

УДК 66.017

В.А. Кузнецова¹, А.А. Козлова¹, В.Г. Железняк¹, Г.Г. Шаповалов¹

ВЛИЯНИЕ ЭЛАСТОМЕРНЫХ МОДИФИКАТОРОВ НА СВОЙСТВА МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-8-46-55

Исследована возможность применения низкомолекулярных эластомеров для модификации металлополимерных композиций, которые используются в качестве шпатлевочных. Исследовано влияние содержания эластомерных модификаторов в металлополимерной композиции на механические и технологические свойства, адгезионную прочность, а также твердость модифицированных металлополимерных композиций. Показано, что применение низкомолекулярных каучуков ПДИ-ЗАК и ППГ-ЗА в качестве модификаторов металлополимерных композиций способствует повышению их эластичности.

Ключевые слова: металлополимерные композиции, шпатлевочные материалы, эпоксидные смолы, низкомолекулярные каучуки, сферический алюминиевый порошок.

V.A. Kuznetsova¹, A.A. Kozlova¹, V.G. Zheleznyak¹, G.G. Shapovalov¹

INFLUENCE OF ELASTOMERIC MODIFIERS ON PROPERTIES OF METALPOLYMERIC COMPOSITIONS

In work possibility of application of low molecular elastomer for updating of metal-polymeric compositions which are used as the putty is investigated. Influence of the maintenance of elastomeric modifiers in metal-polymeric composition on mechanical, technological properties, adhesive durability, and also hardness of the modified metal-polymeric compositions is investigated. It is shown that application of low molecular rubbers PDI-3AK and PPG-3A as modifiers of metal-polymeric compositions promotes increase of their elasticity.

Keywords: metal-polymer composition, filling materials, epoxies, low molecular rubbers, spherical aluminium powder.

¹Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Государственный научный центр Российской Федерации [Federal State Unitary Enterprise «All-Russian Scientific Research Institute of Aviation Materials» State Research Center of the Russian Federation]; e-mail: admin@viam.ru

Введение

Разработка современной авиационной техники диктует необходимость создания и применения новых отечественных материалов, обеспечивающих работоспособность изделий из алюминиевых сплавов в сложных условиях эксплуатации [1–4].

Одним из наиболее важных требований, предъявляемых к современным покрытиям, является их способность сохранять эксплуатационные свойства на весь период эксплуатации изделия [5–7].

Для летательного аппарата в большей степени, чем для наземных видов транспорта важны аэродинамические характеристики, которые включают обширный спектр показателей, определяемых в основном конструкцией самолета. Для достижения оптимальных значений таких важнейших параметров необходимо также учитывать непосредственно характеристики самой поверхности и ее вклад в обтекание воздушными

потоками. В конструкции летательного аппарата имеются элементы, нарушающие равномерность поверхности, такие как зазоры между торцами обшивок и панелей, крепежные и нахлесточные соединения обшивок.

Следует отметить, что наличие щелей и зазоров на внешней поверхности резко снижает антикоррозионную защиту изделия, так как в указанных зонах могут скапливаться влага, коррозионно-активные среды, а также различные загрязнения, вызывающие коррозию металла.

Для обеспечения оптимальных аэродинамических характеристик, а также нейтрализации неровностей поверхности используют шпатлевочные материалы [8, 9].

Одними из наиболее востребованных типов подобных материалов являются металлополимерные композиции. В таких композициях в матрице полимера равномерно распределен порошок металла, а именно – алюминиевый сферический порошок [10–13]. Такие материалы обладают достаточными прочностными характеристиками, технологичны, однако в процессе эксплуатации в результате аэродинамического нагрева происходит старение полимерной эпоксидно-полиамидной матрицы, снижение эластичности и увеличение жесткости отвержденного шпатлевочного слоя. При воздействии знакопеременных динамических нагрузок, которым подвергается воздушное судно при полете, в шпатлевочном слое возникают напряжения, приводящие к разрушению и отслаиванию шпатлевочного слоя. Известно, что в процессе формирования лакокрасочного покрытия (ЛКП), при отверждении (формирование химических связей) возникают внутренние (усадочные) напряжения, которые зависят от природы полимерной матрицы, наполнителя и его содержания в полимере [12, 14]. При эксплуатации полимерных покрытий, в процессе атмосферного и термического старения величина внутренних напряжений возрастает.

