

О ПРИМЕНЕНИИ МОДИФИЦИРОВАННОГО НИЗКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА В КОМПОЗИЦИЯХ С КРАХМАЛОМ

© В. О. Кудышкин, Н. И. Бозоров, Н. Ш. Ашуров, Н. Р. Ашуров, С. Ш. Рашидова

Институт химии и физики полимеров АН Республики Узбекистан,
100128, Узбекистан, г. Ташкент, ул. А. Кодири, д. 76
E-mail: persival2015@yandex.ru; polymer@academy.uz

Поступила в Редакцию 25 марта 2021 г.

После доработки 18 июня 2021 г.

Принята к публикации 2 июля 2021 г.

Получены композиции привитого сополимера низкомолекулярного полиэтилена с акриловой кислотой и крахмала. Методом ИК-Фурье-спектроскопии доказан факт химического взаимодействия карбоксильных групп сополимера и гидроксильных групп крахмала с образованием сложноэфирной связи. Методом рентгеноструктурного анализа показано снижение степени кристалличности привитого сополимера при его смешении с крахмалом. Привитые сополимеры применены в качестве компатибилизаторов в полимерных композициях на основе полиэтилена высокого давления и крахмала. Установлено, что наличие привитого сополимера в композиции способствует снижению размеров частиц крахмала в матрице полиэтилена и улучшает физико-механические свойства композиции.

Ключевые слова: полиэтилен; крахмал; привитой сополимер; композиция; структура; физико-механические свойства

DOI: 10.31857/S0044461821070112

Одним из наиболее известных способов создания биоразлагаемых материалов на основе полиолефинов является введение в полимерную композицию наполнителей, способных к биодegradации под воздействием факторов окружающей среды. В частности, при создании биоразлагаемых композиций на основе полиэтилена в качестве наполнителя часто используют крахмал [1]. Для обеспечения совместимости компонентов в композиции и получения термопластичных смесей полиэтилен/крахмал полисахарид должен быть пластифицирован. Разрыв водородных связей между макромолекулами крахмала и перевод его в термопластичное состояние осуществляется введением пластификаторов — глицерина и воды [2], дистиллированных моноглицеридов [3]. Композиции полиэтилена с крахмалом могут быть также получены при использовании эвтетических растворителей, которые повышают пластичность полиэтилена [4]. В целях улучшения совместимости полиэтилена и крахмала применяют компатибилизаторы, представляющие собой блок- или привитые сополимеры полиэтилена, содержащие активные функциональные группы. Такой

сополимер имеет хорошую термодинамическую совместимость с полиэтиленом и за счет активных функциональных групп способен взаимодействовать с крахмалом [5–7]. Компатибилизатор предотвращает коалесценцию частиц полисахарида, способствует уменьшению межфазного натяжения и стабилизации размеров частиц крахмала, составляющих дисперсную фазу композиции. Компатибилизаторами, в частности, являются сополимеры полиэтилена с акриловой кислотой, имеющие блочную структуру [7]. Нами был модифицирован низкомолекулярный полиэтилен посредством привитой сополимеризации с акриловой кислотой [8] и сделано предположение о возможности применения его как компатибилизатора в смесях полиэтилена с полярными полимерами, способными к взаимодействию с акриловой кислотой.

Цель работы — исследование химического взаимодействия крахмала и модифицированного низкомолекулярного полиэтилена и установление возможности применения последнего в качестве компатибилизатора в композициях полиэтилена и крахмала.

Экспериментальная часть

В работе использовали полиэтилен высокого давления [марка 15303-003 с показателем текучести расплава $0.4 \text{ г} \cdot 10^{-1} \cdot \text{мин}^{-1}$ (при 2.16 кгс), ООО «СИБУР»]; крахмал кукурузный (высший сорт, ООО «АМИЛКО»); низкомолекулярный полиэтилен (высший сорт, СП ООО «Uz-Kor Gas Chemical»); ледяную акриловую кислоту («NIMEDIA Laboratories»), очищенную перегонкой; инициатор — пероксид бензоила (98%, Tianjin Icason Technology Co), очищенный перекристаллизацией; растворитель — *o*-ксилол (99.0%, ООО «Химреактивинвест»); глицерин (Д-98, ООО «ХИМТРЕЙДМАКС»); воду дистиллированную, для получения которой использовали дистиллятор модели DZ-10LII ($10 \text{ л} \cdot \text{ч}^{-1}$, Huanghai Faithful Instrument). Синтез привитых сополимеров в мольных соотношениях низкомолекулярный полиэтилен:акриловая кислота = 90:10 и 60:40 проводили в соответствии с [8]. Содержание звеньев акриловой кислоты в сополимерах 7 и 14 мол% соответственно.

