

9. Scialabbe, N. Organic agriculture and climate change [Text] / N. Scialabbe, M. Muller-Lindenlauf // Renewable Agriculture and Food Systems. – 2010. – Vol. 25, Issue 2. – P. 158–169.
10. Овчинников, Л. Н. Капсулирование минеральных удобрений во взвешенном слое [Текст]: монография / Л. Н. Овчинников, А. Г. Липин. – Иваново: Иван. гос. хим.-технол. ун-т, 2011. – 140 с.
11. Юхименко, М. П. Апарати завислого шару. Теоретичні основи і розрахунок [Текст] / М. П. Юхименко, С. В. Вакал, М. П. Кононенко, А. П. Філонов. – Суми: Собор, 2003. – 304 с.
12. Лыков, А. В. Тепломассообмен [Текст] / А. В. Лыков. – М.: Энергия, 1972. – 560 с.
13. Patent DE 20 2006 020 896.8, IPC B01J19/12. Prozessaktivierungseinheit [Text] / Vershinin, N. P., Rostovskaya. – EP 06 82 4454.0; tag der Anmeldung 24.10.2006; tag der Eintragung 30.09.2010.
14. Nawozy wolnodzialajace. Oznaczenie uwalniania skladnikow odzywczych. Metoda dla nawozow otoczkowanych. Norma europejska EN 13266:2001 [Text]. – Warszawa, 2003. – 12 p.

Досліджено кінетичні характеристики реакції відновлення нікелю гіпофосфітами в об'ємі розчину залежно від рН середовища, температури, вмісту окисника, природи і концентрації активатора, присутності водорозчинного полімеру. Доведено, що використання як активатора відновлення попередньо одержаних гідрозолів нікелю дає можливість значно скоротити тривалість індукційного періоду реакції відновлення за низьких температур

Ключові слова: метали, нікель, відновлення, хімічне осадження, гідрозоль, кінетика, швидкість реакції, полівінілпіролідон, гідрогелі, композит

Исследованы кинетические характеристики реакции восстановления никеля гипофосфитами в объеме раствора в зависимости от рН среды, температуры, содержания окислителя, природы и концентрации активатора, присутствия водорастворимого полимера. Доказано, что использование в качестве активатора восстановления предварительно полученных гидрозолей никеля позволяет значительно сократить продолжительность индукционного периода реакции восстановления при низких температурах

Ключевые слова: металлы, никель, восстановление, химическое осаднение, гидрозоль, кинетика, скорость реакции, поливинилпирролидон, гидрогели, композит

УДК 678.746:744

DOI: 10.15587/1729-4061.2016.59506

ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕТИЧНИХ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ХІМІЧНОГО ОСАДЖЕННЯ НІКЕЛЮ

О. М. Гриценко

Кандидат технічних наук, доцент*

E-mail: ogyrts@gmail.com

О. В. СуберлякДоктор хімічних наук,
професор, завідувач кафедри*

E-mail: suberlak@polynet.lviv.ua

В. С. Моравський

Кандидат технічних наук, доцент*

E-mail: vmoravsky@gmail.com

А. В. Гайдук

Аспірант*

E-mail: funtik.ga.anna@gmail.com

*Кафедра хімічної технології переробки пластмас
Національний університет «Львівська політехніка»
вул. С. Бандери, 12, м. Львів, Україна, 79013

1. Вступ

Металонаповнені гідрогелі проявляють специфічні властивості, які можуть змінюватись залежно від вмісту вологи, тиску, температури та рН середовища, що відкриває нові можливості їх використання [1, 2]. Принципово новим методом одержання композиційних металонаповнених полімерних гідрогелевих матеріалів є одержання частинок металу на стадії синтезу полімеру. Такий підхід у створенні композиційних гідрогелів є актуальним на даний час, оскільки позбавляє багатьох підготовчих та завершальних технологічних стадій процесу одержання композитів. Метод є привабливим як з практичної, так і з наукової точки зору через те, що

