



17-osios jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ teminės konferencijos  
**TRANSPORTO INŽINERIJA IR VADYBA**,  
vykusios 2014 m. gegužės 8 d. Vilniuje, straipsnių rinkinys

Proceedings of the 17th Conference for Junior Researchers 'Science – Future of Lithuania'  
**TRANSPORT ENGINEERING AND MANAGEMENT**, 8 May 2014, Vilnius, Lithuania

Сборник статей 17-й конференции молодых ученых «Наука – будущее Литвы»  
**ИНЖЕНЕРИЯ ТРАНСПОРТА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗОК**, 8 мая 2014 г., Вильнюс, Литва

## ВЛИЯНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ НА АДГЕЗИЮ ПОРОШКОВЫХ ЛАКОКРАСОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Николай Волков

*Кафедра «Сервис и ремонт машин», Институт Транспорта, ФГБОУ ВПО «Госунiversитет-УНПК», Россия*

**Аннотация.** Влияние шероховатости поверхности на адгезию порошковых лако-красочных материалов, способы механической подготовки поверхности для обеспечения оптимальной адгезии.

**Ключевые слова:** порошковые краски и лаки, адгезия, механическая подготовка поверхности.

Автомобильный парк эксплуатируются в весьма сложных условиях. Из-за контакта с топливно-смазочными материалами, переменных температурных режимов и влияния ряда других факторов поверхности автомобилей покрываются слоями сложных и разнообразных по составу, свойствам, толщине, прочности сцепления с очищаемой поверхностью загрязнений, длительное воздействие которых приводит к нарушению покрытий, коррозии, старению, мешает проведению контрольных и регулировочных работ, ухудшает санитарную и экологическую обстановку и т. д., а в конечном итоге снижается надёжность и долговечность работы автомобилей.

Наряду с постоянно увеличивающейся коррозионной активностью среды, с усложнением конструкции и формы отдельных частей автомобилей увеличивается число зон с повышенной интенсивностью корроирования. Кроме того, уменьшается толщина стального проката, из которого изготавливаются детали. Если долговечность и прочность старых моделей достигались в основном за счёт использования в качестве материала стальных листов сравнительно большой толщины, то при современных объёмах производства это стало практически невозможно. В связи с этим большую актуальность приобрели вопросы защиты от коррозии. Основоположниками в области изучения вопросов защиты автомобилей от коррозии были такие ученые, как А. Э. Северный, В. В. Горло, О. Н. Терновская, А. Н. Новиков, Е. А. Пучин, А. С. Бодров, а также ряд западных исследователей. Основным видом защиты машин от коррозии данные ученые называли лако-красочные покрытия (ЛКП).

Качество лако-красочного покрытия во многом зависит от подготовки поверхности – тщательности

удаления различных загрязнений, окисных и жировых плёнок, создание требуемой шероховатости поверхности для увеличения адгезии лако-красочного покрытия к подложке и повышения срока его службы (Недолужко 2010).

Традиционные органорастворимые лако-красочные материалы занимают в настоящее время, доминирующее положение в области ремонтного окрашивания.

Альтернативой традиционным ЛКМ являются порошковые материалы.

Покрытия на основе порошковых красок характеризуются высокой исходной адгезией, химической стойкостью и хорошими физико-механическими свойствами; они широко применяются в разных областях. Однако применение порошковых красок при ремонтной окраске сопряжено с рядом трудностей, а именно в выборе способа подготовки поверхности. Выход из сложившейся ситуации видится в выборе рациональных параметров подготовки поверхности перед нанесением порошковых ЛКМ (Бодров 2007).

Очистка автомобилей и их деталей при подготовке к покраске – один из важнейших технологических процессов, оказывающих большое влияние на культуру производства, производительность, качество ремонта и обслуживания. Качественная очистка достигается за счёт комплексного взаимодействия механического и физико-химического воздействия на загрязнения.

Образование ЛКП связано с установлением контакта полимера с поверхностью подложки. Полнота контакта зависит от смачивающей способности расплава, которая, в свою очередь, определяется энергетическими факторами системы «полимер-подложка», а

именно, убылью свободной поверхностной энергии на границе раздела «твёрдое тело–жидкость–газ» (Сумм, Горюнов 1976).