Для улучшения эксплуатационных свойств шпатлевочных материалов применяют различные модификаторы, улучшающие технологические, адгезионные, физико-механические свойства, водостойкость и другие характеристики [14–16]. В качестве модификаторов эпоксидных олигомеров часто используют низкомолекулярные жидкие каучуки, различные пластификаторы и другие соединения, позволяющие повысить те или иные свойства полимерного покрытия [17].

Для снижения внутренних (усадочных) напряжений, возникающих в металлополимерной композиции, а также повышения эластичности и устойчивости отвержденного шпатлевочного слоя в условиях воздействия динамических нагрузок, целесообразно использовать в качестве модификаторов низкомолекулярные каучуки, способствующие повышению физико-механических свойств и снижению внутренних напряжений [18, 19].

В данной работе авторы исследовали влияние модификатора (низкомолекулярного каучука) на важнейшие свойства металлополимерной композиции, такие как прочность, адгезия к поверхности, способность заполнять пустоты и возможность нанесения шпателем, а также оценивали влияние добавки на скорость отверждения.

Работа выполнена в рамках реализации комплексного научного направления 17. «Комплексная антикоррозионная защита, упрочняющие, износостойкие защитные и теплозащитные покрытия», комплексной научной проблемы 17.7. «Лакокрасочные материалы и покрытия на полимерной основе» («Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года») [4].

Материалы и методы

В качестве объектов исследования выбраны металлополимерные композиции на основе эпоксидного дианового олигомера с молекулярной массой ~ (900–1100), в качестве эластомерных модификаторов использованы полиуретанэпоксиды, содержащие гибкую олигомерную часть, уретановые и концевые эпоксидные группы:

- олигомер углеводородной структуры ПДИ-3АК;
- эпоксидно-уретановый каучук ППГ-3А.

Указанные каучуки содержат в своей структуре эпоксидные группы.

Следует отметить, что жидкие каучуки вводили в металлополимерные композиции в количестве от 20 до 100 мас. ч. на 100 мас. ч. эпоксидного олигомера, содержащегося в металлополимерной композиции.

Исследованы механические характеристики: прочность при разрыве (σ_p) и разрывное удлинение (ϵ_p) свободных пленок эпоксидно-каучуковых композиций в исходном состоянии и после термостарения при температуре 80°C в течение 300 ч при скорости нагружения образца 5 мм/мин. Механические свойства свободных пленок определяли на разрывной машине в соответствии с ГОСТ 18299–72 [20].

Определены технологические свойства шпатлевочных материалов на основе модифицированных металлополимерных композиций: способность наноситься шпателем, а также заполнять углубления; обрабатываемость поверхности отвержденного слоя. Адгезию покрытия на основе металлополимерной композиции определяли в соответствии с ГОСТ 15140–78 методом параллельных надрезов в исходном состоянии и после увлажнения в течение 10 сут на образцах из сплава Д16-АТ Ан.Окс.нхр, загрунтованных эпоксидно-каучуковой грунтовкой ЭП-0214. Определена адгезионная прочность при отрыве ($\sigma_{адг}$) шпатлевочных материалов, полученных на основе металлополимерных композиций, модифицированных каучуком ППГ-3А, и нанесенных на образцы с грунтовочным покрытием ЭП-0214 в соответствии с ГОСТ 27890–88.

Исследовано влияние содержания низкомолекулярных каучуков ПДИ-3АК и ППГ-3А в металлополимерной композиции на твердость сформированного шпатлевочного слоя.

С целью определения оптимального режима отверждения определена зависимость твердости шпатлевочного слоя от продолжительности его отверждения в естественных условиях в соответствии с ГОСТ 5233–89.

Результаты и обсуждение

Для проведения исследования изготовлены экспериментальные образцы эпоксидно-каучуковых композиций и металлополимерные композиции на основе этих полимерных композиций. Проведена оценка технологических свойств шпатлевок на основе изготовленных металлополимерных композиций. Установлено, что металлополимерные композиции, содержащие низкомолекулярные каучуки ПДИ-3АК и ППГ-3А, по технологическим свойствам аналогичны.

