

УДК 541.64:547(551+995)

ГЕТЕРОГЕННАЯ ПРИВИТАЯ ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ АНИЛИНА НА ХИТОЗАН И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПРОДУКТА

© 2005 г. Л. А. Нудьга*, В. А. Петрова*, В. И. Фролов*, И. В. Гофман*,
А. В. Маслякова**, Н. М. Журавлева**

*Институт высокомолекулярных соединений
Российской академии наук

199004 Санкт-Петербург, Большой пр., 31

**Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
195251 Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Поступила в редакцию 18.02.2004 г.

Принята в печать 21.09.2004 г.

Методом привитой полимеризации анилина на хитозановые пленки получен проводящий композиционный материал и изучены его деформационно-прочностные, термомеханические и электрофизические свойства. Установлено, что свойства материала сильно зависят от условий его получения. Удельная объемная электропроводность допированного образца равна 10^{-3} – 10^{-2} Ом $^{-1}$ см $^{-1}$. Материал имеет удовлетворительные механические характеристики и по теплостойкости мало отличается от хитозана.

Композиционные пленочные проводящие материалы, состоящие из непроводящего слоя матричного полимера и проводящего слоя полианилина (**ПАНИ**), полипиррола или политиофена, получают поверхностью окислительной или электрохимической полимеризацией, а также покрытием различных материалов тонким слоем проводящего полимера. Основные требования к матричному полимеру – способность к образованию прочных пленок и других физических форм, стабильность в условиях полимеризации, химическая стабильность при допировании и термостабильность.

В качестве полимеров-носителей проводящего слоя использованы многие синтетические полимеры, методы нанесения проводящего слоя и свойства полученных композитов приведены в обзоре [1].

Полисахариды (целлюлоза, динитроцеллюлоза, метилцеллюлоза и другие) являются идеальным материалом для матриц, так как они химически инертны и образуют пленки с хорошими механическими характеристиками. Прививку **ПАНИ** на пленку из динитроцеллюлозы осуществляли методом окислительной полимеризации

E-mail: noudga@imc.macro.ru (Нудьга Людмила Александровна).

в кислой среде. Полученный композит имел удельную объемную электропроводность 0.1 Ом $^{-1}$ см $^{-1}$ и сохранялся без распада в течение 1–4 месяцев [2].

Хитозан также использовали для прививки **ПАНИ** в уксуснокислом растворе. Полученные из раствора сополимера пленки и волокна обладали удовлетворительными механическими свойствами при относительно низких степенях прививки 100–150%, при более высоких степенях прививки пленки хрупкие. Удельная объемная электропроводность таких пленок после допирования составляла (1.7×10^{-5}) – (1.0×10^{-2}) Ом $^{-1}$ см $^{-1}$, что на несколько порядков ниже, чем проводимость самого допированного полианилина [3], однако материал стабилен при 150°C на воздухе.

В настоящей работе исследована привитая полимеризация **ПАНИ** на хитозановую пленку с целью получения проводящего материала. Изучено влияние количества анилина и инициатора, а также продолжительности реакции на степень и эффективность прививки и конверсию мономера. Определены электрофизические, механические и термомеханические свойства привитых сополимеров.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В работе использовали хитозан из панцирей креветки со степенью дезацетилирования 0.82 и $M = 1.35 \times 10^5$.

Анилин перегоняли под вакуумом, отбирая фракцию с $T_{\text{кип}} = 70^\circ\text{C}$ при 15 мм рт. ст. Перокксодисульфат аммония (ПСА) перекристаллизовывали из воды.

Привитую полимеризацию в гетерогенных условиях проводили по следующей методике: в чашку Петри диаметром 30 мм помещали 20 мл 3%-ного раствора хитозана в 2%-ной уксусной кислоте и высушивали при комнатной температуре, затем полученную пленку заливали рассчитанным количеством раствора анилина в 1 М HCl и термостатировали при 5°C в течение 30 мин, после чего добавляли охлажденный раствор ПСА и выдерживали смесь определенное время. Разделение гомополимера ПАНИ и привитого сополимера проводили двумя способами. В первой серии опытов (серия I) в реакционную смесь по окончании реакции заливали 10 мл 18%-ного NaOH и оставляли на ночь. При такой обработке происходила сильная усадка пленки. Затем нерастворимый порошок ПАНИ отделяли от пленки и промывали водой, сушили при 50°C и взвешивали (g_1). Пленку с привитым ПАНИ промывали водой до нейтральной реакции и дополнительно экстрагировали от гомополимера ДМФА. Экстракт упаривали, остаток взвешивали (g_2) и выход гомополимера определяли как $(g_1 + g_2)$. Пленку с привитым ПАНИ отмывали водой от ДМФА и сушили под вакуумом при 50°C .

