

УДК 621.793.3:678

ХИМИЧЕСКОЕ ОСАЖДЕНИЕ ГИБКИХ СВЕТООТРАЖАЮЩИХ СЛОЕВ Ni-P НА ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТНОЙ ПОДЛОЖКЕ

Рева О.В., Назарович А.Н.

Разработан способ химического осаждения из растворов слоев Ni-P на полиэфирных подложках. Исследованы состав, микроструктура и физико-механические характеристики электропроводного светоотражающего металлопокрытия на поверхности полиэфирных тканей.

Ключевые слова: электропроводящий металлический слой, нанокпозиционный материал, функциональные светоотражающие покрытия.

(Поступила в редакцию 17 октября 2018 г.)

Введение. Одной из серьезных задач при разработке защитной одежды для пожарных-спасателей, сварщиков, электротехников, рабочих горячих цехов и представителей других опасных профессий является создание тепло-светоотражающих огнезащитных и электропроводящих тканевых материалов, в том числе с прочно прикрепленным поверхностным слоем металла. Нанесение токопроводящего и светоотражающего слоя осуществляется как методами вакуумного напыления и горячего прессования, так и ракельного формования слоев из вязкого раствора металлопорошков на основе полимерного связующего [1].

Процесс вакуумного напыления проходит в несколько стадий: переход напыляемого материала из конденсированной фазы в газовую, перенос молекул в газовой фазе к поверхности изделия, конденсация их на поверхности, образование и рост зародышей металла, формирование компактной пленки. Преимущество такого метода состоит в высокой скорости нанесения равномерного защитного слоя. Однако его применение чрезвычайно энергозатратно, поэтому вакуумное напыление заменяют на атмосферное плазменное напыление. Суть метода сводится к тому, что частицы металла разгоняются высокотемпературными потоками плазмы и осаждаются на основе в виде покрытия. Однако этот метод применим в большей части для нанесения защитного слоя на поверхность массивных металлических деталей, а не ткани. Недостатком плазменного напыления является сравнительно невысокая адгезионная и когезионная прочность покрытия. Другим способом металлизации является горячее распыление расплавленного металла из пульверизатора. При ударе о материал металл частично внедряется в структуру подложки. К недостаткам такого метода можно отнести невысокую прочность закрепления покрытия на подложке, а также разрушение ткани при напылении горячего металла [1].

Весьма распространенным методом нанесения защитного металлического слоя является ракельное формование слоев из вязкого раствора металлопорошков на основе полимерного связующего. На подложку первоначально наносится грунтовочный слой, а после защитный светоотражающий слой [2]. Проблемой является как подбор клеящего агента, так и функциональные свойства композита, в частности его суммарная огнестойкость.

Одним из перспективных способов получения гибкого, прочного, электропроводного и светоотражающего слоя на диэлектрической подложке является химическое осаждение металлов из растворов с получением нанокпозиционного материала. Наилучшими светоотражающими свойствами и электропроводностью отличаются серебряные слои [3, 4], однако они экономически нецелесообразны при массовом производстве защитной одежды. Слои Cu отличаются хорошей пластичностью и электропроводностью, но склонны к окислению. Весьма перспективными для решения поставленной задачи представляются автокаталитические покрытия на основе Ni-P, поскольку они хотя и более хрупкие, чем серебряные и медные, но значительно более коррозионно- и износостойкие и, как правило, имеют более высокую адгезию к диэлектрической подложке [3, 4].

Нанесение электропроводящего светоотражающего слоя на поверхность диэлектрика путем химической металлизации осуществляется в несколько стадий: травление, сенсбилизация, активация и нанесение металлического слоя [3–9].

Стадия травления необходима для разрыхления приповерхностного слоя, создания микроуглублений и микропор для более прочного сцепления металла с подложкой. Стадия

сенсibilизации предназначена для активации поверхности путем сорбции ионов, способных восстанавливать ионы осаждаемого металла. Традиционно используют растворы соединений Sn(II), поскольку они обладают ярко выраженными восстановительными свойствами и способностью адсорбироваться на поверхности твердых тел, хотя известны системы на основе соединений $\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}^{1+}$; $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$; $\text{Ti}^{2+}/\text{Ti}^{4+}$ и др. [3–9].