С целью установления факта химического взаимодействия привитого сополимера с крахмалом компоненты смешивали на лабораторной установке в условиях сдвигового поля при $T = 130^\circ\text{C}$ в течение 30 мин.

Для приготовления композиций полиэтилена высокого давления с крахмалом последний предварительно пластифицировали водой и глицерином [9]. Смешение полиэтилена высокого давления, крахмала и привитого сополимера осуществляли в смесителе Брабендера (OHG Duisburg) при частоте вращения роторов $150 \text{ об} \cdot \text{мин}^{-1}$, $T = 180^\circ\text{C}$ в течение 10 мин.

Показатель текучести расплава определяли на стандартном пластометре XNR 1134 (Chengde Desheng Testing Equipment) при 190°C , нагрузка 5.0 кгс.*

ИК-спектроскопические исследования проводили с использованием ИК-Фурье-спектрометра IRTracer-100 (Shimadzu Corporation) в комплекте с приставкой нарушенного полного внутреннего отражения MIRacle-10 с призмой diamond/ZnSe, спектральный диапазон по шкале волновых чисел — $4000 \pm 400 \text{ см}^{-1}$, разрешение — 4 см^{-1} , чувствительность — соотношение сигнал:шум = 60 000:1, скорость сканирования — 20 спектров в секунду.

Рентгеноструктурные исследования образцов в виде пленок проводили на рентгеновском дифрактометре ДРОН-3М (НПП «Буревестник») с монохроматизированным $\text{CuK}\alpha$ -излучением при 22 кВ и силе

тока 10 мА. Измерения осуществляли в интервале $2\theta = 2\text{--}52^\circ$. Расчет степени кристалличности проведен согласно.**

Структурные исследования осуществляли методом атомно-силовой микроскопии (полуконтактный метод) на сканирующем зондовом микроскопе Agilent 5500 при комнатной температуре. В работе применены кремниевые кантилеверы жесткостью $9.5 \text{ Н} \cdot \text{м}^{-1}$ с частотой 192 кГц. Максимальная область сканирования по координатам X , Y составляет $20 \times 20 \text{ мкм}^2$, по Z — 1 мкм.

Измерения прочности при растяжении, относительного удлинения при разрыве и модуля упругости по методу*** проводили на разрывной машине AG-X plus (Shimadzu Corporation). С целью определения модуля упругости растяжение осуществляли со скоростью $1 \text{ мм} \cdot \text{мин}^{-1}$ до значения деформации 0.3%, а далее со скоростью $20 \text{ мм} \cdot \text{мин}^{-1}$.

Обсуждение результатов

ИК-спектр крахмала (рис. 1) характеризуется наличием полос поглощения трех гидроксильных групп, находящихся в составе глюкопиранозного звена. Из-за образования водородных связей формируется ряд стабильных надмолекулярных структур, что обуславливает уширение полос поглощения. ИК-спектры привитых сополимеров низкомолекулярного полиэтилена и акриловой кислоты описаны в [8]. В ИК-спектрах смесей привитых сополимеров с крахмалом наблюдаются полосы поглощения, характерные для обоих компонентов смеси, как в области «отпечатков пальцев», так и в области валентных колебаний (рис. 1). При $3550\text{--}3100 \text{ см}^{-1}$ фиксируются полосы поглощения ОН-групп как в свободном состоянии, так и участвующих в меж- и внутримолекулярных водородных связях. Валентные колебания С—Н-связей в метиленовых и метильных группах проявляются в области $3000\text{--}2800 \text{ см}^{-1}$. В области 1705 см^{-1} наблюдается полоса поглощения карбоксильной группы, при наличии в композиции крахмала появляется дополнительная полоса поглощения в виде плеча. Полосы поглощения спектров смесей сополимеров с крахмалом в области $1500\text{--}900 \text{ см}^{-1}$ характеризуют колебания С—Н-, С—О- и О—Н-групп гликозидной связи и глюкопиранозного кольца крахмала, а

** Вундерлих Б. Физика макромолекул. Т. 1. Кристаллическая структура, морфология, дефекты / Пер. с англ. Ю. К. Годовского и В. С. Папкина. М.: Мир, 1976. С. 459.

