

# Триботехнические характеристики термопластичных полимеров, модифицированных механоактивированными частицами

*Эйсымонт<sup>1</sup> Е. И., Овчинников<sup>2</sup> Е. В., Веремейчик<sup>3</sup> А. И.  
Григорьева<sup>4</sup> Т. Ф., Воропаева<sup>5</sup> Е. Т.*

<sup>1</sup> К. т. н., доцент кафедры логистики и методов управления  
УО «Гродненский государственный университет имени Янки Купалы»  
Гродно, Беларусь, [ya.eisymont@gmail.com](mailto:ya.eisymont@gmail.com)

<sup>2</sup> Д. т. н., профессор кафедры машиноведения и технической  
эксплуатации автомобилей УО «Гродненский государственный  
университет имени Янки Купалы», Гродно, Беларусь, [ovchin@grsu.by](mailto:ovchin@grsu.by)

<sup>3</sup> К. ф.-м. н., доцент, заведующий кафедрой теоретической и прикладной механики  
УО «Брестский государственный технический университет»  
Брест, Беларусь, [vai\\_mrtm@bstu.by](mailto:vai_mrtm@bstu.by)

<sup>4</sup> Д. х. н., ведущий научный сотрудник, руководитель Группы металлических  
композиционных материалов, институт химии твердого тела и механохимии  
Сибирского отделения Российской академии наук  
Новосибирск, Россия, [grig@solid.nsc.ru](mailto:grig@solid.nsc.ru)

<sup>5</sup> Старший преподаватель кафедры машиноведения и технической  
эксплуатации автомобилей УО «Гродненский государственный  
университет имени Янки Купалы», Гродно, Беларусь, [gorychava\\_et@grsu.by](mailto:gorychava_et@grsu.by)

Механоактивация – перспективный метод модификации материалов, открывающий широкие возможности для улучшения эксплуатационных характеристик самых разнообразных материалов, изготовленных по различным технологиям в том числе и аддитивным. Суть данной механоактивационной технологии заключается в воздействии на материал интенсивных механических сил (ударов, сжатия, трения) приводящих к глубоким структурным изменениям. В отличие от традиционных методов обработки, механоактивация позволяет не только изменять форму и размер частиц, но и управлять их внутренней структурой на атомарном и нанометровом уровнях. В процессе механоактивации происходит накопление различных дефектов кристаллической решетки, увеличение удельной поверхности, изменение поверхностной энергии и фазового состава материала, возникают новые, часто наноразмерные фазы, значительно повышающие активность вещества. Например, механоактивация может приводить к образованию аморфных фаз в кристаллических материалах, что позволяет формировать новые кристаллические модификации вещества с определенными заданными свойствами, а также к образованию наночастиц с уникальными характеристиками. Эффективность механоактивации зависит от многих факторов, включая тип активатора (например, шаровые мельницы, вибрационные или ультразвуковые установки), параметры процесса (время, интенсивность, среда), а также от свойств исходного материала. Особый интерес представляет механоактивация композитных материалов, в частности систем, состоящих из полимеров (или олигомеров), и твердых неорганических или органических наполнителей. Такой подход позволяет создавать материалы с улучшенными механическими,

термическими, электрическими или оптическими свойствами. Совместная механоактивация полимерной матрицы и твердых частиц приводит к образованию сложных композитных структур, где полимерная составляющая образует своего рода «шубу» вокруг твердого ядра. Это может быть, например, силикатное ядро, покрытое полимерным слоем, или углеродные нанотрубки, окруженные полимерной матрицей. Образующиеся структуры обладают синергетическим эффектом, где свойства композита превосходят сумму свойств отдельных компонентов. Механизм образования таких композиционных структур довольно сложен и до сих пор не до конца изучен. Предполагается, что он связан с процессами адсорбции и химического взаимодействия полимера с поверхностью твердых частиц, а также с формированием пространственных сшитых структур в полимерной матрице под воздействием механических сил. В случае использования слоистых силикатов, например монтмориллонита или вермикулита, происходит интеркаляция макромолекул полимера в межслоевые пространства силикатов. Это приводит к расслоению силикатов и образованию тонких слоев, равномерно распределенных в полимерной матрице. Такое равномерное распределение обеспечивает эффективное модифицирование полимера, повышая его прочность и жесткость. Кроме того, механоактивация может способствовать активации поверхности твердых частиц, увеличивая их реакционную способность и улучшая адгезионное взаимодействие с полимерной матрицей. Это особенно важно для наполнителей с низкой поверхностной энергией, таких как углеродные материалы. Механоактивация может создавать на их поверхности активные центры, способствующие образованию прочных химических связей с полимерными молекулами. В результате образуется композит с улучшенной адгезией между компонентами и, соответственно, повышенными механическими свойствами [1].

