

**ЗНАЧЕНИЕ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АМОРФНОГО
ПОЛИВИНИЛХЛОРИДА ДЛЯ ТЕМПЕРАТУР ФОРМОВАНИЯ
ДРЕВЕСНО-ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИТА**

Ганиева Э.Н., Ермоченков М.Г.

*Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Мытищи,
Россия*

**VALUE OF THERMOMECHANICAL PROPERTIES OF AMORPHOUS
POLYVINYL CHLORIDE FOR MOLDING TEMPERATURES
OF WOOD-POLYMER COMPOSITE**

Ganieva E.N., Ermochenkov M.G.

*Mytishchi branch of N.E. Bauman Moscow State Technical University, Mytishchi,
Russia*

Аннотация: В исследовании выполнен анализ термических свойств композита с аморфным полимером. Изучена термическая стабильность и механические характеристики древесно-полимерного композита на основе поливинилхлорида при разных температурах. Результаты показывают важность учёта термомеханических свойств ДПК при разработке и оптимизации технологий формовки изделий из данного материала.

Abstract: The study analyzes the thermal properties of amorphous polymer composite. The thermal stability and mechanical characteristics of wood-polymer composite based on polyvinyl chloride at different temperatures were studied. The results show the importance of taking into account the thermomechanical properties of WPC in the development and optimization of molding technologies for products made of this material.

Ключевые слова: динамический термомеханический анализ (ДТМА), коэффициент температурного линейного расширения (КТЛР), древесно-полимерный композит (ДПК), поливинилхлорид (ПВХ), тангенс угла механических потерь ($\tan \delta$).

Keywords: dynamic thermomechanical analysis (DTMA), coefficient of linear thermal expansion (CTLE), wood-polymer composite (WPC), polyvinylchloride (PVC), tangent of the angle of mechanical loss ($\tan \delta$).

Древесно-полимерные композиты на основе аморфного поливинилхлорида применимы в строительстве, судостроении и автомобильной отрасли благодаря высокой прочности, стойкости к погодным условиям и возможности переработки. Для эффективного формования изделий важно точно установить допустимый температурный режим, обеспечивающий нужную пластичность при сохранении формы материала [1, 2].

Целью работы является определение оптимальных температурных условий формирования древесно-поливинилхлоридного композита с использованием комплексного анализа их термомеханических характеристик методами ДТМА и КТЛР.

Методы и материалы.

Проведено исследование ДПК на основе поливинилхлорида методом ДТМА для оценки вязкоупругих свойств при испытании на трехточечный изгиб образцов по ГОСТ 57916-2017 ч. 5 (ISO 6721-5:1996), а также определением КТЛР материалов в соответствии с требованиями ГОСТ 32618.1-2014 (ISO 11359-1:1999) и ГОСТ 32618.2-2014 (ISO 11359-2:1999) на термомеханическом анализаторе серии ТМА модификации ТМА Q400 производства компании TA Instruments. Исследованный материал включает 52 % древесной муки в сочетании с поливинилхлоридом. Для измерения теплового расширения изготовили образцы (3 шт.) размерами 6,0×6,0×6,0 мм на отрезном станке. Для испытания на изгиб по методу ДТМА аналогичным образом изготовили образцы (3 шт.) размерами 2,5×0,5×15,0 мм. К образцу автоматически прикладывалась предварительная нагрузка заранее установленной величины. При исследовании теплового расширения измерительная нагрузка составляла 0,005 Н, а темп нагрева 1 °С/мин. Во время испытаний на изгиб была установлена постоянная составляющая нагрузка в 0,020 Н, а переменная нагрузка составила 0,015 Н. Нагрев производили со скоростью 1,5 °С/мин. После этого прибор измерил длину образца и сохранил полученное значение. В эксперименте получили кривые изменения размеров и вязкоупругих свойств материала с ростом температуры. Управление прибором и обработка экспериментальных данных осуществляется с помощью программного обеспечения Universal Analysis. Результаты исследований методом КТЛР отображены на рис. 1, а показатели ДТМА на рис. 2.

Анализ влияния температуры на термостойкость древесно-поливинилхлоридного композита позволил установить, что формование при 60°С исключено из-за высокой жёсткости (модуль упругости 948 МПа) и низкой пластичности ($\tan \delta=0.174$), провоцирующее растрескивание материала. Диапазон 70-80°С является технологически оптимальным и подтверждается результатами термогравиметрического анализа композита [0]. Пик пластичности ($\tan \delta=0.3918$ при 71°С). Модуль упругости 152–315 МПа обеспечивает гибкость без потери структурной целостности, а $\tan \delta=0.24\text{--}0.39$ гарантирует пластичность для сложных деформаций. Стабильный КТЛР ($0.77\text{--}0.83 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$) минимизирует усадочные дефекты. При 90°С формование невозможно: критическое падение модуля упругости (102 МПа) ведёт к потере формы, а дехлорирование ПВХ вызывает химическую деградацию. Данные указаны в табл. 1.