Наиболее технологичными являются металлополимерные композиции, содержащие низкомолекулярные каучуки в количестве от 50 до 70% (по массе), которые хорошо наносятся на поверхность, заполняя углубления, а также достаточно легко обрабатываются после отверждения [21]. При этом с увеличением содержания каучука в металлополимерной композиции улучшается обрабатываемость поверхности после отверждения. Металлополимерные композиции с высоким содержанием каучука (>100% (по массе)) существенно хуже наносятся на поверхность и хуже обрабатываются после отверждения [22].

Исследовано влияние низкомолекулярных каучуков (углеводородной структуры ПДИ-3АК и эпоксидно-уретанового каучука ППГ-3А) на механические свойства свободных пленок эпоксидно-каучуковых композиций.

В табл. 1 приведены соотношения эпоксидно-каучуковых композиций, а результаты определения механических свойств свободных пленок – на рис. 1.

Таблица 1

Результаты определения механических характеристик свободных пленок
эпоксидно-каучуковых композиций

| Модификатор | Содержание, % (по массе) | Толщина, мкм | Значения свойств | | | |
|------------------|--------------------------|--------------|----------------------|------------------|--|------------------|
| | | | в исходном состоянии | | после термостарения при 80°C в течение 300 ч | |
| | | | σ_p , МПа | ϵ_p , % | σ_p , МПа | ϵ_p , % |
| Без модификатора | | 250–280 | 4,1 | 2,5 | – | – |
| ПДИ-ЗАК | 20 | 220–260 | 4,9 | 8,0 | 4,0 | 5,0 |
| | 50 | 250–300 | 3,4 | 9,8 | 2,1 | 7,2 |
| | 100 | 220–250 | 2,3 | 14,5 | 1,3 | 8,6 |
| | 200 | 240–280 | 0,8 | 57,0 | 0,86 | 28,0 |
| ППГ-3А | 20 | 220–280 | 5,5 | 3,75 | 5,3 | 5,1 |
| | 50 | 240–280 | 3,4 | 7,0 | 4,1 | 5,5 |
| | 100 | 200–250 | 2,3 | 10,6 | 3,2 | 6,0 |
| | 200 | 220–260 | 1,1 | 36,5 | 1,2 | 26,5 |

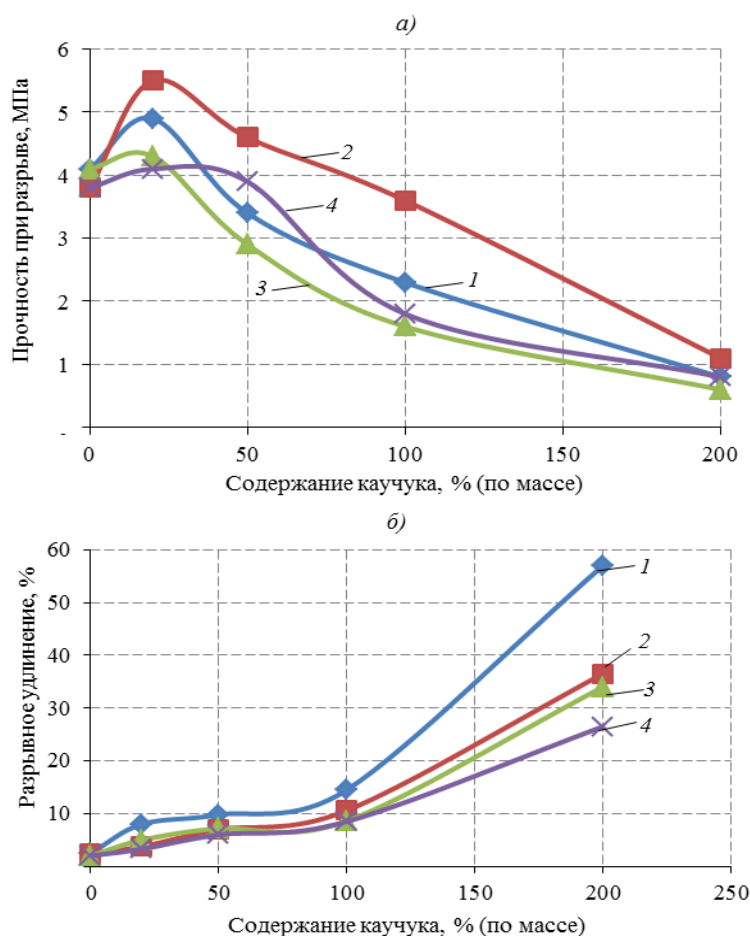


Рис. 1. Зависимости прочности при разрыве (а) и разрывного удлинения (б) эпоксидно-каучуковых полимерных композиций от содержания каучука марок ПДИ-ЗАК (1, 3) и ППГ-3А (2, 4) в исходном состоянии (1, 2) и после термостарения при температуре 80°C в течение 300 ч (3, 4)

