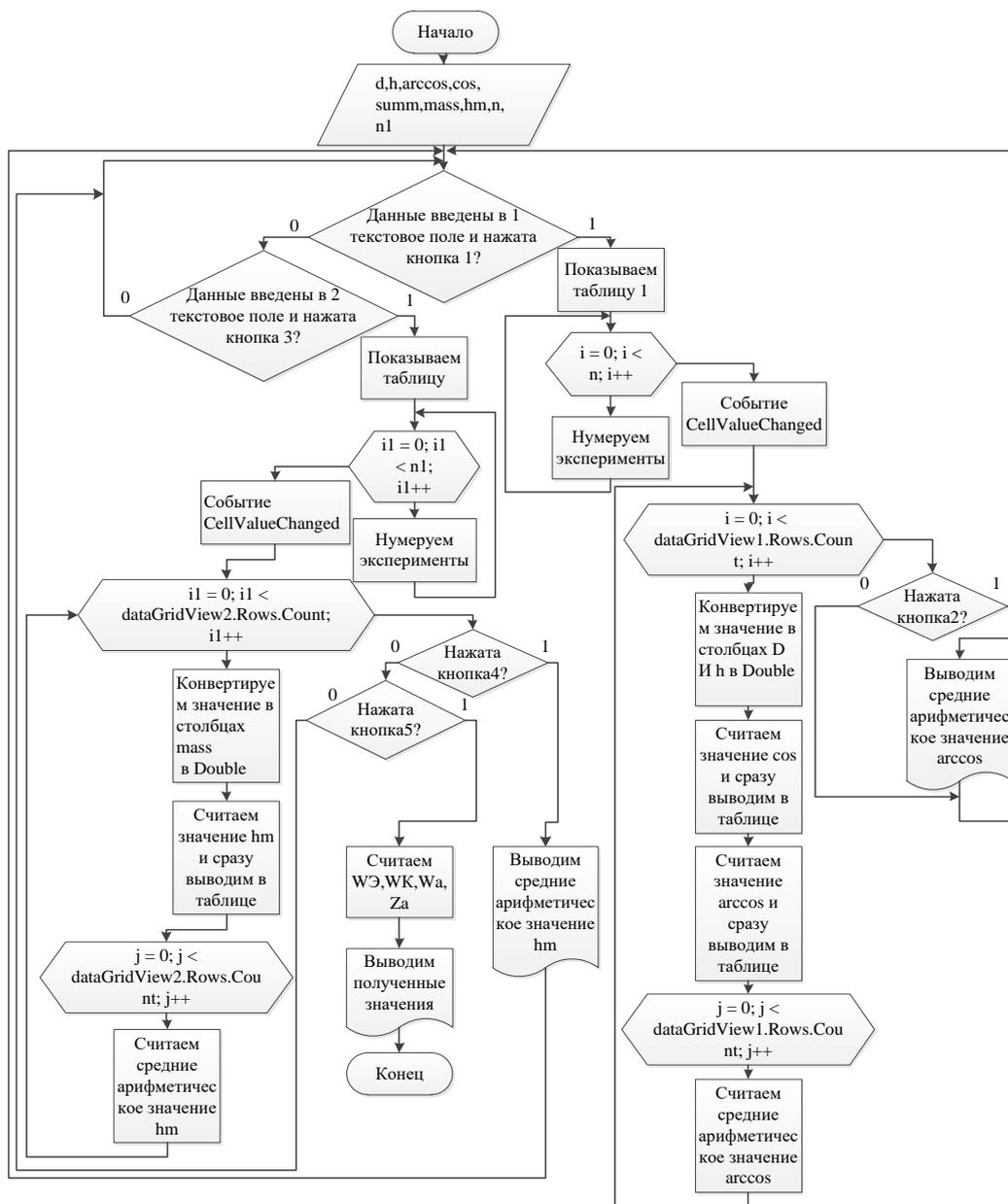


Рисунок 2. Блок-схема программы, разработанная для расчета энергетических характеристик состава на основе полиизобутилена

В таблице 2 приведены результаты расчета относительной работы адгезии жидкого состава к поверхности, и адгезионной прочности покрытия, определенной с помощью метода решетчатых надрезов. Здесь «0» баллов – наилучшая адгезия, «5

баллов» - наихудшая. Хорошую адгезионную прочность покрытие имеет для состава, выдержанного не более 2 суток (0-1 балл). По истечении 4 суток адгезионная прочность покрытия ухудшается до 3 баллов (до 35 % отслоения покрытия). Из данных таблицы 2 следует, что адгезионная прочность коррелирует с относительной работой адгезии: по мере уменьшения сцепления жидкости со стальной подложкой ухудшается адгезионная прочность покрытий.

Таблица 2. Сопоставление относительной работы адгезии (сцепления) жидкого состава на основе полиизобутилена и его адгезионной прочности.

Время, часы	24	48	72	96	120
Сцепление, %	70	70	66	66	63
Адгезионная прочность, баллы	0	1	2	2	3

Морфологические исследования, проведенные с помощью оптической микроскопии, показали, что при формировании покрытия из раствора, выдержанного в течение суток, отслоения практически не наблюдаются (рисунок 3).



