

УСТАНОВЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР ФОРМОВАНИЯ ДРЕВЕСНО-ПОЛИПРОПИЛЕНОВОГО КОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Ганиева Э.Н., Ермоченков М.Г.

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

ESTABLISHMENT OF OPTIMAL MOLDING TEMPERATURES OF WOOD-POLYPROPYLENE COMPOSITE BASED ON THE ANALYSIS OF THERMOMECHANICAL PROPERTIES

Ganieva E.N., Ermochenkov M.G.

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

Аннотация: В исследовании выполнен анализ термической стабильности и механических характеристик древесно-полимерного композита на основе полипропилена при разных температурах. Результаты показывают важность учёта термомеханических свойств ДПК при разработке технологий формовки изделий, позволяя прогнозировать поведение материала, минимизировать дефекты изделий и повышать стабильность технологического процесса.

Abstract: The study analyzes the thermal stability and mechanical characteristics of wood-polymer composite based on polypropylene at different temperatures. The results show the importance of taking into account the thermomechanical properties of WPC in the development of product molding technologies, allowing to predict the behavior of the material, minimize product defects and increase the stability of the technological process.

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

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

Древесно-полимерный композит на основе полипропилена применяются в строительстве, мебели и автопроме благодаря прочности и атмосферостойкости. Полипропиленовая матрица обеспечивает термостойкость и химическую инертность, повышая долговечность. Ключевой фактор успешного формования является точный контроль температуры, обеспечивающий пластичность, ста-

бильность геометрии изделий, снижение напряжений и улучшение эксплуатационных свойств [1,2].

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

Методы и материалы.

Проведено исследование ДПК на основе полипропиленовой матрицы 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 55 % древесной муки в сочетании с полипропиленом (ПП) Для измерения теплового расширения изготовили образцы (3шт.) размерами 6,0×6,0×6,0 мм на отрезном станке. Для испытания на изгиб по методу ДТМА аналогичным образом изготовили образцы (3шт.) 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.

Исследование ключевых температурных переходов ДПК_ПП определило границы применимого диапазона для поверхностного формования. Установлена возможность сверхскоростного нагрева до температуры плавления (160°С) без признаков термодеструкции, что подтверждается результатами термогравиметрического анализа композита [3], обеспечивая контролируемое формование при сохранении структурной целостности композита. Оптимальные технологические окна сформированы в зависимости от применяемого способа и целевых параметров формования. Данные указаны в табл. 1.

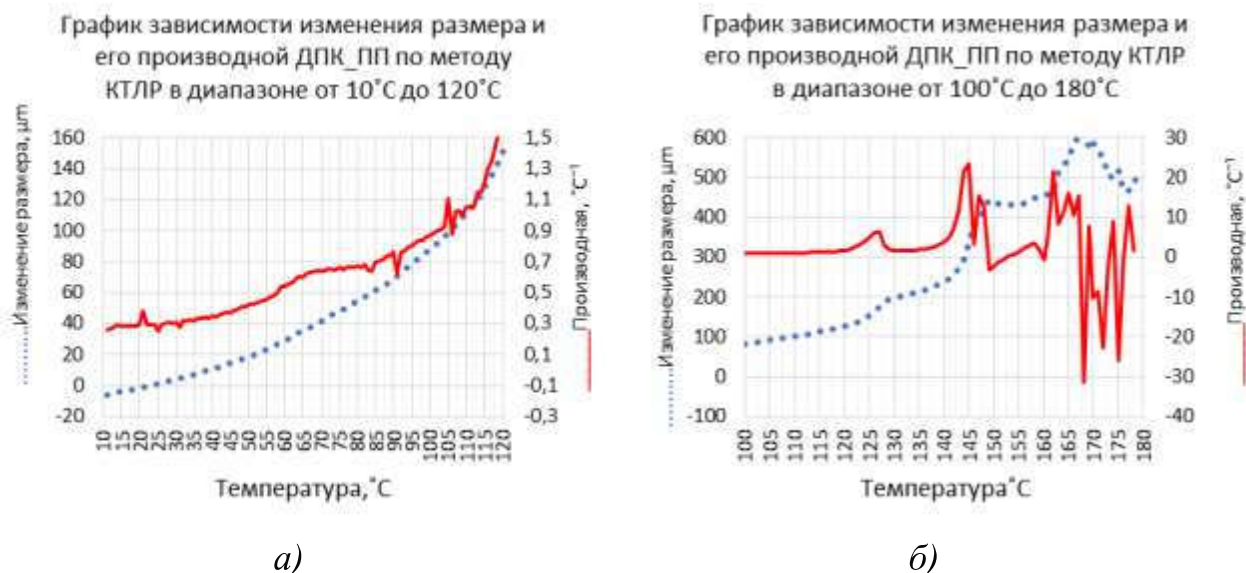


Рисунок 1 – Результаты по методу определения коэффициента термического линейного расширения древесно-полипропиленового композита в диапазоне температур от 10°С до 120°С (а) и от 100°С до 180°С (б)



Рисунок 2 – Результаты по динамическому термомеханическому анализу древесно-полипропиленового композита

Полученные данные помогают определить оптимальные режимы нагрева и охлаждения, что способствует улучшению качества изделий за счёт снижения внутренних напряжений. Результаты могут применяться в технологических процессах при разработке формовочной оснастки и выборе типа полимерной матрицы, а также позволяют установить допустимый температурный диапазон для термоформования. Кроме того, подтверждается, что каждый полимерный композит имеет уникальные температурные и реологические характеристики, зависящие от его состава.

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

Температура (°C)	Tan δ	Модуль упругости (МПа)	КТЛР ($\times 10^{-4}$ °C ⁻¹)	Формование
60	0,056	1277	2,821	Высокая жёсткость, низкая пластичность. Формование невозможно.
70-80	0,067 - 0,078	1140-1016	4,019 - 5,323	Начало размягчения. Риск неполного формования.
90-110	0,09-0,125	902 -676	6,7-10,18	Оптимальный. Пластичность хорошая (tan $\delta > 0.1$), модуль снижен. Подходит для многих операций формования.
120-130	0,153 - 0,227	558 - 267	12,64 - 19,72	Максимальная пластичность. Модуль резко падает после 120°C. Формование теряет стабильность
140-160	0,223-0,646	220- 19.55	23,78 - 45,77	Формование возможно только при кратковременном нагреве.

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