Целью исследований являлось исследование триботехнических характеристик термопластичных полимеров, модифицированных силикатными механоактивированными частицами.

В качестве объекта исследований был выбран полиэтилен низкого давления (ПЭНД). Это обусловлено его широким применением в различных отраслях промышленности, а аэросила, благодаря своей высокой удельной поверхности и способности повышать активность в результате механоактивационного воздействия, является перспективным наполнителем для улучшения свойств полимерных материалов. Механоактивация аэросила осуществлялась на специализированной установке АГО-2, где частицы подвергались интенсивным механическим воздействиям, таким как сдвиг, удар и истирание. Регулируя параметры процесса (скорость вращения, время обработки, давление в зоне контакта), можно контролировать степень механоактивации и, следовательно, изменять свойства получаемого наполнителя. Важно отметить, что механоактивация приводит к изменению морфологии частиц аэросила – увеличению дефектности поверхности, образованию новых активных центров и, что особенно важно, к изменению их поверхностного заряда. Полученные результаты экспериментально подтвердили предположение о существенном влиянии механоактивированного аэросила на структуру и свойства ПЭНД. В частности, наблюдалось значительное повышение степени кристалличности

полимерной матрицы. Это объясняется тем, что механоактивированные частицы, имеющие высокую удельную поверхностную энергию и нескомпенсированный заряд, действуют как зародышеобразующие центры кристаллизации. Кроме того, вокруг каждой частицы формируется упорядоченный переходный слой, размеры которого зависят от степени механоактивации модификатора. Механоактивированные частицы аэросила способствуют образованию своеобразной физической сетки в полимерной матрице. Взаимодействуя с активными центрами частиц, макромолекулы ПЭНД образуют сетку физических связей сшивки, повышая прочность и жесткость композиционного материала. Это явление аналогично образованию сшивки полимерных материалов при радиационном или химическом воздействии. Однако в данном случае образующаяся «сеть» более лабильна и зависит от распределения наполнителя в полимерной матрице. Для повышения эффективности модифицирования полимерной матрицы были исследованы механоактивированные частицы аэросила с различными соотношениями параметров механоактивации. Было обнаружено синергетическое воздействие таких частиц на полимерную матрицу, приводящее к более значительному улучшению трибологических характеристик, чем при использовании отдельных компонентов. Это связано с созданием более сложной и эффективной трехмерной структуры в полимерной матрице. Разработанные композиционные материалы на основе ПЭНД и механоактивированного аэросила продемонстрировали улучшенные трибологические показатели (коэффициент трения, износ) по сравнению с исходным ПЭНД и композитами, модифицированными исходным аэросилом. Это подтверждает перспективность использования механоактивированных наночастиц для создания износостойких и высокопрочных полимерных материалов. Кроме того, проведены исследования влияния различных методов нанесения покрытий на основе разработанных композитов, что позволило оптимизировать технологический процесс и получить материалы с еще более высокими эксплуатационными характеристиками.

#### **Список использованных источников**

1. Овчинников, Е. В. Механоактивированные композиционные материалы на полимерной основе / Е. В. Овчинников, Т. Ф. Григорьева, Т. Ф. Эйсымонт, А. Е. Овчинников // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – 2024. – № 4 (87). С. – 63–70.