

Том 54, Номер 9

ISSN 0507-5475

Сентябрь 2012



Высокомолекулярные СОЕДИНЕНИЯ

Серия А и Серия Б

<http://www.naukaran.ru>
<http://www.maik.ru>

Журнал теоретической и экспериментальной
химии и физики высокомолекулярных соединений



“НАУКА”

УДК 541.64:547.458.82

СВОЙСТВА ВОДНЫХ РАСТВОРОВ СМЕСЕЙ ГИДРОКСИЭТИЛЦЕЛЛЮЛОЗЫ С ПОЛИ-N-ВИНИЛФОРМАМИДОМ И КОМПОЗИЦИОННЫХ ПЛЕНОК НА ИХ ОСНОВЕ

© 2012 г. А. М. Бочек, И. Л. Шевчук, И. И. Гаврилова,
Н. А. Нестерова, Е. Ф. Панарин, В. Е. Юдин, И. В. Гофман, И. В. Абалов,
М. Ф. Лебедева, Л. М. Калужная, В. К. Лаврентьев

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Институт высокомолекулярных соединений

Российской академии наук

199004 Санкт-Петербург, Большой пр., 31

Поступила в редакцию 21.12.2011 г.

Принята в печать 13.03.2012 г.

Изучены реологические свойства разбавленных и умеренно концентрированных водных растворов смесей гидроксипропилцеллюлозы с поли-N-винилформамидом. Исследованы деформационно-прочностные характеристики композиционных пленок. С помощью динамического механического анализа, термомеханического метода и метода сорбции паров растворителя определены области составов, в которых полимеры совместимы, и температуры релаксационных переходов в смешанных пленках. Методом рентгеноструктурного анализа изучена структурная организация композиционных пленок. Установлено, что введение одного полимера в матрицу другого приводит к изменению процесса кристаллизации макромолекул полимера, преобладающего по массе в композите, и к увеличению дефектности кристаллической структуры.

Одним из доступных и наиболее удобных способов придания новых функциональных свойств полимерным материалам является смешение растворов полимеров в общем растворителе и смешение полимеров в расплаве [1]. Неионогенные водорастворимые эфиры целлюлозы, такие как метилцеллюлоза, гидроксипропилцеллюлоза (ГЭЦ), гидроксипропилцеллюлоза, гидроксипропилметилцеллюлоза и другие, используются в строительной индустрии, пищевой промышленности и фармацевтике благодаря своим хорошим пленкообразующим свойствам [2–4].

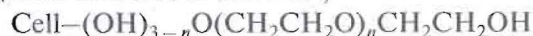
В настоящее время широкое применение в биотехнологии и медицине находят синтетические поли-N-виниламиды [5, 6]. В работах [7, 8] изучены реологические свойства растворов смесей метилцеллюлозы с поли-N-винилформамидом (ПВФА) в воде и ДМСО, а также установлены области составов композиционных пленок, в которых полимеры совместимы. В композитных пленках, сформованных из водных растворов, полимеры совместимы при содержании ПВФА до 10 мас. %, тогда как в пленках, сформованных из растворов в ДМСО, область совместимости расширяется до содержания ПВФА 20%. Представляет научный и практический интерес изучить

полимерные смеси ПВФА с другим водорастворимым эфиром целлюлозы – ГЭЦ.

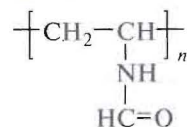
Цель настоящей работы – исследование реологических свойств водных растворов смесей ГЭЦ с ПВФА, физико-механических свойств и структурной организации полученных композитных пленок, а также области составов, в которых полимеры совместимы в твердом состоянии.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Объектами исследования служили промышленный образец ГЭЦ (I) с мольной степенью замещения 1.62 и $M = 1.5 \times 10^5$,



а также синтезированный в лабораторных условиях ПВФА (II) с $M = 7.2 \times 10^4$.



Предварительно готовили 2%-ные водные растворы ГЭЦ и ПВФА при 30°C, после чего охлаждали до комнатной температуры. Приготовленные растворы исходных полимеров фильтровали под давлением, а затем подвергали деаэрации в течение 1 ч. Смесей двух полимеров получали путем смешения растворов ГЭЦ и ПВФА в задан-

E-mail: bochek@hq.macro.ru (Бочек Александр Михайлович).