*** ASTM D638-14. Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics.

* ГОСТ 11645–73. Пластмассы. Метод определения показателя текучести расплава термопластов.

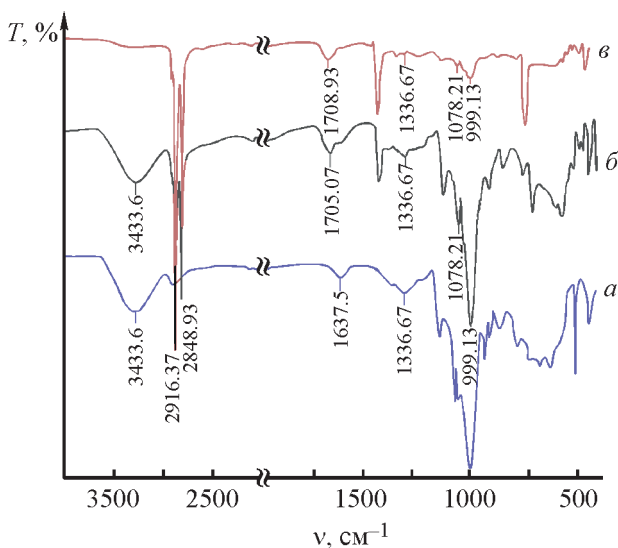


Рис. 1. ИК-Фурье-спектр образцов крахмала (а), смеси привитого сополимера, синтезированного при мольном соотношении низкомолекулярный полиэтилен:акриловая кислота = 90:10, с крахмалом (б, в).

Массовое соотношение привитой сополимер:крахмал = 1:4 (б), 4:1 (в).

также маятниковые и деформационные колебания CH_2 -групп.

В ИК-спектрах смесей привитой сополимер:крахмал также появляются полосы поглощения при 1330 см^{-1} , характеризующие асимметричные валентные колебания C—O -связи сложноэфирной группы, которая образуется в результате взаимодействия карбоксильной группы сополимера с гидроксильной группой крахмала. Также с ростом содержания крахмала в композиции наблюдается увеличение интенсивности полосы поглощения при 999 см^{-1} , характерной для C—O—C -связей, и полосы поглощения при 1078 см^{-1} , характерной для валентных колебаний C—O -связи.

На рентгеновских дифракционных кривых смесей привитых сополимеров с крахмалом (рис. 2) наблюдаются характерные для кристаллического полиэтилена рефлексы при $2\theta = 21$ и 23° , относящиеся к плоскостям кристаллита (110) и (200). Интенсивность рефлексов уменьшается с ростом содержания крахмала в композиции. На рентгеновских дифракционных кривых привитого сополимера при $2\theta = 36^\circ$ наблюдается небольшой рефлекс, относящийся к плоскости кристаллизации низкомолекулярного полиэтилена в направлении (020), который исчезает при смешении с крахмалом. Степень кристалличности привитого сополимера, синтезированного при мольном соотношении низкомолекулярный полиэтилен:акриловая кислота = 60:10, составляет 45.6%; привитого со-

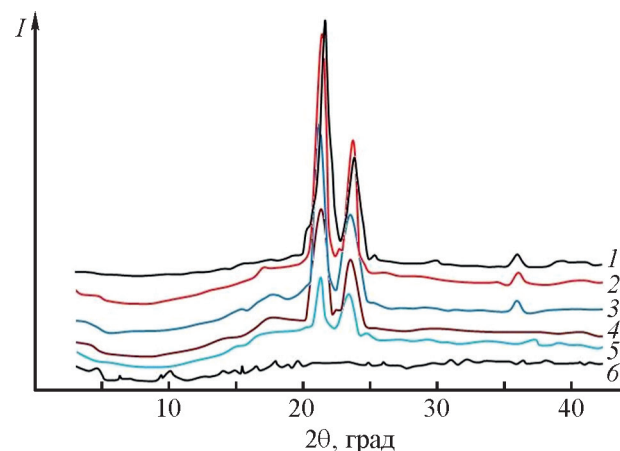


Рис. 2. Рентгеновские дифракционные кривые образцов привитого сополимера, синтезированного при мольном соотношении низкомолекулярный полиэтилен:акриловая кислота = 60:40 (1), смесей привитой сополимер:крахмал в массовом соотношении 4:1 (2), 3:2 (3), 2:3 (4), 1:4 (5), крахмала (6).