Из результатов, приведенных на рис. 1, а, следует, что прочность при разрыве (σ_p) исследуемых полимерных композиций нелинейно зависит от содержания каучука в полимерной композиции. При содержании каучуков 20% (по массе) на кривой зависимости прочности при разрыве наблюдается максимум как для композиций, содержащих каучук ПДИ-ЗАК, так и для композиций, содержащих каучук ППГ-3А. При дальнейшем

увеличении содержания каучуков (>20% (по массе)) наблюдается монотонное снижение прочности при разрыве. При 20%-ном содержании каучуков в полимерной композиции прочность при разрыве составляет 5,5 МПа (для ППГ-3А) и 4,9 МПа (для ПДИ-3АК). После старения при температуре 80°C в течение 300 ч металлополимерных композиций, модифицированных каучуками ПДИ-3АК и ППГ-3А, ход кривой зависимости прочности при разрыве от содержания каучука сохраняется, однако абсолютные значения разрывной прочности (σ_p) после термостарения снижаются.

Результаты определения разрывных удлинений эпоксидно-каучуковых полимерных композиций представлены на рис. 1, б. Из полученных результатов следует, что введение модификаторов (низкомолекулярных каучуков) в эпоксидно-полиамидные полимерные композиции приводит к нелинейному возрастанию разрывного удлинения. Следует отметить, что при содержании каучуков в полимерной композиции до 100% (по массе) происходит незначительное увеличение разрывного удлинения свободных пленок как в исходном состоянии, так и после термостарения при температуре 80°C в течение 300 ч. При дальнейшем повышении содержания каучуков в полимерной композиции со 100 до 200% (по массе) наблюдается резкое возрастание значений разрывного удлинения. Такое изменение механических свойств может быть связано со структурными особенностями образования двухфазных гетерогенных эпоксидно-каучуковых систем, в которых обнаружены ламеллярные образования, распределенные в аморфной полимерной матрице [23–25]. Резкое возрастание значений разрывного удлинения, возникающее в композициях с высоким содержанием каучука, может быть связано с увеличением влияния вязкоупругих свойств каучука на эластичность полимерной композиции, которая характеризуется разрывным удлинением.