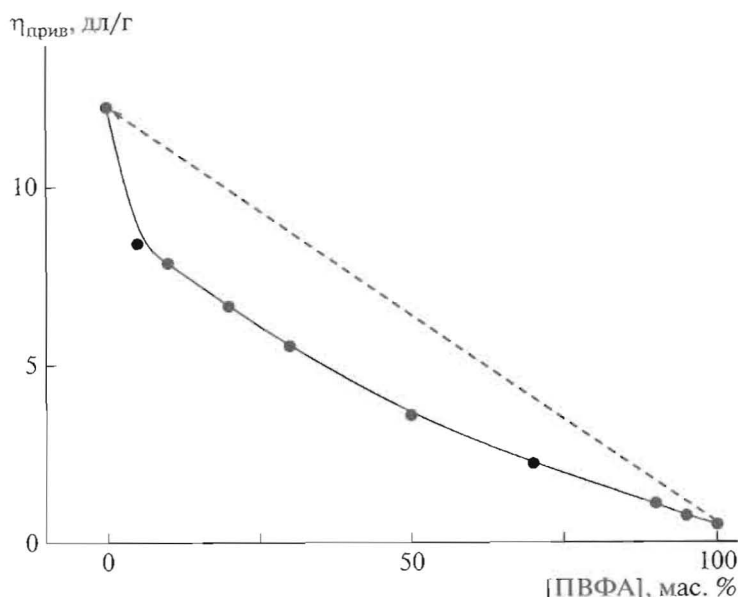


Рис. 1. Зависимость $\eta_{\text{прив}}$ водных растворов смесей ГЭЦ — ПВФА от состава при 20°C.

ных пропорциях с последующим их перемешиванием в течение 4 ч.

0.2%-ные растворы получали путем разбавления приготовленных исходных концентрированных растворов полимеров с последующим их смешением. Вязкость разбавленных (0.2%-ных) растворов смесей полимеров определяли с помощью капиллярного вискозиметра. Реологические свойства концентрированных растворов исследовали с помощью ротационного вискозиметра "Реотест 2.1" с рабочим узлом цилиндр—цилиндр в диапазоне напряжений сдвига 3—600 Па при повышении температуры от 20 до 40°C.

Температуру стеклования измеряли с помощью метода динамического механического анализа (ДМА). Испытания проводили на установке DMA 242C фирмы "Netzsch" при частоте 1 Гц с амплитудой колебаний 30 мкм, в температурном диапазоне 20—200°C при скорости нагрева 5 град/мин. Также температуру релаксационных переходов оценивали методом термомеханического анализа (ТМА) на установке УМИВ-3 в режиме нагрева образца со скоростью 5 град/мин при постоянной растягивающей нагрузке 0.5 МПа.

Для количественной оценки термодинамической совместимости ГЭЦ с ПВФА в твердом состоянии и сродства полимеров с растворителем использовали метод сорбции паров растворителя.

Физико-механические свойства композиционных пленок определяли при комнатной температуре в режиме одноосного растяжения на универсальной установке для механических испытаний UTS 10 (фирма "UTStestsysteme", Германия).

Растяжение образцов проводили со скоростью 20 мм/мин (100% начальной длины образца/мин). В процессе испытаний регистрировали диаграмму растяжения образца, по результатам испытаний находили величины модуля упругости E , предела пластичности σ_m , прочности σ_p и предельной деформации до разрушения ϵ_p .

Структурную организацию пленок исследовали рентгеновским методом на установке "Дрон-2.0". Использовали $\text{CuK}\alpha$ -излучение, монокроматизацию осуществляли Ni-фильтром. Образцы готовили в виде пакета пленок толщиной 1—2 мм.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По характеру изменения вязкости разбавленных растворов полимеров можно предположить возможное взаимодействие макромолекул разного химического строения в растворе [9]. На рис. 1 представлена зависимость приведенной вязкости $\eta_{\text{прив}}$ 0.2%-ных растворов смесей полимеров от состава. Для сравнения были рассчитаны теоретические значения аддитивных величин приведенной вязкости по формуле

$$\eta_{\text{прив. расчет}} = \eta_{\text{прив.1}} (C_1/C) + \eta_{\text{прив.2}} (C_2/C) \quad (1)$$

где $\eta_{\text{прив.1}}$ и $\eta_{\text{прив.2}}$ — значения приведенной вязкости разбавленных растворов ГЭЦ и ПВФА соответственно, C_1/C и C_2/C — массовая доля полимеров в растворах смесей.

Как и в случае смесей метилцеллюлозы и ПВФА, наблюдается отрицательное отклонение вязкости $\eta_{\text{прив}}$ от аддитивных величин [7]. Полагая, что отрицательное отклонение вязкости