дає можливість отримати частинки металу нано- та мікророзмірів одночасно під час формування полімерної матриці, досягнути кращого, рівномірного їх розподілу та одержати матеріал з ізотропними властивостями. Дана робота є одним з етапів розроблення нікельнаповнених гідрогелів на основі кополімерів 2-гідроксіетилметакрилату (ГЕМА) з полівінілпіролідонем (ПВП) методом суміщення процесів полімеризації та хімічного відновлення металу. Однак, поєднання процесів відновлення та полімеризації є неможливим без знання їх кінетичних закономірностей. Крім того, враховуючи високу реакційну здатність ГЕМА–ПВП композицій в присутності солей металів змінного ступеня окиснення [3] та значно більшу тривалість процесів відновлення

нікелю [4], необхідно максимально зменшити тривалість індукційного періоду та підвищити швидкість реакції хімічного осадження металу. Тому, знання кінетичних характеристик даного процесу є актуальним завданням, вирішення якого дасть можливість оптимізувати технологію одержання полімерних металокомпозитів полімеризацією з одночасним відновленням металу та змінювати технологічні параметри у наперед заданих межах.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Вибір нікелю як наповнювача зумовлений особливою до нього зацікавленістю з боку дослідників, оскільки композити на його основі є перспективними як нові матеріали, які характеризуються магнітними, електропровідними та каталітичними властивостями. На даний час існує достатньо методів одержання металовмісних полімерних матеріалів [5]. Завдяки простій технології відновлення з солей, широкого використання набув метод одержання полімерних композитів іммобілізацією частинок нікелю хімічним осадженням у порах полімеру. Як полімерну матрицю, наприклад, використовують поліпропілен [6], поліакрилати [7], целюлозу [8], кополімери ПВП [9]. Але відновлення металу у пористих матрицях не завжди дає бажаного результату з технологічної точки зору. В першу чергу – це можливість наповнення тільки плівкових матеріалів. По-друге, важко отримати рівномірний розподіл частинок наповнювача в об'ємі композиту і, відповідно, ізотропність його властивостей. Ці недоліки можливо уникнути суміщенням процесів утворення полімерної матриці та відновлення частинок металу.

Однак, під час хімічного осадження порошку нікелю виникає ряд проблем, які потребують вирішення. Так, залежно від умов проведення реакції хімічного відновлення, не завжди одержують метал у вигляді порошку, що є особливо важливим під час суміщення процесів відновлення та полімеризації. Одержаний продукт не завжди представляє собою чистий метал [10]. У випадку відновлення гіпофосфітами одержується сплав нікелю з фосфором, співвідношення яких залежить від умов проведення процесу відновлення [11].

Експериментальні відомості про хімічне відновлення нікелю, в основному, стосуються одержання різного роду покриттів [12] і, практично, відсутня інформація про кінетичні закономірності хімічного осадження металу в об'ємі розчину [4].

Умови одержання порошків крім швидкості відновлення, безперечно, будуть впливати на склад, структуру, дисперсність порошку, а, отже, на властивості наповненого композиту і технологічний режим його одержання. З іншого боку, для хімічного відновлення металів необхідні певні температурні умови, досягнення яких можливе завдяки теплу, яке виділяється під час кополімеризації ГЕМА з ПВП [13].

3. Мета та задачі дослідження

Метою роботи було дослідити кінетичні закономірності та встановити оптимальні режими процесів хімічного осадження нікелю у об'ємі розчину.

Для досягнення поставленої мети вирішувались наступні завдання:

- встановлення впливу температури, рН розчину, вмісту окисника та активатора на тривалість індукційного періоду, швидкість та час завершення реакції відновлення Ni^{2+} ;
- дослідження впливу присутності полівінілпіролідону на кінетичні характеристики реакції відновлення;
- встановлення можливості активування процесу відновлення нікелю його гідрозолями, одержаними під час досліджень.

