

9 Нестерович, А. В. Осесимметричное нагружение круглой физически нелинейной трехслойной пластины в своей плоскости / А. В. Нестерович // Проблемы физики, математики и техники. – 2021. – Т. 48. – № 3. – С. 24–29.

10 Горшков, А. Г. Колебания трехслойных стержней под действием локальных нагрузок различных форм / А. Г. Горшков, Э. И. Старовойтов, Д. В. Леоненко // Экологический вестник научных центров черноморского экономического сотрудничества. – 2004. – № 1. – С. 45–52.

11 Захарчук, Ю. В. Трехслойная круговая упругопластическая пластина со сжимаемым наполнителем / Ю. В. Захарчук // Проблемы физики, математики и техники. – 2018. – № 4 (37). – С. 72–79.

12 Старовойтов, Э. И. Нелинейное деформирование трехслойной пластины со сжимаемым наполнителем / Э. И. Старовойтов, Ю. В. Захарчук // Механика машин, механизмов и материалов. – 2019. – № 3 (48). – С. 26–33.

13 Старовойтов, Э. И. Изгиб упругопластической круговой трехслойной пластины со сжимаемым наполнителем / Э. И. Старовойтов, Ю. В. Захарчук // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2020. – Т. 26, № 1. – С. 58–73.

14 Starovoitov, E. I. Elastic circular sandwich plate with compressible filler under axially symmetrical thermal force load / E. I. Starovoitov, Y. V. Zakharchuk, E. L. Kuznetsova // Journal of the Balkan Tribological Association. – 2021. – Vol. 27, no. 2. – P. 175–188.

15 Захарчук, Ю. В. Уравнения равновесия упругопластической круговой пластины со сжимаемым наполнителем / Ю. В. Захарчук // Механика. Исследования и инновации. – 2018. – Вып. 11. – С. 80–87.

16 Захарчук, Ю. В. Напряженно-деформированное состояние круговой трехслойной пластины со сжимаемым наполнителем / Ю. В. Захарчук // Механика. Исследования и инновации. – 2019. – Вып. 12. – С. 66–75.

17 Захарчук, Ю. В. Перемещения в упругой круговой трехслойной пластине со сжимаемым наполнителем / Ю. В. Захарчук // Теоретическая и прикладная механика. – 2020. – С. 61–69.

18 Захарчук, Ю. В. Упругое деформирование круговых трехслойных пластин со сжимаемым наполнителем осесимметричными нагрузками / Ю. В. Захарчук // Теоретическая и прикладная механика. – 2022. – С. 34–41.

УДК 536.413:678.01

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ТЕРМИЧЕСКОГО РАСШИРЕНИЯ АБС- И АБС/ПММА-ПЛАСТИКОВ ПОСЛЕ УСКОРЕННЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

С. В. ШИЛЬКО, Т. В. ДРОБЫШ, А. П. САЗАНКОВ

*Институт механики металлополимерных систем им. В. А. Белого
Национальной академии наук Беларуси, г. Гомель*

В последние годы в транспортном и сельскохозяйственном машиностроении активно применяются крупногабаритные детали кузова (крыши, капоты, оболочечные элементы) из АБС-пластиков, а также их сплавов с полиметметакрилатом (ПММА). Коэффициент термического линейного расширения (КТЛР) этих материалов на порядок выше, чем у металлов, что приводит к заметным изменениям размеров вышеуказанных изделий в эксплуатационном интервале температур $-40...+35$ °С, причем КТЛР зависит от направления, что обусловлено технологической анизотропией при изготовлении. Стесненная деформация изделий при нагреве в условиях жесткого закрепления на несущей раме машины может привести к нежелательному короблению и внутренним напряжениям. В этой связи при проектировании подобных конструкций востребованы экспериментальные данные, характеризующие КТЛР АБС- и АБС/ПММА-пластиков. Также представляет интерес прогнозирование изменений КТЛР этих материалов в процессе эксплуатации при воздействии влаги, температуры и солнечного излучения.

Цель работы – определение коэффициента термического линейного расширения АБС- и АБС/ПММА-пластиков и получение экспресс-оценки его эксплуатационных изменений в результате климатического воздействия.