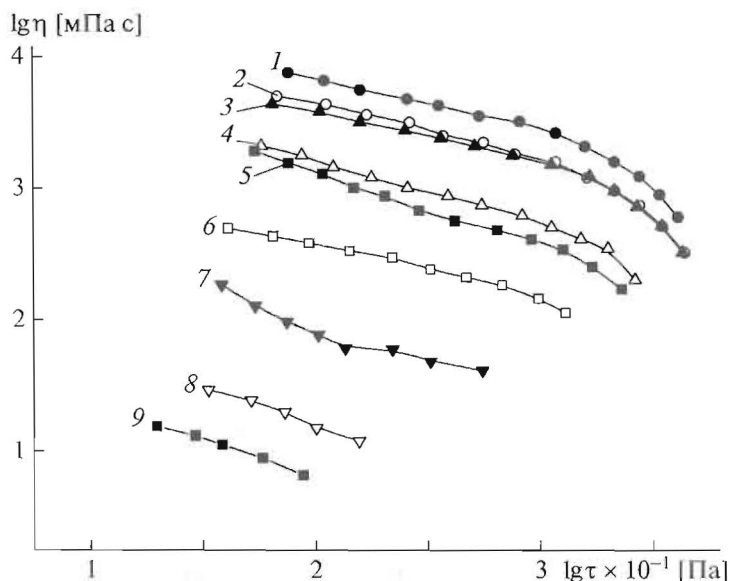


Рис. 2. Кривые течения 2%-ных водных растворов ГЭЦ (1), смесей ГЭЦ-ПВФА (2-8) и ПВФА (9). [ПВФА] = 1 (2), 10 (3), 20 (4), 30 (5), 50 (6), 70 (7) и 90 мас. % (8).

разбавленных растворов смесей обусловлено плохой совместимостью ГЭЦ с ПВФА в воде. Кроме того, наблюдаемые отклонения могут быть связаны с изменением термодинамического качества растворителя по отношению к ГЭЦ (в данном случае ухудшение качества) при введении в раствор другого полимера — ПВФА. Подобная закономерность имеет место и при добавлении ГЭЦ к раствору ПВФА [10-13].

С целью исследования межмолекулярных взаимодействий в концентрированных растворах были изучены реологические свойства 2%-ных растворов. Кривые течения растворов ГЭЦ и ПВФА представляют собой неполные кривые течения неньютоновских жидкостей (рис. 2). Вязкость раствора ГЭЦ значительно больше вязкости ПВФА, что обусловлено большей молекулярной массой эфира целлюлозы и более высокой равновесной жесткостью макромолекул (ГЭЦ — полужесткоцепной полимер, ПВФА — гибкоцепной).

Зависимости вязкости растворов смесей полимеров от состава при переходе от разбавленных к концентрированным растворам различаются (рис. 3, кривые 1, 2). В концентрированных растворах отклонение вязкости от аддитивных величин положительно. Значения аддитивных величин вязкости рассчитаны по формуле

$$\lg \eta_{\text{расчет}} = \sum W_i \lg \eta_i, \quad (2)$$

где W_i — массовая доля компонента в растворе, $\lg \eta_i$ — логарифм вязкости раствора каждого из полимеров.

Положительное отклонение вязкости концентрированных растворов от аддитивных значений наблюдали ранее для растворов смесей метилцеллюлозы с поли-N-винилпирролидоном и карбоксиметилцеллюлозой [10, 11], а также карбоксиметилцеллюлозы с ПВС и ПВФА [12, 13]. По изменению вязкости от температуры в интервале 20-50°C были рассчитаны значения темплоты активации вязкого течения растворов E_a (рис. 3, кривая 3). Положительное отклонение вязкости концентрированных растворов смесей ГЭЦ-ПВФА и значений E_a указывает на существенную перестройку структуры растворов в сторону ее упрочнения.

Из изученных растворов методом сухого формования получены композиционные пленки и изучены их физико-механические свойства. На рис. 4 представлены деформационные кривые пленок, в табл. 1 — их механические характеристики.

Таблица 1. Механические характеристики пленочных материалов, полученных из 2%-ных водных растворов смесей ГЭЦ-ПВФА

Содержание ПВФА, мас. %	E , ГПа	σ_n , МПа	σ_p , МПа	ϵ_p , %
0	2.57 ± 0.09	67 ± 2	80 ± 2	17 ± 1
1	2.59 ± 0.08	65 ± 3	88 ± 5	20 ± 2
10	2.71 ± 0.06	67 ± 2	80 ± 2	18 ± 1
50	3.02 ± 0.05	68 ± 1	72 ± 1	5 ± 1
90	3.18 ± 0.18	71 ± 1	72 ± 1	6 ± 1