Процесс формирования ЛКП можно рассматривать как границу раздела трёх фаз, первой из которых является твёрдое тело (подложка), второй – газ (воздух), третьей – жидкость (расплав порошковых ЛКМ). Каждая из трёх фаз имеет свой коэффициент поверхностного натяжения:  $\sigma_1$  – твёрдое тело;  $\sigma_2$  – газ;  $\sigma_{12}$  – твёрдое тело – газ (Бейдер, Яковлев 2005).

Исходя из условия равновесия границы  $G$  раздела трех фаз (рисунок 1) коэффициент поверхностного натяжения  $\sigma_{12}$  связан с краевым углом смачивания  $\Theta$  следующим выражением:

$$\sigma_{12} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - 2\sigma_1\sigma_2 \cos \Theta}. \quad (1)$$

При этом работа адгезии

$$w_{12} = \sigma_1 + \sigma_2 - \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - 2\sigma_1\sigma_2 \cos \Theta}. \quad (2)$$

Учитывая тот факт, что обе этих величины выражаются через соответствующие энергии молекулярного взаимодействия, следует признать, что измерения коэффициентов  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$ , а также краевого угла смачивания  $\Theta$  позволяют судить о состоянии границы раздела веществ 1 и 2 и о взаимодействии приповерхностных молекул этих веществ.

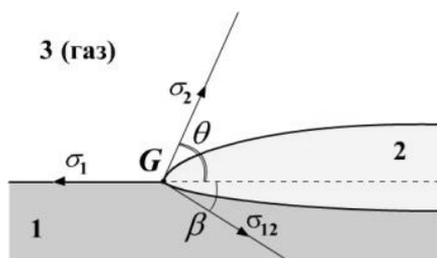


Рис. 1. Граница раздела ( $G$ ) трех фаз, одной из которых является газ

Приведённые выше уравнения применяются в равновесной системе. При смачивании реальных твердых тел наблюдается *гистерезис смачивания*, под которым понимают способность жидкости образовывать при контакте с твердым телом краевые углы, отличные от равновесных углов. Например, краевые углы зависят от порядка соприкосновения с твердой поверхностью контактирующих фаз (так называемый порядковый гистерезис): углы натекания, образующиеся при нанесении капли жидкости на твердую поверхность, как правило, больше углов оттекания, формирующихся при подведении пузырька воздуха к той же поверхности, погруженной в жидкость. Гистерезис смачивания может быть вызван загрязнениями поверхности, ее химической и геометрической неоднородностью, формированием на поверхности смачивающих пленок и другими причинами (Недолужко 2010).

Значительное влияние на измеряемые краевые углы оказывает микрогеометрия поверхности твердого тела, её *шероховатость*. Шероховатость поверхности характеризуется коэффициентом шероховатости  $K$ , равным отношению фактической площади поверхности  $S_{ИСТ}$  к площади ее проекции на идеализированную плоскую поверхность:

$$\frac{S_{ИД}}{K} = \frac{S_{ИСТ}}{S_{ИД}}. \quad (3)$$

Связь краевого угла на шероховатой поверхности  $\Theta_{\Delta\Phi\Phi}$  с равновесным краевым углом  $\Theta$  на гладкой поверхности дает уравнение Венцеля-Дерягина:

$$\cos \Theta_{\Delta\Phi\Phi} = K \cdot \cos \Theta_{ИД}. \quad (4)$$

Таким образом, значение коэффициента гистерезиса оказывает существенное влияние на краевой угол смачивания. Поскольку  $K > 1$ , то  $|\cos \Theta_{\Delta\Phi\Phi}| > |\cos \Theta|$ . Таким образом, шероховатость поверхности улучшает смачивание ( $\Theta_{\Delta\Phi\Phi} < \Theta$ , если  $\Theta < 90^\circ$ ) и ухудшает несмачивание ( $\Theta_{\Delta\Phi\Phi} < \Theta$ , если  $\Theta > 90^\circ$ ).