Во второй серии опытов (серия II) по окончании реакции пленку извлекали, промывали 1 М HCl, собирая кислотную вытяжку. Пленку с привитым слоем переводили в форму основания обработкой 4%-ным NaOH (при этом усадки пленки не происходило) и отмывали водой до нейтральной реакции и отсутствия солей, сушили при 50°C и взвешивали. Гомополимер выделяли нейтрализацией кислотной вытяжки 1 N NaOH, осадок промывали водой до нейтральной реакции, сушили и взвешивали. Степень прививки рассчитывали по формуле

$$C = [(g_3 - g_0)/g_0] \times 100 (\%),$$

где g_0 – масса хитозана в пленке, g_3 – масса пленки сополимера. Выход привитого полимера и гомополимеров вычисляли как соотношение масс соответствующих полимеров к массе мономера, взятого в реакцию, а конверсию мономера – как сумму выходов привитого полимера и гомополимера.

Допиравание (протонирование) хитозановых пленок с привитым ПАНИ проводили раствором 0.5 М HCl в абсолютном этаноле в течение 5 ч.

Допированные и недопированные пленки характеризовали по механическим и термомеханическим свойствам и по электропроводности. Удельное поверхностное сопротивление ρ_s пленок, полученных в серии I, измеряли в соответствии с ГОСТ 6433.2-71 на установке, состоящей из тераомметра с встроенным источником питания, измерительной ячейки с латунными электродами, размещенной в измерительной камере.

Для образцов второй серии удельное сопротивление каждой стороны пленки определяли стандартным четырехзондовым методом Вандер-Паува при постоянном токе $I \approx 1$ мА. Удельное объемное сопротивление измеряли двухэлектродным методом с помощью моста переменного тока Е10-2. Обратные значения удельных сопротивлений соответствуют удельным проводимостям пленок.

Механические характеристики пленок определяли в режиме одноосного растяжения на образцах в виде полос шириной 2 мм с длиной рабочей части 20 мм. Испытания проводили на универсальной установке для механических испытаний UTS 10 (фирма "UTStestsysteme", Германия). Растяжение образцов осуществлялось со скоростью 20 мм/мин. В процессе испытаний регистрировали диаграмму растяжения образца; по результатам испытаний определяли модуль упругости E , разрывную прочность σ_p , деформацию ϵ_p и предел пластичности $\sigma_{\text{п}}$.

Термомеханические испытания проводили на установке УМИВ-3 в режиме одноосного растяжения пленок под действием постоянного растягивающего усилия 0.25 МПа в условиях нагрева образца с постоянной скоростью 5 град/мин.

ТГА осуществляли с помощью лабораторных термовесов. Образцы массой ~50 мг нагревали в

атмосфере газов, образующихся при термораспаде образцов, со скоростью 5 град/мин.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Полимеризация анилина подробно описана в обзоре [4]. При синтезе ПАНИ используют два основных метода – классическое химическое окисление и электрохимический синтез. В первом случае в качестве окисляющих агентов применяют бихромат калия, ПСА, пероксид водорода и соли церия. Реакцию ведут в кислой среде ($\text{pH } 0\text{--}2$). Химическое окисление анилина имеет место уже при комнатной температуре. Полимеризация начинается с окисления анилина с образованием катион-радикала у аминогруппы. Эта ступень протекает быстро и является определяющей для реакции полимеризации. Катион-радикал резонансно стабилизирован и может существовать в нескольких катионных формах. Следующая ступень полимеризации, также быстрая, идет через образование тетрамера, затем октамера и т.д. Общая скорость полимеризации пропорциональна квадрату концентрации мономера. Образующийся полимер имеет основную структуру полиэмальдина. Свойства ПАНИ определяются его ММ, чем она выше, тем лучше характеристики ПАНИ. При синтезе привитых сополимеров ПАНИ на полисахаридной матрице процесс ведут при пониженной температуре во избежание деструкции материала матрицы [2]. В связи с этим наши опыты также проведены при охлаждении реакционной смеси до 5°C .