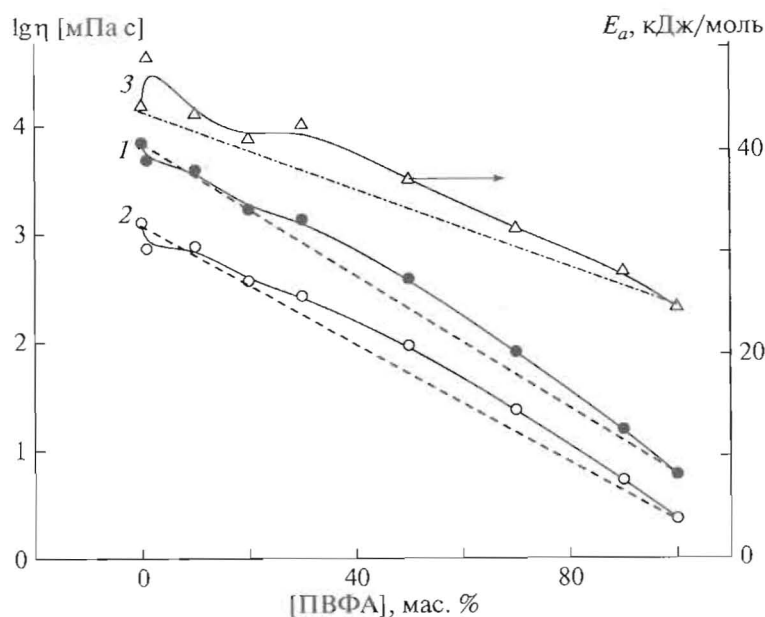


Рис. 3. Зависимости вязкости 2%-ных водных растворов смесей ГЭЦ с ПВФА от состава при 20 (1) и 50°C (2) ($\lg \tau = 2.0$) и E_a (3).

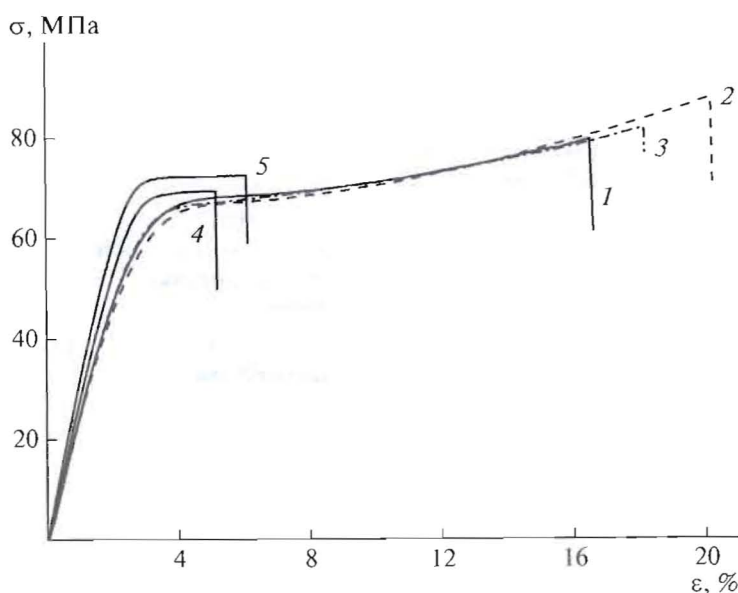


Рис. 4. Деформационные кривые пленок на основе ГЭЦ (1) и смесей ГЭЦ–ПВФА (2–5), полученных из водных 2%-ных растворов. [ПВФА] = 1 (2), 10 (3) 50 (4) и 90 мас. % (5).

Результаты механических испытаний показывают, что введение в матрицу ГЭЦ добавок ПВФА в концентрации до 10% не приводит к заметным изменениям механических характеристик пленок. При существенном повышении концентрации ПВФА (до 50–90%) происходит последовательное увеличение жесткости пленки (рост модуля упругости E и небольшой рост предела пластичности σ_n). Одновременно значительно

понижается предельная деформация до разрушения ϵ_p .

Из деформационных кривых видно, что качественный характер процесса деформирования пленок не меняется при переходе от ГЭЦ к композиционным пленкам с различным содержанием ПВФА (вплоть до 90%). Во всех случаях пленки деформируются однородно, без образования шейки и реализации прочих эффектов, свиде-

Таблица 2. Температуры переходов в композитных пленках ГЭЦ–ПВФА, определенные методами ТМА и ДМА

Содержание ПВФА, мас. %	Температура переходов в пленках, °C			
	ТМА	по E''	по $\lg \delta$	максимальная достигнутая температура в процессе ДМА
0	153, 290	161	180	200
1	156, 290	163	181	205
10	158, 300	159	182	203
30	—	170	179	195
50	153, 230, 305	154	175	195
70	—	138, 149	162	190
90	156, 233, 320	142, 163	176	190
100	—	120, 145	124, 164	170
ПВФА с $M = 23.8 \times 10^4$ [8]	130	135	164	—

тельствующих о локализации и гетерогенизации деформационного процесса. Можно полагать, что преобладающим механизмом деформирования исследованных материалов в области деформаций выше 3–4% является вынужденно-эластическая деформация.