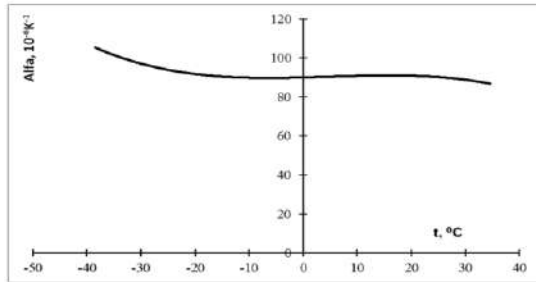
Исследовались АБС- и АБС/ПММА-пластики трех производителей на образцах, вырезанных из листовых заготовок в двух ортогональных направлениях. Ускоренные (800 часов) лабораторные климатические испытания (КИ) с использованием везерометра Q-SUN XENON Xe-3-NS путем интенсификации температурно-влажностного воздействия и ультрафиолетового излучения были эквивалентны 10 годам эксплуатации. Коэффициент линейного термического расширения в температурном диапазоне $-40...+35$ °С определяли на dilatометре DIL801 (TA Instruments).

На рисунке 1 показаны характерные температурные зависимости коэффициента линейного термического расширения $\alpha(t)$, обозначенного параметром Alfa в соответствии с программным обеспечением dilatометра, полученные до и после климатических испытаний. На температурных зависимостях КТЛР изучаемых АБС- и АБС/ПММА-пластиков, можно выделить 3 участка: 1) падающая

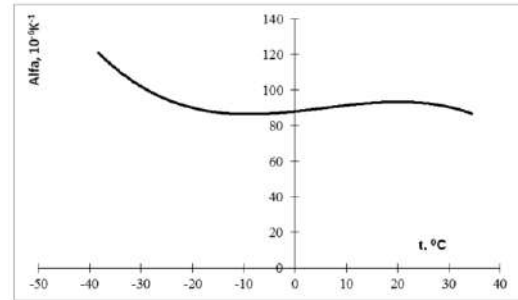
ветвь в области низких температур (от $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-10\dots-15\text{ }^{\circ}\text{C}$); 2) горизонтальный участок с относительно стабильным значением КТЛР (плато) в диапазоне от $-10\dots 15$ до $25\text{ }^{\circ}\text{C}$; 3) падающая ветвь в диапазоне $25\text{--}35\text{ }^{\circ}\text{C}$.

К примеру, из рисунка 1, *а*, *б* следует увеличение КТЛР АБС-пластика производства John Deere (США) примерно на 15 % при низких температурах $-40\dots 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ и изменение характера зависимости $\alpha(t)$ в виде более выраженных температурных вариаций КТЛР. Аналогичные закономерности наблюдаются для АБС/ПММА (рисунок 1, *в*, *г*).

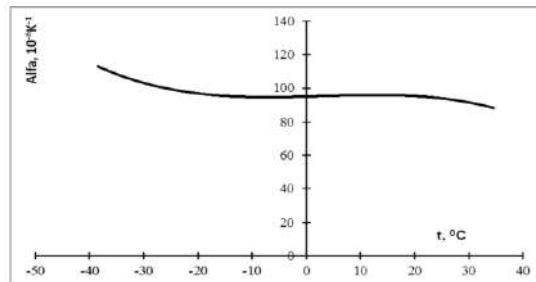
а)



б)



в)



г)

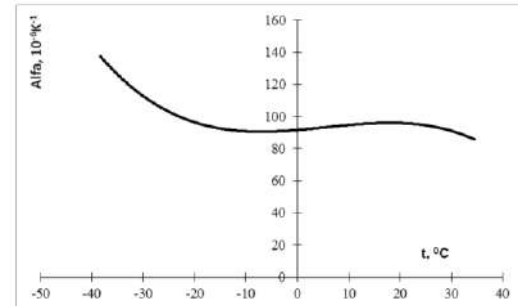
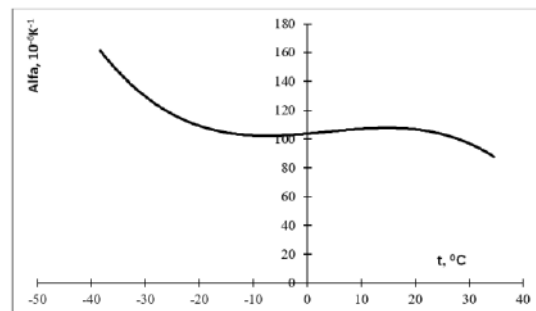


Рисунок 1 – Зависимости «КТЛР/температура» АБС-пластика John Deere до (*а*) и после (*б*) КИ, АБС/ПММА-пластика John Deere до (*в*) и после (*г*) КИ

Практически важным является выделение материалов, обладающих стабильностью значений КТЛР во всём температурном интервале. Так, если до КИ пластики производства John Deere демонстрировали достаточно стабильные значения КТЛР (в пределах $105\dots 90\cdot 10^{-6}\text{ K}^{-1}$ для АБС- и $110\dots 90\cdot 10^{-6}\text{ K}^{-1}$ для АБС/ПММА соответственно), то после КИ температурная вариация КТЛР этих материалов заметно увеличилась: $120\dots 85\cdot 10^{-6}\text{ K}^{-1}$ для АБС и $135\dots 80\cdot 10^{-6}\text{ K}^{-1}$ для АБС/ПММА соответственно. Климатическое воздействие на АБС/ПММА-пластик производства САПТ (РФ), наоборот, привело к уменьшению КТЛР примерно на 20 % при самых низких температурах ($-40\dots -35\text{ }^{\circ}\text{C}$) и уменьшению температурных вариаций КТЛР.