Из данных табл. 1 следует, что наибольшая конверсия анилина (~50%) наблюдается при эквимольном соотношении реагентов (опыт 1) или при эквимольном соотношении мономер : инициатор (опыт 13), но при этом степень и эффективность прививки низки, т.е. образуется главным образом гомополимер ПАНИ. Увеличение количества анилина в системе при прочих равных условиях (опыты 1, 2, 6, 10 и 11) приводит к снижению конверсии и росту содержания привитого ПАНИ. Увеличение концентрации инициатора, напротив, повышает конверсию, не влияя на степень и эффективность прививки. Наилучшие показатели прививки (степень прививки 39.1% при эффективности 48.2%) были получены за 24 ч при соотношении хитозан : анилин : ПСА = 1 : 5 : 1 (опыт 10).

Таблица 1. Показатели привитой полимеризации анилина на хитозан в гетерогенных условиях при 5°C в 1 М HCl

Опыт, №	Мольное соотношение хитозан : анилин : ПСА	Время, ч	Конверсия мономера, %	Степень прививки, %	Эффективность прививки, %
1	1 : 1 : 1	24	54.1	5.7	11.4
2	1 : 2.5 : 1	24	3.7	16.4	30.6
3	1 : 3 : 1	1	29.4	8.3	17.0
4	1 : 3 : 1	2	29.5	8.4	17.1
5	1 : 3 : 1	3	28.6	8.0	16.2
6	1 : 3 : 1	24	33.3	12.8	23.1
7	1 : 5 : 1	1	25.7	26.6	37.5
8	1 : 5 : 1	2	26.0	27.9	38.1
9	1 : 5 : 1	3	28.6	28.5	38.7
10	1 : 5 : 1	24	28.7	39.1	48.2
11	1 : 10 : 1	24	11.5	23.1	34.9
12	1 : 3 : 2	24	33.2	8.0	8.9
13	1 : 3 : 3	24	46.4	10.1	7.6

Кинетические кривые (рис. 1) показывают, что полимеризация анилина заканчивается в течение 1 ч, после чего конверсия мономера за сутки увеличивается только на 3%. Однако за то же время на 10% возрастают степень и эффективность прививки. Это может быть вызвано присо-

Степень, эффективность прививки;
конверсия мономера, %

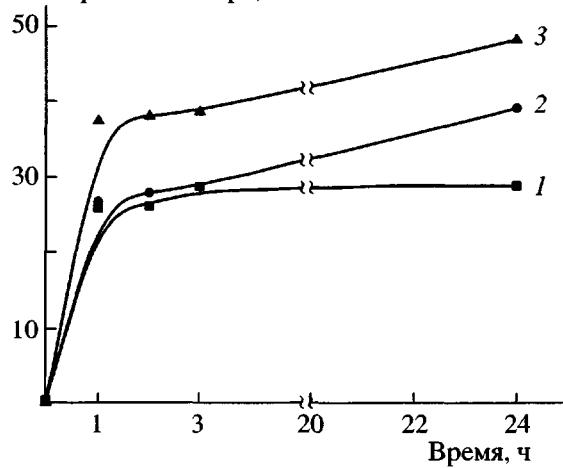


Рис. 1. Кинетические кривые привитой полимеризации анилина на хитозан при 5°C в среде 1 М HCl и соотношении хитозан : анилин : инициатор = 1 : 5 : 1. 1 – конверсия мономера, 2 – степень прививки, 3 – эффективность прививки.