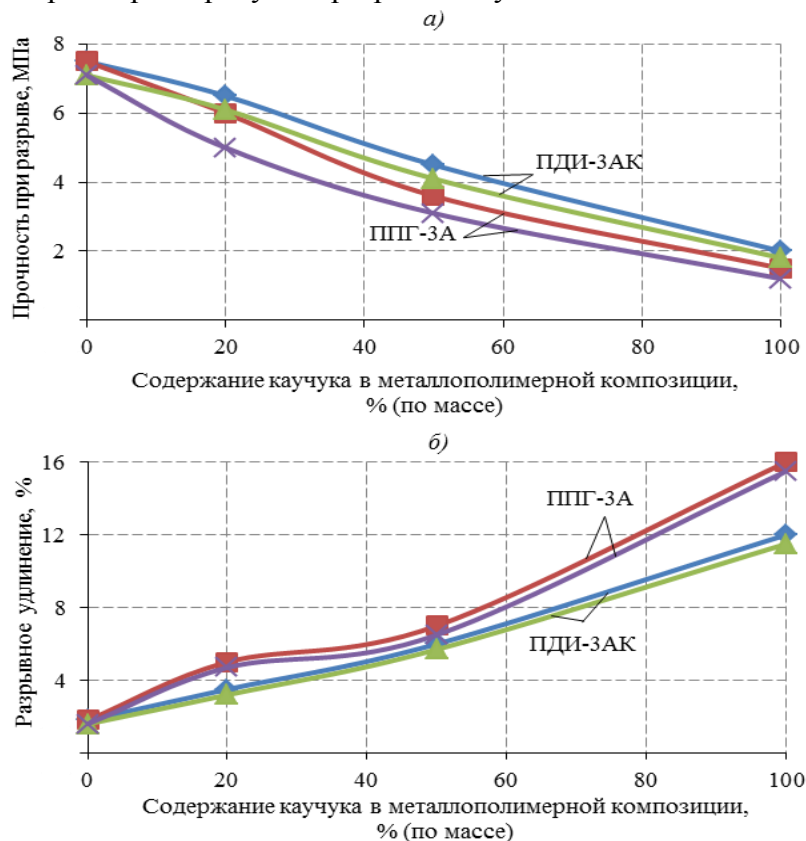


Рис. 2. Зависимости прочности при разрыве (а) и разрывного удлинения (б) модифицированных металлополимерных композиций от содержания каучука в исходном состоянии (◆, ■) и после термостарения при температуре 80°C в течение 300 ч (▲, ×)

На рис. 2 приведены результаты определения механических свойств (σ_p и ϵ_p) свободных пленок модифицированных металлополимерных композиций. Из полученных результатов следует, что с увеличением содержания низкомолекулярных каучуков ПДИ-ЗАК и ПДИ-ЗА прочность при разрыве (σ_p) монотонно снижается, а разрывное удлинение (ϵ_p) монотонно возрастает. Следует отметить, что ход кривых зависимости механических свойств модифицированных металлополимерных композиций (рис. 2) аналогичен ходу кривых (рис. 1), полученных при определении механических свойств свободных пленок эпоксидно-каучуковых композиций при содержании каучуков от 0 до 100% (по массе). Из полученных результатов также видно, что на механические свойства металлополимерных композиций, модифицированных каучуками, мелкодисперсный алюминиевый порошок оказывает упрочняющее действие.

Исследовано влияние содержания низкомолекулярных каучуков в металлополимерной композиции на твердость шпатлевочного слоя (рис. 3). С увеличением содержания каучука в металлополимерной композиции твердость шпатлевочного слоя монотонно снижается, причем ход кривой изменения твердости для металлополимерных композиций, модифицированных каучуком ПДИ-ЗАК, идентичен ходу кривой изменения твердости аналогичных композиций, модифицированных каучуком ППГ-ЗА. Однако абсолютные значения показателя твердости для композиций, модифицированных каучуком ППГ-ЗА, выше, чем у металлополимерных композиций, модифицированных каучуком ПДИ-ЗАК.

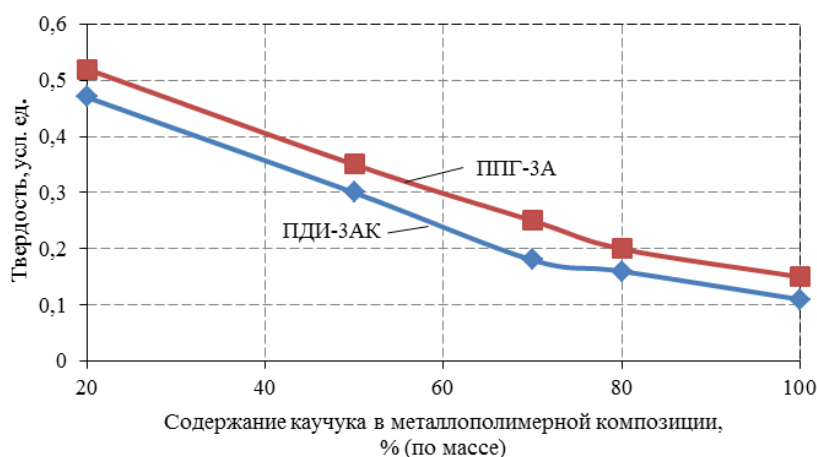


Рис. 3. Влияние содержания низкомолекулярного каучука в металлополимерной композиции на твердость

Исследовано влияние продолжительности отверждения металлополимерных композиций, модифицированных низкомолекулярными каучуками ПДИ-ЗАК и ППГ-ЗА, на их твердость. На рис. 4 приведены результаты определения твердости для металлополимерных композиций, содержащих эластомерные модификаторы ПДИ-ЗАК и ППГ-ЗА в количестве 20; 50 и 70%. Из полученных результатов следует, что максимальное значение твердости для всех исследуемых металлополимерных композиций достигается через 4 сут отверждения в естественных условиях. Металлополимерные композиции, модифицированные низкомолекулярным каучуком ППГ-ЗА, обладают более высокой твердостью по сравнению с аналогичными композициями, модифицированными низкомолекулярным каучуком ПДИ-ЗАК. Так, для композиций, содержащих каучук ППГ-ЗА в количестве:

– 20% (по массе) – твердость шпатлевочного слоя на 10%;
 – 50% (по массе) – твердость шпатлевочного слоя на 17%;
 – 70% (по массе) – твердость шпатлевочного слоя на 28%
 выше, чем у аналогичной композиции, модифицированной каучуком ПДИ-ЗАК.

