

# БИОДЕСТРУКЦИЯ КРАХМАЛОНАПОЛНЕННЫХ ПОЛИМЕРОВ

О. В. Давыдова, Н. Е. Дробышевская, В. Н. Шиленкова

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель Е. Н. Подденежный

В последнее время особое внимание уделяется разработке биоразлагаемых композиционных материалов, которые после их использования в компосте или почве распадаются на безопасные для окружающей среды компоненты. Наибольших успехов в производстве таких композитов удалось достичь с применением композиций, сочетающих традиционные полимеры, такие как полипропилен и биоразлагаемые органические наполнители, например, крахмал или древесная мука. Поэтому для определения рациональных областей использования упаковочных материалов и тары на их основе необходимо располагать данными о прочности материалов, их устойчивости, долговечности в контакте с агрессивными средами [1].

Целью работы является изучение этапов биодеструкции крахмалонаполненных полимеров.

С использованием полипропилена и кукурузного крахмала была изготовлена одноразовая посуда с совмещающими добавками, лубрикантами и красителями. Состав белой тарелки: крахмал кукурузный пищевой; полипропилен пищевой; алюминатный совмещающий агент – модификатор поверхности зерен крахмала; этиленвинилацетат (СЭВИЛЕН); глицерин моностеарат – внутренний лубрикант 1,5 %; воск полиэтиленовый – внешний лубрикант; белый суперконцентрат на основе диоксида титана  $TiO_2$  [2]. Структурная схема получаемого бионаполненного композита приведена на рис. 1.

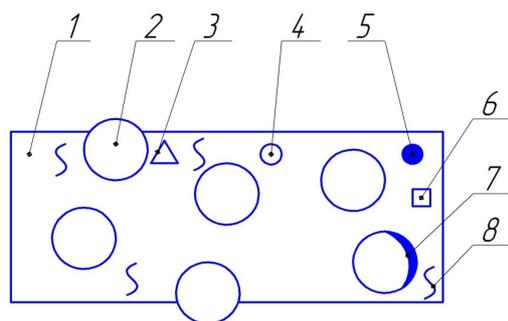
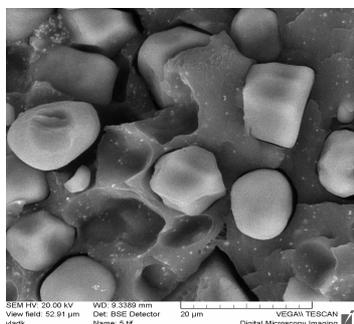


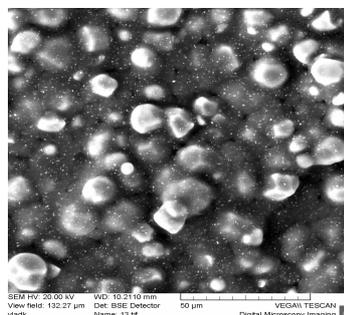
Рис. 1. Схема бионаполненного композита «полипропилен–крахмал»:  
 1 – матрица ПП; 2 – бионаполнитель – кукурузный крахмал;  
 3 – этиленвинилацетат (сэвилен); 4 – полиэтиленовый воск;  
 5 – глицеринмоностеарат; 6 – диоксид титана;  
 7 – алюминатный совмещающий агент; 8 – микропоры

Таким образом, композиционный бионаполненный материал представляет собой гидрофобную матрицу, в которой равномерно распределены зерна крахмала (размер 12–15 мкм), блоки этиленвинилацетата, который служит для увеличения текучести расплава композита и является несмешиваемой второй полиолефиновой фазой, лубриканты и красители. Алюминатный агент является металлоорганическим соединением алюминия, служит для смачивания зерен крахмала и их встраивания в структуру полипропилена. Часть зерен крахмала, как видно из микроснимка (рис. 2), выходит на поверхность ленты композита и является в будущем местом атаки бактерий и грибов при компостировании, а при вымывании в почве и потреблении крахмала – путем входа влаги и бактериальной среды в объем композита.

Биодеструкция крахмалонаполненных композитов в компосте и влажной почве происходит по следующему механизму: проникая внутрь материала через микропоры и пористые зерна крахмала, вода растворяет содержащиеся в нем компоненты (низкомолекулярные фракции крахмала и т. д.), вызывает набухание наружных и внутренних зерен крахмала, приводя к образованию на поверхности материала дополнительных микротрещин и полостей, освобождая доступ внутрь полимерной матрицы. Крахмал, распределенный в матрице полимера, набухает, оказывая тем самым давление на матрицу.



а)



б)

Рис. 2. Микроснимки зерен крахмала: а – СЭМ-изображение бионаполненного композита «полипропилен–крахмал» (большие белые зерна – крахмал, белые точки – краситель). Часть зерен крахмала высыпалась из композита во время скола пластины в жидком азоте; б – СЭМ-изображение поверхности ленты бионаполненного композита

Площадь контакта крахмала с полимерной матрицей возрастает. Вода, являясь пластификатором, одновременно оказывает расклинивающее действие на полимерную матрицу (эффект Ребиндера); в дальнейшем диффузия воды происходит за счет перепада давления в растворе матрицы и вне ее, т. е. за счет осмотического давления. При этом увеличивается скорость диффузионных процессов и, как следствие, возрастает количество экстрагируемых веществ; концентрация крахмала в матрице снижается, образуются поры. Возрастает удельная поверхность матрицы и, как следствие, вероятность ее контакта с микроорганизмами; происходит адсорбция микроорганизмов на поверхности и в глубине полимерного материала. Начинается рост колоний микроорганизмов (бактерий и грибов). Дальнейший этап биодеструкции связан с действием ферментативного гидролиза и продуктов метаболизма микроорганизмов, которые атакуют полимерные ламели и сферолиты полипропилена, начиная с аморфной части надмолекулярной структуры. В результате происходит полное разрушение композиционного материала.

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

1. Изучены этапы биоразложения композиционного материала «полипропилен–кукурузный крахмал».
2. Предложен механизм биодеструкции полимерного композита, который является результирующим четырех процессов – диффузии воды, изменения удельной поверхности композита, адсорбции микроорганизмов и ферментативного гидролиза материала.

#### Литература

1. Averous, L. Starch-based biodegradable materials suitable for thermoforming packaging / L. Averous, C. Fringant, Moro // *Starch / Starke*. – 2001. – Vol. 53. – P. 368–371.
2. Биоразлагаемые композиционные материалы на основе смесей крахмала и синтетических полимеров / Е. Н. Подденежный [и др.] // *Горная механика и машиностроение*. – 2016. – № 1. – С. 89–95.