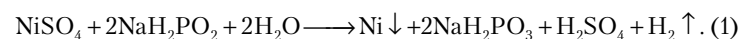
4. Матеріали та методи дослідження кінетичних характеристик реакції хімічного відновлення нікелю

Відновлення йонів нікелю у водному розчині здійснювали за температур 60–90 °С. Як окисник використовували сульфат нікелю ($\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), як відновник – гіпофосфіт натрію ($\text{NaH}_2\text{PO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$). Окисно-відновну систему одержували додаванням до води у певному співвідношенні сульфату нікелю (0,011±1,1 моль/л), ацетату натрію (20 г/л) та гіпофосфіту натрію (0,024±2,4 моль/л). Величину рН розчину корегували концентрованою оцтовою кислотою та 25 % розчином аміаку. Для підвищення активності відновника до окисно-відновної системи вводили активатор відновлення, зокрема, 2 %-ний розчин AgNO_3 . Кінетику реакції хімічного відновлення нікелю оцінювали вольюмометричним методом за об'ємом виділеного водню [14]. Кінетичні закономірності процесу характеризували тривалістю індукційного періоду, швидкістю та часом завершення реакції, які визначали з одержаних кривих залежності кількості виділеного водню в часі.

5. Результати дослідження кінетичних характеристик реакції хімічного відновлення нікелю

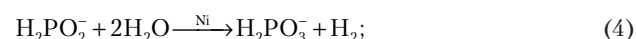
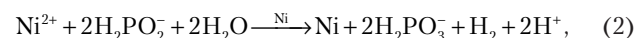
На даний час нікель відновлюють з водних розчинів його солей за допомогою гіпофосфіту, борогідриду, боразотних відновників, гідразину [4].

Процес хімічного осадження нікелю гіпофосфітами представляє собою окисно-відновну реакцію, продуктом якої є металічний нікель [4]:

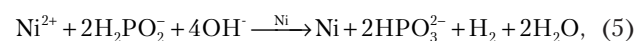


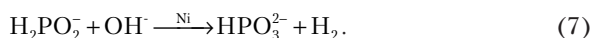
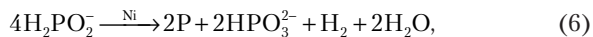
Процес може відбуватися як у кислому, так і у лужному середовищі. Залежно від природи середовища на каталітичній поверхні металу можуть відбуватися наступні процеси:

- у кислому середовищі:



- у лужному:





Відомо, що відновлення нікелю гіпофосфітами інтенсивно відбувається за температури 90–95 °С у кислому або лужному середовищі [4, 15]. Однак, за таких температур з високою швидкістю відбувається і полімеризація ГЕМА–ПВП композицій, яка, крім того є екзотермічним процесом. Через погану теплопровідність полімеру та високу швидкість тепловиділення відбувається теплове розширення та виникнення внутрішніх напружень, що є причиною появи тріщин в об'ємі зразка [13]. Висока швидкість полімеризації та інтенсивне виділення водню під час відновлення металу є причиною спінення матеріалу або утворення газових раковин (рис. 1).

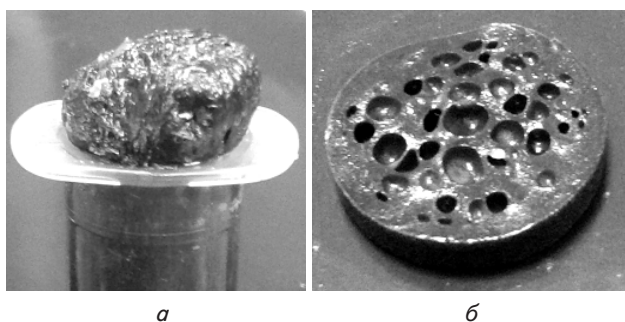


Рис. 1. Наслідки високої швидкості полімеризації та відновлення металу: *а* – спінення композиції; *б* – утворення раковин

Тому необхідно створити такі умови, щоб реакції полімеризації та відновлення відбувалися за значно нижчих температур.

Індукційний період реакції відновлення – початкова стадія, яка характеризується кінетичною загальмованістю. Саме в цей період реакції в розчині формуються стійкі частинки твердої фази, які, в подальшому, проявляють автокаталітичну дію. Тривалість формування частинок твердої фази, а, отже, і індукційний період залежать від багатьох чинників. У випадку суміщення процесів полімеризації та хімічного відновлення металу важливо, щоб тривалість індукційного періоду відновлення була меншою за початок настання стадії гелі-ефекту реакції полімеризації.