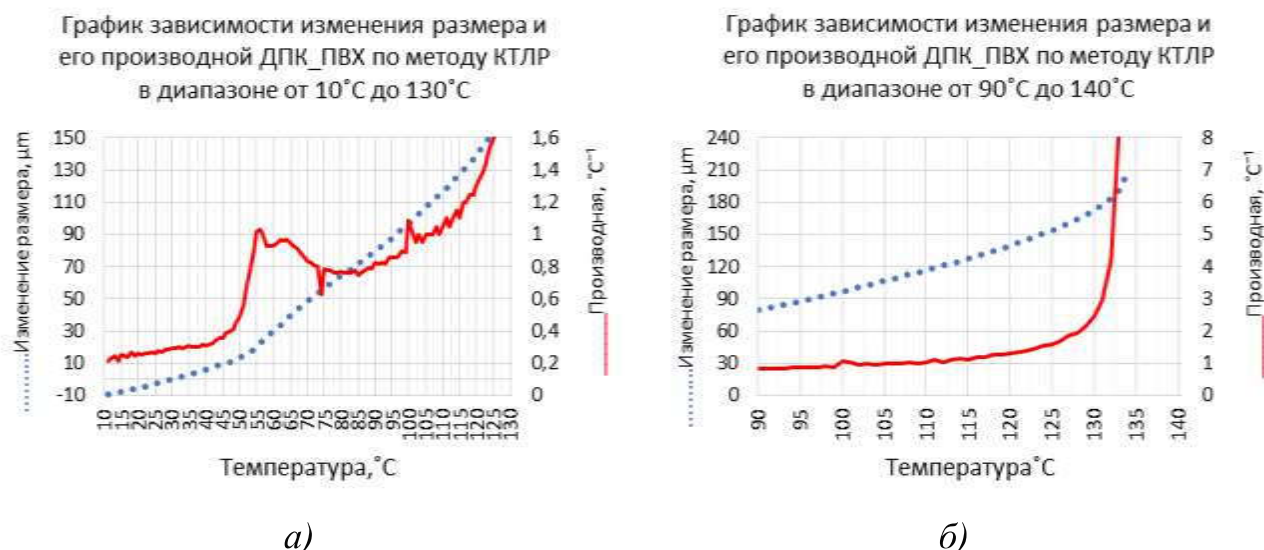


Рисунок 1 – Результаты по методу определения коэффициента термического линейного расширения древесно-поливинилхлоридного композита в диапазоне температур от 10°C до 130°C (а) и от 90°C до 140°C (б).



Рисунок 2 – Результаты по динамическому термомеханическому анализу древесно-поливинилхлоридного композита.

Таким образом, для древесно-полимерных композитов на основе аморфного поливинилхлорида критически важен точный контроль температуры формирования из-за уникальных реологических особенностей. Аморфная структура полимера обуславливает резкий переход через зону стеклования без четкой точки плавления, формируя экстремально узкое технологическое окно. В этом диапазоне достигается оптимальный баланс пластичности и структурной целостности: ниже его материал проявляет хрупкость, выше – необратимо деградирует с выделением токсичных продуктов.

Таблица 1 – Таблица значений допустимых температур при формировании поверхностей из древесно-поливинилхлоридного композита.

Температура	Tan δ	Модуль упругости, МПа	КТЛР, $10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	Формование
60 $^\circ\text{C}$	0,174	948	0,93	Невозможно из-за высокого модуля упругости и появления трещин
70–80 $^\circ\text{C}$	0,24–0,39	152–315	0,77–0,83	Формование возможно, оптимальные значения модуля упругости и угла механических потерь
90 $^\circ\text{C}$	0,172	102	0,86	Невозможно из-за низкого модуля упругости и дехлорирования

Отсутствие кристаллической фазы исключает плато размягчения, типичное для полукристаллических полимеров, усиливая зависимость свойств от минимальных температурных колебаний. Результаты подтверждают, что успешное формование аморфных композитов требует строгого соблюдения реологического коридора.

Список литературы

1. Friedrich D. Thermoplastic moulding of wood-polymer composites (WPC): A review and research proposal on thermo-physical and geometric design options using hot-pressing / D. Friedrich // European Journal of Wood and Wood Products. – 2022. – Vol. 80, № 1. – pp. 7-21.
2. Блазнов А.Н. Анализ методов термомеханических испытаний композитных материалов и сравнение результатов / А.Н. Блазнов, Е.В. Атясова, В.В. Самойленко // Южно-Сибирский научный вестник. – 2017. – № 1(17). – С. 54-69.
3. Ганиева Э.Н. Кинетика термического разложения древесно-полимерных композитов / Э.Н. Ганиева, М.Г. Ермоченков, М.Ю. Кладов // Системы. Методы. Технологии. – 2025. – № 2(66). – С. 143-149. – DOI 10.18324/2077-5415-2025-2-143-149.

References

1. Friedrich D. Thermoplastic moulding of wood-polymer composites (WPC): A review and research proposal on thermo-physical and geometric design options using hot-pressing / D. Friedrich // European Journal of Wood and Wood Products. – 2022. – Vol. 80, № 1. – pp. 7-21.
2. Blaznov A.N. Analysis of thermomechanical testing methods of composite materials and comparison of results / A.N. Blaznov, E.V. Atyasova, V.V. Samoylenko // South Siberian Scientific Bulletin. – 2017. – № 1(17). – pp. 54-69.
3. Ganieva E.N. Kinetics of thermal decomposition of wood-polymer composites / E.N. Ganieva, M.G. Ermochenkova, M. Kladov // Systems. Methods. Technologies. – 2025. – № 2(66). – pp. 143-149. – DOI: 10.18324/2077-5415-2025-2-143-149.