Сформированные активные центры металла часто нуждаются в усилении. Для этого широко применяются растворы хлорида палладия PdCl_2 , благодаря которому на поверхности адсорбированных частиц соединений Sn(II) происходит формирование каталитически активных центров Pd^0 . На поверхности этих центров инициируется химическое осаждение из растворов Ni, Cu и других металлов.

Следует отметить, что если для гладких пленочных диэлектриков методы химической металлизации разработаны и описаны достаточно широко, то такие методики для металлопокрытий на волокнах и тканевых материалах с чрезвычайно развитой поверхностью в литературе освещены весьма незначительно.

Закономерности автокаталитического осаждения пленок Ni-P на массивные подложки изучаются уже достаточно давно, обзор большого количества источников приведен в работах [3, 4]. В основе химического осаждения покрытий Ni-P лежит кинетически заторможенная реакция взаимодействия ионов никеля с гипофосфитом, происходящая на границе раздела фаз. Свежесформированные частицы никеля на твердой поверхности являются катализатором реакции. На поверхности катализатора одновременно протекают анодная стадия окисления восстановителя и катодная стадия восстановления никеля и водорода, в результате водород может включаться в состав пленки. Содержание в покрытиях P, который является продуктом разложения гипофосфита, зависит от кислотности раствора и меняется в среднем от 3 до 25 мол. %. Скорость роста покрытия зависит от концентраций компонентов, природы лигандов, pH, температуры и электрохимической природы каталитической поверхности и может достигать 20–30 мкм/ч [3, 4].

Очень многие свойства тонких слоев металла определяются их морфологией. Известно, что зародыши никеля обладают способностью к двумерному росту в плоскости подложки без нового ядрообразования, что приводит к росту пластинчатых кристаллов [3, 4, 7, 8]. На дальнейших стадиях роста пленок происходит перекрывание первичных зародышей, их рекристаллизация и рост в направлении, перпендикулярном подложке. Регулирование скоростей зародышеобразования и роста ядер является очень сложной и недостаточно изученной проблемой. Индивидуальное влияние температуры, pH, природы и концентрации лигандов, ПАВ, а также природы подложки и способа ее активации (как правило, нелинейное) и воздействие их на морфологию покрытий в комплексе противоречиво и очень плохо прогнозируемо.

Процентный и фазовый состав автокаталитических пленок Ni-P также зависит от условий синтеза и природы подложки достаточно сложным образом. Покрытия, осажденные из кислых растворов, содержат больше фосфора (до 25 %), чем полученные из щелочных электролитов (8–10 %). Покрытия Ni-P с содержанием фосфора более 15 мол. % часто обладают аморфной структурой, либо представляют собой плохо упорядоченный твердый раствор фосфора в гексагональном никеле [3, 5, 9]. Покрытия с меньшим содержанием фосфора (5–9 мол. %) включают фазы кубического никеля и твердый раствор фосфора в гексагональном никеле.

Микротвердость и износостойкость покрытий Ni-P также изменяются нелинейно в зависимости от целого ряда факторов; они существенно выше, чем у чистого никеля и повышаются при росте содержания в пленках фосфора и кристаллических фосфидов [3, 5, 6]. Однако одновременно в пленках растут внутренние напряжения и хрупкость; поэтому автокаталитические покрытия Ni-P лимитированы по толщине. Увеличению коррозионной стойкости покрытий Ni-P способствуют высокое содержание фосфора и мелкодисперсность подложки.

Несмотря на обилие экспериментальных данных выявлено достаточно мало четких закономерностей по получению материалов с заданными свойствами. Данные по физико-механическим свойствам пленок Ni-P из различных источников трудно сопоставимы, поскольку они сложным образом зависят от условий осаждения и свойств подложки.

В данной работе исследовались закономерности синтеза и ряд свойств автокаталитических пленок Ni-P, химически осажденных из растворов на полиэфирные матрицы различного типа: пленки и ткань саржевого плетения.

Методика эксперимента. В качестве диэлектрической подложки использовали сбалансированную смесовую ткань (состав сырья, %: хлопок – 50, полиэфир – 50) комбинированного переплетения «рип-стоп» для спецодежды и полиэтилентерефталатную пленку толщиной 60 мкм.