Таблица 2. Деформационно-прочностные характеристики хитозановых пленок с привитым ПАНИ

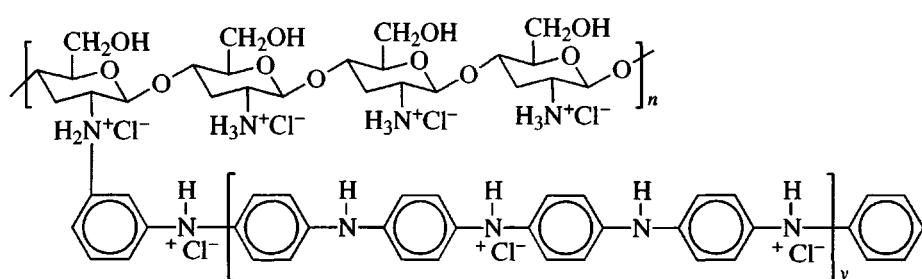
Материал пленки	Серия опытов	Степень прививки	Допиривание, %	E , ГПа	σ_u , МПа	σ_p , МПа	ε_p , %
Хитозан	—	0	0	4.87 ± 0.17	115 ± 2	129 ± 2	28 ± 1
Хитозан–ПАНИ	I	10	0	4.01 ± 0.15	114 ± 3	105 ± 5	9 ± 1
		10	10	4.51 ± 0.15	120 ± 3	116 ± 2	7 ± 1
		30	30	4.60 ± 0.5	110 ± 3	111 ± 2	3 ± 2
		10	0	3.05 ± 0.27	85 ± 2	92 ± 1	48 ± 4
Хитозан–ПАНИ	II	10	10	2.62 ± 0.20	62 ± 1	64 ± 2	42 ± 2
		30	0	4.15 ± 0.28	84 ± 5	92 ± 3	21 ± 2
		30	30	2.93 ± 0.13	68 ± 2	66 ± 1	30 ± 1

единением молекул гомополимера ПАНИ к хитозановой матрице, что возможно при наличии “живых” радикалов на конце цепи ПАНИ и на матрице.

Хитозановая пленка с привитым ПАНИ после отмычки гомополимера имела темно-зеленый цвет, при переводе в форму основания цвет плен-

ки изменялся до голубого или темно-синего. После допиривания пленка приобретала темно-зеленый цвет.

Вероятная структура привитого сополимера, допированного соляной кислотой, представлена ниже.



Местом роста привитой цепи может быть атом азота аминогруппы хитозана, как показано на схеме, или С-радикал, возникающий при втором или шестом углеродном атome, как это происходит во время прививки мономеров винилового ряда на хитозан при инициировании ПСА [5].

Привитые цепи ПАНИ представляют собой последовательность аминобензоидных и иминохиноидных сегментов [4]. В результате допиривания сополимера кислотой получается проводящая форма ПАНИ – соль полиэмеральдинового основания. Носителями заряда являются дырочные дефекты конъюгации (поляроны) – возмущенные электронные состояния в цепи, делокализованные по трем-четырем звеньям (катион-радикалы) цепи ПАНИ. При допиривании аминогруппы хитозана заряжаются полностью и могут

участвовать в создании ионной проводимости, образуя мостики для перескоков анионов хлора между цепями ПАНИ. Однако величина ионной проводимости сухой хитозановой пленки составляет 10^{-9} – 10^{-10} Ом $^{-1}$ см $^{-1}$ [6], и ею можно пренебречь.

В табл. 2 приведены результаты механических испытаний привитых пленок с различной степенью прививки. Из этих данных следует, что прочностные характеристики пленок с привитым ПАНИ первой серии мало отличаются от прочности хитозановой пленки, но их деформационные свойства (удлинение при разрыве) заметно ниже, особенно после допиривания. При хранении в течение 3 месяцев пленки теряют целостность.

Деформационно-прочностные свойства пленок первой и второй серии существенно различа-

Таблица 3. Электрофизические свойства привитых хитозановых пленок

Материал пленки	Серия опытов	Толщина пленки, мкм	Допирение, %	Удельная электропроводность	
				поверхностная, Ом^{-1}	объемная, $\text{Ом}^{-1} \text{см}^{-1}$
Хитозан	—	30	0	$1.18 \times 10^{-10}/1.18 \times 10^{-10}$	3.0×10^{-8}
Хитозан-ПАНИ	I	30	0	$0.26 \times 10^{-10}/0.21 \times 10^{-10}$	—
		30	5	$0.78 \times 10^{-9}/0.16 \times 10^{-7}$	—
		30	10	$0.56 \times 10^{-9}/0.98 \times 10^{-6}$	—
		30	30	$0.15 \times 10^{-7}/0.13 \times 10^{-7}$	—
		55	10	$0.90 \times 10^{-3}*/0.40 \times 10^{-3}*$	2.30×10^{-6}
Хитозан-ПАНИ	II	180	30	$2.40 \times 10^{-1}*/1.80 \times 10^{-1}*$	4.60×10^{-6}