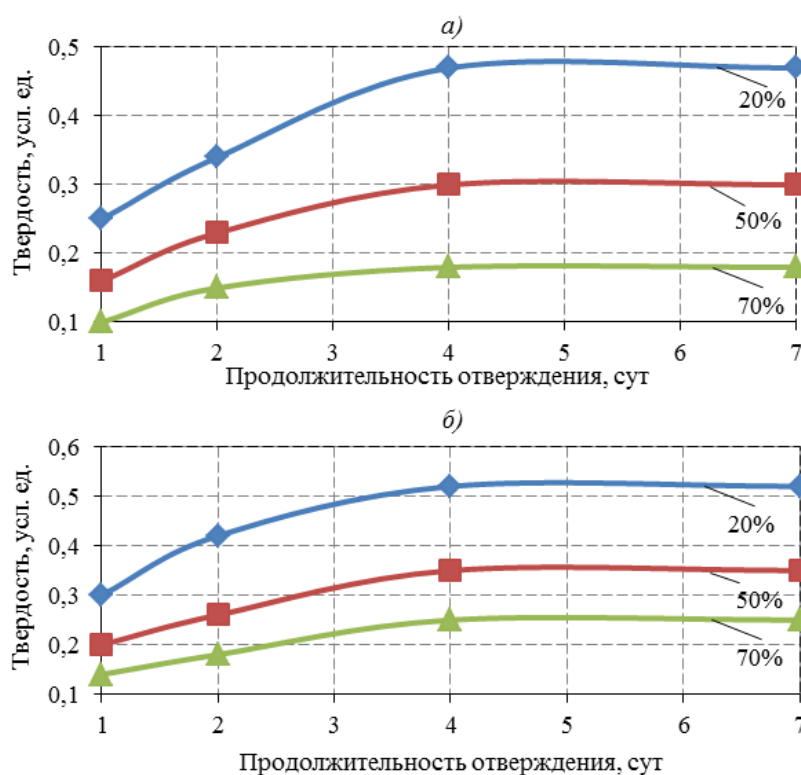


Рис. 4. Зависимости твердости шпатлевочного слоя, модифицированного эластомерами ПДИ-ЗАК (а) и ППГ-3А (б), от продолжительности отверждения

Исследована адгезионная прочность при отрыве шпатлевочных материалов, полученных на основе металлополимерных композиций, модифицированных каучуком ППГ-3А, нанесенных на образцы с грунтовочным покрытием ЭП-0214 (рис. 5).

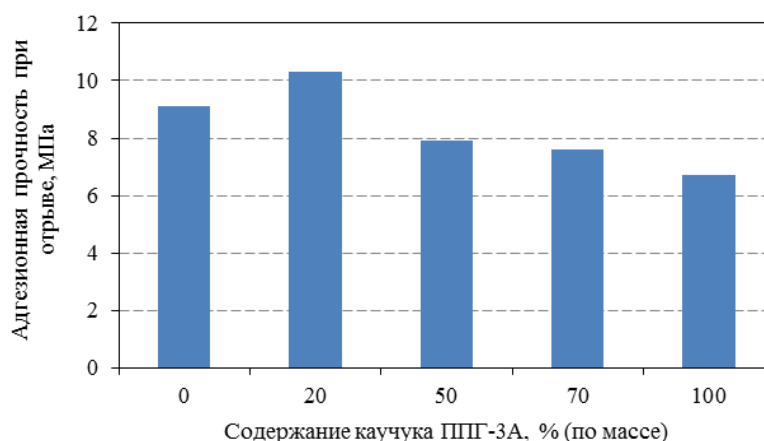


Рис. 5. Адгезионная прочность при отрыве металлополимерных композиций, модифицированных каучуком ППГ-3А