Однією з умов проведення окисно-відновної реакції з одержанням дрібнодисперсного порошку є її автокаталітичний характер, який є можливим в умовах введення у систему активаторів. Як активатор використовували 2% розчин AgNO_3 . Як показують результати досліджень, за відсутності активатора реакція, практично, не відбувається або відбувається з дуже малою швидкістю (рис. 2, *а*). Із збільшенням вмісту активатора в реакційному середовищі, швидкість реакції зростає. Також можна відзначити значне зменшення індукційного періоду реакції та тривалості відновлення. Протилежні результати отримані для лужного середовища. За концентрації активатора до 0,25 г/л забезпечується перебіг процесу відновлення з високою швидкістю.

Із збільшенням концентрації активатора метал не утворюється, відбувається хімічна реакція без виді-

лення водню з утворенням бурого осаду. Однак, на відміну від кислого середовища, використання активатора відновлення у лужному середовищі дає можливість здійснювати реакцію за 60–70 °С. Результати, представлені на рис. 2, *б*, показують, що в міру зростання рН зростає швидкість, зменшується час індукційного періоду та час завершення реакції. Підвищення швидкості відновлення у лужному середовищі, порівняно з кислим, можливо пояснити різним вмістом фосфору у поверхневому шарі металевих частинок, що, закономірно, викликає зниження каталітичної активності частинок Ni , а, отже, сповільнення їх росту.

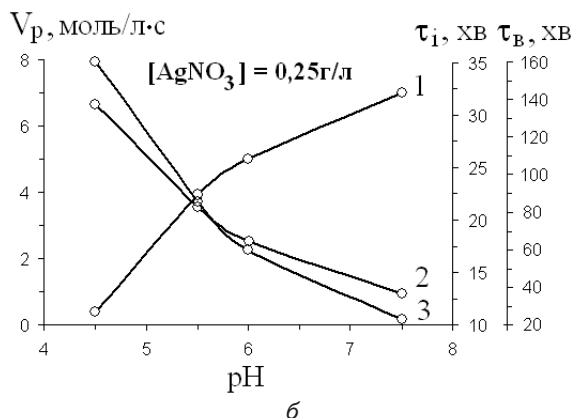
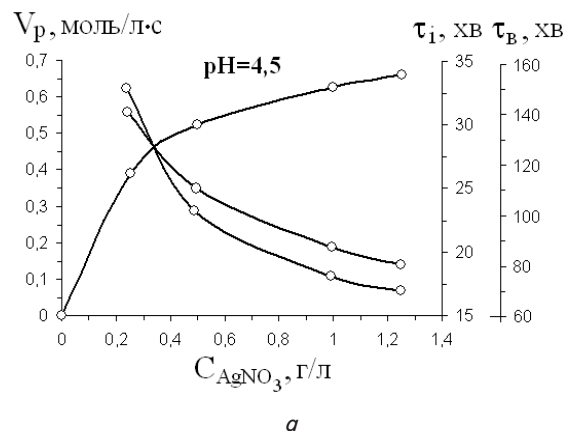


Рис. 2. Залежність швидкості реакції відновлення, V_p (1), тривалості індукційного періоду, τ_i (2) та тривалості відновлення, τ_b (3) від: *а* – вмісту активатора; *б* – рН розчину ($T=90\text{ }^\circ\text{C}$; $[\text{NiSO}_4]=0,55\text{ моль/л}$; $[\text{NaH}_2\text{PO}_2]=1,2\text{ моль/л}$.)

Аналіз стехіометричних рівнянь (1)–(7) показує, що відновлення Ni^{2+} супроводжується зменшенням рН. Згідно літературних даних [4, 15] найменший вміст фосфору у продукті відновлення характерний для розчинів з рН=4,5–6,5 та рН>10.

Під час полімеризації, переважно, відсутня можливість підтримання рН середовища у необхідних межах. У зв'язку з цим, для здійснення реакції відновлення для досліджень у кислому середовищі вибрано початкове рН=4–4,5, у лужному – рН=7–7,5, з передбаченням зниження рН під час реакції.