полимера, синтезированного при мольном соотношении низкомолекулярный полиэтилен:акриловая кислота = 90:10, — 58.7%, что ниже, чем у немодифицированного низкомолекулярного полиэтилена [8]. В смесях с крахмалом также наблюдается снижение степени кристалличности по сравнению с исходными привитыми сополимерами. Кроме того, изменяются размеры кристаллитов (табл. 1).

В смеси привитого сополимера, синтезированного при мольном соотношении низкомолекулярный полиэтилен:акриловая кислота = 60:40, и крахмала с массовым соотношением привитой сополимер:крахмал = 4:1 наблюдаются дисперсные частицы среднего размера 830 нм . В смеси привитого сополимера, синтезированного при мольном соотношении низкомолекулярный полиэтилен:акриловая кислота = 90:10, и крахмала с массовым соотношением сополимер:крахмал = 4:1 средний размер частиц дисперсной фазы составляет 435 нм (рис. 3).

Таким образом, методом ИК-Фурье-спектроскопии доказан факт взаимодействия привитых сополимеров низкомолекулярного полиэтилена и акриловой кислоты с крахмалом с образованием сложноэфирной связи за счет взаимодействия карбоксильных групп сополимера и гидроксильных групп крахмала. Методом рентгеноструктурного анализа установлен факт снижения степени кристалличности и изменения размеров кристаллита при смешении привитых сополимеров с крахмалом, что может являться следствием изменения условий кристаллизации сополимера. Дальнейшие исследования были направлены

Таблица 1

Параметры кристаллических структур композиции привитых сополимеров низкомолекулярного полиэтилена и акриловой кислоты с крахмалом

Концентрация компонентов, массовое соотношение		Индекс Миллера hkl	Брэгговский угол 2θ , град	Межплоскостное расстояние d , Å	Ширина полувысоты пика β , град	Размер кристаллита L_{hkl} , Å	Степень кристалличности, %
сополимер	крахмал						
Мольное соотношение низкомолекулярный полиэтилен:акриловая кислота = 60:40							
4	1	110	21.3	4.171	0.05	1798	38.3
		200	23.7	3.754	0.075	1203	
3	2	110	21.25	4.181	0.07	1284	33.7
		200	23.45	3.794	0.105	859	
2	3	110	21.4	4.152	0.09	999	23.1
		200	23.55	3.778	0.11	820.6	
1	4	110	21.35	4.162	0.15	599.3	16.1
		200	23.65	3.762	0.15	601.7	
Мольное соотношение низкомолекулярный полиэтилен:акриловая кислота = 90:10							
4	1	110	21.28	4.175	0.14	642.0	56.2
		200	23.50	3.786	0.125	721.8	
3	2	110	21.33	4.166	0.08	1124	46.2
		200	23.65	3.762	0.16	564.1	
2	3	110	21.33	4.166	0.075	1199	33.5
		200	23.58	3.773	0.17	530.8	
1	4	110	21.05	4.22	0.05	1797	26.5
		200	23.56	3.776	0.035	2578	

на установление возможности применения синтезированных привитых сополимеров в качестве компатибилизаторов в полимерных композициях на основе полиэтилена и крахмала.

Получены композиции полиэтилена высокого давления, крахмала и привитых сополимеров и определены их физико-механические характеристики (табл. 2). В процессе определения показателей текучести рас-