Примечание. Числитель – поверхность пленки, обращенная к реакционной смеси, знаменатель – поверхность пленки, обращенная к подложке.

* $\sigma_{\text{каж}}$ объемная, $\text{Ом}^{-1} \text{см}^{-1}$.

ются между собой. Прочность и модуль упругости пленок второй серии вдвое ниже, в то время как удлинение в 7–8 раз выше. Несмотря на то, что при допировании пленок серии II прочностные характеристики снижаются, в дальнейшем они не изменяются по крайней мере в течение 1 года хранения при комнатной температуре. Такое различие свойств может быть объяснено разной надмолекулярной организацией пленок. При очистке пленок по первому способу во время выдерживания в концентрированной щелочи происходит их сильная усадка, которая может быть вызвана одновременным кооперативным переходом всех заряженных аминогрупп хитозана в форму свободного основания с образованием межмолекулярных водородных связей. Это приводит к уплотнению надмолекулярной структуры пленок, что вызывает повышение их модуля и прочностных характеристик. Однако локальные внутренние напряжения, неизбежно возникающие в пленках при интенсивной усадке, снижают деформируемость. Очистка пленок по второму способу проходила в более мягких условиях, переход хитозана в форму основания протекал во времени и не вызывал усадки.

Результаты измерений электропроводности представлены в табл. 3. Для допированных образцов первой серии значения поверхностной проводимости оказались весьма низкими ($<10^{-9} \text{ Ом}^{-1}$). Это может быть связано с изменением системы водородных связей в хитозановой матрице, что приводит к ухудшению условий допирования привитых цепей ПАНИ, и, следовательно, к уменьшению числа и подвижности носителей заряда, а значит, и электропроводности. Механизм зарядо-

вого транспорта в аморфных твердых телах включает образование бесконечной непрерывной перколоационной сетки (кластера) проводящих путей. При этом внутри каждой проводящей цепочки осуществляются и внутрицепные и межцепные перескоки носителей заряда. В нашем случае носителями заряда являются поляроны, перескоки которых внутри цепи полимера и межцепные перескоки обусловливают их эффективную подвижность. Как для внутрицепной, так и для межцепной проводимости, чем больше невозмущенная длина свободного пробега носителей, тем выше подвижность. Число носителей заряда тем выше, чем выше уровень допирования. Любые изменения структуры образца, которые ухудшают совершенство кластера, приводят к уменьшению проводимости.

Для допированных пленок второй серии измеренная мостовым методом при переменном токе удельная объемная электропроводность оказалась относительно высокой ($\sim 10^{-6} \text{ Ом}^{-1} \text{см}^{-1}$), но значительно меньше кажущейся объемной электропроводности ($10^{-3} \text{ Ом}^{-1} \text{см}^{-1}$), измеренной четырехзондовым методом и отнесенной к полной толщине пленки. В этом случае пленку можно представить как трехслойную систему (два тонких приповерхностных проводящих слоя, разделенных менее проводящим объемом). Истинная объемная проводимость приповерхностных слоев, отнесенная к их толщине (а не ко всей толщине пленки), может более чем на порядок превышать измеренную четырехзондовым методом. Электропроводность объема пленки практически равна измеренной мостовым методом.

Таблица 4. Температурные переходы в пленках хитозана с привитым ПАНИ (образцы серии II)

Материал пленки	Степень прививки, %	Допиро-вание, %	Характеристические температуры, °C	
			T_1	$T_{\text{разр}}$
Хитозан	0	0	246	~500
Хитозан–ПАНИ	10	0	251	~500
	10	10	196	~400
	30	0	252	~500
	30	30	197	~400

Таким образом, полученные результаты показывают, что реакция прививки в гетерогенных условиях проходит главным образом на поверхностях набухшей хитозановой пленки, сквозь которую проникают мономер и инициатор, однако в объеме реакция протекает менее эффективно.