Полиэфирную ткань или пленку протравливали в десятипроцентной смеси соляной HCl и серной H₂SO₄ кислот при комнатной температуре в течение 5 мин и промывали проточной водой. Затем подложку обрабатывали кислым водным раствором SnCl₂ в течение 10 мин. Сенсибилизированную и промытую дистиллированной водой полиэфирную ткань или пленку активировали в кислом водном растворе PdCl₂ в течение 40–50 сек, промывали дистиллированной водой и погружали в растворы химического осаждения никеля № 1 или 2 (табл. 1) на 120–130 сек. Для толстослойного наращивания первичного металлического слоя использовали раствор никелирования № 3, в котором первичный металлический слой на активированной диэлектрической поверхности не формируется.

Таблица 1. – Состав изученных растворов химического никелирования, г/л

№	(CH ₃ COO)Na	NiCl ₂	Ni(CH ₃ COO) ₂	Na ₂ H ₂ PO ₂	NH ₄ Cl	(CH ₃ COO)NH ₄	NH ₃	Глицин	Сахарин	pH
1		24		37	27		32		1	8,6
2			25	37		30			1	6,2
3	15		25	25				20		6

Толщину покрытия s определяли весовым методом – измерением массы образцов m до и после осаждения металлического слоя и расчетом по формуле

$$s = \frac{\Delta m}{\rho S_{\text{обр}}}, \quad (1)$$

где Δm – масса покрытия, мг; ρ – плотность металла, мг/см³; $S_{\text{обр}}$ – площадь образца, см². Измерение массы образцов осуществлялось на аналитических весах ВРЛ-200 точностью $\pm 0,05$ мг.

Макроструктуру покрытий на развитой поверхности изучали с помощью оптического металлографического микроскопа МБС-1. Для изучения микроструктуры поверхности покрытий на гладкой поверхности использовали растровый сканирующий электронный микроскоп марки LEO-1420. Локальный элементный состав поверхностной зоны пленок определялся методом электронно-зондового микрорентгено-спектрального анализа (РСА) на рентгеновском микроанализаторе (EDX) типа RONTES, являющегося приставкой к электронному микроскопу LEO-1420. Глубина анализируемого слоя ~3 мкм. Содержание фосфора в покрытиях определяли после их полного растворения в азотной кислоте методом атомно-эмиссионной спектроскопии на спектрометре модели ICP-2060T на индуктивно-связанной плазме.

При исследовании фазового состава покрытий использовали метод рентгенографического анализа. Съемка рентгенограмм осуществлялась на дифрактометре ДРОН-3 в интервале углов 2Θ 6–45° со скоростью записи 1 град/мин на молибденовом K α -излучении. В качестве справочных данных использовали картотеку АСТМ.

Коэффициент отражения направленного светового потока от поверхности металлических покрытий измеряли на фотоэлектрическом блескомере ФБ-2 при геометрии освещения/наблюдения 45°/45° в видимой области спектра. Сопротивление покрытия постоянному току измеряли на тераомметре Е6-13А с диапазоном работы от 10 до 10¹⁴ Ом. Удельное сопротивление вычислялось по формуле

$$\rho = \frac{RS_{\text{обр}}}{l}, \quad (2)$$

где R – сопротивление образца, Ом; $S_{\text{обр}}$ – площадь образца, см²; l – длина образца, см.

Результаты и обсуждение. Для обеспечения ряда функциональных свойств (электропроводность, свето- и теплоотражение, огнестойкость) пленки Ni (Ni-P) должны иметь суммарную толщину не менее 5–8 мкм. Однако на диэлектрической подложке с очень развитым рельефом формирование покрытий с хорошей когезией в одну стадию вряд ли возможно, поскольку на разных этапах формирования покрытия требуются различные

сочетания скоростей зародышеобразования и роста зерен. Для определения условий химического осаждения на полиэфирную ткань металлопокрытий с максимально высокими характеристиками были исследованы закономерности синтеза и свойства пленок Ni-P для растворов, отличающихся комплексным составом, pH и способностью к формированию слоя на нетокопроводящей поверхности. Для всех изученных растворов с увеличением температуры возрастает скорость осаждения никеля (рис. 1). В результате проведенных исследований установлено, что на поверхности гладкой полиэфирной пленки никелевые покрытия осаждаются из растворов № 1 и 2 до толщины не более 0,45 мкм; из слабокислого раствора № 3 – до толщины 20–25 мкм.