Из полученных результатов следует, что адгезионная прочность при отрыве шпатлевочных слоев зависит от содержания каучука в металлополимерной композиции. Максимальное значение адгезионной прочности при отрыве шпатлевочного слоя на основе модифицированных металлополимерных композиций (10,2 МПа) достигается при содержании вышеуказанного каучука в количестве 20% (по массе). При содержании каучука >50% (по массе) наблюдается незначительное снижение адгезионной прочности при отрыве, при этом происходит разрушение по шпатлевочному слою, адгезионного отслаивания не наблюдается. Таким образом, снижение адгезионной прочности при отрыве может быть связано со снижением механической прочности металлополимерных композиций при введении в них каучука. Следует отметить, что адгезионная прочность при отрыве шпатлевочных покрытий, содержащих каучук ППГ-3А в количестве от 20 до 70% (по массе), сохраняется на достаточно высоком уровне.

Исследованы физико-механические свойства отвержденных металлополимерных композиций на окрашенных грунтовкой ЭП-0214 металлических подложках из сплава Д16-АТ Ан.Окс.нхр. Полученные результаты приведены в табл. 2.

Таблица 2

Адгезионные и физико-механические свойства отвержденных модифицированных металлополимерных композиций в исходном состоянии и после термостарения при температуре 80°С в течение 300 ч

| Содержание модификатора в металлополимерной композиции, % (по массе) | Толщина, мкм | Значения свойств | | | |
|--|--------------|-------------------------|---|-------------------------|---|
| | | в исходном состоянии | | после термостарения | |
| | | прочность при ударе, Дж | прочность при растяжении (эластичность), мм | прочность при ударе, Дж | прочность при растяжении (эластичность), мм |
| 0 | 500–520 | 2,0 | 1,2 | 2,0 | 1,1 |
| 20 | 500–550 | 4,0 | 2,4 | 4,0 | 2,0 |
| 50 | 520–560 | 5,0 | 3,6 | 4,0 | 2,4 |
| 70 | 500–540 | 5,0 | 4,8 | 5,0 | 3,5 |

Из полученных результатов видно, что термостарение отвержденных модифицированных металлополимерных композиций при температуре 80°С в течение 300 ч приводит к незначительному снижению прочности при растяжении (эластичности), при этом прочность при ударе отвержденных металлополимерных композиций сохраняется на исходном уровне.

Заключения

Проведенные исследования показали, что применение низкомолекулярных каучуков ПДИ-3АК и ППГ-3А в качестве модификаторов металлополимерных композиций способствует повышению их эластичности. Так, при введении низкомолекулярных каучуков ПДИ-3АК и ППГ-3А в количестве 50% (по массе) эластичность, определяемая разрывным удлинением, увеличивается в 1,9 и 2,2 раза соответственно.

Как следует из приведенных результатов, изменение соотношения в полимерной матрице эпоксидного олигомера и низкомолекулярных каучуков, используемых в качестве эластомерных модификаторов металлополимерных композиций, позволяет получить широкий ассортимент эластичных шпатлевочных материалов с относительно высокими показателями прочностных и деформационных характеристик, а также