Определение равновесного краевого угла производим по формуле:

$$\cos \Theta = \frac{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_{12}^2}{2\sigma_1 \cdot \sigma_2}. \quad (5)$$

Значение эффективного краевого угла смачивания выражено из формулы (2), с учётом адгезии, определено в результате экспериментальных исследований по формуле:

$$\cos \Theta_{\Delta\Phi\Phi} = \frac{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - (\sigma_1 + \sigma_2 - w_{12})^2}{2 \cdot \sigma_1 \sigma_2}. \quad (6)$$

Сравнение полученных данных эффективного и равновесного краевых углов смачивания позволяет определить влияние того или иного способа подготовки поверхности.

Поверхность реальных твердых тел никогда не бывает идеально гладкой плоскостью, а покрыта многочисленными неровностями различной формы. Размеры неровностей изменяются в очень широких пределах – от нескольких межатомных расстояний до десятков микрон, а в отдельных случаях – до нескольких миллиметров. Влияние шероховатости на смачивание изучено наиболее подробно для поверхностей с неровностями (выступами, впадинами), средняя глубина или высота которых составляет от десятых долей до нескольких десятков микрон (Недолужко 2009).

Шероховатость твердой поверхности характеризуется ее микрорельефом который обычно представ-

ляет сложное хаотическое чередование разнообразных выступов и впадин. Измеряют микрорельеф с помощью профилографов, которые могут выявлять неровности примерно до 1 мкм. Более тонкие детали выявляются другими методами, в частности с помощью интерференционных и электронных микроскопов (Недолужко 2010).

Для приготовления образцов использовались пластины, выполненные из стали 3 (ГОСТ 380-94). Толщина пластин составляла 0,7...1,1 мм.

Порошковая краска наносилась методом электростатического напыления. Для этого использовались окрасочный пистолет ITW-Gema и камера для нанесения полимерных материалов Тергон.

Адгезия определялась в соответствии с ГОСТом 15140-78 «Материалы лакокрасочные. Методы определения адгезии» двумя методами: решетчатых надразов, при помощи универсального прибора «Pig-Universal», а также методом отслаивания с использованием датчика-адгезиметра «Константа А».

При проведении исследований по влиянию шероховатости на адгезию первоначально были обследованы образцы с шероховатостью поверхности  $Ra = 1,175$  мкм, с дальнейшим снижением параметра шероховатости до значения  $Ra = 0,421$  мкм. Полученные результаты представлены на рисунке 2.

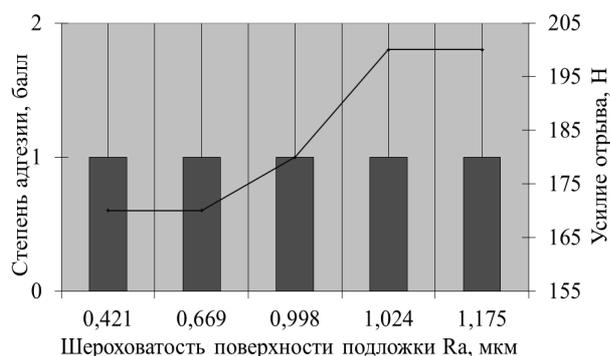


Рис. 2. Зависимость степени адгезии и усилия отрыва слоя ЛКМ от параметра шероховатости подложки

Необходимо отметить, что при снижении шероховатости подложки, также снижается и шероховатость нанесённого на него ЛКП. Снижение шероховатости подложки приводит к уменьшению толщины эксплуатационно-способных покрытий.

При определении эффективного краевого угла смачивания по формуле (6) получили следующие значения (рисунок 3).

Коэффициент шероховатости, указывающий влияние параметра шероховатости на краевой угол смачивания представлен на рисунке 4.

## Литература

Бейдер, Э. Я., Яковлев, А. Ц. 2005. Свойства покрытий на основе порошковых полимеров. Л.: ЛДНТП. 24 с.