Для растворов № 1 и 2 ограничением толщины пленки является нарастание внутренних напряжений, которое приводит к растрескиванию тонкого покрытия, существенно раньше того момента, когда поверхность будет пассивирована продуктами неполного восстановления никеля и соединениями фосфора, следствием чего является замедление роста пленки (рис. 1а). Для электролита № 3 внутренние напряжения в покрытиях существенно меньше и скорость осаждения металла падает только при достижении им толщины 16–24 мкм (рис. 1б). Такое различие связано, очевидно, как с особенностями накопления в покрытиях соединений фосфора, так и с принципиальными различиями в микроструктуре формируемых пленок.

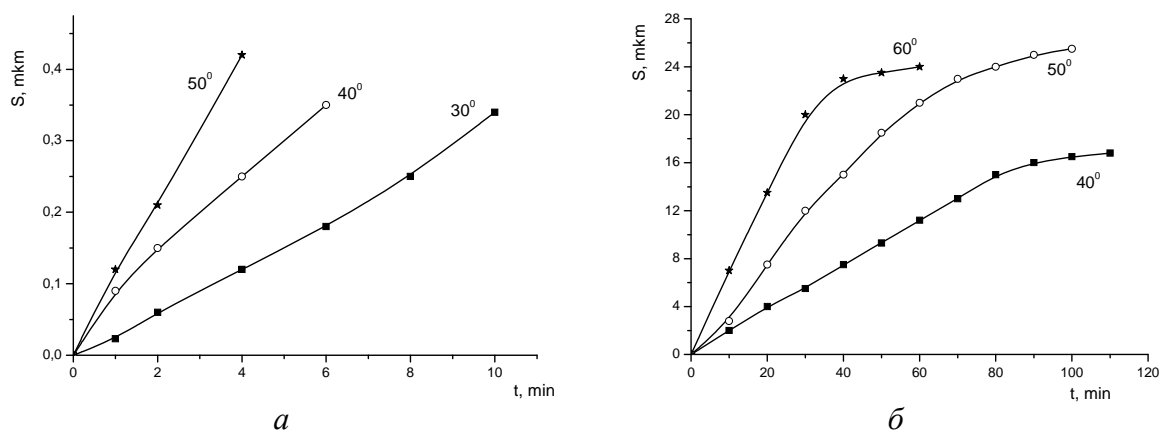


Рисунок 1. – Зависимость толщины никеля от времени осаждения
а – из раствора № 1 при 30, 40 и 50 °С; б – из раствора № 3 при 40, 50 и 60 °С

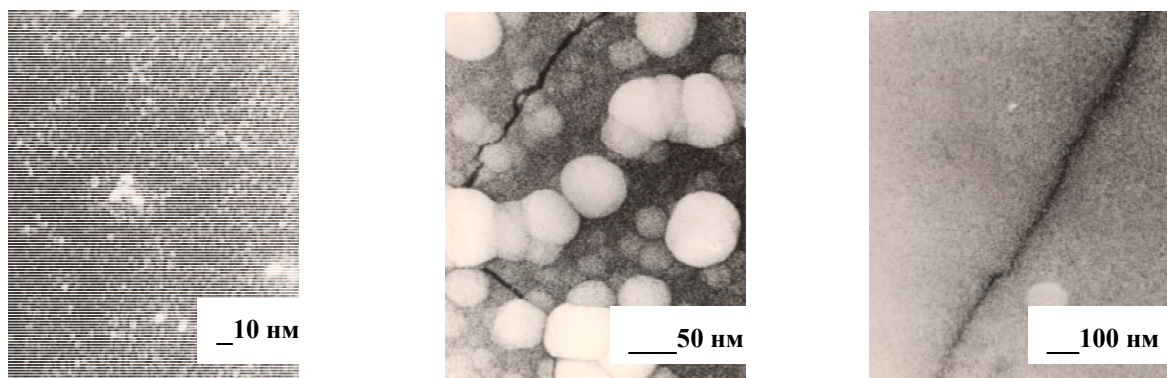
Для получения светоотражающего покрытия требуется достаточно высокая степень блеска, что реализуется при мелкозернистой структуре металла. Это свойство зависит от скорости формирования металлопокрытия на поверхности диэлектрика, определяющейся в свою очередь температурой раствора и природой лигандов.