Для подтверждения этого предположения пленки ГЭЦ и композиции, содержащей 10% ПВФА, после растяжения на 15% подвергли прогреванию в свободном состоянии до температуры 170°C (выше температуры стеклования этих материалов). После прогревания зафиксировано частичное восстановление длины пленок — до 106–107% от их исходной длины. В том случае, когда деформирование осуществляется по механизму пластической деформации, восстановления размера деформированного образца при его прогревании до температуры стеклования не происходит.

Для установления области составов, в которых полимеры совместимы, методами ТМА и ДМА была определена температура релаксационных переходов в пленках (табл. 2). Результаты, полученные с использованием двух методов, хорошо дополняют друг друга. При анализе данных ДМА температуру переходов определяли по изменению модуля потерь E'' и изменению тангенса угла механических потерь $\lg \delta$.

При термомеханических испытаниях всех исследованных пленок зарегистрированы два релаксационных перехода: при ~155°C (стеклование) и 290–320°C (плавление упорядоченных областей). Температура стеклования остается практически неизменной ($155 \pm 2^\circ\text{C}$) при вариации концентрации ПВФА в композиции от 0 до 90%. В то же время можно отметить некоторое повышение температуры второго перехода при росте содержания ПВФА в смеси — от 290°C для од-

нокомпонентной пленки ГЭЦ до 320°C для композиции с 10% ГЭЦ.

На кривых ТМА пленок, содержащих 50% ПВФА и более, появляется еще один температурный переход при 233°C. Наши предварительные исследования пленки ПВФА методом ДСК показали, что при 258°C происходит плавление полимера. Можно полагать, что температурный переход в области 230–233°C в пленках с содержанием ПВФА больше 50% относится к плавлению синтетического полиамида и указывает на понижение степени совместимости двух полимеров в твердом состоянии. Эти же причины могут вызывать резкое понижение предельной деформации до разрушения, зафиксированное при механических испытаниях пленок с высоким содержанием ПВФА (табл. 1).

При испытании методом ДМА на кривых E'' – T и $\lg \delta$ – T пленок с содержанием ПВФА до 50% наблюдается только один переход в области температур стеклования, что свидетельствует о совместимости полимеров в данной области составов. Появление второго перехода на температурных зависимостях модуля потерь E'' при большем содержании ПВФА указывает на присутствие в пленках двух фаз разноименных полимеров. Отметим, что при переходе от состава с содержанием ПВФА 50% к составу с 70% полимера в смесях также наблюдается сдвиг высокотемпературного перехода от 154 до 149°C, который можно отнести к стеклованию ГЭЦ.

Следует отметить, что для ПВФА с $M = 7.2 \times 10^4$ характерны две температуры стеклования T_g при 120 и 145°C, определенные по изменению E'' (рис. 5а, табл. 2), а также при 124 и 160°C, найденные по температурной зависимости $\lg \delta$.

Ранее при анализе ПВФА с $M = 2.3 \times 10^5$ методами ТМА и ДМА было установлено одно значе-