Рисунок 3. Состояние поверхности покрытия с полиизобутиленом (время выдержки жидкого состава 24 часа)

По истечении пяти суток выдержки раствора сформированное покрытие после нанесения надрезов на поверхность легко отделяется от стальной подложки, адгезионная прочность резко падает (рисунок 4).

Оценка поверхностной пористости с помощью программного модуля «ADID» (методика расчета изложена в работе [4, 5], показала, что поверхностная пористость покрытия плавно возрастает от 0,3 % (24 час) до 1,9 % (120 часов). Это свидетельствует о формировании тонкой сплошной защитной пленки.

4. Заключение

Исследованы зависимости краевого угла смачивания и поверхностное натяжение разделительной системы на основе полиизобутилена от времени выдержки состава.

– По мере увеличения продолжительности выдержки жидких смазок угол смачивания и поверхностное натяжение системы возрастают.

– Произведен расчет энергетических характеристик исходных составов к стальной поверхности. Определено, что в интервале выдержки раствора от 24 часов до 120 часов работа адгезии жидкой смазки уменьшается, а работа когезии возрастает.

– Методами оптической микроскопии выявлено, что минимальное количество поверхностных дефектов в покрытиях формируется при использовании жидкой смазки, выдержанной не более 48 часов.

Установлена корреляция адгезионной прочности покрытий и относительной работы адгезии жидких смазок к стальной поверхности.

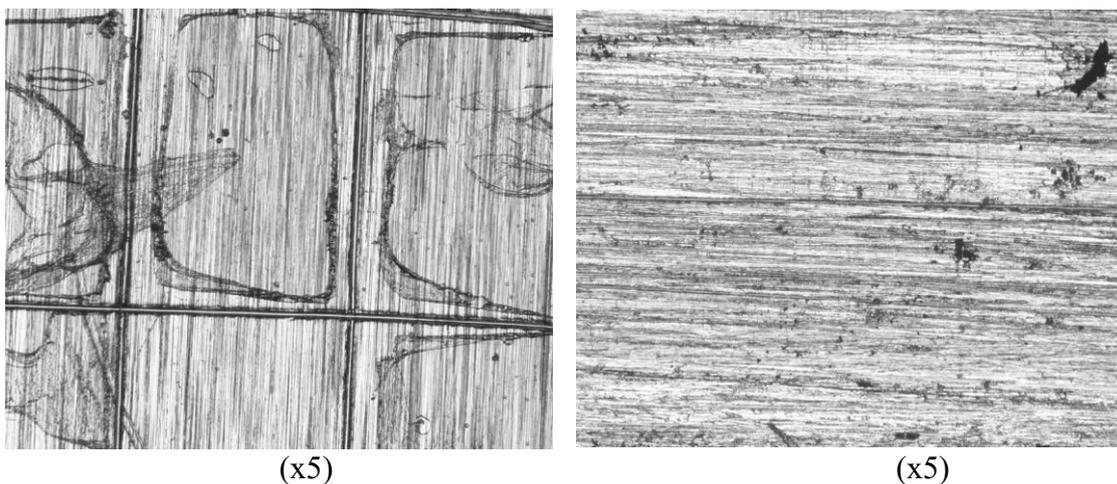


Рисунок 4. Состояние поверхности покрытия с полиизобутиленом (время выдержки жидкого состава 120 часов)

ЛИТЕРАТУРА:

1. Антонова, Н. М. Исследование антикоррозионных свойств органических полимерных покрытий с порошками алюминия и циркония / Н. М. Антонова, А. П. Бабичев // Упрочняющие технологии и покрытия. 2016. № 2(134). С. 35-39. EDN VKTVAN.

2. Смачивание, поверхностное натяжение и работа адгезии расплавов стекол As_2S_3 NAS_2Se_3 к кварцевому стеклу / С. В. Мишинов, М. Ф. Чурбанов, В. С. Ширяев, И. Н. Снопатин // Физика и химия стекла. 2016. Т. 42, № 6 С. 713-720. EDN YGDKMT.

3. Антонова, Н. М. Оценка адгезионной прочности защитных композиционных покрытий по работе адгезии к твердому телу исходной суспензии / Н. М. Антонова // Коррозия: материалы, защита. – 2011. – № 9. – С. 36. – EDN OCQVPV.

4. Антонова, Н. М. Оценка дефектов поверхности изделий с помощью цифровых технологий / Н. М. Антонова, Е. Ю. Хаустова // Вестник Брянского государственного технического университета. 2021. № 11(108) С. 24-32. DOI 10.30987/1999-8775-2021-11-11-19. EDN OVKXME.

5. Антонова, Н. М. Показатели качества и снижение трудоемкости испытаний лакокрасочных покрытий путем применения цифровых технологий к анализу поверхности покрытий / Н. М. Антонова, О. С. Овчинников // Инженерный вестник Дона. – 2023. – № 7(103). – С. 502-515. – EDN KPKSTQ.

Поступила в редколлегию 13.02.2024 г.