Как было доказано методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ), покрытие, полученное на пленочной поверхности из слабокислого раствора № 3, имеет значительно более крупнозернистую структуру: размеры элементов составляют до 30–60 нм, тогда как в случае растворов № 1 и 2 – 5–8 нм (рис. 2а и 2б). При автокаталитическом осаждении металла из растворов № 1 и 2 скорость зародышеобразования выше скорости роста зерен, тогда как для раствора № 3 преобладает стадия роста зерен, быстрее растут зерна с формированием крупной, но мало напряженной структуры.

Ацетатный раствор толстослойного никелирования № 3 характеризуется формированием достаточно крупнозернистого покрытия и отличается способностью к «залечиванию» микротрещин на тонких пленках, осажденных из растворов № 1 и 2 (рис. 2в). По всей вероятности, эта особенность стабилизированного ацетатного электролита связана со способностью образующихся на поверхности достаточно крупных плоских элементов структуры перекрывать микродефекты мелкозернистых затравочных покрытий.

Установлено, что при осаждении металла из растворов № 1 и 2 на гладкую полиэфирную пленку с приближением к предельной толщине покрытия (0,5 мкм) происходит падение адгезии металла к подложке и резкое возрастание электрического сопротивления пленки до 700–900 Ом·м (рис. 3а) вследствие нарастания внутренних напряжений и увеличения микродефектности покрытия. Возрастание удельного электрического сопротивления по мере увеличения толщины химически осажденного никеля может происходить как вследствие ухудшения контакта между микрочастицами

слоя, так и по причине увеличения содержания в покрытии фосфора по мере осаждения [3, 8, 9]. Для толстых слоев из раствора № 3 преобладает скорость роста зерен, и формируется крупная, но мало напряженная структура.



а (толщина металлического слоя – 0,5 мкм)

б (толщина металлического слоя – 1,5 мкм)

в (толщина металлического слоя – 8 мкм)

Рисунок 2. – СЭМ фотографии химически осажденных на поверхность полиэфирной пленки покрытий Ni-P: *а* – из раствора никелирования № 1; *б* – № 3; *в* – № 3 поверх слоя из № 1

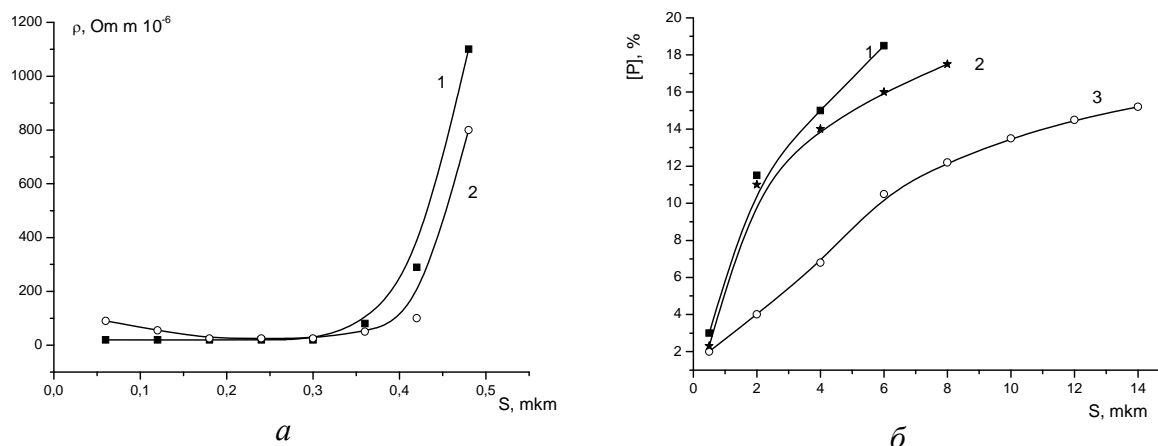


Рисунок 3. – Зависимость: *а* – удельного сопротивления металлического слоя от толщины; *б* – содержания фосфора в автокаталитических никелевых покрытиях от толщины пленки

Рост содержания в пленке фосфора может привести также к искажению кристаллической решетки осаждаемого никеля вплоть до получения аморфного покрытия с принципиально иной микроструктурой и физико-механическими свойствами.