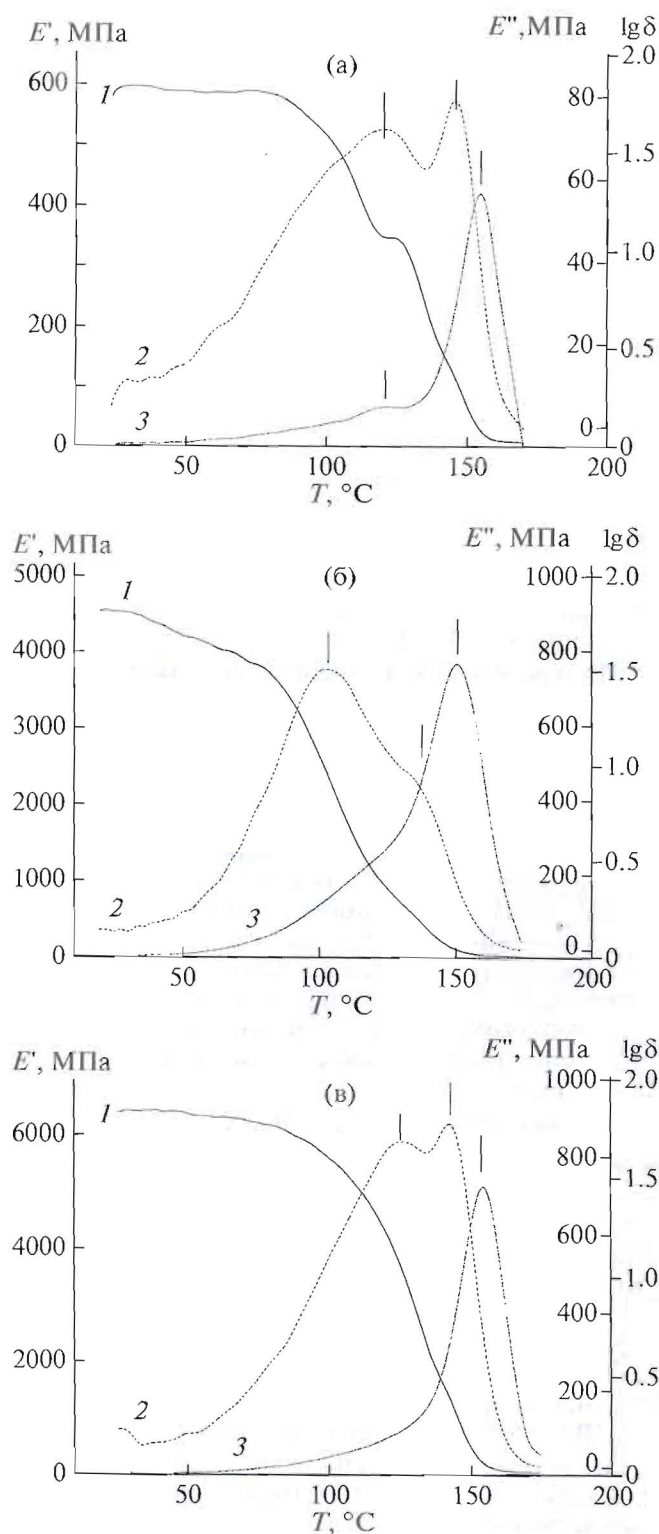


Рис. 5. Температурные зависимости модуля упругости E' (1), модуля потерь E'' (2) и тангенса угла механических потерь $\lg \delta$ (3) для пленок ПВФА с $M = 7.2 \times 10^4$ (а), ПВФА с $M = 8.5 \times 10^4$ после формования (б) и дополнительной сушки при 105°C (в).

ние T_g при 135°C [8]. Появление двух релаксационных переходов в пленке ПВФА может быть связано с наличием в полимерной матрице микрообластей с разным содержанием влаги. Для подтверждения высказанного предположения из образца ПВФА с $M = 2.3 \times 10^5$ была взята фракция полимера с $M = 8.5 \times 10^4$, из ее водного раствора отлита пленка, затем были определены температуры релаксационных переходов после получения пленки и ее последующего прогрева (дополнительной сушки) при 105°C в течение 12 ч (рис. 5б и 5в). Фракцию полимера выделяли согласно методике [14].

Видно, что в сформованной пленке наблюдается два релаксационных перехода при 102 и 139°C (по изменению E''), причем высокотемпературный переход наблюдается только в виде плеча. Высокотемпературный переход близок по значению к T_g высокомолекулярного ПМФА. После дополнительной сушки пленки интенсивность высокотемпературного перехода заметно увеличилась, а значение температуры незначительно возросло до 143°C . Интенсивность низкотемпературного перехода осталась прежней, а температура перехода увеличилась с 102 до 126°C (рис. 5в). Постоянство высокотемпературного перехода и повышение значений температуры низкотемпературного перехода после дополнительной сушки пленки может быть объяснено тем, что в пленке ПВФА существуют микрообласти с разным содержанием влаги. В аморфных зонах может присутствовать большее количество остаточного растворителя, в результате чего наблюдается два и более температурных перехода. Подобная закономерность характерна для пленок хитозана [15]. Полагаем, что в пленке ПВФА с $M = 7.2 \times 10^4$ два указанных температурных перехода обусловлены присутствием в матрице прочно и слабо связанной воды в аморфных и высокоупорядоченных зонах полимера.

Для количественной оценки совместимости ГЭЦ с ПВФА в твердом состоянии, а также сродства полимеров с растворителем использовали метод сорбции паров растворителя. На основании экспериментальных значений степени набухания пленок были рассчитаны значения параметра взаимодействия полимер–растворитель χ_1 и полимер–полимер χ_{23} . Величины χ_1 рассчитывали по уравнению Флори–Хаггинса [16]

$$\ln a_1 = \ln(P_1/P_1^0) = \ln(1 - \phi_2) + \phi_2 + \chi_1 \phi_2^2, \quad (3)$$

где a_1 — активность растворителя, p_1/p_1^0 — относительное давление паров растворителя. Опыты проводили при давлении насыщенных паров растворителя. Объемную долю полимера в набухшем состоянии рассчитывали с помощью выражения

$$\phi_2 = 1/[1 + (d_2/d_1)W] \quad (4)$$

Здесь d_1 — плотность растворителя, d_2 — плотность полимера, W — количество сорбированного растворителя (г/г). Плотность образцов определяли гидростатическим взвешиванием в гептане.