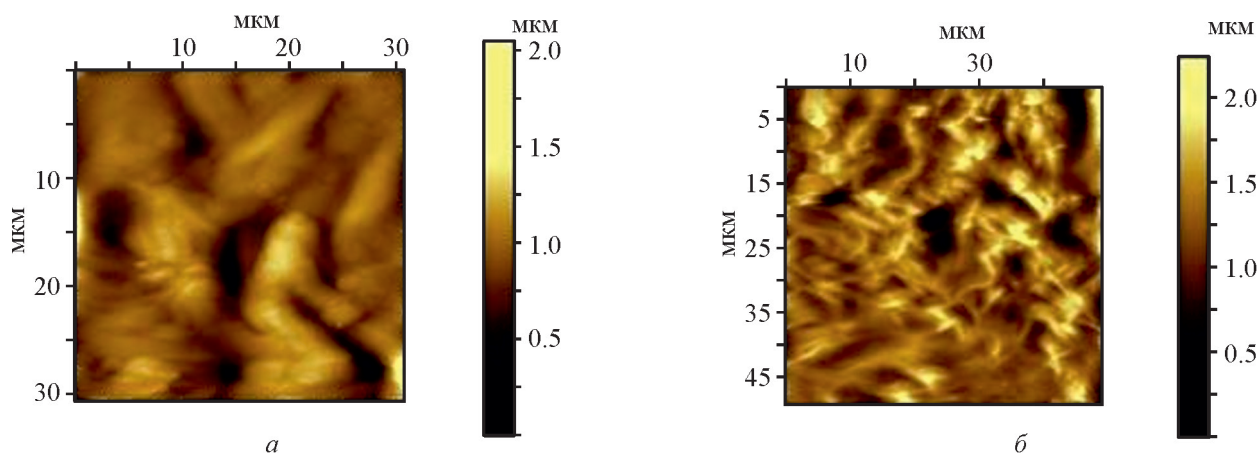


Рис. 3. Изображения поверхности образцов смесей привитых сополимеров, синтезированных при мольных соотношениях низкомолекулярный полиэтилен:акриловая кислота = 60:40 (а), 90:10 (б), с крахмалом при массовом соотношении сополимер:крахмал = 4:1, полученные методом атомно-силовой микроскопии.

Таблица 2
Состав композиций полиэтилена и их физико-механические характеристики

Содержание компонентов композиции, мас%			Показатель текучести расплава, г·10 ⁻¹ ·мин ⁻¹	Модуль упругости, МПа	Прочность при растяжении, МПа	Относительное удлинение при разрыве, %
полиэтилен высокого давления	крахмал	привитой сополимер				
100	—	—	0.87	98.5	16.3	54
80	20	—	0.24	140.7	12.0	33
Мольное соотношение низкомолекулярный полиэтилен:акриловая кислота = 60:40						
75	20	5	0.12	157.4	11.7	42
70	20	10	0.27	189.5	14.3	44
Мольное соотношение низкомолекулярный полиэтилен:акриловая кислота = 90:10						
75	20	5	0.90	161.3	11.5	35
70	20	10	1.86	192.3	12.3	38

плава для всех образцов наблюдалось потемнение, интенсивность которого зависела от времени нахождения композиции в рабочем цилиндре прибора. Потемнение связано с присутствием крахмала и протеканием окислительных процессов. Композиции, в составе которых присутствовал привитой сополимер, визуально темнели менее интенсивно, чем композиция, полученная без сополимера. Показатель текучести расплава полиэтилена высокого давления существенно выше, чем у композиции этого полимера с крахмалом. При добавлении в композицию привитого сополимера, синтезированного при мольном соотношении низкомолекулярный полиэтилен:акриловая кислота = 90:10, содержащего 7 мол% звеньев акриловой кислоты, показатель текучести расплава композиции увеличивается по сравнению с показателем текучести расплава композиции полиэтилен высокого давления/крахмал. Добавление в композицию 5 мас% привитого сополимера, синтезированного при мольном соотношении низкомолекулярный полиэтилен:акриловая кислота = 60:40, содержащего 14 мол% звеньев акриловой кислоты, приводит к некоторому снижению показателя текучести расплава. При содержании 10 мас% сополимера показатель текучести расплава несколько выше, чем в случае композиции полиэтилен высокого давления/крахмал. Возможно, более высокое содержание звеньев акриловой кислоты в сополимере способствует увеличению количества межмолекулярных связей с крахмалом, что приводит к повышению вязкости расплава. По сравнению с исходным полиэтиленом высокого давления его композиция с крахмалом имеет более низкие прочность при растяжении, относительное удлинение при разрыве и более высокий модуль упругости. Такие же результаты наблюдались в работе

[5]. Присутствие в композиции привитого сополимера (табл. 2) также приводит к увеличению модуля упругости, причем более высокие значения этого параметра наблюдаются для композиций привитого сополимера, синтезированного при мольном соотношении низкомолекулярный полиэтилен:акриловая кислота = 90:10, который содержит 7% звеньев акриловой кислоты. Величины прочности при растяжении и относительного удлинения при разрыве возрастают при применении композиций с содержанием 10 мас% привитого сополимера по сравнению с композицией полиэтилена высокого давления с крахмалом без привитого сополимера.