а)



б)

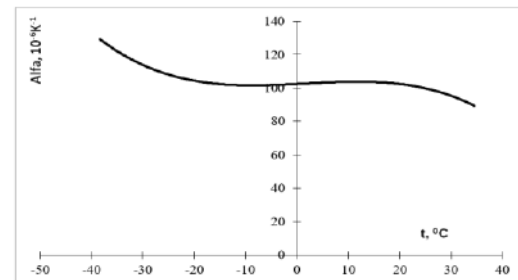


Рисунок 2 – Зависимости «КТЛР/температура» АБС/ПММА-пластика производства САПТ (РФ) до (*а*) и после (*б*) климатических испытаний

В работе определены температурные зависимости коэффициента термического линейного расширения АБС- и АБС/ПММА-пластиков трех производителей после ускоренных лабораторных климатических испытаний, эквивалентных 10 годам эксплуатации. Выполнено сопоставление полученных характеристик с аналогичными показателями до климатических испытаний. Дана оценка стабильности КТЛР изучаемых пластиков при воздействии температуры, влаги и ультрафиолета. Практическая значимость результатов состоит в оптимальном выборе конструкционных пластиков для деталей кузова транспортных и сельскохозяйственных машин по критерию стабильности свойств в условиях климатического воздействия.

Список литературы

- 1 Гуль, В. Е. Структура и механические свойства полимеров / В. Е. Гуль, В. Н. Кулезнев. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Лабиринт, 1994. – 367 с.
- 2 Шах, В. Справочное руководство по испытаниям пластмасс и анализу причин их разрушения / В. Шах ; пер. с англ. под ред. А. Я. Малкина. – СПб. : Научные основы и технологии, 2009. – 732 с.

УДК 669.018.472:678.5

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ МЕТАЛЛ-АЛМАЗНЫХ КОМПОЗИТОВ КАК ФАКТОРА НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ

С. В. ШИЛЬКО

*Институт механики металлополимерных систем им. В. А. Белого
Национальной академии наук Беларуси, г. Гомель*

А. И. СТОЛЯРОВ

Гомельский государственный университет им. П. О. Сухого, Республика Беларусь

В последние годы важным фактором безопасности во многих сферах жизнедеятельности стала надежность силовой электроники, средств мобильной радиосвязи, микропроцессоров и т. д., что обусловлено широким распространением и миниатюризацией электронных приборов, повышением их удельной мощности и, соответственно, тепловыделения. Применение материалов с повышенной теплопроводностью часто остается единственным способом эффективного охлаждения перечисленных устройств. Теплопроводность обычно используемых металлов (меди, алюминия и их сплавов) уже недостаточна; к тому же они имеют довольно высокий коэффициент теплового расширения. Инновационным решением считается создание металл-алмазных композитов (МАК) благодаря их высокой теплопроводности и возможности регулирования КТР. Сочетание свойств металлической матрицы (хорошая теплопроводность, пластичность) и мелкодисперсного наполнителя в виде алмаза (максимальная теплопроводность и твердость, химическая стабильность) в принципе позволяет достичь желаемого результата. Однако из-за несовершенного контакта частиц наполнителя и металлической матрицы, обусловленного низкой смачиваемостью поверхности алмаза медью и алюминием, фактическая теплопроводность и термочность МАК может оказаться ниже, чем у матричного металла. Это преодолевается плакированием алмазов карбидами металлов при условии оптимального выбора объемного содержания частиц, толщины межфазного слоя и т. д. Однако необходимая для оптимизации диагностика температур, напряжений и локальных термомеханических повреждений МАК затрудняется микроскопическими размерами частиц наполнителя и наноразмерностью межфазного слоя.

Обзор проведенных исследований показывает, что численное моделирование позволяет дать полезные рекомендации в части дизайна структуры МАК, направленного на повышение теплопроводности и термочности. Так, авторы статьи [1], изучавшие влияние формы частиц алмаза на теплопроводность МАК экспериментально и методом конечных элементов, сделали вывод, что при прочих равных условиях большее количество граней может способствовать повышению теплопроводности.