Поскольку на очень гладкой ПЭТФ-подложке из растворов № 1 и 2 невозможно получить покрытие толще 0,45 мкм, для изучения содержания фосфора в пленках из тех же растворов при тех же условиях были получены модельные покрытия на развитой стальной поверхности. На шероховатой подложке предельная толщина покрытий возрастает в 3–4 раза. Методами рентгеноструктурного анализа (РСА) и атомно-абсорбционной спектроскопии (ААС) установлено, что во всех случаях процентное содержание фосфора в пленках Ni-P увеличивается с ростом толщины покрытия (рис. 3б). При этом накопление фосфора значительно быстрее происходит при осаждении покрытий из растворов № 1 и 2. Так, в пленках, полученных из раствора № 3, содержание фосфора составляет ~12 % при толщине 8 мкм; а в пленках, осажденных из растворов № 1 и 2, такое же количество фосфора обнаруживается уже при толщине ~2,5 мкм. Это объясняет гораздо большую напряженность и хрупкость пленок, полученных из растворов № 1 и 2, и их существенно меньшую предельную толщину по сравнению с раствором № 3. Кроме того, имеет важное значение, в каком фазовом состоянии находится P в покрытиях.

Методом рентгенофазового анализа кристаллические соединения фосфора в покрытиях обнаруживаются только при его содержании менее 6 ат. %. Параметр кристаллической решетки этих покрытий несколько отличается от стандартного для Ni ($\alpha = 0,3523$ нм), и тем значительнее, чем больше в пленке содержится фосфора. Для слоев, содержащих более 7 ат. % фосфора, параметр кристаллической решетки определить не

удалось, что свидетельствует о ее очень сильном искажении и приближении к аморфному состоянию. Таким образом, полученные данные позволяют предположить, что для металлизации полиэфирной ткани более перспективным является раствор № 3 либо его комбинирование с тонкими слоями, полученными из растворов № 1 и 2, поскольку аморфные структуры более изотропны.

Закономерности осаждения пленок Ni-P на поверхности полиэфирной ткани несколько отличаются от обнаруженных для гладкой пленки. Скорость осаждения покрытия возрастает в 2–3 раза, индукционный период (обычно 5–10 с) при погружении активированной подложки в раствор практически отсутствует. Причиной, очевидно, является значительно большая адсорбция активирующих соединений Sn(II) и Pd(II) на очень развитой и пористой поверхности ткани по сравнению с полиэтилентерефталатной пленкой. На развитой поверхности ткани, в отличие от гладкой пленки возможно осаждение более толстых слоев (до 1,5–3 мкм) даже из растворов № 1 и 2 вследствие более равномерного распределения напряжений на сложной поверхности и фактического прорастания металла между волокнами сквозь крупные поры подложки. В случае применения раствора № 3 максимальная толщина слоя составляет 13,8 мкм.

Для получения металлического покрытия на ткани было опробовано комбинированное химическое осаждение никеля в виде нескольких слоев из различных растворов. Слои осаждали с релаксацией между их осаждением в течение 1–3 суток. В результате на полиэфирной ткани были получены комбинированные слои с суммарной толщиной до 9–14 мкм, практически неотделимые от основы расслаиванием и клейкой лентой.

Удельное сопротивление этих слоев составляет всего 0,4–1,5 Ом·м (табл. 2), что соответствует требованиям ГОСТ к защитной одежде. Вероятно, на ткани, в отличие от пленки образуются более кристаллизованные слои, т. к. они отличаются от аморфных существенно лучшей проводимостью. Однако в этом случае возможно падение отражающей способности слоя, т. к. покрытия становятся более крупнозернистыми.

Таблица 2. – Удельное сопротивление и коэффициент отражения видимого света металлизированной тканью в зависимости от толщины слоя и условий синтеза

№ раствора первого слоя	Суммарная толщина покрытия, мкм	Удельное сопротивление, Ом·м	Коэффициент отражения
1	13,78	0,15	0,8
	13,78	0,13	0,85
2	9,13	0,45	0,6
	9,35	0,3	0,6
	11,08	1,5	0,55

Было установлено, что коэффициент отражения видимого света металлизированной тканью (так же, как и в случае гладкой пленки) увеличивается по мере толщины покрытия и достигает 0,6–0,85 (табл. 2), что с учетом очень высокой суммарной шероховатости основы (рис. 4) явно выше ожидаемого.