Композиция полиэтилен высокого давления/крахмал без привитого сополимера (рис. 4, № 1) содержит удлиненные (ширина 1.5 мкм, длина до 4 мкм) и округлые (диаметр 1 мкм) частицы крахмала в качестве дисперсной фазы. Композиция, содержащая 5 мас% привитого сополимера, синтезированного при мольном соотношении низкомолекулярный полиэтилен:акриловая кислота = 60:40 (рис. 4, № 2), имеет в своем составе удлиненные частицы крахмала шириной от 900 нм и длиной до 5 мкм. При увеличении содержания в композиции привитого сополимера, синтезированного при мольном соотношении низкомолекулярный полиэтилен:акриловая кислота = 60:40 до 10 мас% (рис. 4, № 3), регистрируются удлиненные частицы дисперсной фазы шириной 950 нм. В образце материала, содержащем 5 мас% привитого сополимера, синтезированного при мольном соотношении низкомолекулярный полиэтилен:акриловая кислота = 90:10 (рис. 4, № 4), определяются частицы крахмала сферической формы диаметром 550 нм. При увеличении содержания в композиции сополимера до 10 мас% (рис. 4, № 5)

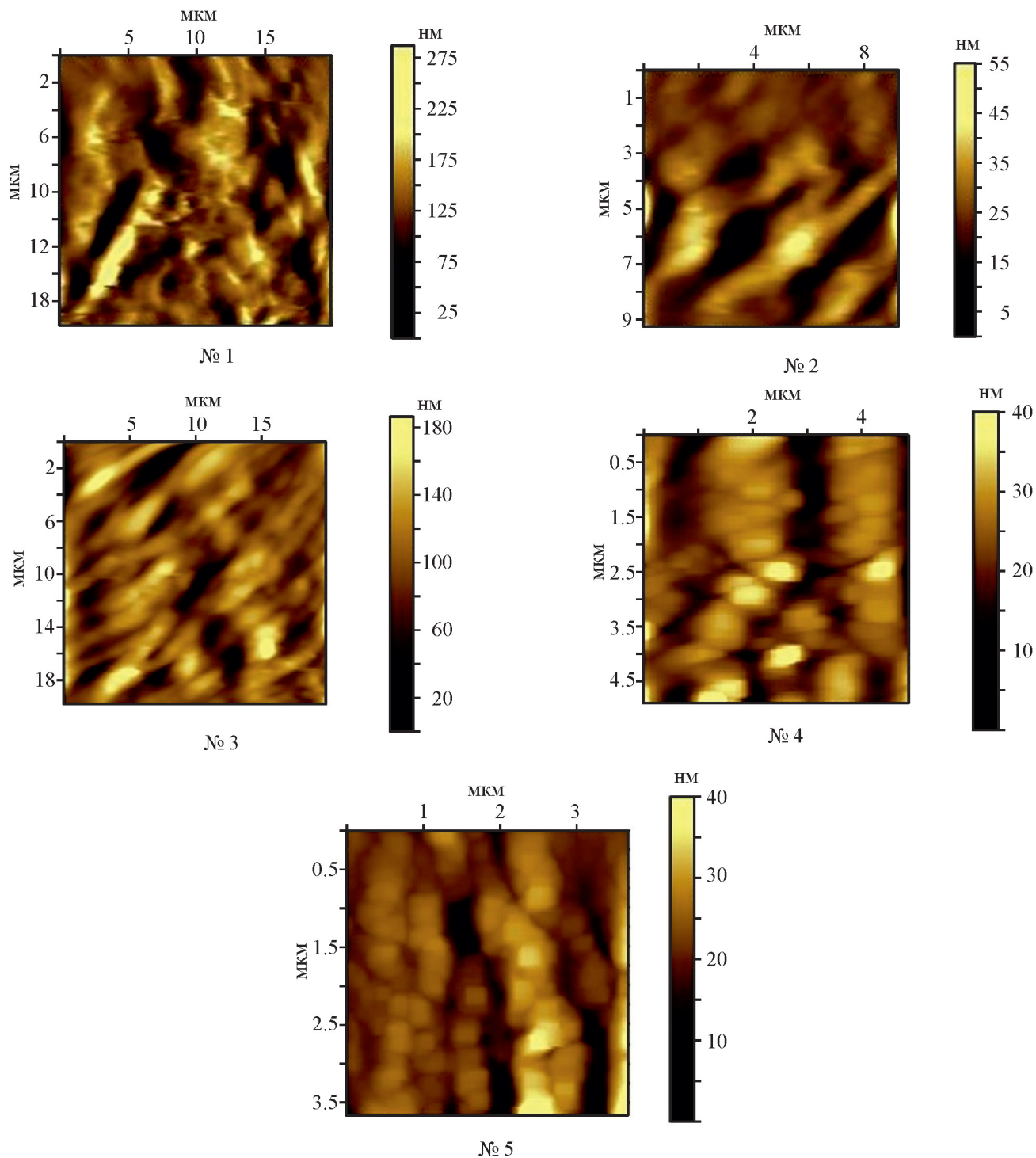


Рис. 4. Изображения поверхности образцов композиций, полученные методом атомно-силовой микроскопии.

№ 1 — полиэтилен высокого давления:крахмал = 80:20 мас%; № 2 — полиэтилен высокого давления:крахмал:привитой сополимер, синтезированный при мольном соотношении низкомолекулярный полиэтилен:акриловая кислота = 60:40, в соотношении 75:20:5 мас%; № 3 — полиэтилен высокого давления:крахмал:привитой сополимер, синтезированный при мольном соотношении низкомолекулярный полиэтилен:акриловая кислота = 60:40, в соотношении 70:20:10 мас%; № 4 — полиэтилен высокого давления:крахмал:привитой сополимер, синтезированный при мольном соотношении низкомолекулярный полиэтилен:акриловая кислота = 90:10, в соотношении 75:20:5 мас%; № 5 — полиэтилен высокого давления:крахмал:привитой сополимер, синтезированный при мольном соотношении низкомолекулярный полиэтилен:акриловая кислота = 90:10, в соотношении 70:20:10 мас%.

размеры частиц дисперсной фазы уменьшаются до 354 нм.

Таким образом, присутствие в композиции полиэтилен высокого давления/крахмал привитых сополимеров в качестве компатибилизаторов способствует уменьшению размеров частиц дисперсной фазы. При содержании в материале 10 мас% привитого сополимера низкомолекулярного полиэтилена и акриловой кислоты наблюдаются частицы дисперсной фазы округлой формы диаметром менее 1 мкм.