Основною вимогою до складу розчинів, які використовуються для виготовлення нікелевих покриттів є забезпечення гранично малої швидкості відновлення металу та запобігання утворенню частинок металу в

об'ємі розчину. При цьому, концентрація солі металу є доволі малою і складає 0,08–0,13 моль/л [4]. Така концентрація окисника в малих об'ємах не забезпечить отримання композиту з необхідним вмістом металевого наповнювача, а отже, і з необхідними характеристиками. Під час відновлення металу на стадії полімеризації відсутня можливість корегування концентрації окисника та відновника. Тому, вміст відновленого металу у полімері можливо регулювати лише початковою кількістю введених до вихідної композиції окисника та відновника.

Як показують результати, представлені на рис. 3, з підвищенням концентрації у реакційному середовищі йонів нікелю зростає швидкість процесу відновлення та зменшується індукційний період. Дана закономірність спостерігається як у кислому, так і у лужному середовищі. Зміна концентрації солі нікелю в межах 0,01–0,05 моль/л незначно впливає на швидкість процесу.

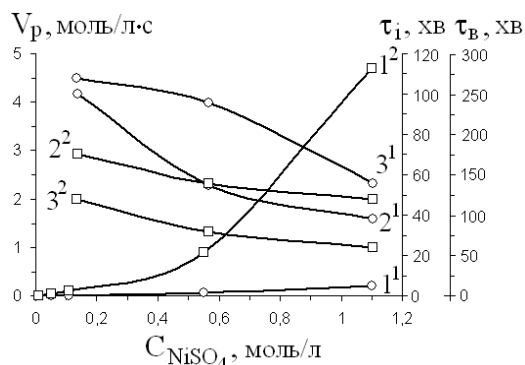


Рис. 3. Залежність швидкості реакції відновлення, V_p (1), тривалості індукційного періоду, τ_i (2) та тривалості відновлення, τ_b від вмісту $NiSO_4$: 1¹, 2¹, 3¹ – $T=80^\circ C$, $pH=4,5$; 1², 2², 3² – $T=60^\circ C$, $pH=7,5$

Відомо, що підвищення температури спричинює зростання швидкості більшості реакцій. Тому, закономірно, постає завдання дослідити, як на кінетичні параметри процесу відновлення у вибраній окисно-відновній системі впливає температура (табл. 1).

Таблиця 1

Вплив температури на кінетичні параметри відновлення (Склад розчину: $[NiSO_4]=0,55$ моль/л; $[NaH_2PO_2]=1,2$ моль/л; $[AgNO_3]=0,25$ г/л)

№	Температура, °C	V_p , моль/л·с		τ_i , хв		τ_b , хв	
		pH=4,5	pH=7,5	pH=4,5	pH=7,5	pH=4,5	pH=7,5
1	60	0,005	0,92	90	53	430	83
2	70	0,013	3,85	74	25	320	39
3	80	0,066	7,63	55	15	240	27
4	90	0,389	12,32	30	12	165	23

Примітка: V_p – швидкість реакції відновлення, τ_i – тривалість індукційного періоду, τ_b – тривалість відновлення

Виявлено, що у лужному середовищі вплив температури на кінетичні параметри відновлення є відчутнішим ніж у кислому. На відміну від лужного середовища, за температури $60^\circ C$ у кислому середовищі реакція відбувається з дуже повільною швидкістю,

із значно більшим індукційним періодом та тривалістю процесу відновлення. За кімнатної температури з розчинів складу, що використовується, відновлення нікелю не спостерігається навіть в умовах значно збільшеної концентрації окисника.

На даний час в літературі існує достатньо експериментальних даних щодо досліджень відновлення металів у присутності водорозчинних полімерів, зокрема ПВП [16, 17]. Переважно, полівінілпіролідон використовують у невеликих кількостях, як стабілізатор металевих частинок. Під час одержання композитів на основі ГЕМА – ПВП кополімерів полівінілпіролідон виконує роль компонента реакційної суміші, бере участь у реакції кополімеризації та використовується у кількості 10–50 мас.ч. Тому, необхідно було дослідити, як ПВП у кількостях, які використовуються для кополімеризації, буде впливати на кінетику реакції відновлення. Як у кислому, так і у лужному середовищі введення до окисно-відновної системи ПВП незначно впливає на швидкість відновлення, хоча скорочує індукційний період (табл. 2). У лужному середовищі за вмісту ПВП у розчині 200 г/л тривалість індукційного періоду становить 14 хв за температури $60^\circ C$. Очевидно, що ПВП, внаслідок високої комплексоутвірної здатності [18], в нашому випадку є додатковим стабілізатором і сприяє утворенню зародків відновлення.