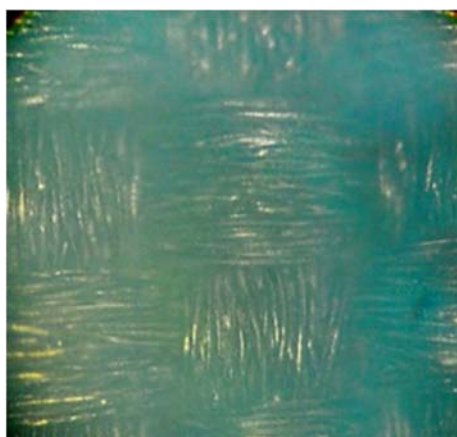


Рисунок 4. – Микрофотография поверхности химически осажденного на поверхность полиэфирной ткани покрытия Ni-P

Заключение. В результате проведенных исследований обнаружены существенные различия в закономерностях формирования и функциональных свойствах автокаталитических покрытий Ni-P, нанесенных на полиэфирные материалы с различным типом поверхности – пленки и ткани. Металлизированные химическим способом полиэфирные ткани и волокнистые материалы обладают характеристиками, представляющими интерес для применения в защитной одежде и изделиях технического назначения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Артемов, А. Металлизация текстильных изделий [Электронный ресурс] / А. Артемов. – Режим доступа: <http://www.lpb.ru/print.php?id=1232>. – Дата доступа: 15.09.2018.
2. Дмитракович, Н.М. Сравнительный анализ технологических процессов получения огнестойких тканей с металлизированным покрытием / Н.М. Дмитракович, Ю.Г. Русецкий, В.В. Гнутенко [и др.] // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2004. – № 6 (16). – С. 27–35.
3. Химическое осаждение металлов из водных растворов / В.В. Свиридов, Т.Н. Воробьева, Т.В. Гаевская, Л.И. Степанова / Под ред. В.В. Свиридова. – Минск: Университетское, 1987. – 270 с.
4. Electroless Plating: Fundamentals & Applications / Ed. by G.O. Mallory, J.B. Hajdu. – American Electroplaters and Surface Finishers Society: Orlando F 1. – 1990. – 273 p.
5. Бабяк, С.И. Влияние режимов нанесения никельсодержащих химических покрытий на их твердость / С.И. Бабяк, В.Д. Скопинцев, А.В. Моргунов // Роль природообустройства в обеспечении устойчивого функционирования и развития экосистем: материалы междунар. науч.-практ. конф., Москва, 17–20 апр. 2006 г. / Московский гос. ун-т природообустройства. – М., 2006. – Ч. 1. – С. 205–208.
6. Дровосеков, А.Б. Коррозионные свойства и защитная способность химико-каталитических Ni-P-покрытий / А.Б. Дровосеков, М.В. Иванов, О.А. Полякова, Т.Е. Цупак // Гальванотехника и обработка поверхности. – 2011. – Т. XIX, № 4. – С. 41–46.
7. Петухов, И.В. О механизме роста Ni-P-покрытий, получаемых методом химического осаждения // Электрохимия. – 2007. – Т. 43, № 1. – С. 36–43.
8. Хоперия, Т.Н. Химическое никелирование неметаллических материалов. – М.: Металлургия. – 1982. – 144 с.
9. Вашкялис, А.Ю. О включении фосфора в покрытие при восстановлении гипофосфитом / А.Ю. Вашкялис, А.В. Ягминене, А.Ю. Прокопчик. – Вильнюс, 1983. – 33 с. – Деп. в Лит. ВИНТИ 28.06.83, № 1073.

CHEMICAL DEPOSITION OF FLEXIBLE REFLECTIVE LAYERS NI-P ON POLYETHYLENE TEREPHTHALATE UNDERLAY

Olga Reva, PhD in Chemical Sciences, Associate Professor

Andrei Nazarovich

The state educational establishment «University of Civil Protection of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus», Minsk, Belarus

Purpose. The article is devoted to the method of synthesis of flexible light and heat reflective metal layers on a polyethylene terephthalate substrate and the study of the obtained coatings.