Большая величина удельной электропроводности толстой пленки ($d = 180$ мкм) по сравнению с более тонкой ($d = 55$ мкм) может быть обусловлена невозможностью полного удаления гомополимера ПАНИ из объема пленки из-за стерических затруднений при диффузии.

Важной характеристикой проводящих материалов является их теплостойкость. Для определения этого параметра исследуемых материалов были проведены термомеханические испытания

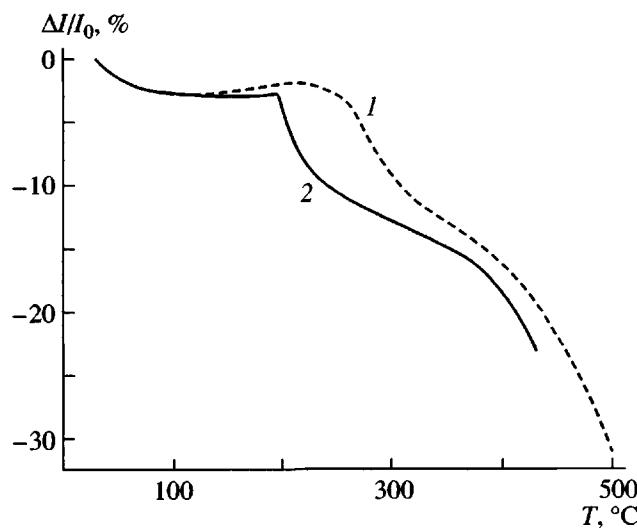


Рис. 2. Термомеханические кривые для хитозана и хитозан–ПАНИ (степень прививки 10%) в недопированном (1) и допированном состоянии (2).

пленок второй серии. Результаты, представленные в табл. 4, показывают, что ни один из испытанных образцов не демонстрирует релаксационных переходов типа размягчение–стеклование или плавление во всем диапазоне температур вплоть до деструкционного разрушения. На всех образцах зарегистрирован последовательный рост жесткости в ходе нагревания.

Термомеханические кривые всех образцов (рис. 2) имеют сходный характер. В области до 105–110°C несколько увеличивается жесткость, что связано с удалением влаги и, как следствие, с депластификацией исследуемого материала. Затем следует участок, на котором наблюдается малая положительная термическая деформация образца – термическое расширение. После нагревания до некоторой температуры, обозначенной в табл. 4 как T_1 , образец начинает интенсивно сокращаться, жесткость его заметно растет с повышением температуры. Этот процесс продолжается вплоть до термического разрушения образца. Термомеханические кривые и характеристические температуры переходов для недопированных и проводящих (допированных) образцов различны. Для недопированных образцов характерен плавный переход через T_1 . Для проводящих пленок переход реализуется как излом на термомеханической кривой. Величины T_1 для недопированных образцов существенно выше, чем для допированных. Следует отметить, что как вид термомеханических кривых, так и величина T_1 для недопированных образцов практически идентичны таковым для пленок хитозана (табл. 4, рис. 2).

Термомеханические испытания позволяют оценить влияние допирования на величину термостойкости пленок хитозан–ПАНИ. Величина $T_{\text{разр}}$ в табл. 4 характеризует температуру, при которой происходит разрушение образца в процессе нагревания. Как видно из приведенных данных, эта температура резко (на 100°C) снижается при допировании.

Отмеченное увеличение жесткости исследованных образцов после перехода через T_1 может быть связано с двумя различными процессами в материале: с восстановлением термодинамически выгодной конформации макроцепи в результате термического растворения молекулярной подвижности и с интенсивной термодеструкцией