Таблиця 2

Вплив вмісту ПВП на кінетичні параметри відновлення (Склад розчину: $[NiSO_4] = 0,55$ моль/л; $[NaH_2PO_2] = 1,2$ моль/л; $[AgNO_3] = 0,25$ г/л)

№	[ПВП], г/л	V_p , моль/л·с		τ_i , хв		τ_b , хв	
		pH=4,5 $T=90^\circ C$	pH=7,5 $T=60^\circ C$	pH=4,5 $T=90^\circ C$	pH=7,5 $T=60^\circ C$	pH=4,5 $T=90^\circ C$	pH=7,5 $T=60^\circ C$
1	0	0,39	0,92	30	53	165	83
2	50	0,50	2,35	23	64	128	79
3	100	0,59	2,05	17	58	99	70
4	200	0,64	1,17	15	15	85	34

Примітка: V_p – швидкість реакції відновлення, τ_i – тривалість індукційного періоду, τ_b – тривалість відновлення

Завдяки комплексоутворенню відбувається притягування та концентрація йонів нікелю на ланцюгу ПВП, що сприяє утворенню більшої кількості активних центрів і перешкоджає їх укрупненню.

Досліджуючи вплив різних чинників на швидкість окисно-відновної реакції, встановлено, що процес у будь-якому випадку супроводжується індукційним періодом – стадією утворення частинок металічного нікелю, які володіють каталітичною активністю. Під час одержання у водних розчинах порошків нікелю було відзначено, що одержані порошки за величиною частинок характеризуються широким фракційним складом. Частинки найбільшого діаметру осідають протягом декількох хвилин. Однак, в розчині існує фракція металевих частинок, які знаходяться у завислому стані протягом 4–6 годин, що вказує на нано- та ультрадисперсний їх розмір. Логічно було перевірити можливість активування процесу одержання нікелю з використанням як активатора відновлення розчинів з нано- та ультрадисперсними частинками металів – гідрозолів (табл. 3).

Таблиця 3

Вплив температури та природи активатора на кінетичні параметри відновлення (Склад розчину: $[\text{NiSO}_4]=0,55$ моль/л, $[\text{NaH}_2\text{PO}_2]=1,2$ моль/л; $\text{pH}=7,5$)

№	Активатор	Температура, °C	V_p , моль/л·с	τ_i , хв	τ_v , хв
1	AgNO_3	60	0,92	53	83
2	Гідрозоль Ni	60	0,18	21	136
3	Гідрозоль Ni	70	0,50	13	106
4	Гідрозоль Ni	80	1,29	7	52

Примітка: V_p – швидкість реакції відновлення, τ_i – тривалість індукційного періоду, τ_v – тривалість відновлення

Завдяки використанню як активатора вже готових ультрадисперсних частинок та змін умов відновлення, кінетична крива значно наближається до осі ординат, індукційний період зменшується, а реакція відновлення відбувається з високою швидкістю вже на самому початку. В такому випадку реакція починається самовільно на поверхні введеного ультрадисперсного активатора і подальше зростання швидкості реакції пов'язане з її автокаталітичною природою процесу відновлення.

6. Обговорення результатів дослідження кінетичних характеристик реакції хімічного відновлення нікелю

У роботі вибрано метод хімічного відновлення нікелю гіпофосфітами, оскільки цей метод характеризується високою продуктивністю, технологічністю, можливістю в широких межах регулювати швидкість одержання, склад та властивості порошків металів, не вимагає складного апаратурного оформлення. Крім того, використання нікель-гіпофосфітних розчинів з органічними лігандами дає можливість одержувати метал з найвищою корозійною стійкістю [4].