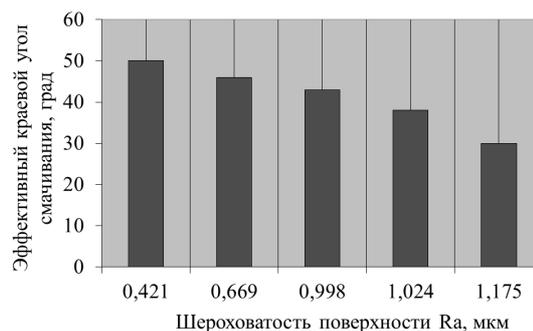


Рис. 3. Эффективный угол краевого смачивания при различных значениях параметра шероховатости  $Ra$

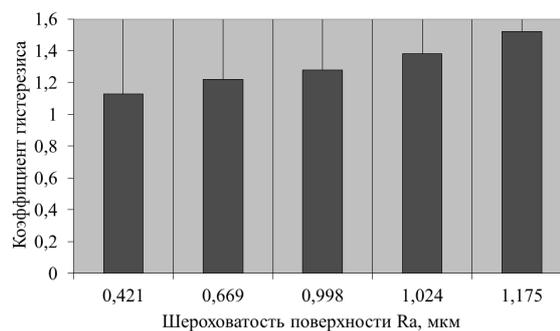


Рис. 4. Зависимость коэффициента гистерезиса от параметра шероховатости  $Ra$

## Выводы

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. В ходе теоретических исследований установлены зависимости эффективного угла краевого смачивания поверхности подложки порошковыми ЛКМ от параметра шероховатости в процессе формирования покрытия. Так выявлено, что для исследуемых в работе ЛКМ и материала подложки равновесный краевой угол смачивания равен  $55^\circ$ . Взаимосвязь эффективного и равновесного краевых углов смачивания поверхности устанавливается на основании коэффициента гистерезиса по формуле  $\cos \Theta_{эфф} = K \cdot \cos \Theta_{ид}$ .

2. Установлено, что с увеличением параметра шероховатости  $Ra$  с 0,4 до 1,175 мкм усилие отрыва ЛКМ повышается с 167 Н до 195 Н, за счёт уменьшения эффективного краевого угла смачивания. На основании проведенных экспериментальных исследований выявлено, что значение параметра шероховатости  $Ra = 1,1$  мкм является оптимальным, так как дальнейшее его повышение приводит к появлению на поверхности ЛКП эффекта «апельсиновой корки».

- Бодров, А. С. 2010. Влияние способа подготовки поверхности на адгезию лакокрасочной пленки, *Научно-технический журнал «Мир транспорта и технологических машин»* 3(30): 3–7. Орел.: ГОУ ВПО «ОрелГТУ».
- Бодров, А. С. 2006. Особенности применения порошковых красок при ремонтном окрашивании автомобилей, *Объединённый научный журнал* 11: 69–71.
- Бодров, А. С. 2007. *Технология ремонтного окрашивания сельскохозяйственных машин порошковыми красками*. Дисс. канд. техн. наук. Москва.
- Недолужко, В. В. 2009. Перспективы применения порошковых красок при окрашивании автомобилей, *сборник статей «Известия ОрелГТУ» серия «Мир транспорта и технологических машин»* 2/25(557): 50–54. Орел.: ОрелГТУ.
- Недолужко, В. В. 2010. Влияние способа подготовки поверхности на адгезию лакокрасочной пленки, *Научно-технический журнал «Мир транспорта и технологических машин»* 3(30): 3–7. Орел.: ГОУ ВПО «ОрелГТУ».
- Новиков, А. Н. 2006. Особенности применения порошковых красок при ремонте автомобилей, *Ремонт, восстановление, модернизация* 7: 32–33.
- Новиков, А. Н. 2007. Технология ремонтного окрашивания машин порошковыми красками, *Международный научный журнал* 1: 24–28.
- Новиков, А. Н.; Бодров, А. С. 2008. *Окраска автомобилей при ремонте: монография*. Орел: ОрелГТУ. 127 с.
- Сумм, Б. Д.; Горюнов, Ю. В. 1976. *Физико-химические основы смачивания и растекания*. М.: Химия. 231 с.