Выводы

Привитые сополимеры низкомолекулярного полиэтилена и акриловой кислоты могут применяться в качестве компатибилизаторов в композициях полиэтилена и крахмала. В композициях наблюдается химическое взаимодействие карбоксильных групп сополимера и гидроксильных групп крахмала. Добавление сополимера в композицию в количестве 5–10 мас% способствует предотвращению коалесценции частиц крахмала в полиэтилене, что приводит к улучшению физико-механических свойств материала.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Информация о вкладе авторов

В. О. Кудышкин осуществил выбор объектов исследований, обосновал гипотезу применения привитого сополимера низкомолекулярного полиэтилена и акриловой кислоты в качестве компатибилизатора в композициях полиэтилена с крахмалом, разработал план исследований для доказательства факта взаимодействия привитого сополимера с крахмалом и возможность его использования в качестве компатибилизатора; Н. И. Бозоров осуществил синтез привитых сополимеров заданного состава, поиск литературы и провел экспериментальную работу по получению смесей привитых сополимеров и крахмала, а также композиций полиэтилена высокого давления и крахмала на смесителе Брабендер, осуществил подготовку образцов и проведение физико-механических исследований; Н. Ш. Ашууров провел экспериментальную работу по исследованию смесей привитых сополимеров и крахмала, а также композиций полиэтилена высокого давления и крахмала методами ИК-Фурье-спектроскопии, атомно-силовой микроскопии, рентгеноструктурного анализа; Н. Р. Ашууров обосновал

применение компатибилизаторов для формирования равномерного распределения частиц дисперсной фазы в композициях природных и синтетических сополимеров, а также составы композиций и условия их получения, описал взаимосвязь физико-механических характеристик композиций с размерами частиц дисперсной фазы; С. Ш. Рашидова сформулировала задачу и обосновала выбор экспериментальных методов исследования, разработала программу работ по получению и исследованию композиций полиэтилена, крахмала и привитого сополимера.