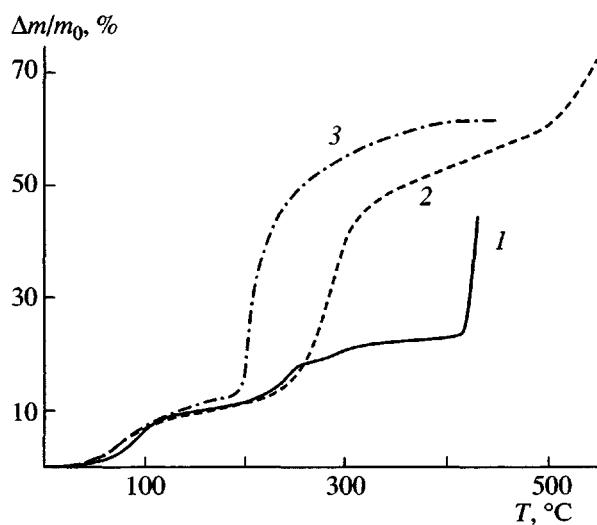


Рис. 3. Кривые ТГА для пленок хитозана (1), хитозан–ПАНИ (степень прививки 10%) в недопированном (2) и допированном состоянии (3).

полимера, при которой происходит усадка материала с образованием межцепочных сшивок.

Для выяснения истинных причин эффектов, наблюдаемых при термомеханических испытаниях, образцы пленок были исследованы методом ТГА. Результаты анализа представлены на рис. 3. Полученные кривые ТГА практически полностью идентичны термомеханическим кривым, а температура начала интенсивного падения массы образца во всех случаях хорошо совпадает с величиной T_1 , определенной при термомеханических испытаниях. Следовательно, эффекты, наблюдавшиеся при термомеханических испытаниях, полностью определяются процессами изменения массы образца и термостимулированными химическими изменениями: удалением воды и термодеструкцией.

Сопоставление термомеханических кривых с кривыми ТГА (рис. 2 и 3 соответственно) позволяет сделать вывод о том, что разрушение пленок хитозан–ПАНИ в ходе термомеханических испытаний происходит в области температур, когда масса образца падает на 50% и более. Это означает, что вплоть до столь высоких степеней деструкции в материале сохраняется молекулярный “скелет”, способный держать механическую нагрузку. Для пленок большинства известных полимерных материалов разрушение при нагревании под действием таких же растягивающих нагрузок реализуется при степенях деструкции ~10–15%.

Таким образом, композиционный материал, полученный привитой полимеризацией анилина на хитозановые пленки, обладает достаточно высокой удельной объемной электропроводностью, имеет удовлетворительные механические характеристики, сохраняющиеся длительное время, не плавится и не размягчается вплоть до разрушения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Malinauskas A. // Polymer. 2001. V. 42. № 9. P. 3957.
2. Weiss H., Pfefercorn O., Kotora G., Humphrey B.D. // J. Electrochem. Soc. 1989. V. 136. № 12. P. 3711.
3. Yang Sen, Tirmizi S.A., Berns A., Barney A.A., Risien W.M., jr. // Synth. Met. 1989. V. 32. № 2. P. 191.
4. Genies E.M., Boyle A., Labkowsky M., Tsintavis C. // Synt. Met. 1990. V. 36. № 2. P. 139.
5. Нуд'га Л.А., Петрова В.А., Лебедева М.Ф., Петровавловский Г.А. // Журн. прикл. химии. 1996. Т. 69. № 7. С. 1194.
6. Wan Ying, Creber K.A.M., Peppley B., Tam Bui V. // Polymer. 2003. V. 44. № 4. P. 1057.

Heterogeneous Aniline Graft Polymerization on Chitosan and the Physicochemical Properties of the Product

L. A. Nud'ga*, V. A. Petrova*, V. I. Frolov*, I. V. Gofman*,
A. V. Maslyakova**, and N. M. Zhuravleva**

*Institute of Macromolecular Compounds, Russian Academy of Sciences,
Bol'shoi pr. 31, St. Petersburg, 199004 Russia

**St. Petersburg State Polytechnical University,
Politekhnicheskaya ul. 29, St. Petersburg, 195251 Russia

Abstract—A conducting composite material was prepared by the graft polymerization of aniline on chitosan films and the strain-strength, thermomechanical, and electrophysical properties of the material were studied. It was found that the properties of the materials strongly depended on its preparation conditions. The bulk conductivity of a doped specimen was 10^{-3} – $10^{-2} \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$. The material had satisfactory mechanical characteristics and differed insignificantly from chitosan in thermal stability.