относительной твердости, которые можно варьировать для достижения оптимальных механических и технологических свойств шпатлевочных материалов. Наиболее высокие механические свойства модифицированных каучуками металлополимерных композиций достигаются при использовании в качестве модификатора эпоксидно-уретанового каучука ППГ-3А.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е.Н. Ключевая проблема – материалы // Тенденции и ориентиры инновационного развития России. М.: ВИАМ, 2015. С. 458–464.
2. Каблов Е.Н. Роль химии в создании материалов нового поколения для сложных технических систем // Тез. докл. XX Менделеевского съезда по общей и прикладной химии. УрО РАН, 2016. С. 25–26.
3. Каблов Е.Н. Без новых материалов – нет будущего // *Металлург*. 2013. №12. С. 4–8.
4. Каблов Е.Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» // *Авиационные материалы и технологии*. 2015. №1 (34). С. 3–33. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33.
5. Кондрашов Э.К., Кузнецова В.А., Семенова Л.В., Лебедева Т.А. Основные направления повышения эксплуатационных, технологических и экологических характеристик лакокрасочных покрытий для авиационной техники // *Российский химический журнал*. 2010. Т. LIV. №1. С. 96–102.
6. Павлюк Б.Ф. Основные направления в области разработки полимерных функциональных материалов // *Авиационные материалы и технологии*. 2017. №S. С. 388–392. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-388-392.
7. Кондрашов Э.К., Кузнецова В.А., Семенова Л.В., Лебедева Т.А., Малова Н.Е. Развитие авиационных лакокрасочных материалов // *Все материалы*. Энциклопедический справочник. 2012. №5. С. 49–54.
8. Железняк В.Г. Современные лакокрасочные материалы для применения в изделиях авиационной техники // *Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн*. 2019. №5 (77). Ст. 07. URL: <http://www.viam-works.ru>. (дата обращения: 17.05.2019). DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-5-62-67.
9. Металлополимерная композиция: пат. 2574212С1 Рос. Федерация; заявл. 10.11.14; опубл. 12.01.16.
10. Металлополимерная композиция: пат. 2618031С1 Рос. Федерация; заявл. 02.06.16; опубл. 02.05.17.
11. Кузнецова В.А., Деев И.А., Кузнецов Г.В., Кондрашов Э.К. Влияние наполнителя на усталостную прочность и микроструктуру свободных полимерных пленок при циклическом растяжении // *Заводская лаборатория*. 2014. Т. 80. №5. С. 35–39.
12. Соснина С.А., Кулешова И.Д. Регулирование взаимодействия компонентов в наполненных лакокрасочных композициях // *Лакокрасочные материалы и их применение* 2011. №1. С. 60–62.
13. Нарисава И. Прочность полимерных материалов. Пер. с яп. М.: Химия, 1987. 364 с.
14. Кузнецова В.А., Емельянов В.В., Марченко С.А., Силаева А.А. Применение металлополимерных композиций для заделки дефектов литья и выравнивания поверхности на деталях и изделиях авиационной техники // *Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн*. 2019. №4 (76). Ст. 08. URL: <http://www.viam-works.ru>. (дата обращения: 18.06.2019). DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-4-67-75.
15. Яковлев А.Д., Яковлев С.А. Лакокрасочные покрытия функционального назначения. СПб.: Химиздат, 2016. 272 с.
16. Петров Г.Н., Синайский А.Г., Дальгрэн И.В. Жидкие углеводородные каучуки и области их применения // *Клеи. Герметики. Технологии*. 2009. №10. С. 24–27.

17. Юловская В.Д. Олигомеры. Каучук-олигомерные композиции, структура и свойства // учебное пособие / Федеральное агентство по образованию, Московская гос. акад. тонкой химической технологии им. М.В. Ломоносова. М., 2008. 46 с.
18. Пыриков А.В., Лойко Д.П., Кочергин Ю.С. Модификация эпоксидных смол жидкими полисульфидными и карбоксилатными бутадиеновыми каучуками // Клеи. Герметики. Технологии. 2010. №1. С. 28–33.
19. Чалых А.Е., Кочнова З.А., Жаворонок Е.С. Совместимость и диффузия в системах эпоксидные олигомеры–жидкие карбоксилатные каучуки // Высокомолекулярные соединения. Сер.: А. 2001. Т. 43. №12. С. 1–9.
20. Луценко А.Н., Славин А.В., Ерасов В.С., Хвацкий К.К. Прочностные испытания и исследования авиационных материалов // Авиационные материалы и технологии. 2017. №5. С. 527–546. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-527-546.
21. Владимирский В.Н., Офицерова М.Г., Новикова Т.А., Каримова С.А., Павловская Т.Г. Технология ремонта ЛКП на внешней поверхности изделий АТ // Авиационные материалы и технологии. 2003. №2. С. 86–89.
22. Семенова Л.В., Нефедов Н.И., Белова М.В., Лаптев А.Б. Системы лакокрасочных покрытий для вертолетной техники // Авиационные материалы и технологии. 2017. №4 (49). С. 56–61. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-4-56-61.
23. Каблов В.Ф. Системная технология каучук-олигомерных композиций // Олигомеры-2009 / Российская академия наук, Министерство образования и науки РФ. М., 2009. С. 162–191.
24. Давыдова В.Н., Лукасик В.А., Анцупов Ю.А., Петрухина Е.В. Связь технологии изготовления и свойств каучук-олигомерной композиции // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2004. №2. С. 114–116.
25. Калинина Н.К., Сакина А.И., Бабина К.С., Осипчик В.С. Каучук-олигомерные композиции на основе хлорсульфированного полиэтилена // Пластические массы. 2016. №7–8. С. 45–47.