Аналіз результатів дослідження хімічного відновлення нікелю гіпофосфітами показує, що механізм процесу є більш складним, ніж представлений рівняннями (1)–(7) і склад продукту реакції залежить від багатьох чинників. Тому існує ряд проблем, які значно ускладнюють вибір оптимального методу та дослідження кінетики відновлення металу.

Під час вирішення конкретних практичних завдань інтерес представляють різні кінетичні характеристики реакцій хімічного відновлення металів. В нашому випадку, коли поставлене завдання одержання композиційних металогідрогелів методом суміщення процесів полімероутворення та відновлення металу, важливими кінетичними параметрами відновлення є тривалість індукційного періоду, швидкість реакції та час її завершення.

Суттєве значення має той факт, що під час процесу хімічного осадження нікелю спостерігається

виділення водню у стехіометричному співвідношенні ((1)–(7)). Дослідження показали, що припинення виділення водню супроводжується одночасною втра-тою забарвлення розчину, що свідчить про повну витрату окисника (NiSO_4) та завершення реакції. Тому, у роботі кінетичні параметри процесу відновлення нікелю оцінювали за об'ємом водню, який виділявся під час реакції. Звичайно, цей метод не є коректним для кількісного визначення відновленого нікелю за рахунок похибок, які виникають під час досліджень, однак такі характеристики як тривалість індукційного періоду, швидкість реакції та час її завершення можли-во визначити з достатньо високою точністю.

Отримані результати дали можливість обґрунтувати оптимальні технологічні параметри одержання порошку нікелю та на їх основі обґрунтувати техно-логічні параметри синтезу композиційних металогід-рогелів методом поєднання процесів полімеризації та відновлення металу. Використовуючи встановлені режими були одержані зразки нікельнаповнених ко-позиційних матеріалів на основі кополімерів ГЕМА з ПВП. Доказом присутності металічного нікелю у зраз-ках синтезованих полімерів є їх магнітні властивості та забарвлення, яке, залежно від складу композиції, вмісту окисно-відновної системи та рН, змінюється від сірого до чорного.

Основними завданнями подальших досліджень в даному напрямку є встановлення впливу умов віднов-лення з одночасною полімеризацією на величину час-тинок металевого наповнювача, структуру, фізико-ме-ханічні, магнітні та електричні властивості одержаних композиційних матеріалів.

7. Висновки

1. За допомогою вольюметричного методу одержано кінетичні характеристики реакції відновлення нікелю гіпофосфітами в об'ємі розчину залежно від умов та складу розчину. Встановлено, що за відсутності активатора реакція, практично, не відбувається. Відчутне зростання швидкості відновлення від-бувається за концентрації сульфату нікелю більше 0,55 моль/л. У слабо лужному середовищі процес хі-мічного осадження металу характеризується високою швидкістю та малим індукційним періодом вже за температури 60–70 °C.

2. Виявлено, що присутність ПВП у розчині впли-ває на тривалість індукційного періоду та швидкість реакції відновлення, причому характер впливу ПВП значно залежить від рН середовища.

3. Доведено, що використання як активатора попе-редньо одержаних гідрозолів нікелю дає можливість значно скоротити тривалість індукційного періоду реакції відновлення за низьких температур.

Література

1. Schexnailder, P. Nanocomposite polymer hydrogels [Text] / P. Schexnailder, G. Schmidt // Colloid and Polymer Science. – 2009. – Vol. 287, Issue 1. – P. 1–11. doi: 10.1007/s00396-008-1949-0
2. Павлюченко, В. Н. Композиционные полимерные гидрогели [Текст] / В. Н. Павлюченко, С. С. Иванчев // Высокомолекулярные соединения. – 2009. – Т. 51, № 7. – С. 1075–1095.
3. Suberlyak, O. Complex PVP–Men+ – active catalyst of vinyl monomers polymerization [Text] / O. Suberlyak, V. Skorokhoda, O. Grytsenko // Materialy polimerowe i ich przetworstwo. – 2004. – Vol. 1. – С. 140–145.