Параметр взаимодействия полимер–полимер χ_{23} вычисляли по соотношению Паттерсона [17]

$$\chi_{23} = (\chi_{12}\phi_a + \chi_{13}\phi_b - \chi_{1(23)}) / \phi_a\phi_b \quad (5)$$

где χ_{12} , χ_{13} , χ_{23} — значения параметров взаимодействия Флори–Хаггинса полимер–растворитель (ГЭЦ и ПВФА с водой) и смесей ГЭЦ–ПВФА с водой, ϕ_a и ϕ_b — объемные доли каждого полимера в смеси. В случае совместимости полимеров значение $\chi_{23} < 0$ [18].

Из табл. 3 видно, что термодинамическое сродство ГЭЦ с водой лучше, чем ПВФА, на что указывает сравнение величин параметра взаимодействия полимер–растворитель χ_1 . Область составов, в которых полимеры совместимы, совпадает с данными ТМА и ДМА, т.е. полимеры совместимы при содержании ПВФА до 50%.

На рис. 6 представлены рентгеновские дифрактограммы полученных пленок. Рефлексы при $2\theta = 7.5^\circ$ – 8.0° и 21.5° на дифрактограмме ГЭЦ (рис. 6, кривая 1) относятся к плоскостям [110] и [020], и их положение близко к результатам, полученным другими авторами [3]. Для ПВФА наблюдаются характерные рефлексы при $2\theta = 15.0^\circ$ – 17.0° и 25.0° (рис. 6, кривая 6) относящиеся к плоскостям [110] и [020] [8]. При введении малых добавок ПВФА в матрицу эфира целлюлозы резко уменьшается интенсивность рефлекса 110 ($2\theta = 7.5^\circ$ – 8.0°) относительно рефлекса 020, что указывает на ухудшение уклад-

Таблица 3. Количество сорбированной воды W пленками ГЭЦ–ПВФА и значения параметров взаимодействия полимер–растворитель χ_1 и полимер–полимер χ_{23}

Содержание ПВФА, мас. %	W , г/г	χ_1	χ_{23}
0	2.206	0.599	—
1	2.154	0.603	–0.35
10	1.671	0.630	–0.28
30	1.618	0.636	–0.10
50	1.518	0.644	–0.07
70	1.741	0.628	0.04
90	1.965	0.616	0.36
100	1.556	0.654	—

ки макромолекул в плоскости 110, приводящее к повышению дефектности кристаллитов (высокоупорядоченных зон) ГЭЦ. Подобная закономерность имеет место при введении небольших количеств эфира целлюлозы в матрицу ПВФА (существенное уменьшение интенсивности рефлекса при $2\theta = 15.0^\circ$). В композиционных пленках происходит наложение рефлексов одного полимера на рефлексы другого. Только в пленках с содержанием ПВФА больше 50% появляются рефлексы, характерные для полиамида. Новые структуры в пленках не образуются.

При формировании новой смешанной структуры или включении макромолекул вводимого полимера в кристаллическую структуру основного полимера (полимера, преобладающего по мас-

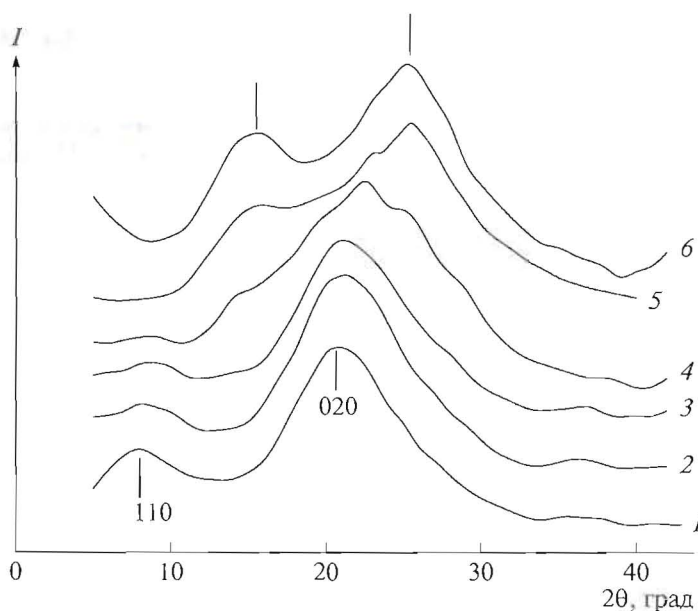


Рис. 6. Рентгенодифрактограммы пленок ГЭЦ (1), смесей ГЭЦ–ПВФА (2–5) и ПВФА (6). [ПВФА] = 1 (2), 10 (3), 50 (4) и 90 мас. % (5).

се и объему в смеси) должны измениться размеры кристаллической ячейки. Например, должно образоваться соединение включения [19], которое не наблюдается на рентгенодифрактограммах. Можно полагать, что, как в случае метилцеллюлозы с ПВФА [8] и карбоксиметилцеллюлозы с ПВФА [13], в области составов, в которых ГЭЦ совместима или частично совместима с ПВФА, появляются смешанные аморфные структурные образования.