Methods. Gravimetry, scanning electron microscopy, X-ray graphic analysis, X-ray structural analysis, electron probe X-ray microanalysis, atomic emission spectroscopy, atomic absorption spectrometry.

Findings. Combined Ni-P layers with a total thickness of up to 9–14 μm of a predominantly amorphous structure, containing up to 8–15 mol % of phosphorus (P) were obtained on polyester fabric. They have a coefficient of visible light reflection about 85%.

Application field of research. The metallized fabric with light and heat reflecting properties can be used in protective special clothes and technical products.

Conclusions. As a result of the research, the significant differences were found in the patterns of formation and functional properties of Ni-P autocatalytic coatings deposited on polyester materials with different types of surface film and fabric. Chemically metallized polyester fabrics and fibrous materials possess characteristics are of interest for the use in protective clothing and technical items.

Keywords: electrically conductive metal layer, nanocomposite material, functional reflective coatings.

(The date of submitting: October 17, 2018)

REFERENCES

1. Artemov A. *Metallizatsiya tekstil'nykh izdeliy*, available at: <http://www.lpb.ru/print.php?id=1232> (accessed: September 15, 2018). (rus)
2. Dmitrakovich Yu.G. Rusetskiy, V.V. Gnutenko et al. Sravnitel'nyy analiz tekhnologicheskikh protsessov polucheniya ognetermostoykikh tkaney s metallizirovannym pokrytiem [Comparative analysis of technological processes for producing fire-resistant fabrics with metallic coating]. *Chrezvychaynye situatsii: preduprezhdenie i likvidatsiya*, 2004. No. 6 (16). Pp. 27–35. (rus)
3. Sviridov V.V., Vorob'eva T.N., Gaevskaya T.V., Stepanova L.I. *Khimicheskoe osazhdenie metallov iz vodnykh rastvorov* [Chemical precipitation of metals from aqueous solutions]. Ed. by V.V. Sviridova. Minsk: Universitetskoe, 1987. 270 p. (rus)
4. *Electroless Plating: Fundamentals & Applications* / Ed. by G.O. Mallory, J.B. Hajdu. American Electroplaters and Surface Finishers Society: Orlando F 1. 1990. 273 p.
5. Babyak S.I., Skopintsev V.D., Morgunov A.V. Vliyanie rezhimov naneseniya nikel'soderzhashchikh khimicheskikh pokrytiy na ikh tverdost' [Effect of nickel-containing chemical coating deposition regimes on their hardness]. *Proc. Intern. scientific-practical conf. «Rol' prirodoobustroystva v obespechenii ustoychivogo funktsionirovaniya i razvitiya ekosistem»*, Moscow, April 17–20, 2006. Moscow State University of Environmental Engineering. Moscow, 2006. Part 1. Pp. 205–208. (rus)
6. Drovosekov A.B. Ivanov M.V., Polyakova O.A., Tsupak T.E. Korroziionnye svoystva i zashchitnaya sposobnost' khimiko-kataliticheskikh Ni-P pokrytiy [Corrosion Properties and Protective Power of Ni-P Coating]. *Electroplating and Surface Treatment*, 2011. Vol. 19, No. 4. Pp. 41–46. (rus)
7. Petukhov I.V. O mekhanizme rosta Ni–P-pokrytiy, poluchaemykh metodom khimicheskogo osazhdeniya [On the growth mechanism of Ni – P coatings obtained by chemical deposition]. *Russian Journal of Electrochemistry*, 2007. Vol. 43, No. 1. Pp. 36–43. (rus)
8. Khoperiya T.N. *Khimicheskoe nikelirovanie nemetallicheskih materialov* [Chemical nickel plating of non-metallic materials]. Moscow: Metallurgy, 1982. 144 p. (rus)
9. Vashkyalis A.Yu., Yagminene A.V., Prokopchik A.Yu. O vklyuchenii fosfora v pokrytie pri voss-tanovlenii gipofosfitom [On the inclusion of phosphorus in the coating during the restoration of hypophosphite]. Vilnius, 1983. 33 p. Dep. in Litva VINITI 28.06.83, No. 1073. (rus)