Информация об авторах

Кудышкин Валентин Олегович, д.х.н., проф.,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9646-6555>

Бозоров Нурад Исмаатович, к.х.н.,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9749-1146>

Ашууров Нурбек Шодиевич, к. ф.-м.н.,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3454-1791>

Ашууров Нигмат Рустамович, д.т.н., проф.,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0765-5942>

Рашидова Сайера Шарафовна, академик АН РУз,
д.х.н., проф.,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3104-6004>

Список литературы

- [1] *Азизов А. Г., Ибрагимова М. Д., Алиева Л. И.* Биоразлагаемые синтетические полимеры (обзор) // *Химия в интересах устойчив. развития.* 2012. Т. 20. № 4. С. 385–393 [*Azizov A. G., Ibragimova M. D., Alieva L. I.* Biodegradable synthetic polymers // *Chem. Sustainable Dev.* 2012. V. 20. N 4. P. 343–350].
- [2] *Abioye A. A., Obuekwe C. C.* Investigation of the biodegradation of low-density polyethylene-starch Biopolymer blends // *Results Eng.* 2020. V. 5. ID 100090. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2019.100090>
- [3] *Васильев И. Ю., Ананьев В. В., Колпакова В. В., Сарджвеладзе А. С.* Разработка технологии получения биоразлагаемых композиций на основе полиэтилена, крахмала и моноглицеридов // *Тонкие хим. технологии.* 2020. Т. 15. № 6. С. 44–55. <https://doi.org/10.32362/2410-6593-2020-15-6-44-55>
- [4] *Abbott A. P., Abolibda T. Z., Qu W., Wise W. R., Wright L. A.* Thermoplastic starch-polyethylene blends homogenised using deep eutectic solvents // *RSC Adv.* 2017. V. 7. N 12. P. 7268–7273. <https://doi.org/10.1039/C7RA00135E>
- [5] *Beg M. D. H., Kormin S., Bijarimi M., Zaman H. U.* Preparation and characterization of low-density polyethylene/thermoplastic starch composites // *Adv. Polym. Technol.* 2016. V. 35. N 1. ID 21521. <https://doi.org/10.1002/adv.21521>

- [6] *Tahseen A. S.* Reactive melt blending of low-density polyethylene with poly (acrylic acid) // *Arabian J. Chem.* 2015. V. 8. N 2. P. 191–199. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2011.05.021>
- [7] *Третинников О. Н., Пилипенко В. В., Приходченко Л. К.* Инициированная бензофеноном прививочная фотополимеризация акриловой кислоты на поверхности полиэтилена из водного раствора мономера без его деаэрации // *Высокомолекуляр. соединения.* 2012. Т. 54Б. № 9. С. 1458–1465 [*Tretinnikov O. N., Pilipenko V. V., Prihodchenko L. K.* Benzophenone initiated grafting photopolymerization of acrylic acid on the surface of polyethylene from the monomer aqueous solution without its deaeration // *Polym. Sci. Ser. B.* 2012. V. 54. N 9–10. P. 427–433. <https://doi.org/10.1134/S1560090412090060>].
- [8] *Кудышкин В. О., Бозоров Н. И., Ашуров Н. Ш., Рашидова С. Ш.* Синтез и структура привитых сополимеров акриловой кислоты и низкомолекулярного полиэтилена // *ЖПХ.* 2020. Т. 93. № 10. С. 1426–1431. <https://doi.org/10.31857/S0044461820100035> [*Kudyshkin V. O., Bozorov N. I., Ashurov N. Sh., Rashidova S. Sh.* Synthesis and structure of grafted copolymers of acrylic acid and low molecular weight polyethylene // *Russ. J. Appl. Chem.* 2020. V. 93. N 10. P. 1491–1496. <https://doi.org/10.1134/S1070427220100031>].
- [9] *Lagos J. B., Vicentini N. M., Dos Santos R. M. C., Bittante A. M. Q. B., Sobral P. J. A.* Mechanical properties of cassava starch films as affected by different plasticizers and different relative humidity conditions // *Int. J. Food Stud.* 2015. V. 4. P. 116–125. <https://doi.org/10.7455/ijfs/4.1.2015.a10>
-