Таким образом, в результате исследования реологических свойств водных растворов смесей ГЭЦ с ПВФА установлено, что в разбавленных растворах имеет место отрицательное отклонение вязкости от аддитивных величин, обусловленное изменением конформаций макромолекул двух полимеров вследствие их плохой совместимости. В концентрированных растворах наблюдается положительное отклонение вязкости и значений теплоты активации вязкого течения E_a от аддитивных величин, указывающее на изменение пространственной системы водородных связей, существующей в растворах, и увеличение прочности структуры концентрированных растворов.

Получены композиционные пленки на основе ГЭЦ с добавками ПВФА и изучены их физико-механические свойства. Введение в матрицу ГЭЦ до 10% ПВФА не приводит к заметному изменению прочностных характеристик. При большем содержании ПВФА ухудшаются прочностные характеристики пленок. Полимеры совместимы в твердом состоянии при содержании ПВФА до 50%.

При введении одного полимера в матрицу другого изменяется процесс кристаллизации макромолекул полимера, преобладающего по массе в композите, и увеличивается дефектность кристаллической структуры. В области составов, в которых ГЭЦ совместима или частично совместима с ПВФА, появляются смешанные аморфные структурные образования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пол Д.Р., Бакнел К.Б. Полимерные смеси. СПб.: Научные основы и технологии, 2009. Т. 2.

2. Yi A.Y., Lu W., Farson D.F., Lee L.J. // Adv. Polym. Technol. 2008. V. 27. № 4. P. 188.
3. Luo K., Yin J., Khutoryanskaya O.V., Khutoryanskiy V.V. // Macromol. Biosci. 2007. V. 8. № 2. P. 184.
4. Zhang L.-M. // Colloid. Polym. Sci. 1999. V. 277. № 9. P. 886.
5. Кириш Ю.Э. Поли-N-винилпирролидон и другие поли-N-виниламиды. М.: Наука, 1998.
6. Панарин Е.Ф., Конейкин В.В. // Высокомолек. соед. С. 2002. Т. 44. № 12. С. 2340.
7. Бочек А.М., Nishiyama Sh., Забивалова Н.М., Гаврилова И.И., Нестерова Н.А., Полторацкий Г.М., Панарин Е.Ф. // Высокомолек. соед. А. 2010. Т. 52. № 8. С. 1379.
8. Бочек А.М., Nishiyama Sh., Забивалова Н.М., Гаврилова И.И., Нестерова Н.А., Панарин Е.Ф., Полторацкий Г.М., Юдин В.Е., Гофман И.В., Смирнова В.Е., Абалов И.В., Лаврентьев В.К., Власова Е.Н., Волчек Б.З. // Высокомолек. соед. А. 2011. Т. 53. № 5. С. 716.
9. Нудьга Л.А., Петрова В.А., Сергеева С.Н., Бочек А.М. // Высокомолек. соед. А. 2003. Т. 45. № 6. С. 928.
10. Куценко Л.И., Сантурян Ю.Г., Каретникова Е.Б., Гофман И.В., Бочек А.М., Панарин Е.Ф. // Журн. прикл. химии. 2007. Т. 80. № 5. С. 792.
11. Бочек А.М., Шевчук И.Л., Калюжная Л.М. // Журн. прикл. химии. 2008. Т. 81. № 4. С. 654.
12. Бочек А.М., Шевчук И.Л., Калюжная Л.М. // Журн. прикл. химии. 2010. Т. 83. № 4. С. 660.
13. Бочек А.М., Шевчук И.Л., Гаврилова И.И., Нестерова Н.А., Панарин Е.Ф., Гофман И.В., Лаврентьев В.К. // Журн. прикл. химии. 2010. Т. 83. № 9. С. 1524.
14. Павлов Г.М., Корнеева Е.В., Ebel C., Гаврилова И.И., Нестерова Н.А., Панарин Е.Ф. // Высокомолек. соед. А. 2004. Т. 46. № 10. С. 1732.
15. Озерин А.Н., Перов С.Н., Зеленецкий А.Н., Аконова Т.А., Озерина Л.А., Кечекьян А.С., Сурин Н.М., Владимиров Л.В., Юловская В.Д. // Рос. нанотехнологии. 2009. Т. 4. № 5–6. С. 107.
16. Тагер А.А. Физико-химия полимеров / Под ред. А.А. Аскадского. М.: Научный мир, 2007.
17. Su C.S., Patterson D. // Macromolecules. 1974. V. 10. № 3. P. 708.
18. Scott R.L. // J. Polym. Sci. 1952. V. 9. P. 423.
19. Гойхман А.Ш., Соломко В.П. Высокомолекулярные соединения включения. Киев: Наукова думка, 1982.