4. Свиридов, В. В. Химическое осаждение металлов из водных растворов [Текст] / В. В. Свиридов, Т. Н. Воробьева, Т. В. Гаевская, Л. И. Степанова. – Минск: Университетское, 1987. – 267 с.
5. Помогайло, А. Д. Наночастицы металлов в полимерах [Текст] / А. Д. Помогайло, А. С. Розенберг, И. Е. Уфлянд. – М.: Химия, 2000 – 672с.
6. Стаханова, С. В. Получение металлсодержащих композитов на основе пористого полипропилена [Текст] / С. В. Стаханова, Н. И. Никанорова, В. Д. Занегин и др. // Высокомолекулярные соединения. – 1992. – Т. 34, № 2. – С. 133–139.
7. Изаак, Т. И. Формирование пористых никельсодержащих полиакрилатных нанокомпозитов [Текст] / Т. И. Изаак, О. В. Бабкина, Г. В., Лямина, В. А. Светличный // Журнал физической химии. – 2008. – Т. 82, № 12. – С. 2341–2347.
8. Михаилиди, А. М. Получение частиц никеля в матрице гидратцеллюлозной пленки, активированной растворами щелочи [Текст] / А. М. Михаилиди, Н. Е. Котельникова, Н. П. Новоселов // Химия растительного сырья. – 2010. – № 3. – С. 21–28.
9. Гриценко, О. М. Вплив ініціуювальної системи на структуру та властивості гідрогелів на основі кополімерів полівінілпіролідону [Текст] / О. М. Гриценко, О. В. Суберляк, Н. М. Гнатчук // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2013. – Т. 5, № 8(65). – С. 59–63. – Режим доступу: <http://journals.urau.ua/eejet/article/view/18137/15879>
10. Мініцький, А. В. Отримання композиційних залізних порошків із покриттям нікель-фосфору для виготовлення магнітних матеріалів [Текст] / А. В. Мініцький, Н. В. Мініцька, О. О. Панасюк, О. В. Власова // Вісник КНУ імені Михайла Остроградського. – 2011. – Вип. 2, № 67. – С. 79–82.
11. Семко, Л. С. Перетворення в наноструктурних порошках нікелю і нанокомпозиті нікель/декстран [Текст] / Л. С. Семко, О. І. Кручек, Л. С. Дзюбенко, П. П. Горбик, О. І. Оранська // Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології. – 2008. – Т. 6, № 1. – С. 137–146.
12. Петрова, Т. П. Химические покрытия [Текст] / Т. П. Петрова // Соросовский образовательный журнал. – 2000. – Т. 6, № 11. – С. 57–62.
13. Коваль, Ю. Б. Встановлення температурного режиму одержання металогідрогелів полівінілпіролідону на стадії полімеризації [Текст] / Ю. Б. Коваль, О. М. Гриценко, О. В. Суберляк, П. П. Волошкевич // Вісник НУ «Львівська політехніка» «Хімія, технологія речовин та їх застосування». – 2015. – № 812. – С. 372–378.
14. Перепелкин, К. Е. Газовые эмульсии [Текст] / К. Е. Перепелкин. – Л.: Химия, 1979. – 200 с.
15. Яворський, В. Т. Електрохімічне наплення металевих, конверсійних та композиційних покриттів [Текст] / В. Т. Яворський, О. І. Кунтий, М. С. Хома. – Львів: Львівська політехніка, 2000. – 216 с.
16. Kumar, M. Fabrication of Langmuir–Blodgett film from Polyvinylpyrrolidone stabilized NiCo alloy nanoparticles [Text] / M. Kumar, A. Pathak, M. Singh, M. L. Singla // Thin Solid Films. – 2010. – Vol. 519, Issue 4. – P. 1445–1451. doi: 10.1016/j.tsf.2010.09.028
17. Rodriguez, G. Synthesis and Characterization of Metallic Nanoparticles Stabilized with Polyvinylpyrrolidone [Text] / G. Rodriguez, G. Gonzalez, P. Silva // Microscopy and Microanalysis. – 2005. – Vol. 11. – P. 1944–1945. doi: 10.1017/S1431927605502691
18. Сидельковская, Ф. П. Химия N-Винилпирролидона и его полимеров [Текст] / Ф. П. Сидельковская. – М.: Наука, 1970. – 150 с.